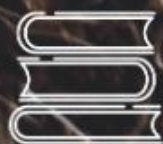


Edna Maria Bonfim-Silva

RAIZ: COMPONENTE OCULTO DA PLANTA



Uniedusul

Edna Maria Bonfim-Silva

RAIZ: COMPONENTE OCULTO DA PLANTA



Uniedusul

2022 Uniedusul Editora - Copyright dos autores
Editor Chefe: Me. Welington Junior Jorge
Diagramação e Edição de Arte: André Vaz
Revisão: Os autores

**Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)
(eDOC BRASIL, Belo Horizonte/MG)**

R161 Raiz [livro eletrônico] : componente oculto da planta / Organizadora
Edna Maria Bonfim-Silva. – Maringá, PR: Uniedusul, 2022.

Formato: PDF

Requisitos de sistema: Adobe Acrobat Reader

Modo de acesso: World Wide Web

Inclui bibliografia

ISBN 978-65-80277-90-2

1. Botânica. 2. Estrutura radicular. I. Bonfim-Silva, Edna Maria.
CDD 580

Elaborado por Maurício Amormino Júnior – CRB6/2422

O conteúdo dos capítulos e seus dados em sua forma, correção e confiabilidade são de responsabilidade exclusiva dos autores.

Permitido fazer download da obra e o compartilhamento desde que sejam atribuídos os créditos aos autores, mas sem de nenhuma forma utilizá-la para fins comerciais.

www.uniedusul.com.br

PREFÁCIO

Caminhando...

O caminho da vida cotidiana requer coragem e decisão, que possibilite o descarte todo e qualquer tipo de sequelas, que possa impedir o crescimento individual e coletivo.

É preciso acreditar na possibilidade de avançar, tráfegando numa linha de mão dupla que transcenda o imediatismo.

Caminhar requer sabedoria para que se possa desgarrar do negativo movido pelo medo que poderá levar ao fracasso.

Caminhar induz a criação de estratégias que transforme o medo em atitude de coragem, pois o sonhar acordado adota planejamento que transpasse a mediocridade, assim venha somar esforços para que o sonho se torne atingível e sustentável dialogando com a linha do imaginário.

Caminhar é ser signatário de uma vida fluente que tenha como foco a defesa da positividade, assim pavimentar e transpor obstáculos aparentemente intransponíveis.

Caminhar é enxergar as vertentes da vida, cujas águas possam ser aproveitadas na íntegra sem desperdiço.

Caminhar continuamente, precisa ter visão periférica e vislumbrante, observando os erros cometidos, e assim lapidá-los para construção de uma nova etapa produtiva.

Caminhar precisa adotar uma metodologia viável tanto para a vida profissional quanto familiar. É está de bem com a vida e respeitá-la, a fim de torná-la viável.

Caminhar exige decisão que possibilite a oportunidade para perceber os pontos falhos, desta forma, renunciar as coisas fúteis.

Diante de tantas ações cotidianas, percebe-se que é caminhando numa linha ascendente, reflexiva e produtiva que se faz o caminho.

Poeta: **Carlos Bomfim**

14/03/2022

APRESENTAÇÃO

As raízes são fundamentais para o desenvolvimento das culturas por serem responsáveis pela fixação no solo ou substrato, atuando como suporte de grande importância para as plantas. Mesmo diante de tanta importância do sistema radicular, ainda existem poucos estudos que tratem o sistema radicular de maneira mais aprofundada. Sabe-se que o desenvolvimento e a estrutura radicular podem ser modificados pelo manejo e assim vem a importância de se conhecer as principais causas dessas alterações. Em muitos estudos as raízes ainda participam como “componentes ocultos”, e muitos casos é descartado nas avaliações, mesmo em experimentos científicos. Nesse contexto, é essencial o manejo adequado do solo para garantir uma boa disponibilidade de água e nutrientes para as plantas de maneira que não afete o volume de solo explorado pelas raízes.

Alguns fatores interferem no desenvolvimento das raízes, podendo ser relacionados como fatores físicos (tráfego de máquinas e animais), fatores químicos (deficiência nutricional, baixa fertilidade do solo) e fatores biológicos (baixo teor de matéria orgânica do solo e interação com a microbiota do solo).

Com relação ao manejo para um bom desenvolvimento radicular também pode-se citar o manejo da irrigação. O sistema radicular é o órgão responsável por detectar qualquer estresse hídrico com as mudanças de umidade do solo ou substrato, assim, há a necessidade de realizar o manejo adequado para que as plantas se desenvolvam sem efeitos negativos por consequência do déficit hídrico ou estresse por alagamentos e inundações, pois esses estresses não comprometem apenas o sistema radicular, mas o desenvolvimento da planta como um todo.

Assim, objetiva-se por esta obra trazer uma revisão didática sobre a importância das raízes, bem como, apresentar os fatores que afetam seu desenvolvimento e demonstrar a importância de um manejo adequado das raízes, parte fundamental para o crescimento das culturas.

A presente obra está composta por cinco capítulos: 1 – Morfologia das raízes, 2 – Fatores que interferem no desenvolvimento das raízes, 3 – Estresse hídrico e raízes das plantas, 4 – Práticas conservacionistas e raízes das plantas, 5 – Micro-organismos que habitam raízes: peças-chave para a sustentabilidade dos agroecossistemas.

Boa leitura.

Edna Maria Bonfim-Silva

SUMÁRIO

CAPÍTULO 01.....	07
MORFOLOGIA DAS RAÍZES	
Edna Maria Bonfim-Silva	
Luana Aparecida Menegaz Meneghetti	
Tallys Henrique Bonfim-Silva	
Niclene Ponce Rodrigues de Oliveira	
Renata Vilalba Reis	
Alisson Silva Costa	
doi: 10.51324/80277902.1	
CAPÍTULO 02.....	17
FATORES QUE INTERFEREM NO DESENVOLVIMENTO DAS RAÍZES	
Edna Maria Bonfim-Silva	
Renata Vilalba Reis	
Niclene Ponce Rodrigues de Oliveira	
Luana Aparecida Menegaz Meneghetti	
Alisson Silva Costa	
doi: 10.51324/80277902.2	
CAPÍTULO 03.....	32
ESTRESSE HÍDRICO E RAÍZES DAS PLANTAS	
Edna Maria Bonfim-Silva	
Niclene Ponce Rodrigues de Oliveira	
Luana Aparecida Menegaz Meneghetti	
Alisson Silva Costa	
Renata Vilalba Reis	
Tonny José Araújo da Silva	
doi: 10.51324/80277902.3	
CAPÍTULO 04.....	50
PRÁTICAS CONSERVACIONISTAS E RAÍZES DAS PLANTAS	
Edna Maria Bonfim-Silva	
Alisson Silva Costa	
Luana Aparecida Menegaz Meneghetti	
Renata Vilalba Reis	
Niclene Ponce Rodrigues de Oliveira	
Tonny José Araújo da Silva	
doi: 10.51324/80277902.4	
CAPÍTULO 05.....	68
MICRO-ORGANISMOS QUE HABITAM RAÍZES: PEÇAS-CHAVE PARA A SUSTENTABILIDADE DOS AGROECOSSISTEMAS	
Salomão Lima Guimarães	
Edna Maria Bonfim-Silva	
doi: 10.51324/80277902.5	
SOBRE OS AUTORES.....	85

Capítulo 01

MORFOLOGIA DAS RAÍZES

EDNA MARIA BONFIM-SILVA

LUANA APARECIDA MENEGAZ MENEGHETTI

TALLYS HENRIQUE BONFIM-SILVA

NICLENE PONCE RODRIGUES DE OLIVEIRA

RENATA VILALBA REIS

ALISSON SILVA COSTA

RESUMO: As raízes são essenciais para o crescimento das plantas. O estudo da morfologia e anatomia desse órgão é muito desafiador, pois o sistema radicular é muito complexo. A raiz é um dos principais órgãos das culturas, sendo importante para o desenvolvimento delas. Dentre as funções desempenhadas pelo sistema radicular tem-se transporte e armazenamento de nutrientes e água exigidos pelas plantas, além de suporte estrutural. Em relação a sua classificação, as raízes podem ser classificadas quanto ao ambiente que se desenvolvem, logo, subterrâneas, aquáticas e aéreas. Neste capítulo, dar-se-á ênfase as raízes subterrâneas, também será abordado a morfologia desse órgão, explicando cada parte que o constitui, bem como o desenvolvimento do sistema radicular como um todo.

Palavras-chave: Sistema radicular. Morfologia radicular. Raízes subterrâneas.

ABSTRACT: Roots are essential for plant growth. The study of the morphology and anatomy of this organ is very challenging because the root system is very complex. The root is one of the principal organs of cultures, being of paramount importance for their development. Among the functions performed by the root system, there is transport and storage of nutrients and water required by plants, in addition to structural support. Regarding their classification, the roots can be classified according to the environment they develop, therefore, underground, aquatic and aerial. In this chapter, emphasis will be given to underground roots, the morphology of this organ will also be addressed, explaining each part that constitutes it, as well as the development of the root system as a whole.

Keywords: Root system. Root morphology. Underground roots.

INTRODUÇÃO

Estudos sobre o desenvolvimento do sistema radicular de diversas plantas ainda são escassos, como por exemplo das forrageiras, e a formação de raízes vigorosas é fundamental para que as culturas suportem diversas situações como estresse, o rigor do inverno e a seca do verão (CUNHA *et al.*, 2010).

A dinâmica de raízes de espécies arbóreas é importante para o conhecimento sobre o sistema radicular, pois contribui no manejo das florestas (FREITAS *et al.*, 2008). No sistema radicular é onde ocorre a absorção de água e nutrientes, de forma simultânea, por isso, é essencial o conhecimento dessa área para estudos de fornecimento de nutrientes no solo (SANTOS *et al.*, 2005).

Fracaro *et al.* (2004) em suas pesquisas sobre a distribuição do sistema radicular da goiabeira apontam que para o conhecimento científico da produção agrícola, é imprescindível os estudos sobre as raízes. Além da distribuição das raízes no solo, estudos também apontam que a morfologia das raízes é fundamental para a absorção de nutrientes pelas plantas, pois sua estrutura determina a exploração do solo (SOUSA *et al.*, 2010).

As raízes podem ser classificadas quanto ao ambiente em que se desenvolvem, logo, subterrâneas, aquáticas e aéreas. Nesse capítulo, dar-se-á ênfase as raízes subterrâneas, mais especificamente raízes axiais ou pivotantes e fasciculadas, além disso, será explanado a morfologia e como ocorre o desenvolvimento do sistema radicular.

MORFOLOGIA DAS RAÍZES

O estudo da morfologia das raízes e anatomia do sistema radicular é muito desafiador devido à complexidade desses órgãos (LOBET *et al.*, 2019). Em geral, a raiz é constituída pela coifa, região lisa ou de crescimento, região pilífera e suberosa ou de ramificação, conforme observa-se na figura abaixo.

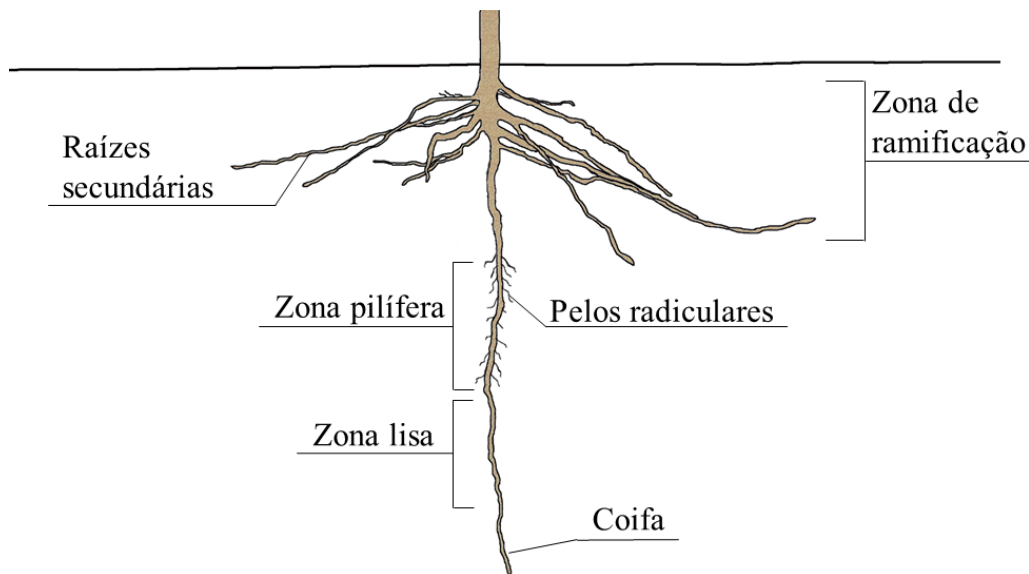


Figura 1 – Esquema demonstrando as partes externas do sistema radicular.
Fonte – Os autores.

A coifa ou caliptra é a parte estrutural da raiz que cobre sua ponta, ou seja, protege a meristema apical e uma parcela dos tecidos meristemáticos primários (CORTEZ *et al.*, 2016). Já a zona lisa, também conhecida como zona de crescimento ou distensão, fica localizada acima da coifa e abaixo da zona pilífera, nessa região as células se estendem, então há o crescimento da raiz, porém, sem a presença de pelos absorventes (Figura 1).

A zona pilífera é a região da raiz que há presença de pelos absorventes ou radiculares, essas estruturas são essenciais, pois tem como função aumentar a absorção de nutrientes e água (CORTEZ *et al.*, 2016). Logo acima da zona pilífera, tem-se a zona de ramificação, região esta, que as raízes secundárias se desenvolvem (Figura 1).

Na parte interna da raiz, tem-se a epiderme, o córtex, a endoderme, o periciclo, os tecidos vasculares (xilema e floema), e o câmbio vascular (Figura 2).

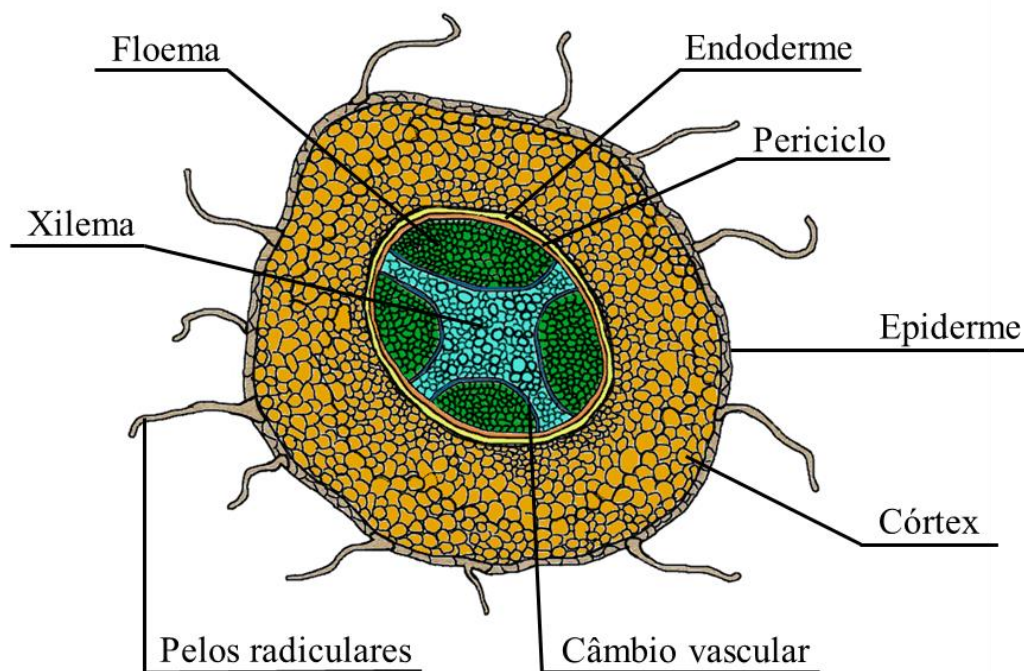


Figura 2 – Representação de um corte transversal da raiz de feijão (*Phaseolus vulgaris*).
Fonte – Os autores.

A epiderme é a camada mais externa da raiz, onde se observa os pelos radiculares (responsáveis pela absorção de nutrientes e água), depois da epiderme, tem-se o córtex, também denominado de parênquima cortical, que possui uma camada externa denominada exoderme que reforça a proteção da raiz, e uma camada interna, a endoderme (Figura 2), que tem uma função importante na absorção de água pela cultura (RODRIGUES *et al.*, 2015).

O periciclo é um tecido meristemático interno (Figura 2), é o local em que as raízes laterais surgem (TAIZ & ZEIGER, 2016).

Os tecidos vasculares são compostos pelo xilema e floema e podem ser envolvidos por mais de uma camada de periciclo (Figura 2), além disso, tem-se o câmbio vascular, que forma os tecidos vasculares secundários, xilema e floema (RODRIGUES *et al.*, 2015). Ainda de acordo com os autores Rodrigues *et al.* (2015), o xilema primário permanece no centro da raiz.

As raízes podem ser classificadas quanto ao ambiente em que se encontram: subterrâneas, aquáticas e aéreas. As raízes subterrâneas, também conhecidas como terrestres, são raízes que se fixam no solo. Há situações que culturas com raízes terrestres encontram-se em ambientes alagadiços, dessa

forma, essas raízes crescem na água e posteriormente desenvolvem-se até atingir o solo para fixar-se nele (ALMEIDA *et al.*, 2014).

Em relação as dicotiledôneas, em sua maioria há uma raiz principal, que possui geotropismo positivo, é nessa raiz principal que se desenvolvem as ramificações secundárias e demais, este sistema radicular é denominado de pivotante (SILVA *et al.*, 2014). Ainda segundo Silva *et al.* (2014), nas monocotiledôneas, o sistema radicular geralmente é constituído por raízes adventícias que possuem origem no caule da planta, não há raiz principal, esse sistema radicular é chamado de fasciculado.

Raízes Pivotantes ou axiais

As raízes pivotantes possuem uma raiz primária (raiz eixo), originada no polo radicular embrionário, que se desenvolve, fixa no solo e posteriormente ramifica, formando as raízes secundárias e terciárias (ALMEIDA *et al.*, 2014) (Figura 3). Ainda de acordo com os autores, esse é o sistema radicular na maioria das Espermatófitas, exceto nas monocotiledôneas.

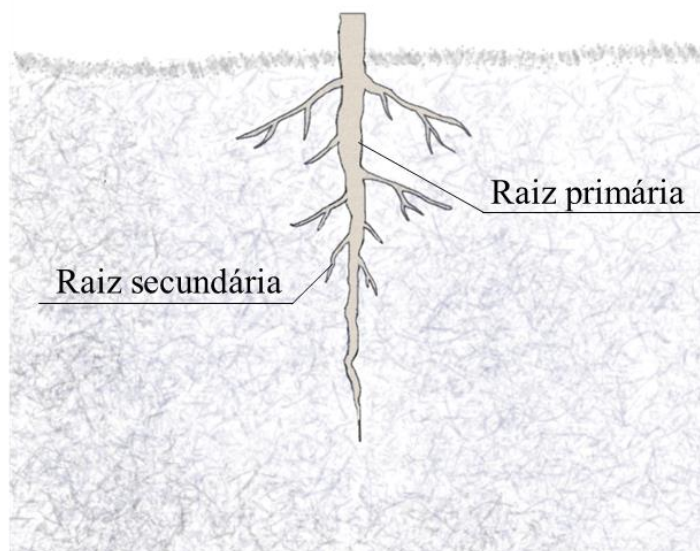


Figura 3 – Representação de uma raiz axial ou pivotante de algodão (*Gossypium hirsutum*).

Fonte – Os autores.

As raízes axiais são raízes típicas, ou seja, a ramificação ocorre no interior do órgão (endógena) a partir das divisões das células do periciclo, desenvolvendo novas células rumo a superfície, e assim, dando origem ao

meristema apical da raiz lateral, este crescerá para o exterior, rompendo os tecidos da raiz que estão se ramificando (ALMEIDA *et al.*, 2014).

Nesse contexto, observa-se que o sistema radicular pivotante é constituído por uma raiz primária e suas ramificações. Vale ressaltar que as raízes pivotantes, em sua maioria são mais profundas que as raízes fasciculadas (RAVEN *et al.*, 1996).

Raízes Fasciculadas

As raízes fasciculadas têm origem não embrionária, são raízes adventícias. Segundo Simpson (2019), raízes formadas de outra parte da planta, de um órgão não raiz, como caule ou folha, são denominadas raízes adventícias. Nesse contexto, pode-se observar que raízes fasciculadas surgem a partir de um conjunto de raízes adventícias (Figura 4), sendo esse sistema radicular do grupo das monocotiledôneas (CORTEZ *et al.*, 2016; ALMEIDA *et al.*, 2014).

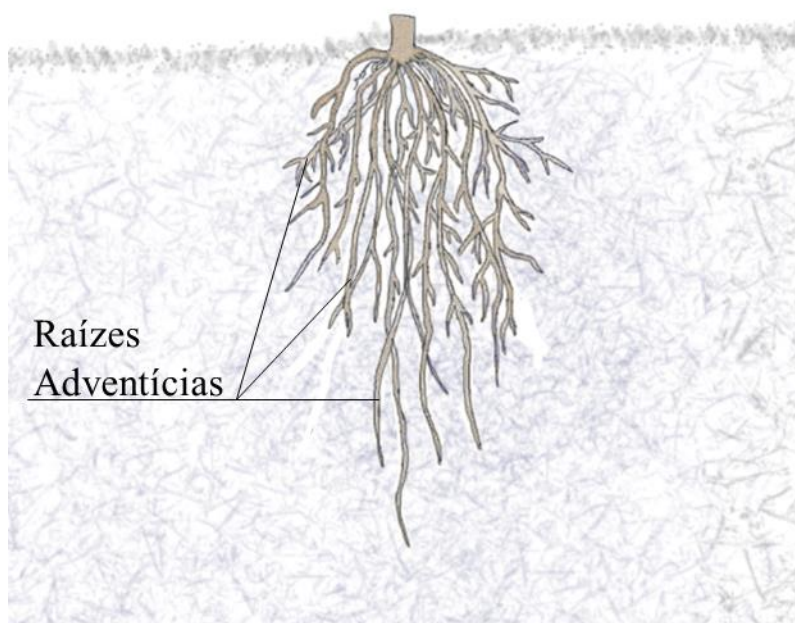


Figura 4. Representação de uma raiz fasciculada.
Fonte. Os autores.

A partir da base caulinar e do hipocótilo é formado as raízes adventícias, que constituem esse sistema radicular fasciculado, isso ocorre somente pelo

desenvolvimento inicial ou atrofia da raiz primária das monocotiledôneas (ALMEIDA *et al.*, 2014).

Ademais, observa-se que duas categorias de sistemas radiculares são distintas de acordo com sua origem, que pode ser embrionária (sistema radicular pivotante ou axial) e não embrionária (sistema radicular fasciculado).

DESENVOLVIMENTO DO SISTEMA RADICULAR

Há diversos fatores que influenciam no crescimento do sistema radicular. As raízes desenvolvem-se sob interferência de fatores como manejo e/ou utilização da planta, presença de pragas, competição entre culturas, presença de microrganismos no solo e outros aspectos que determinam o desenvolvimento e potencial de absorção de nutrientes pelo sistema radicular (CECATO *et al.*, 2001).

Os principais órgãos das culturas são as raízes e os brotos (SIMPSON, 2019). Para a raiz começar a crescer, primeiro há a necessidade da hidratação da semente para ativar as vias metabólicas e conseqüentemente desenvolver o eixo embrionário, dessa forma, o endosperma irá nutrir o embrião e disponibilizar-lhe a reserva da semente através dos cotilédones (ALMEIDA *et al.*, 2014).

Posteriormente, após a radícula emergir e desenvolver a raiz primária fixando-se no solo, ocorre a germinação da semente. As raízes têm como função fixar a planta no solo e absorver água e minerais (SIMPSON, 2019). O crescimento da radícula irá formar o sistema radicular axial, presente no grupo das Eudicotiledôneas, por outro lado, no caso das monocotiledôneas, após surgir a radícula, desenvolve-se também o coleóptilo, e conseqüentemente, formam-se raízes adventícias no colo da planta, que crescem com a radícula e assim, constituem o sistema radicular fasciculado (ALMEIDA *et al.*, 2014).

A seguir observa-se de maneira simplificada como é o desenvolvimento do sistema radicular do grupo das Eudicotiledôneas e Monocotiledôneas (Figura 5).

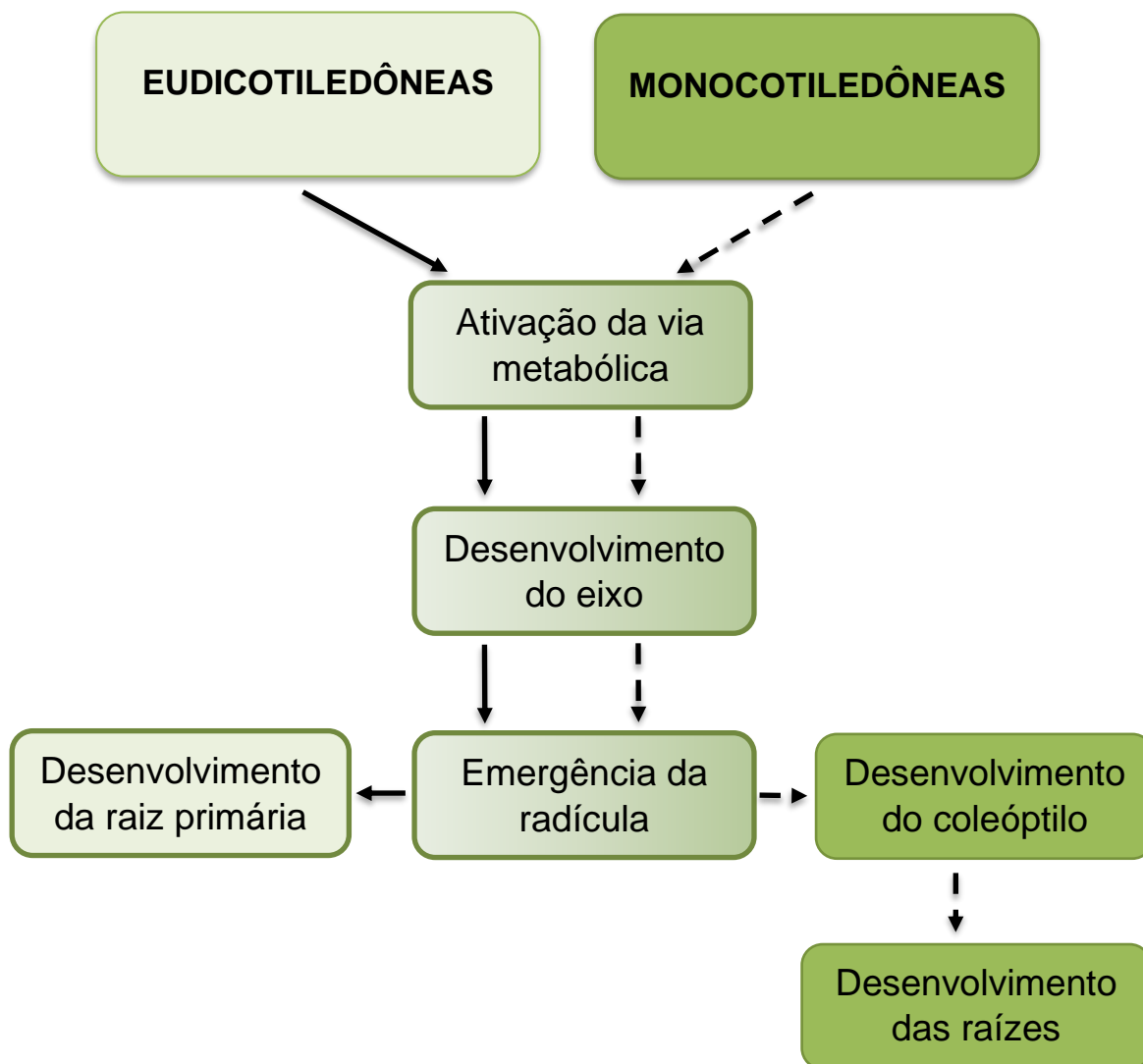


Figura 5. Esquema do desenvolvimento de raízes do grupo das Eudicotiledôneas e do grupo das Monocotiledôneas.

Fonte. Os autores.

A complexidade do sistema radicular, assim como, a importância da morfologia das raízes, indicam que cada parte que constitui a raiz, desde os pelos radiculares até os tecidos vasculares, possui uma determinada função que é fundamental para o desenvolvimento das culturas.

REFERÊNCIAS

ALMEIDA, M.; ALMEIDA, C. V. **Morfologia da raiz de plantas com sementes.** Coleção Botânica, 1. Piracicaba: ESALQ/USP: [s. n.], 2014. 71 p. ISBN 978-85-86481-32-1. Disponível em:

<http://www.esalq.usp.br/biblioteca/EBOOK/morfologia_raiz.html>. Acesso em: 14 jul. 2021.

CECATO, U.; CANO, C.C.P.; BORTOLO, M. *et al.* Teores de carboidratos não-estruturais, nitrogênio total e peso de raízes em coastcross-1 (*Cynodon dactylon* (L.) Pers) pastejado por ovinos. **Revista Brasileira de Zootecnia**. v.30, n.3, p.644-650, 2001.

CORTEZ, P. A. **Manual prático de morfologia e anatomia vegetal** / Priscila Andressa Cortez, Delmira da Costa Silva, Alba Lucilvânia Fonseca Chaves. - Ilhéus, BA: Editus, 2016. 92 p. ISBN 978-85-7455-423-5.

CUNHA, F. F.; RAMOS, M. M.; ALENCAR, C. A. B.; MARTINS, C. E.; CÓSER, A. C.; OLIVEIRA, R. A. Sistema radicular de seis gramíneas irrigadas em diferentes adubações nitrogenadas e manejos. **Acta Scientiarum Agronomy**. Maringá, v. 32, n. 2, p. 351-357, 2010. DOI: 10.4025/actasciagron.v32i2.1020.

FRACARO, A. A.; PEREIRA, F. M. Distribuição do sistema radicular da goiabeira 'rica' produzida a partir de estaquia herbácea. **Rev. Bras. Frutic.**, Jaboticabal - SP, v. 26, n. 1, p. 183-185, abril, 2004.

FREITAS, T. A. S.; BARROSO, D. G.; CARNEIRO, J. G. A. Dinâmica de raízes de espécies arbóreas: visão da literatura. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 18, n. 1, p. 133-142, jan.-mar., 2008. ISSN 0103-9954

LOBET, G.; PAEZ-GARCIA, A.; SCHNEIDER, H.; JUNKER, A.; ATKINSON, J. A.; TRACY, S. Demystifying roots: A need for clarification and extended concepts in root phenotyping. **Plant Science**, v. 282, p. 11-13, may 2019. ISSN 0168-9452. DOI <https://doi.org/10.1016/j.plantsci.2018.09.015>.

RAVEN, P. H.; EVERT, R. F.; EICHHORN, S. E. **Biologia vegetal**. 5. ed. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 1996. 728 p.

RODRIGUES, A. C.; AMANO, E.; ALMEIDA, S. L. **Anatomia Vegetal** / Ana Cláudia Rodrigues, Erika Amano, Sergio Luiz de Almeida. - Florianópolis : Biologia/EaD/UFSC, 2015. 152 p. ISBN: 978-85-61485-27-6.

SANTOS, D. B. DOS; COELHO, E. F. AZEVEDO, C. A. V. DE. Absorção de água pelas raízes do limoeiro sob distintas frequências de irrigação. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.9, n.3, p.327-333, 2005.

SILVA, G. L. S.; CARNEIRO, M. S. S.; FURTADO, F. M. V.; SANTOS, F. J. S.; SILVA, M. S.; COSTA, N. L.; MAGALHÃES, J. A. Algumas considerações sobre o sistema radicular de plantas forrageiras. **PUBVET**, Londrina, V. 8, N. 6, Ed. 255, Art. 1687, março, 2014.

SIMPSON, M. G. Plant Morphology. *In*: SIMPSON, M. G. **Plant Systematics**. 3. ed. [S. l.]: Academic Press, 2019. cap. 9, p. 469-535. ISBN 978-0128126288.

SOUSA, S. M.; GOMES, E.A.; SOUZA, F. A.; VASCONCELOS, M. J. V. **Importância da morfologia radicular na eficiência da aquisição de fósforo** / Sylvia Morais de Sousa ... [et al.]. -- Sete Lagoas : Embrapa Milho e Sorgo, 2010. 33 p. ISSN 1518- 4277.

TAIZ, L.; ZEIGER, E. **Fisiologia e desenvolvimento vegetal**. Editora Artmed. ISBN-13 978-8582713662. 6 ed. 888p. 2016.

Capítulo 02

FATORES QUE INTERFEREM NO DESENVOLVIMENTO DAS RAÍZES

EDNA MARIA BONFIM-SILVA

RENATA VILALBA REIS

NICLENE PONCE RODRIGUES DE OLIVEIRA

LUANA APARECIDA MENEGAZ MENEGHETTI

ALISSON SILVA COSTA

RESUMO: O crescimento do sistema radicular é de importante para o desenvolvimento das plantas e conseqüentemente para melhorar a produtividade nos sistemas agrícolas. Assim, existe diversos fatores que interferem no desenvolvimento das raízes e dentre eles os fatores físicos (tráfego de máquinas agrícolas e tráfego de animais em pastejo), fatores químicos (disponibilidade de nutrientes no solo) e fatores biológicos (presença de microrganismos no solo). Com o manejo adequado as raízes desenvolvem-se adequadamente, ficando vigorosa, e assim, refletindo na resiliência da cultura, com maior capacidade de tolerar situações de estresse. Neste capítulo foi abordado alguns dos fatores que interferem no crescimento das raízes, bem como a importância do manejo adequado.

Palavras-chave: Sistema radicular; Fatores físicos; Fatores químicos; Fatores Biológicos.

ABSTRACT: The growth of the root system is important for the development of plants and consequently to improve productivity in agricultural systems. Thus, there are several factors that interfere with the development of roots and among them the physical factors (traffic of agricultural machinery and traffic of animals in grazing), chemical factors (availability of nutrients in the soil) and biological factors (presence of microorganisms in the soil). With proper management, the roots develop properly, becoming vigorous, and thus, reflecting on the resilience of the culture, with a greater capacity to tolerate stress situations. In this chapter, some of the factors that interfere in the growth of roots were discussed, as well as the importance of proper management.

Keywords: Root system. Physical factors. Chemical factors. Biological factors.

INTRODUÇÃO

As raízes são essenciais para a planta adquirir água e nutrientes do solo. A estrutura e a função da raiz determinam a exploração do solo e têm um grande impacto na absorção de nutrientes e água, tolerância ao estresse e produtividade das culturas (WANG *et al.*, 2021).

O crescimento das raízes no solo pode ser limitado por propriedades físicas, químicas e biológicas do solo (BENGOUGH *et al.*, 2011). Para que

ocorra o crescimento eficaz das raízes há a necessidade do manejo adequado para redução dos impactos negativos no sistema agrícola.

A presença de matéria orgânica no solo, por exemplo, é um requisito importante para as culturas alcançarem um crescimento adequado, pois contribui positivamente nos atributos biológicos e químicos do solo, até mesmo nos atributos físicos, sendo que solo com alto teor de matéria orgânica favorece o desenvolvimento do sistema radicular e em consequência a eficiência nutricional das culturas (CHIODINI *et al.*, 2013).

Os fatores químicos interferem no desenvolvimento do sistema radicular, uma vez que para o sistema ser eficaz, ele precisa otimizar a relação entre a quantidade de nutrientes e recursos adquiridos com os que foram empregos para sua obtenção (MOREIRA, 2004).

Vannoppen *et al.* (2015), quando revisaram os efeitos mecânicos das raízes das plantas nas taxas de erosão de fluxo concentrado, descreveram que as raízes vivas das plantas modificam as características mecânicas e hidrológicas da matriz do solo (estabilidade do agregado, coesão do solo, estabilidade do agregado do solo por exsudatos radiculares, matéria orgânica no solo, umidade do solo e taxa de infiltração) e também influenciam de forma negativa na erodibilidade do solo.

O sistema radicular possui relação direta com as condições físicas do solo (BARBOSA, 2015), dessa forma, é necessário o manejo dos fatores físicos que interferem nessas condições, como o tráfego de máquinas agrícolas e o pastejo de animais com gado, por exemplo. A falta de manejo adequado pode compactar o solo e conseqüentemente, interferir no desenvolvimento das raízes.

FATORES QUE INTERFEREM NO DESENVOLVIMENTO DAS RAÍZES

Fatores Físicos

A qualidade do solo é um fator que permite o sistema radicular de uma planta se desenvolver. O conceito qualidade do solo é muito amplo e de difícil definição, pois dependendo da área a ser tratada ela tem diferentes visões e objetivos. Na agricultura, pode-se encontrar na literatura que a qualidade do

solo tem como objetivo de garantir o desenvolvimento de uma cultura, com foco principal na produtividade (BONFIM-SILVA, 2020).

Em termos de limitações físicas para o crescimento das raízes, o estresse hídrico (pouca água), hipóxia ou anóxia (pouco oxigênio) e impedância mecânica, são as principais causas de crescimento e desenvolvimento radicular (BENGOUGH *et al.*, 2011).

Centenaro *et al.* (2018) relatam que o estresse hídrico e a impedância mecânica são geralmente considerados e estudados em conjunto e também intimamente ligados ao inibir o alongamento da raiz, isso porque à medida que os solos secam, as forças capilares tornam a matriz potencial mais negativo, e muitas vezes fazendo com que a resistência do solo aumente rapidamente.

Quando o solo é muito duro para as raízes penetrarem, as plantas encontram o fenômeno de impedância mecânica, e isso pode ser causado pela compactação do solo, geralmente associado a maquinário agrícola pesado em sistemas aráveis, ou por seca e solo seco (BENGOUGH *et al.*, 2011; CENTENARO *et al.*, 2018).

A impedância mecânica do solo leva a modificação morfológica da raiz, como a redução do sistema radicular e uma menor taxa de alongamento da raiz, pontas de raízes inchadas, circulares ou achatadas e padrões de ramificação alterados dependendo da espécie da planta (WANG *et al.*, 2021).

A compactação ocasiona interferência no fluxo de água e ar, na resistência mecânica a penetração e temperatura que afeta diretamente nos atributos químicos (nutrientes disponíveis para planta), biológicos (desenvolvimento de microrganismos) e a rizosfera, onde se encontra as raízes da planta (CAMARGO & ALLEONI, 2006). Na figura 1, pode-se observar um sistema em que mostra as relações que podem ser afetadas de acordo com a compactação ocasionada por uma máquina ou implementos agrícolas.

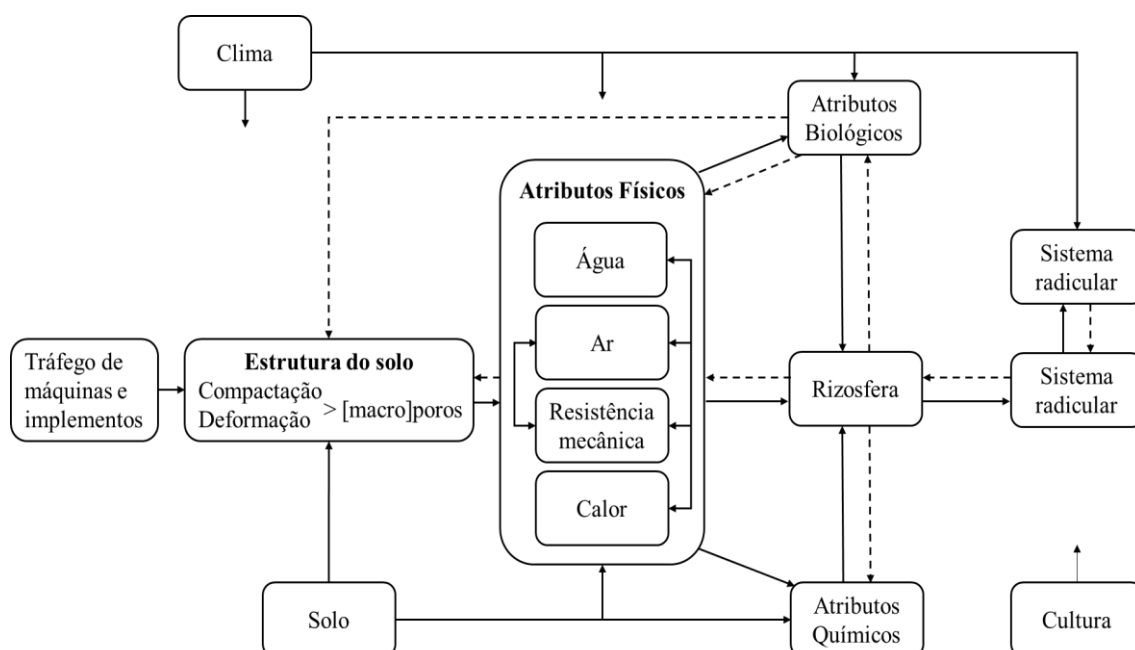


Figura 1 – Esquema simplificado de relações funcionais entre compactação do solo e crescimento de uma cultura.

Fonte – Adaptado de Boone (1986).

Já foi constatado que no sistema de plantio direto, em alguns locais as camadas superficiais sofrem com a compactação, diminuindo assim a produtividade das culturas. Em lavouras que não trabalham com rotação de culturas, esse efeito pode ser encontrado com mais frequência, sendo uma boa alternativa a rotação de culturas com plantas de cobertura, podendo melhorar a qualidade química e física do solo a longo prazo, diminuindo o efeito da compactação e permitindo que sistema radicular possa se desenvolver (REINERT *et al.*, 2008).

Obter o conhecimento de como essas propriedades físicas interage é essencial para garantir um desenvolvimento adequado da cultura, proporcionando um crescimento radicular adequado para poder fornecer nutrientes as plantas (KONZEN *et al.*, 2018).

Tráfego de máquinas

As raízes de uma planta dependem do solo para crescerem e se desenvolverem através da disponibilização de água, oxigênio e nutrientes, por isso a necessidade de o solo estar em condições ideais é fundamental, devendo apresentar porosidade que possibilitem o armazenamento de água e ar de maneira compensada para o crescimento do sistema radicular, pois,

aeração e disponibilidade hídrica são essenciais para o desenvolvimento de uma cultura (RODRIGUES, 2018).

Solos que apresentam baixo conteúdo de água, a coesão das partículas e a resistência à penetração são altas, reduzindo desta forma, a pressão nas células das raízes e a força da coifa na região meristemática (ROSSETTI & CENTURION, 2017).

As condições físicas do solo são extremamente importantes para o crescimento das plantas que ali sustentam as raízes (VAN RAIJ, 2011). As alterações nas propriedades físicas do solo são resultados do sistema de manejo empregado sob o mesmo, quando são realizadas práticas inadequadas, o solo sofre com a formação de camadas compactadas.

Em sistemas agrícolas, o uso excessivo de equipamentos agrícolas ou preparo do solo com teor de água inadequado no solo também pode resultar em maior resistência do solo (CORREA *et al.*, 2019; WANG *et al.*, 2021). Whalley *et al.* (2013) relatam que no campo, fortes camadas de solo subsuperficial confinam as raízes a camadas mais rasas do solo, limitando a penetração das raízes nas camadas mais profundas.

Uma forma de reduzir a compactação causada pelo tráfego de máquinas agrícolas é por meio de organização da passagem dos mesmos, sob o solo, pois, quando o tráfego ocorre sob condições elevadas de umidade, associada com a rotação de cultura inadequada e baixo suporte de massa seca, afeta ainda mais a penetração das raízes no solo, dificultando o desenvolvimento das plantas, afirmam Girardello *et al.* (2017).

Na pesquisa destes mesmos autores, que tiveram como objetivo avaliar a interferência dos maquinários na resistência do solo a penetração, no desenvolvimento do sistema radicular e na produtividade da soja, o tráfego controlado demonstrou-se ser uma estratégia eficiente de confinar a compactação na linha de trânsito das máquinas agrícolas, reduzindo desta maneira, a resistência a penetração, beneficiando o crescimento radicular na zona livre de trânsito.

Neste sentido, Valente *et al.* (2019) buscaram avaliar a resistência mecânica do solo à penetração em dois sistemas do solo, em Sistema de Plantio Direto (SPD) e Sistema de Plantio Convencional (SPC) e os mesmos observaram que ambos ocasionaram oscilação na resistência mecânica do

solo à penetração ao longo das camadas do solo, porém, nas camadas 0,00 – 0,10 m, a resistência foi menor no SPC, e nas camadas de 0,15 – 0,25 m o SPD apresentaram os menores valores. Os autores explicam este fato, à pressão exercida no solo pelo tráfego de maquinários específico para cada sistema de manejo, onde, em SPC há o revolvimento do solo em até 0,20 m de profundidade.

Já Lima *et al.* (2018) avaliaram a influência de quatro tipos de sistemas de uso do solo (pomar, pousio, pastagem e floresta nativa) e suas interferências na densidade do solo (Ds), resistência do solo à penetração (RP) e o teor de água do solo, fatores estes, responsáveis para o desenvolvimento adequado de um sistema radicular. Os autores observaram nestas áreas que, o pisoteio de animais e o tráfego de maquinários foram os principais responsáveis na elevação da Ds e RP.

Salomão *et al.* (2019) corroboram com os prejuízos gerados pelas passagens intensas de máquinas sobre o solo, identificando em sua pesquisa a menor presença de raízes em área de tráfego agrícola, além da compactação, danos na qualidade visual da estrutura do solo.

Savioli *et al.* (2020) destacaram, que o incremento de peso com a redução do tempo de atividades das máquinas agrícolas é favorável a redução da compactação do solo. Práticas agrícolas que mantem palha na superfície do solo é uma alternativa que age como amortecedor de impacto dos maquinários, reduzindo o efeito do recalque dos rodados que, conseqüentemente reduz a resistência do solo à penetração, favorecendo o crescimento das raízes (ROSSETTI & CENTURION, 2017).

A adoção de manejos adequados com restos culturais ou a adição de matéria orgânica contribuem com a estrutura do solo e na formação de agregados, aumentando a porosidade, favorecendo o fluxo de água, minimizando a compactação causada por máquinas, conferindo condições apropriadas para o desenvolvimento radicular (VAN RAIJ, 2011).

Para o crescimento adequado das raízes de uma planta, o sistema de produção deve contar com técnicas que mantenham a qualidade física do solo, através de manejo adequado, sem o excesso de aração, gradagem e implementos pesados que tendem a causar destruição na estrutura favorável

do solo, aumentar o número de partículas por unidade de volume e diminuir o volume ocupado pelo ar e a água (MALAVOLTA, 2006).

Tráfego de animais

O manejo do gado se bem executado pode proporcionar ao produtor rural excelentes resultados nos lucros, além de conseguir preservar bem a pastagem de sua propriedade. Quando não se tem um bom planejamento e execução do pastejo de animais, pode resultar em compactação que afeta alguns atributos físicos do solo promovendo redução na produtividade da pastagem e, conseqüentemente danificando o desenvolvimento radicular e infiltração de água no solo (NASCIMENTO *et al.*, 2017).

As propriedades físicas do solo podem ser afetadas com o pisoteio animal e o dimensionamento desse efeito tem sido analisado conforme a estrutura do solo, como a compactação, o aumento da densidade do solo, a diminuição da porosidade total, resistência do solo à penetração das raízes, adsorção e absorção de nutrientes, desenvolvimento radicular e infiltração de água (GURGEL *et al.*, 2020; NASCIMENTO *et al.*, 2017).

Para o uso da pastagem, as plantas forrageiras são utilizadas tanto como cobertura do solo quanto para alimentação animal, essas plantas de maneira geral absorvem os elementos essenciais para o seu desenvolvimento através do sistema radicular, que pode ocorrer de três formas, como a interceptação radicular, fluxo de massa e difusão, sendo que pisoteio animal pode acarretar compactação do solo e interferir diretamente nessa relação (GURGEL *et al.*, 2020).

A compactação, geralmente, é prejudicial à cultura podendo limitar a infiltração de água e o desenvolvimento radicular, mas dependendo do nível de carga que for aplicado pode ser benéfico, por exemplo, Pinheiro *et al.* (2018) relatam que a compactação sobre a linha de plantio até 340 kPa aumentou de forma linear a produção do arroz por contato do maior contato da semente com o solo.

As plantas forrageiras possuem um sistema radicular com capacidade para descompactar o solo, mas quando o pastejo não é manejado de forma

correta, o pisoteio excessivo pode fazer com que a carga animal limite a ação das raízes (GURGEL *et al.*, 2020).

Quanto maior o pisoteio na área, menor será a massa de forragem, isso implicará na redução de pastagem e com isso os animais movimentam mais ainda em busca da comida, o que faz com que mais áreas sejam pisoteadas (TORRES *et al.*, 2013).

Quando manejado de forma incorreta e não tendo o cuidado na preservação da pastagem, forma-se a trilha do boi que é o caminho construído com a passagem de vários animais, sendo que isso pode ser tornar um problema, pois aquela região deixa de produzir e conseqüentemente pode-se aumentar as áreas de pisoteio, como é relatado por Silva *et al.* (2019) em que o valor da densidade do solo foi de 1,60 mg/m³ na trilha do boi.

Um dos causadores da compactação no campo é pelo pisoteio diário dos animais e quando comparados com o tráfego de máquinas suas conseqüências são maiores como mostra a pesquisa de Konzen *et al.* (2018), onde foi estudado três diferentes áreas, uma com plantio direto já consolidada, rotação de culturas para produção de silagem e pastagem perene para criação animal, sendo às duas primeiras áreas com compactação de maquinário, foi observado que na camada superficial de 0 – 05 cm se encontrou as maiores diferenças entre as densidades dos sistemas, onde a área com silagem a densidade foi de 1,11 Mg m⁻³ e a pastagem com densidade de 1,27 Mg m⁻³.

A compactação é um dos parâmetros de indicação de qualidade do solo, pois prejudica muito o desenvolvimento da planta no campo por limitar muita a quantidade de água e ar acessível.

Fatores Químicos e Biológicos

Um dos fatores mais importante para a sobrevivência de uma planta é absorção de nutrientes, para manter-se saudável e forte para seu desenvolvimento e, assim garantir uma boa produtividade. Essa absorção ocorre por meio da disponibilidade da solução nutritiva, que contém elementos químicos que são essenciais aos vegetais.

Entretanto, o importante a se destacar na absorção pelas raízes, é que os elementos para a nutrição mineral das plantas devem estar na “solução do

solo”. Há ainda aqueles que se encontram em sua fase sólida, porém, podem ser transferidos para a solução, como os “íons trocáveis”, além disso, as raízes também se deparam com elementos que estão na fase sólida, porém, na forma não trocável, mas que podem ser solubilizados e transferidos para a solução do solo (BATISTA *et al.*, 2018).

Malavolta (2006) menciona que a absorção radicular é importante para os elementos da solução do solo ou aqueles advindos de adubo, para serem absorvidos, e este processo ocorre de três maneiras, exemplificados na figura 2: 1) Difusão: o elemento se move em uma curta distância dentro de uma fase aquosa, onde a solução do solo encontra-se em modo estacionário, ou seja, a favor do gradiente de concentração; 2) Intercepção radicular: o tamanho da raiz é fundamental para uma maior absorção, indo de encontro aos elementos disponíveis no solo e; 3) Fluxo de Massa: o elemento se encontra com a raiz através de uma fase aquosa móvel, a favor do gradiente de umidade.

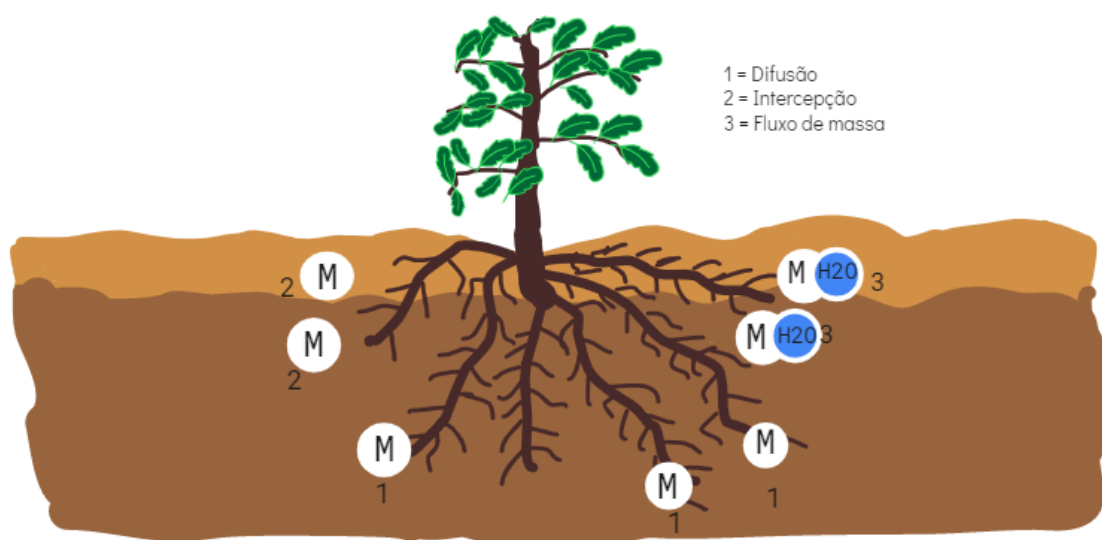


Figura 2. Formas de absorção de nutrientes pelas raízes das plantas: (1) Difusão, (2) Intercepção radicular e (3) Fluxo de massa.

Fonte. Os autores

Cada elemento tem a sua forma de entrar em contato com as raízes, no caso do fósforo (P), sua forma de alcançar as raízes, na sua maioria, ocorre por difusão (ROSOLEM, 1995). Por ser de baixa mobilidade no solo, o crescimento e a área de absorção da raiz são fundamentais para este processo, evitando sua deficiência na planta (COSTA, 2014). Algumas plantas possuem importantes características, tais quais permitem maior

aproveitamento do fósforo no solo, como uma combinação com micorrizas arbusculares. Em alguns casos, o aumento da área específica da raiz pode aumentar a absorção em até 5 vezes.

O nitrogênio (N) se encontra com a raiz por meio do fluxo de massa em conjunto com a água que se move do solo em direção a raiz (MALAVOLTA, 1980). Esse macronutriente é absorvido pelas raízes na forma de nitrato (NO_3^-) (MALAVOLTA, 1989).

Assim como o fósforo, o potássio (K) atinge as raízes das plantas, na sua maioria, por meio da difusão, porém, uma parcela considerável pode ser absorvida por fluxo de massa (RUIZ *et al.*, 1999). O mesmo ocorre com o Cálcio (Ca) e Magnésio (Mg) e Enxofre (S), este último, cerca de 90% se encontram na forma orgânica que é gradualmente mineralizado a SO_4^{2-} (sulfatos) (BATISTA *et al.*, 2018).

Um dos elementos químicos que mais interferem no desenvolvimento radicular de uma planta é o alumínio (Al). O teor de alumínio no solo, causa redução no crescimento das raízes, no entanto, este efeito varia conforme a espécie, cultivares e o solo (VASCONCELOS; GARCIA, 2005; MIGUEL *et al.*, 2010).

Miguel *et al.* (2010) ainda explicam que este elemento também contribui para a fixação de fósforo em formas menos disponíveis, além de modificar a dinâmica de absorção e transporte de diversos nutrientes, dentre eles, Ca, Mg e P. A figura 3 demonstra como o alumínio (Al^{3+}) dificulta a absorção dos nutrientes pela raiz.

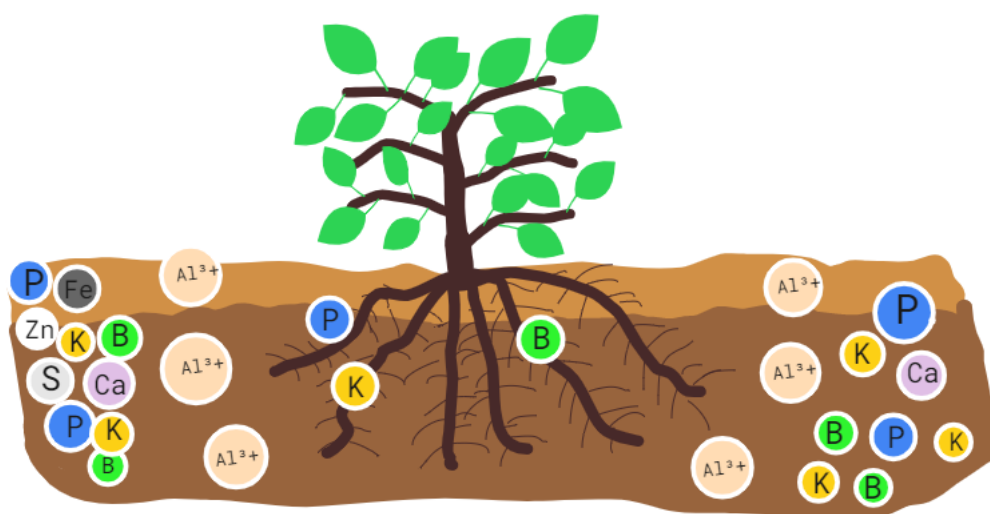


Figura 3. Presença de alumínio no solo.
Fonte. Os autores.

Teores elevados de Ca (cálcio) e Mg (magnésio) no solo favorecem na redução da atividade do Al, contribui com o desenvolvimento das raízes, além de aumentar a atividade microbiana (BATISTA *et al.*, 2018). Portanto, a aplicação de calcário diminui a toxidez por Al e Mn (manganês), aumenta a capacidade de troca catiônica e a mineralização da matéria orgânica do solo (MALAVOLTA, 2006).

Outro requisito importante para o desenvolvimento das raízes de uma planta, é a presença da matéria orgânica no solo (MOS), que contribui positivamente nos atributos físicos, químicos e biológico do solo. Solos com alto teor de matéria orgânica, favorece o desenvolvimento das raízes e conseqüentemente a eficiência nutricional das plantas (CHIODINI *et al.*, 2013; COSTA *et al.*, 2013).

No solo, vivem inúmeros seres macroscópicos e microscópicos, ou seja, uma grande diversidade de organismos importantes para o biofuncionamento e sustentação deste sistema tão complexo. Por isso, em um sistema de produção a adoção de manejos que priorizem esses microrganismos e que visem a manutenção da matéria orgânica são de extrema necessidade.

O ambiente, estágio e o desenvolvimento do vegetal são os principais responsáveis pela capacidade de absorção de cada nutriente, por isso, a forma de disponibilidade desses é um fator relevante, devido à capacidade de regular a taxa de absorção e a atividade dos diferentes sistemas de transportes. Fatores como a temperatura, umidade, aeração, pH, interações iônicas e simbióticas com outros organismos são influenciadores na absorção dos nutrientes pelas raízes (KERBAUY, 2008).

Para corroborar, Adeleke *et al.* (2021) especificam que a associação simbiótica existente entre micorrizas e rizobactérias na raiz das leguminosas, por exemplo, possibilita a interação com plantas hospedeiras para superar a deficiência de nutrientes (nitrogênio, fósforo, potássio, etc.).

Diversos fatores influenciam no desenvolvimento do sistema radicular, como os fatores físicos, exemplo das máquinas e tráfego de animais afetam a estrutura física do solo, dessa forma, compactando-o e conseqüentemente prejudicando o desenvolvimento radicular. Foi explanado que os fatores químicos e biológicos também interferem, afinal, a sobrevivência da planta depende da absorção de nutrientes pelas raízes, para nutri-las.

Todavia, é fundamental o manejo adequado desses fatores físicos, químicos e biológicos para que o sistema radicular desenvolva-se de forma vigorosa, para nutrir as plantas e assim, ter uma boa produtividade.

REFERÊNCIAS

ADELEKE, B. S.; BABALOLA, O. O.; GLICK, B. R. Plant growth-promoting root-colonizing bacterial endophytes. **Rhizosphere**, v. 20, 100433, 2021. <https://doi.org/10.1016/j.rhisph.2021.100433>.

BARBOSA, L. C. **Atributos físicos do solo e desenvolvimento radicular da cana planta em diferentes sistemas de manejo**. Dissertação (mestrado) – Universidade Estadual de Campinas, Faculdade de Engenharia Agrícola, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola Campinas, SP, 2015. <http://www.repositorio.unicamp.br/handle/REPOSIP/25676>.

BATISTA, M. A.; INOUE, T. T.; ESPER NETO, M.; MUNIZ, A. S. Princípios de fertilidade do solo, adubação e nutrição mineral. In: BRANDÃO FILHO, J. U. T.; FREITAS, P. S. L.; BERIAN, L. O. S.; GOTO, R., (orgs.). **Hortaliças-fruto**. Maringá: EDUEM, 2018, p. 113-162. <https://doi.org/10.7476/9786586383010>.

BENGOUGH, A. G.; MCKENZIE, B. M.; HALLETT, P. D.; VALENTINE, T. A. Root elongation, water stress, and mechanical impedance: a review of limiting stresses and beneficial root tip traits. **Journal of Experimental Botany**, v. 62, n.1, p. 59-68, 2011. <https://doi.org/10.1093/jxb/erq350>.

BONFIM-SILVA, E. M. **Cinza vegetal e biochar na agricultura**. Maringá, PR: Uniedusul, 2020. <https://www.uniedusul.com.br/wp-content/uploads/2020/11/E-BOOK-CINZA-VEGETAL-NA-AGRICULTURA.pdf>.

BOONE, F. R. Towards soil compaction limits for crops grows. **Netherlands Journal of Agricultural Science**, v. 34, p. 349-360, 1986. File:///C:/Users/user/Downloads/16788-Article%20Text-17909-1-10-20200221%20(1).pdf.

CAMARGO, O. A.; ALLEONI, L. R. F. **Conceitos Gerais de Compactação do solo**. 2006. Artigo em Hypertexto. Disponível em: <<http://www.infobibos.com/Artigos/CompSolo/Comp1.htm>>. Acesso em: 9/10/2021.

CENTENARO, G.; HUDEK, C.; ZANELLA, A.; CRIVELLARO, A. Root-soil physical and biotic interactions with a focus on tree root systems: A review, **Applied Soil Ecology**, v. 123, p. 318-327, 2018. <https://doi.org/10.1016/j.apsoil.2017.09.017>

CHIODINI, B. M.; SILVA, A. G.; NEGREIROS, A. B.; MAGALHÃES, L. B. Matéria orgânica e a sua influência na nutrição de plantas. **Cultivando o saber**, Cascavel, v. 6, n. 1, p. 181–190, 2013.

CORREA, J.; POSTMA, J. A.; ATT, M.; WOJCIECHOWSKI, T. Soil compaction and the architectural plasticity of root systems. **Journal of Experimental Botany**, v.20, n. 21, p. 6019-6034, 2019. <https://doi.org/10.1093/jxb/erz383>.

COSTA, A. R. **Nutrição Mineral em plantas vasculares**. Edição: Escola de Ciências e Tecnologia da Universidade de Évora, 2014. ISBN: 978-989-97060-9-5.

COSTA, E. M.; SILVA, H. F.; RIBEIRO, P. R. A. Matéria orgânica do solo e o seu papel na manutenção e produtividade dos sistemas agrícolas. **Enciclopédia Biosfera**, Goiânia, v.9, n.17; p. 2013.

GIRARDELLO, V. C.; AMADO, T. J. C.; SANTI, A. L.; LANZANOVA, M. E.; TASCA, A. Resistência do solo à penetração e desenvolvimento radicular da soja sob sistema plantio direto com tráfego controlado de máquinas agrícolas. **Scientia Agraria**, v. 18, n. 2, p. 86–96, 2017. <http://dx.doi.org/10.5380/rsa.v18i2.50693>

GURGEL, A. L. C.; SANTANA, J. C. S.; THEODORO, G. F.; DIFANTE, G. S.; ALMEIDA, E. M.; ARCANJO, A. H. M.; COSTA, C. M.; COSTA, A. B. G.; FERNANDES, P. B. Compactação do solo: Efeitos na nutrição mineral e produtividade de plantas forrageiras. **Revista Científica Rural**, v. 22, n. 1, p. 13–29, 2020. DOI: 10.30945/rcr-v22i1.3154.

KERBAUY, G. B. **Fisiologia vegetal** - 2.ed. - Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 2008.

KONZEN, A. M.; BORTOLI, J. GOMES, P. R.; SORDI, A.; CERICATO, A. Propriedades físicas do solo em diferentes sistemas de uso e manejo. **Unoesc & Ciência - ACET**, v. 9, n. 2, p. 183-190, 2018. <https://portalperiodicos.unoesc.edu.br/acet/article/view/13031>.

LIMA, A. S.; SILVA, J. J. C.; LACERDA, N. M.; BARROS, D. L.; GOMIDE, P. H. O. Atributos físicos do solo sob diferentes manejos no sul de Roraima. **Revista Ambiente: Gestão e Desenvolvimento**, v. 11, n.01, 2018. <https://doi.org/10.24979/153>.

MALAVOLTA, E. **ABC da adubação**. Piracicaba: Agronômica Ceres LTDA, 1989. 292p.

MALAVOLTA, E. **Elementos de nutrição mineral de plantas**. Piracicaba: Agronômica Ceres, 1980. 251p.

MALAVOLTA, E. **Manual de nutrição mineral de plantas**. São Paulo: Editora Agronômica Ceres, 2006.

MIGUEL, P. S. B.; GOMES, F. T.; ROCHA, W. S. D.; MARTINS, C. E.; CARVALHO, C. A.; OLIVEIRA, A. V. Efeitos tóxicos do alumínio no

crescimento das plantas: mecanismos de tolerância, sintomas, efeitos fisiológicos, bioquímicos e controles genéticos. **CES Revista - Centro de Ensino Superior de Juiz de Fora**, v. 24, p. 10-30, Juiz de Fora, 2010.

MOREIRA, M. F. **Desenvolvimento do sistema radicular e da parte aérea do feijoeiro comum em função da distribuição e do teor de fósforo no solo**. Tese (doutorado) – Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Piracicaba, 2004.

NASCIMENTO, V. N.; ALMEIDA, G. L. P.; BATISTA, P. H. D.; COUTINHO, A. S. Atributos físicos do Neossolo Regolítico distrófico sob pastagem submetido à colheita mecanizada da forragem e pastejo animal. **Boletim de Indústria Animal**, v.74, n.3, p.169-175, 2017. <https://doi.org/10.17523/bia.v74n3p169>.

PINHEIRO, V.; NASCENTE, A. S.; STONE, L. F. Compactação sobre o sulco de plantio e tratamento de sementes na produtividade do arroz de terras altas. **Agrarian**, v.11, n.39, p.6-13, 2018. <https://doi.org/10.30612/agrarian.v11i39.5267>.

VAN RAIJ, B. **Fertilidade do solo e manejo de nutrientes**. Piracicaba: International Plant Nutrition Institute, 2011.

REINERT, D.J.; ALBUQUERQUE, J. A.; REICHERT, J. C.; AITA, C.; ANDRADA, M.M.C. Limites críticos de densidade do solo para o crescimento de raízes de plantas de cobertura em Argissolo Vermelho. **Revista Brasileira de Ciências do Solo**, 32:1805-1816, 2008. <https://doi.org/10.1590/S0100-06832008000500002>.

RODRIGUES, R. A. S. **Ciência do Solo: Morfologia e Gênese**. Londrina: Editora e Distribuidora Educacional S.A, 2018.

ROSOLEM, C.A. **Relações solo-planta na cultura do milho**. Jaboticabal: Funep, 1995.

ROSSETTI, K. V.; CENTURION, J. F. Indicadores de qualidade em Latossolos compactados e suas relações com o crescimento do sistema radicular do milho. **Revista Agro@Mambiente On-Line**, v. 11, n. 3, p. 181–190, 2017. <http://dx.doi.org/10.18227/1982-8470ragro.v11i3.3845>.

RUIZ, H. A.; MIRANDA, J. & CONCEIÇÃO, J.C.S. Contribuição dos mecanismos de fluxo de massa e de difusão para o suprimento de K, Ca, Mg às plantas de arroz. **Revista Brasileira de Ciência Solo**, 23:1015-1018, 1999.

SALOMÃO, H. M.; JÚNIOR, F. B. P.; AIOLFI, R. B.; REISDOERFER, C. E. C.; SUCHORONCZEK, A. **Avaliação visual da estrutura do solo em pastagem permanente e lavoura**. VI Reunião Paranaense de Ciência do Solo – RPCS, Ponta Grossa, 2019.

SAVIOLI, J. S.; SANTOS, F. F.; LEITE, F.; LOPES, R. A. P. Operational performance and physical attributes of the soil under traffic of agricultural tractors. Desempenho operacional e atributos físicos do solo sob tráfego de trator agrícola. **Research, Society and Development**, v. 9, n. 11, 2020. <http://dx.doi.org/10.33448/rsd-v9i11.9903>.

SILVA, A. S.; COSTA, G. C. P.; TÁVORA, G. S. G.; SELIGER, R. Influência do pisoteio do gado na alteração das propriedades físicas de horizontes superficiais em Santo Antônio de Pádua. **Geo UERJ**, Rio de Janeiro, n. 35, e46650, 2019. <https://doi.org/10.12957/geouerj.2019.46650>.

TORRES, J. L. R.; JUNIOR, D. J. R.; VIEIRA, D. M. S. Alterações nos atributos físicos do solo em função da irrigação e do pastejo rotacionado. **Irriga**, v. 18, n. 3, p. 558–571, 2013. <https://doi.org/10.15809/irriga.2013v18n3p558>.

VALENTE, G. F.; SILVA, V. F. A.; SILVA, J. N.; PINTO, D. R. S.; GALVÃO, J. R. Resistência mecânica à penetração em sistemas de manejo do solo. **Revista Verde**, v. 14, n. 1, p. 140, 2019. DOI: 10.18378/rvads.v14i1.5892.

VANNOPPEN, W.; VANMAERCKE, M.; DE BAETS, S.; POESEN, J. A review of the mechanical effects of plant roots on concentrated flow erosion rates. **Earth-Science Reviews**, v. 150, p. 666-678, 2015. <https://doi.org/10.1016/j.earscirev.2015.08.011>.

VASCONCELOS, A. C. M. DE; GARCIA, J. C. **Cana-de-Açúcar: Ambientes de produção**. Encarte Técnico - Informações Agronômicas, v. Nº 110, n. 62, p. 1–5, 2005. Disponível em: https://www.agencia.cnptia.embrapa.br/Repositorio/Encarte110_desenvolvimento_radicular_000fizw8owz02wyiv802hvm3jdeqc1jc.pdf. Acesso em: 03/03/2022.

WANG, X.; SHEN, J.; HEDDEN, P.; PHILLIPS, A. L.; THOMAS, S. G.; GE, Y.; ASHTON, R. W.; WHALLEY, W. Wheat growth responses to soil mechanical impedance are dependent on phosphorus supply. **Soil and Tillage Research**, v. 205, 104754, 2021. <https://doi.org/10.1016/j.still.2020.104754>.

WHALLEY, W. R.; DODD, I. C.; WATTS, C. W.; WEBSTER, C. P.; PHILLIPS, A. L.; ANDRALOJJC, J.; WHITE, R. P.; DAVIES, W. J.; PARRY, M. A. J. Genotypic variation in the ability of wheat roots to penetrate wax layers, **Plant and Soil**, v. 364, p. 171-179, 2013. <https://doi.org/10.1007/s11104-012-1342-0>.

Capítulo 03

ESTRESSE HÍDRICO E RAÍZES DAS PLANTAS

EDNA MARIA BONFIM-SILVA

NICLENE PONCE RODRIGUES DE OLIVEIRA

LUANA APARECIDA MENEGAZ MENEGHETTI

ALISSON SILVA COSTA

RENATA VILALBA REIS

TONNY JOSÉ ARAÚJO DA SILVA

RESUMO: As plantas se adaptam ao ambiente em constante mudança de várias maneiras, levando a uma grande variedade de formas de crescimento de complexidade variável, especialmente quando um ou mais recursos essenciais são escassos ou ausentes. A água é um recurso decisivo no desenvolvimento e crescimento das plantas durante seus ciclos de vida, ao mesmo tempo em que é considerado o mais limitante. Um dos principais fatores causadores de estresse nas plantas é a disponibilidade hídrica, e pode ocorrer tanto pelo déficit quanto pelo alagamento temporário ou prolongado, pois a falta e o excesso desse recurso alteram os aspectos morfológicos, fisiológicos, bioquímicos e metabólicos. As plantas experimentam o estresse hídrico quando o suprimento de água para suas raízes se torna limitante ou quando a taxa de transpiração torna-se intensa. O déficit hídrico ocorre quando há falta de água no momento em que a planta necessita para o seu desenvolvimento pleno. Já o excesso hídrico pode ser entendido como a quantidade de água no solo é maior do que a planta tem capacidade de absorver. O conhecimento do desempenho das plantas em condições de estresse hídrico permite o uso de práticas de manejo viáveis para melhorar o cultivo.

Palavras-chave: Sistema radicular; Déficit hídrico; Estresse hídrico.

ABSTRACT: The plants adapt to the ever-changing environment in many ways, leading to a wide variety of growth forms of varying complexity, especially when one or more essential resources are scarce or absent. Water is a decisive resource in the development and growth of plants during their life cycles, while being considered the most limiting. One of the main factors causing stress in plants is water availability, and it can occur either by deficit or by temporary or prolonged flooding, because the lack and excess of this resource alters the morphological, physiological, biochemical and metabolic aspects. The plants experience water stress when the water supply to their roots becomes limiting or when the rate of transpiration becomes intense. The water deficit occurs when there is a lack of water when the plant needs it for its full development. The excess water can be understood as the amount of water in the soil is greater than the plant is able to absorb. Knowledge of plant performance under water stress conditions allows the use of viable management practices to improve cultivation.

Keywords: Root system. Water deficit. Water stress.

INTRODUÇÃO

A água é um dos fatores ambientais decisivos no funcionamento e crescimento das plantas, ao mesmo tempo em que é considerado o mais limitante. Age como solvente e meio transportador de nutrientes minerais e substâncias orgânicas, também é responsável pela manutenção da turgescência e expansão das células. A disponibilidade hídrica é um dos principais fatores causadores de estresse nas plantas.

O termo estresse hídrico é frequentemente definido como um fator externo, que exerce influência negativa nas plantas. O estresse hídrico também pode ser classificado como déficit hídrico, a insuficiência de água no solo, ou como saturação hídrica, excesso de água no solo (ANDRADE *et al.*, 2020; MAMÉDIO *et al.*, 2020). O desenvolvimento das plantas fica prejudicado tanto pelo excesso quanto pela falta de água. Com excesso de água, as raízes podem ficar sufocadas e terão que se esforçar para obter oxigênio, em contrapartida a desidratação pode dificultar o controle de calor. Gao *et al.* (2020) complementam quando dizem que entre os estressores, a seca e as inundações são consideradas os principais fatores que restringem os rendimentos das culturas, pois têm efeitos negativos na fotossíntese, no teor de proteína, na expansão foliar e na respiração.

Conhecer o desempenho das plantas em condições de estresse hídrico é importante para a adoção de manejos viáveis para melhorar o cultivo, como no período das secas por exemplo. Osakabe *et al.* (2014) reforçam que é essencial compreender os vários mecanismos reguladores que controlam e aumentam as respostas adaptativas ao estresse em diferentes espécies de planta, pois o entendimento desses fatores-chave permitirá melhorar a produtividade da planta durante o estresse hídrico.

ESTRESSE HÍDRICO

Para um desenvolvimento saudável, crescimento e reprodução, as plantas precisam de água suficiente durante seus ciclos de vida e o estresse hídrico é um fator ambiental que limita o crescimento e a produção das culturas (FATIUKHA *et al.*, 2021; GHOLAMI & ZAHEDI, 2019; GOMAA *et al.*, 2021) e

altera os aspectos morfológicos, fisiológicos, bioquímicos e metabólicos das plantas (HOSSEINI & JALILIAN & GHOLINEZHAD, 2021; IRANI; MAJIDI & MIRLOHI, 2015; LISAR *et al.*, 2012).

Por ser um dos fatores ambientais decisivos na produção dos vegetais a água pode comprometer as funções vitais (ex.: absorção de nutrientes, condução de seiva, transpiração e movimentos estomáticos) ou estimular reações adaptativas que as tornas capazes de sobreviverem por longos períodos de estresse hídrico (JONES *et al.*, 2021; KROTH, 2013; OSAKABE *et al.*, 2014).

Todas as plantas têm tolerância a estresse hídrico, mas a extensão varia de espécie para espécie (LISAR *et al.*, 2012). Ainda de acordo com Lisar *et al.* (2012), as plantas experimentam o estresse hídrico quando o suprimento de água para suas raízes se torna limitante ou quando a taxa de transpiração torna-se intensa. Sob estresse hídrico, a absorção de nutrientes pelas raízes é reduzida devido ao volume reduzido de água no solo, bem como a distribuição reduzida de nutrientes na textura do solo (HOSSEINI; JALILIAN & GHOLINEZHAD, 2021).

Geralmente, as plantas usam como mecanismos de defesa contra o estresse, a redução da fotossíntese, o mais importante processo fisiológico que regula o desenvolvimento e produtividade das plantas (SEIAM & SALLAM, 2021), desenvolvimento de sistemas radiculares para reduzir a exposição ao estresse (LI *et al.*, 2021; PIERIK & TESTERINK, 2014), alterações nos pigmentos fotossintéticos, níveis de antioxidantes e acúmulo de osmólitos compatíveis, como a prolina (IRANI; MAJIDI & MIRLOHI, 2015) que causam a murcha (LISAR *et al.*, 2012), diminuição da área foliar e fechamento dos estômatos (SANTOS *et al.*, 2013), além disso, causa maiores quantidades de folhas necróticas devido à transpiração estomática das folhas e uma senescência acelerada da planta (DUMONT *et al.*, 2015).

O fechamento dos estômatos estão mais intimamente relacionados a umidade do solo do que ao estado da água na folha, controlado principalmente por sinais químicos como o ABA (ácido abscísico) produzido na desidratação de raízes (LISAR *et al.*, 2012). Souza & Barbosa (2015), explicam que a planta, ao perceber a redução do potencial de água no solo, gera um sinal para as folhas via ABA pela corrente transpiratória, induzindo o fechamento dos

estômatos, de modo a reduzir a perda de água através da transpiração (Figura 1).

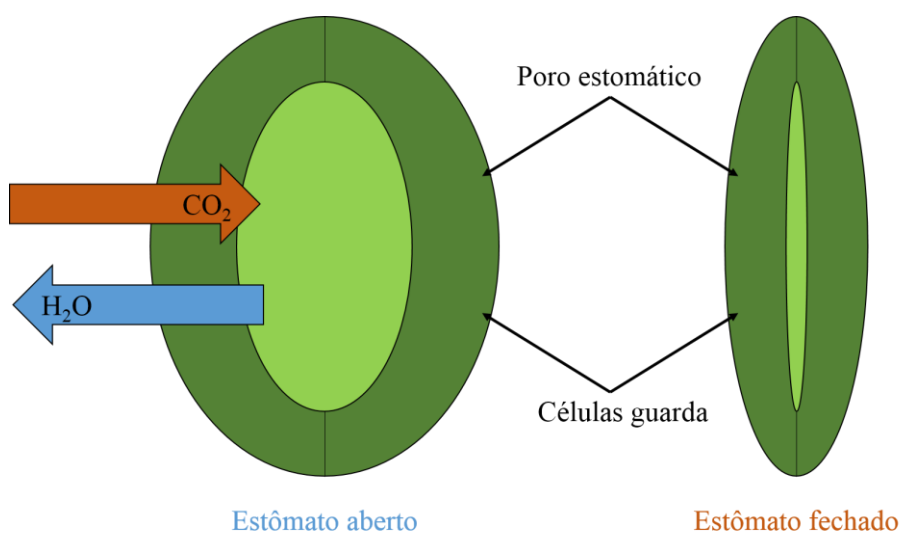


Figura 1. Abertura e fechamento do poro estomático.
Fonte. Adaptado de Souza; Barbosa (2015).

Estresse por déficit hídrico

O estresse por déficit hídrico é um grande problema na agricultura e a maioria das plantas agrícolas apresenta alta sensibilidade a esse estresse do que outras condições de restrição abiótica (KACHOUT *et al.*, 2021). A seca é considerada a condição mais destrutiva (LAMBERS; CHAPIN & PONS, 2008; RAHMAN *et al.*, 2019), porque à medida em que o solo seca, torna-se mais difícil às plantas absorverem água, pois aumenta a força de retenção e diminui a disponibilidade de água (SANTOS & CARLESSO, 1998), e isso limita a produtividade da planta, afeta negativamente o crescimento vegetativo, características morfológicas, biomassa de matéria seca e peso de semente (IRANI; MAJIDI & MIRLOHI, 2015).

Segundo Cavalcante; Cavallini & Lima, 2009; Santos & Carlesso, (1999), os mecanismos de resistência à seca podem ser de três tipos: “evitar”, “tolerar” e “escapar”. No evitar, as plantas fecham os estômatos e aprofundam o sistema radicular para explorar um volume maior de solo; o tolerar está relacionado à habilidade da planta em manter o equilíbrio de suas funções fisiológicas em condições de déficit hídrico, e o escapar ocorre quando a planta

antecipa o ciclo de desenvolvimento (CAVALCANTE; CAVALLINI & LIMA, 2009).

As estratégias primárias das plantas são fuga à seca, prevenção da desidratação e tolerância à desidratação (GARCÍA-FAVRE *et al.*, 2021; TURNER, 1986). A aclimatação da planta à seca é indicada pelo acúmulo de novos metabólicos associados as capacidades estruturais para melhorar o funcionamento da planta sob estresse hídrico (LISAR *et al.*, 2012). Lisar *et al.*, (2012) ainda afirmam que a seca é uma situação que reduz o potencial hídrico da planta e turgor ao ponto das plantas enfrentarem dificuldades nas funções normais de execução fisiológica e, que sob seca prolongada, muitas plantas desidratam e morrem. Além disso, acelera a taxa de necrose foliar, clorose, senescência e reduz pigmentos fotossintéticos, que regula para baixo as atividades fotossintéticas, expansão da área foliar, resultando em menor biomassa e produtividade e as vezes na mortalidade total das culturas (DINH *et al.*, 2017; VERMA *et al.*, 2020, VERMA *et al.*, 2021).

Segundo Ben-Amar *et al.* (2020), o enrolamento das folhas está entre as características morfológicas previstas para manter a produção em condições de limitação de água, além disso, permite que a planta sob estresse hídrico reduza a área foliar exposta, a transpiração e as trocas gasosas através dos estômatos.

Os principais aspectos das respostas da planta a água envolve a manutenção do equilíbrio iônico e ajuste osmótico, contra a ação aos danos resultantes e seu rápido reparo, como eliminação de ROS (espécies reativas de oxigênio) e diminuir o estresse oxidativo, a regulação e recuperação do crescimento (LISAR *et al.*, 2012). O ajuste osmótico é um dos mecanismos de adaptação ao déficit hídrico desenvolvidos pelas plantas que permite a redução do potencial hídrico, dessa forma, possibilita a absorção de água de solos com menor disponibilidade hídrica (SANTOS *et al.*, 2013). Gramíneas temperadas, sujeitas a níveis moderados a baixos de umidade do solo, evitam a desidratação por meio do desenvolvimento de um ajuste osmótico mais profundo da raiz e da folha (GARCÍA-FAVRE *et al.*, 2021).

Os efeitos negativos na nutrição mineral (absorção e transporte de nutrientes) e metabolismo leva a uma diminuição na área foliar e na partição de assimilados entre os órgãos (LISAR *et al.*, 2012). Santos *et al.*, (2013)

observaram que a osmorregulação, aprofundamento do sistema radicular, aumento da senescência foliar são mecanismos de resposta ao déficit hídrico observados nas cultivares de *Brachiaria brizantha* Marandu e BRS Piatã.

O déficit hídrico estimula a expansão do sistema radicular para zonas mais profundas e úmidas do perfil do solo (SANTOS & CARLESSO, 1998), como pode ser observado na figura 2, em que o alongamento da raiz do *Panicum maximum* cv. BRS Zuri submetido à 25% da capacidade máxima de retenção de água no solo foi maior em relação as outras disponibilidades hídricas em casa de vegetação, isso ocorre devido ao secamento da superfície do solo.

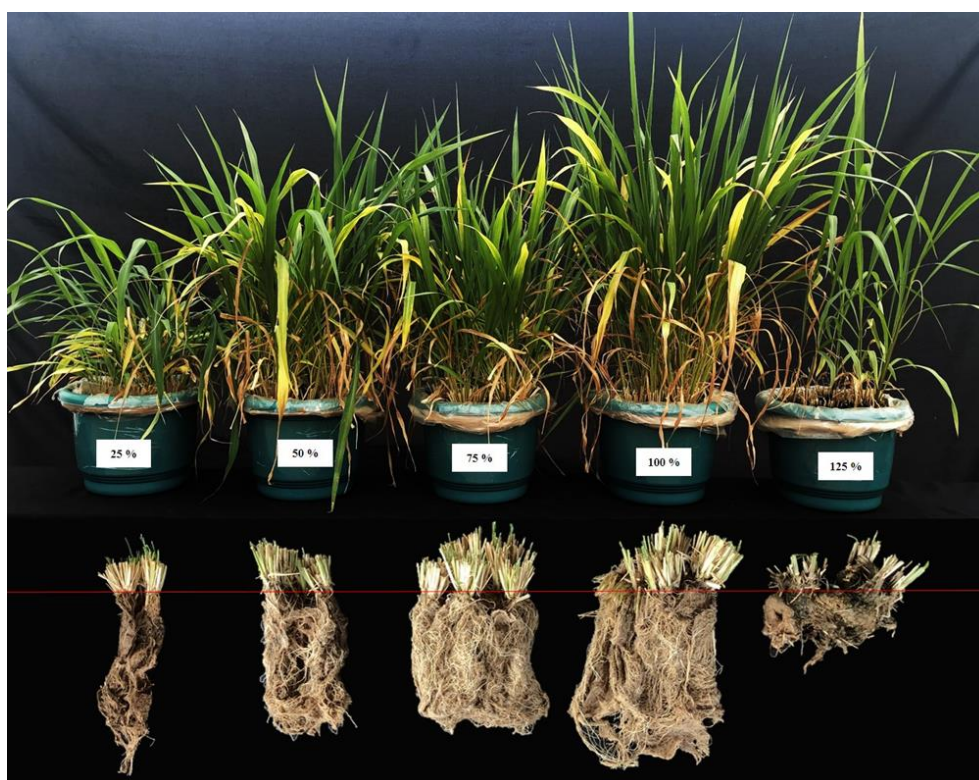


Figura 2. *Panicum maximum* cv. BRS Zuri submetido a disponibilidades hídricas de 25, 50, 75, 100 e 125% da capacidade máxima de retenção de água no solo.

Fonte. Os autores.

Estresse por alagamento e inundação

Todas as plantas precisam de água para a vida, mas água em excesso, encharcamento ou inundação, resulta em estresse e evita trocas de gás entre o solo e a atmosfera (ZHOU *et al.*, 2020).

O alagamento do solo, refere-se à situação em que os poros do solo estão saturados de água. Geralmente ocorre por chuva ou depósitos de água de irrigação na superfície do solo ou subsolo por período prolongado de tempo (HOSSAIN & UDDIN, 2011). As plantas sujeitas ao alagamento possuem sua condutância estomática afetada e reduz as taxas de fotossíntese e de crescimento, resultando em queda da produção da parte aérea e de raízes (BONFIM-SILVA *et al.*, 2011).

Os fenótipos de escape ao alagamento compreendem o alongamento aprimorado do rebento, formação de vazios preenchidos com ar interconectados (aerênquima), indução de barreiras para a perda radial de oxigênio nas raízes, desenvolvimento de raízes adventícias, formação de filmes de gás nas superfícies das folhas (VOESENEK & BAILEY-SERRES, 2015).

O aerênquima está presente constitutivamente em muitas plantas de terras úmidas e induzida por estresse de inundação em algumas espécies de terras secas. Ela se desenvolve em tecidos existentes de raízes e ramos, tecidos secundários ou órgãos recém-formados, como as raízes adventícias (VOESENEK & BAILEY-SERRES, 2015). Um extenso sistema de aerênquima é extremamente eficaz sob condições de alagamento (LORETI *et al.*, 2016) que facilita a difusão do gás entre as raízes e o ambiente aéreo (JOSHI & KUMAR, 2012).

O alagamento do solo na zona de enraizamento das plantas é influenciado por vários fatores, incluindo clima, quantidade de água que se move através ou sobre a superfície do solo, e o uso da água pelas plantas e outros organismos (KAUR *et al.*, 2020). Quando as plantas encontram o encharcamento do solo ou inundações, as raízes são os primeiros órgãos a serem confrontados com a redução da difusão de gás, resultando em fornecimento limitado de oxigênio (EYSHOLDT-DERZSÓ & SAUTER, 2017, 2019). Raízes e rizomas são órgãos essencialmente aeróbios, a cessação da respiração aeróbia como consequência do alagamento resulta em uma queda de nível de energia das células da raiz e na absorção e transporte de íons pelas plantas, o que é fatal (GU *et al.*, 2019).

Outra adaptação comum ao alagamento é a formação de raízes adventícias que ajudam manter a difusão do gás sob submersão e, em algumas situações substituem funcionalmente os sistemas de raízes primárias

que podem ser deterioradas durante o alagamento devido à deficiência de oxigênio (DAWOOD *et al.*, 2014).

O crescimento de raízes adventícias é uma resposta adaptativa comum a inundações, pois facilitam a absorção de minerais, água e oxigênio, e ancoragem da planta durante a fase pós-submersão (EYSHOLDT-DERZSÓ & SAUTER, 2019). As raízes adventícias normalmente crescem nas camadas mais bem aeradas do solo durante o alagamento ou flutuam em águas de inundação (DAWOOD *et al.*, 2014), como mostrado na figura 2 e 3, raízes adventícias do *Panicum maximum* cv. BRS Zuri submetido a 125% da capacidade máxima de retenção de água no solo.



Figura 3. Raízes adventícias do *Panicum maximum* cv. BRS Zuri submetido a alagamento.

Fonte. Os autores.

Dentre as espécies vegetais e até mesmo entre as cultivares da mesma espécie podem responder de maneira diferente ao estresse hídrico por alagamento. Nesse contexto, pesquisa realizada Kroth (2013) visando estudar o desenvolvimento de cultivares de *Brachiaria brizantha* sob disponibilidades hídricas do solo demonstram que existe diferenças em respostas das cultivares

no desenvolvimento das raízes quando submetida ao estresse alagamento (Figura 4).



Figura 4. Desenvolvimento de raízes adventícias das cultivares de *Brachiaria brizantha*, Marandu (A), Piatã (B) e Xaraés (C) sob disponibilidades hídricas em Neossolo Flúvico. **Fonte.** Kroth (2013).

Em estudo realizado por César Soares (2019) com três cultivares de trigo (BRS 394, BRS 254 e BRS 264) submetidos a cinco disponibilidades hídricas (5, 15, 25, 35 e 45 kPa) (Figura 5), observou que o volume de raízes das cultivares de trigo foi influenciado pelas tensões de forma isolada, pois à medida que aumentavam as tensões de água no solo diminuía o volume de raízes (Figura 5)

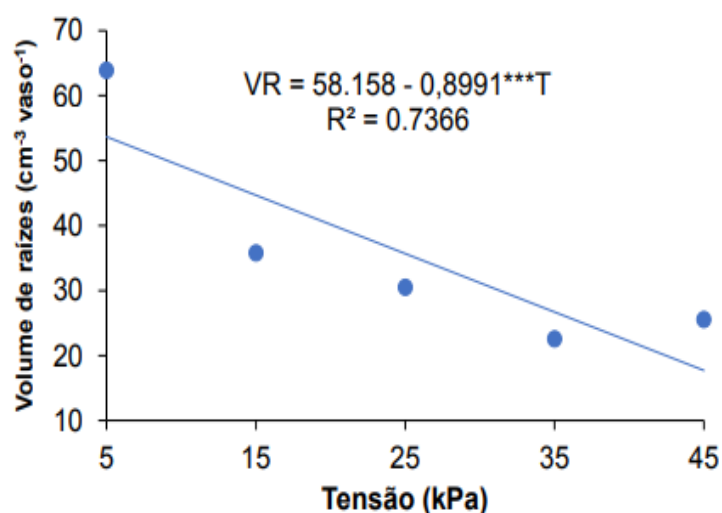


Figura 5. Volume de raízes do trigo sob cinco disponibilidades hídricas. **Fonte.** César Soares (2019).

A redução da atividade das raízes sob o alagamento causa uma diminuição significativa no conteúdo de água da planta causando amarelecimento das folhas (KAUR *et al.*, 2019; STEFFENS *et al.*, 2005). Na

parte aérea, o excesso de água pode induzir à clorose, murchamento prematuro, queda da capacidade fotossintética do potencial hídrico e da concentração de nutrientes nas folhas e redução de crescimento (VISSER *et al.*, 2003).

Sob alagamento por um período prolongado cria um *habitat* dinâmico para os organismos do solo por ciclos de secagem e reumedecimento, diante disso, esses organismos precisam adaptar-se às mudanças na atividade osmótica e redução da disponibilidade de oxigênio, além disso, as características relacionadas à resistência e resiliência a esses estresses podem incluir a formações de esporos, produção de osmoprotetores e estruturas de parede celular (GSCHWEND *et al.*, 2020).

O alagamento também promove perdas de N do solo por escoamento, lixiviação e desnitrificação (KAUR *et al.*, 2020). No entanto, as perdas de N devido ao alagamento reduzem a absorção de N pelas plantas e a eficiência do uso de nutrientes afetam a qualidade das águas superficiais e subterrâneas.

De acordo com Kaur *et al.* (2020), a inundação refere-se à situação em que toda ou parte da planta está submersa na água, impacta negativamente a biodiversidade vegetal e a agricultura, é um estresse sequencial em que a tolerância é fortemente dependente da viabilidade subaquática e durante o período pós-inundação (YEUNG *et al.*, 2018).

Plantas adaptadas, como muitas espécies pantanosas (PARK & LEE, 2019; PEZESHKI, 2001), também apresentam adaptações morfológicas e de crescimento que lhes permitem lidar com o estresse de inundações a longo prazo (DAWOOD *et al.*, 2014). As inundações são uma causa comum de hipóxia (baixa disponibilidade de oxigênio) ou anóxia (inexistência de oxigênio) em plantas (EYSHOLDT-DERZSÓ & SAUTER, 2017). A hipóxia ou anóxia é um fenômeno que ocorre em ambiente do solo à medida que o oxigênio do solo é reduzido a um ponto abaixo do nível ideal (HOSSAIN & UDDIN, 2011).

Em condições normais, esse fenômeno ocorre com frequência em áreas sujeitas a inundações, onde o solo passa parte do ano alagado, como no caso do Pantanal (OLIVEIRA & GUALTIERI, 2017), que em poucas horas, o oxigênio disponível para o processo respiratório desaparece e o sistema radicular da vegetação passa para um ambiente hipóxico ou anóxico (SCREMIN-DIAS *et al.*, 2011).

Solos inundados são rapidamente esgotados de oxigênio, à medida que a água preenche os espaços de ar existentes, os microrganismos e raízes que respiram consomem o oxigênio disponível, levando a um ambiente anóxico (SASIDHARAN *et al.*, 2018). Devido às condições de alagamento, as raízes não conseguem explorar um grande volume de solo e tendem a crescer perto da superfície do solo (SAIRAM *et al.*, 2008).

A hipóxia é um dos principais estresses abióticos, causado principalmente por inúmeros eventos de inundação, como alagamento e submersão (WANG *et al.*, 2021; XIE *et al.*, 2020) e tem efeitos prejudiciais no crescimento, desenvolvimento, distribuição e produtividade das plantas. Para sobreviver ao estresse de baixo oxigênio, as plantas desenvolveram um conjunto de adaptações morfológicas, fisiológicas e bioquímicas permitindo que resistam ou escapem de ambientes com baixo teor de oxigênio, alterando seu metabolismo e crescimento (XIE *et al.*, 2020).

Para se manter vivas, as células vegetais mudam da respiração aeróbia para a fermentação anaeróbica, resultando no acúmulo de metabólitos tóxicos, como ácido láctico, acetaldeído e etanol e, vários ácidos graxos de cadeia curta e fenólicos, definidos como fitotoxinas do solo (BAILEY-SERRES & VOESENEK, 2008), podem ter efeitos adversos significativos no crescimento da planta e na qualidade do solo (GU *et al.*, 2019).

As plantas respondem ao estresse de inundação mediando mudanças em sua arquitetura, metabolismo de energia, fotossíntese, respiração e biossíntese/ sinalização de fitormônios endógenos, como a respiração aeróbica é inibida sob estresse de inundação, a diminuição do metabolismo energético restringe ainda mais o desenvolvimento da planta (ZHOU *et al.*, 2020). Xie *et al.* (2020) explicam que durante as inundações, as plantas terrestres enfrentam desafios em condições subaquáticas, porque o declínio na difusão do gás sob essas condições limita a capacidade das células vegetais de adquirir dióxido de carbono para a fotossíntese e oxigênio para a respiração.

A oxirredução potencial (potencial redox ou Eh) é uma medida de grau de redução do solo e o número de elétrons livres trocados em reações redox (TOKARZ & URBAN, 2015). O excesso de água causa uma diminuição acentuada no potencial redox do solo, resultando em mudanças significativas no perfil do solo, além disso, leva a uma alta pressão parcial de dióxido de

carbono na zona da raiz, e isso resulta em sérias consequências para o crescimento e metabolismo da raiz (GU *et al.*, 2019).

Um fator que influencia as reações redox nos solos é o pH (MAYAKADUWAGE *et al.*, 2021), já que a maioria das bactérias redutoras são inativas em pH <5 (NECULITA *et al.*, 2007). O pH após o solo ser inundado, independentemente de sua origem antes da inundação, se aproximará da neutralidade (pH 6,5 a 7,5) (SIAM *et al.*, 2019), ou seja, o pH de solos alcalinos diminui e o pH de solos ácidos aumenta. A mudança no pH após as inundações podem levar várias semanas, e isso depende do solo, níveis de matéria orgânica, população microbiana, temperatura, e outras propriedades químicas do solo (SIAM *et al.*, 2015).

O estresse desempenha papel importante na determinação de como o solo limita a distribuição de espécies vegetais. Uma planta submetida ao estresse hídrico poderá produzir menos e com menor qualidade, e ter sua fisiologia afetada, portanto, o conhecimento do desempenho das plantas em condições de estresse hídrico permite o uso de práticas de manejo viáveis para melhorar o cultivo em situação de déficit hídrico e ao estresse por excesso de água.

O déficit hídrico é normalmente o fator mais limitante para o desenvolvimento das plantas, mas o excesso também pode ser prejudicial.

REFERÊNCIAS

ANDRADE, R. S.; NAVROSKI, M. C.; PEREIRA, M. O.; SÁ, A. C. S. Morphological and physiological variation in *Toona ciliata* under water and salinity stress. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 50, n. 6, p. 1–7, 2020. DOI: 10.1590/0103-8478cr20190581.

BAILEY-SERRES, J.; VOESENEK, L. A. C. J. Flooding stress: Acclimations and genetic diversity. **Annual Review of Plant Biology**, v. 59, p. 313–319, 2008. DOI: 10.1146/annurev.arplant.59.032607.092752.

BEN-AMAR, A.; MAHBOUB, S.; BOUIZGAREN, A.; MOURADI, M.; NSARELLAH, N. E.; BOUHMADEI, K. E. Relationship between leaf rolling and some physiological parameters in durum wheat under water stress. **African Journal of Agricultural Research**, v. 16, n. 7, p. 1061–1068, 2020. DOI: 10.5897/AJAR2020.14939.

BONFIM-SILVA, E. M.; SILVA, M. C.; SCHLICHTING, A. F.; PORTO, R. A.; SILVA, T. J. A.; KOETZ, M. Desenvolvimento e produção de capim-convert HD364 submetido ao estresse hídrico. **Revista Agroambiente**, Boa Vista, v. 8, n. 1, p. 134–141, 2014.

BONFIM-SILVA, E. M.; SILVA, T. J. A.; CABRAL, C. E. A.; KROTH, B. E.; REZENDE, D. Desenvolvimento inicial de gramíneas submetidas ao estresse hídrico. **Revista Caatinga**, Mossoró, v. 24, n. 2, p. 180–186, 2011.

CAVALCANTE, A. C. R.; CAVALLINI, M. C.; LIMA, N. R. C. B. **Estresse por déficit hídrico em plantas forrageiras**. Sobral-CE: Embrapa Caprinos e Ovinos; Documentos 89, 2009. Disponível em: <https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/bitstream/doc/748148/1/doc89.pdf>.

CÉSAR SOARES, D. **Cultivares de trigo submetidos a déficit hídrico**. Dissertação (mestrado) – Universidade Federal de Mato Grosso, Instituto de Ciências Agrárias e Tecnológicas, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola, Rondonópolis, 2019. Disponível em: <https://ufr.edu.br/pgeagri/wp-content/uploads/2020/09/Dissertacao-Denise-Cesar-Soares.pdf>.

COMASTRI FILHO, J. A.; POTT, A. **Metodologia para avaliação de forrageiras**. Corumbá - MS: Embrapa, 1982.

DAWOOD, T.; RIEU, I.; WOLTERS-ARTS, M.; DERKSEN, E. B.; MARIANI, C.; VISSER, E. J. W. Rapid flooding-induced adventitious root development from preformed primordia in *Solanum dulcamara*. **AoB Plants**, v. 6, p. 1–13, 2014. DOI: 10.1093/aobpla/plt058.

DINH, T. H.; WATANABE, K.; TAKARAGAWA, H.; NAKABARU, M.; KAWAMITSU, Y. Photosynthetic response and nitrogen use efficiency of sugarcane under drought stress conditions with different nitrogen application levels. **Plant Production Science**, v. 20, n. 4, p. 412–422, 2017. DOI: 10.1080/1343943X.2017.1371570.

DUMONT, B.; ANDUEZA, D.; NIDERKORN, V.; LÜSCHER, A.; PORQUEDDU, C.; PICON-COCHARD, C. A meta-analysis of climate change effects on forage quality in grasslands : specificities of mountain and Mediterranean areas. **Grass and Forage Science**, p. 1–16, 2015. DOI: 10.1111/gfs.12169.

EYSHOLDT-DERZSÓ, E.; SAUTER, M. Root bending is antagonistically affected by hypoxia and ERF-Mediated transcription via auxin signaling. **Plant Physiology**, v. 175, n. 1, p. 412–423, 2017. DOI: 10.1104/pp.17.00555.

EYSHOLDT-DERZSÓ, E.; SAUTER, M. Hypoxia and the group VII ethylene response transcription factor HRE2 promote adventitious root elongation in *Arabidopsis*. **Plant Biology**, v. 21, p. 103–108, 2019. DOI: 10.1111/plb.12873.

FATIUKHA, A. *et al.* Genomic architecture of phenotypic plasticity in response to water stress in tetraploid wheat. **International Journal of Molecular Sciences**, v. 22, n. 4, p. 1–19, 2021. DOI: 10.3390/ijms22041723.

GAO, L.; SU, J.; TIAN, Q.; SHEN, Y. Contrasting strategies of nitrogen absorption and utilization in alfalfa plants Under different water stress. **Journal of Soil Science and Plant Nutrition**, v. 20, p. 1515–1523, 2020. DOI: 10.1007/s42729-020-00230-0.

GARCÍA-FAVRE, J.; LÓPEZ, I. F.; CRANSTON, L. M.; DONAGHY, D. J.; KEMP, P. D. The growth response of pasture brome (*Bromus valdivianus* Phil.) to defoliation frequency under two soil-water restriction levels. **Agronomy**, v. 11, n. 2, p. 2–9, 2021. DOI: 10.3390/agronomy11020300.

GHOLAMI, R.; ZAHEDI, S. M. Identifying superior drought-tolerant olive genotypes and their biochemical and some physiological responses to various irrigation levels. **Journal of Plant Nutrition**, v. 42, p. 1–13, 2019. DOI: 10.1080/01904167.2019.1648672.

GOMAA, M. A.; KANDIL, E. E.; EL-DEIN, A. A. M. Z.; ABOU-DONIA, M. E. M.; ALI, H. M.; ABDELSALAM, N. R. Increase maize productivity and water use efficiency through application of potassium silicate under water stress. **Scientific Reports**, v. 11, n. 224, p. 1–8, 2021. DOI: 10.1038/s41598-020-80656-9.

GSCHWEND, F.; AREGGER, K.; GRAMLICH, A.; WALTER, T.; WIDMER, F. Periodic waterlogging consistently shapes agricultural soil microbiomes by promoting specific taxa. **Applied Soil Ecology**, v. 155, n. A, p. 103623, 2020. DOI: 10.1016/j.apsoil.2020.103623.

GU, C.; ZHANG, S.; HAN, P.; HU, X.; XIE, L.; LI, Y.; BROOKS, M.; QIN, L. Soil enzyme activity in soils subjected to flooding and the effect on nitrogen and phosphorus uptake by oilseed rape. **Frontiers in Plant Science**, v. 10, n. 368, p. 1–9, 2019. DOI: 10.3389/fpls.2019.00368.

HOSSAIN, M. A.; UDDIN, S. N. Mechanisms of waterlogging tolerance in wheat: Morphological and metabolic adaptations under hypoxia or anoxia. **Australian Journal of Crop Science**, v. 5, n. 9, p. 1094–1101, 2011.

HOSSEINI, S. N.; JALILIAN, J.; GHOLINEZHAD, E. Impact of some stress modulators on morphological characteristics, quantitative and qualitative traits of quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) forage under water-deficit stress. **Journal of Agricultural Science and Sustainable Production**, v. 31, n. 2, p. 111–128, 2021. DOI: 10.22034/SAPS.2021.13101.

IRANI, S.; MAJIDI, M. M.; MIRLOHI, A. Half-sib matting and genetic analysis of agronomic, morphological, and physiological traits in Sainfoin under nonstressed versus water-deficit conditions. **Crop Science**, v. 55, p. 123–135, 2015. DOI: 10.2135/cropsci2014.03.0235.

JONES, C. *et al.*, A comparison of differential gene expression in response to the onset of water stress between three hybrid *Brachiaria* genotypes. **Frontiers in Plant Science**, v. 12, p. 1–16, 2021. DOI: 10.3389/fpls.2021.637956.

JOSHI, R.; KUMAR, P. Lysigenous aerenchyma formation involves non-apoptotic programmed cell death in rice (*Oryza sativa* L.) roots. **Physiology and Molecular Biology of Plants**, v. 18, n. 1, p. 1–9, 2012. DOI: 10.1007/s12298-011-0093-3.

KACHOUT, S. S.; YOUSSEF, S. B.; ENNAJAH, A.; ABIDI, S.; ZOGHLAMI, A. Physiological and morphological traits associated with germinative and reproductive stage of garden orache (*A. hortensis* L. var. *rubra*) under water stress. **Chemical and Biological Technologies in Agriculture**, v. 8, n. 26, p. 1–16, 2021. DOI: 10.1186/s40538-021-00218-7.

KAUR, G.; SINGH, G.; MOTAVALLI, P. P.; NELSON, K. A.; ORLOWSKI, J. M.; GOLDEN, B. R. Impacts and management strategies for crop production in waterlogged or flooded soils : A review. **Agronomy Journal**, v. 112, p. 1475–1501, 2020. DOI: 10.1002/agj2.20093.

KAUR, G.; ZURWELLER, B.; MOTAVALLI, P. P.; NELSON, K. A. Screening corn hybrids for soil waterlogging tolerance at an early growth stage. **Agriculture**, v. 9, n. 33, p. 1–18, 2019. DOI: 10.3390/agriculture9020033.

KROTH, B. E. **Características produtivas e nutricionais de gramíneas forrageiras em condições de excesso e déficit hídrico**. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal de Mato Grosso, Instituto de Ciências Agrárias e Tecnológicas, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola, Rondonópolis-MT, 2013.

LAMBERS, H.; CHAPIN, F. S.; PONS, T. L. Plant Water Relations. In: LAMBERS, H.; CHAPIN, F. S.; PONS, T. L. (org.). **Plant Physiological Ecology**. New York, NY: Springer, 2008. p. 163–223. DOI: 10.1007/978-0-387-78341-3.

LI, PX.; YANG, XY.; WANG, HM.; PAN, T.; YANG, JY.; WANG, YY.; XU, Y.; YANG, ZF.; XU, CW. Metabolic responses to combined water deficit and salt stress in maize primary roots. **Journal of Integrative Agriculture**, v. 20, n. 1, p. 109–119, 2021. DOI: 10.1016/S2095-3119(20)63242-7.

LISAR, S. Y. S.; MOTAFAKKERAZAD, R.; HOSSAIN, M. M.; RAHMAN, I. M. M. Water stress in plants : causes, effects and responses. In: RAHMAN, I. M. M. (org.). **Water Stress**. In Tech, 2012. p. 1–14. DOI: 10.5772/39363.

LORETI, E.; VEEN, H.; PERATA, P. Plant responses to flooding stress. **Current Opinion in Plant Biology**, v. 33, p. 64–71, 2016. DOI: 10.1016/j.pbi.2016.06.005.

MAMÉDIO, D.; CECATO, U.; SANCHES, R.; SILVA, S. M. S.; SILVA, D. R.; RODRIGUES, V. O. Bactérias promotoras do crescimento de plantas

contribuem para a maior persistência das pastagens tropicais em déficit hídrico? - Uma revisão. **Research, Society and Development**, v. 29, n. 8, p. e523985756, 2020. DOI: <https://doi.org/10.33448/rsd-v9i8.5756>.

MAYAKADUWAGE, S.; MOSLEY, L. M.; MARSCHNER, P. Phosphorus pools in acid sulfate soil are influenced by pH, water content, and addition of organic matter. **Journal of Soil Science and Plant Nutrition**, v. 21, p. 1066–1075, 2021. DOI: [10.1007/s42729-021-00422-2](https://doi.org/10.1007/s42729-021-00422-2).

NECULITA, C. M.; ZAGURY, G. J.; BUSSIÈRE, B. Passive treatment of acid mine drainage in bioreactors using sulfate-reducing bacteria: Critical review and research needs. **Journal of Environmental Quality**, v. 36, p. 1–16, 2007. DOI: [10.2134/jeq2006.0066](https://doi.org/10.2134/jeq2006.0066).

OLIVEIRA, A. K. M.; GUALTIERI, S. C. J. Trocas gasosas e grau de tolerância ao estresse hídrico induzido em plantas jovens de *Tabebuia aurea* (Paratudo) submetidas a alagamento. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 27, n. 1, p. 181–191, 2017.

OSAKABE, Y.; OSAKABE, K.; SHINOZAKI, K.; TRAN, LS. P. Response of plants to water stress. **Frontiers in Plant Science**, v. 5, p. 1–8, 2014. DOI: [10.3389/fpls.2014.00086](https://doi.org/10.3389/fpls.2014.00086).

PARK, J. S.; LEE, E. J. Waterlogging induced oxidative stress and the mortality of the Antarctic plant, *Deschampsia Antarctica*. **Journal of Ecology and Environment**, v. 43, n. 29, p. 1–8, 2019. DOI: [10.1186/s41610-019-0127-2](https://doi.org/10.1186/s41610-019-0127-2).

PEZESHKI, S. R. Wetland plant responses to soil flooding. **Environmental and Experimental Botany**, v. 46, p. 299–312, 2001. DOI: [10.1016/S0098-8472\(01\)00107-1](https://doi.org/10.1016/S0098-8472(01)00107-1).

PIERIK, R.; TESTERINK, C. The art of being flexible: How to escape from shade, salt, and drought. **Plant Physiology**, v. 166, p. 5–22, 2014. DOI: [10.1104/pp.114.239160](https://doi.org/10.1104/pp.114.239160).

RAHMAN, M.; IJAZ, M.; QAMAR, S.; BUKHARI, S. A.; MALIK, K. Abiotic stress signaling in rice crop. In: HASANUZZAMAN, M.; FUJITA, M.; NAHAR, K.; BISWAS, J. K. (org.). **Advances in rice research for abiotic stress tolerance**. Woodhead Publishing, 2019. p. 551–569. DOI: [10.1016/B978-0-12-814332-2.00027-7](https://doi.org/10.1016/B978-0-12-814332-2.00027-7).

SAIRAM, R. K.; KUMUTHA, D.; EZHILMATHI, K.; DESHMUKH, P. S.; SRIVASTAVA, G. C. Physiology and biochemistry of waterlogging tolerance in plants. **Biologia Plantarum**, v. 52, n. 3, p. 401–412, 2008. DOI: <http://dx.doi.org/10.1007/s10535-008-0084-6>.

SANTOS, P. M.; CRUZ, P. G.; ARAUJO, L. C.; PEZZOPANE, J. R. M.; VALLE, C. B.; PEZZOPANE, C. G. Response mechanisms of *Brachiaria brizantha* cultivars to water deficit. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 42, n. 11, p. 767–773, 2013. DOI: [10.1590 / s1516-35982013001100001](https://doi.org/10.1590/s1516-35982013001100001).

SANTOS, R. F.; CARLESSO, R. Déficit hídrico e os processos morfológico e fisiológico das plantas. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 2, n. 3, p. 287–294, 1998.

SANTOS, R. F.; CARLESSO, R. Enrolamento e expansão das folhas de milho submetidas a déficit hídrico em diferentes solos. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 3, n. 1, p. 1–6, 1999. DOI: <https://doi.org/10.1590/1807-1929/agriambi.v3n1p01-06>.

SASIDHARAN, R.; HARTMAN, S.; LIU, Z.; MARTOPAWIRO, S.; SAJEEV, N.; VEEN, H.; YEUNG, E.; VOESENEK, L. A. C. J. Signal dynamics and interactions during flooding stress. **Plant Physiology**, v. 176, n. February, p. 1106–1117, 2018. DOI: 10.1104/pp.17.01232.

SCREMIN-DIAS, E.; LORENZ-LEMKE, AP^a.; OLIVEIRA, A. K. M. The floristic heterogeneity of the Pantanal and the occurrence of species with different adaptive strategies to water stress. **Brazilian Journal of Biology**, v. 71, n. 1, p. 275–82, 2011. DOI: 10.1590/s1519-69842011000200006.

SEIAM, M. A.; SALLAM, A. A. Improving alfalfa forage yield and water use efficiency under irrigation water stress and humic acid applications in calcareous soil. **Journal of Plant Production**, v. 12, n. 2, p. 135–143, 2021. DOI: 10.21608/jpp.2021.154333.

SIAM, H. S.; MAHMOUD, S. A.; TAALAB, A. S.; AGEEB, G. W. A review of electrochemical changes in submerged soils. **Plant Archives**, v. 19, n. 1, p. 1965–1973, 2019.

SIAM, H. S.; SALEH, A. L.; ABD-EL-MOEZ, M. R.; HOLAH, S. H.; ZEID, S. T. A. Influence of different moisture regimes and n-fertilization on electrochemical changes and some nutrients in the leachate solution during growing period of rice plants. **International Journal of Basic and Applied Sciences**, v. 4, n. 3, p. 303–309, 2015. DOI: 10.14419/ijbas.v4i3.3745.

SOUZA, G. M.; BARBOSA, A. M. Fatores de estresse no milho são diversos e exigem monitoramento constante. **Visão agrícola**, p. 30–34, 2015.

STEFFENS, D.; HÜTSCH, B. W.; ESCHHOLZ, T.; LOŠÁK, T.; SCHUBERT, S. Water logging may inhibit plant growth primarily by nutrient deficiency rather than nutrient toxicity. **Plant Soil Environ**, v. 51, n. 12, p. 545–552, 2005. DOI: 10.17221/3630-PSE.

TOKARZ, E.; URBAN, D. Soil redox potential and its impact on microorganisms and plants of wetlands. **Journal of Ecological Engineering**, v. 16, n. 3, p. 20–30, 2015. DOI: 10.12911/22998993/2801.

TURNER, N. C. Adaptation to water deficits: A changing perspective. **Australian Journal of Plant Physiology**, v. 13, n. 1, p. 175–190, 1986. DOI: 10.1071 / PP9860175.

VERMA, K. K. *et al.*, Developing mathematical model for diurnal dynamics of photosynthesis in *Saccharum officinarum* responsive to different irrigation and silicon application. **PeerJ**, v. 8, p. 1–20, 2020. DOI: 10.7717/peerj.10154.

VERMA, K. K.; SONG, XP.; VERMA, C. L.; CHEN, ZL.; RAJPUT, V. D.; WU, KC.; LIAO, F.; CHEN, GL.; LI, YR. Functional relationship between photosynthetic leaf gas exchange in response to silicon application and water stress mitigation in sugarcane. **Biological Research**, v. 54, n. 15, p. 1–11, 2021. DOI: 10.1186/s40659-021-00338-2.

VISSER, E. J. W.; VOESENEK, L. A. C. J.; VARTAPETIAN, B. B.; JACKSON, M. B. Flooding and plant growth. **Annals of Botany**, v. 91, p. 107–109, 2003. DOI: 10.1093/aob/mcg014.

VOESENEK, L. A. C. J.; BAILEY-SERRES, J. Flood adaptive traits and processes: an overview. **New Phytologist**, v. 206, n. 2, p. 57–73, 2015. DOI: 10.1111/nph.13209.

WANG, Q.; WANG, L.; CHANDRASEKARAN, U.; LUO, X.; ZHENG, C.; SHU, K. ABA biosynthesis and signaling cascades under hypoxia stress. **Frontiers in Plant Science**, v. 12, p. 1–6, 2021. DOI: 10.3389/fpls.2021.661228.

XIE, L. J.; ZHOU, Y.; CHEN, Q. F.; XIAO, S. New insights into the role of lipids in plant hypoxia responses. **Progress in Lipid Research**, p. 101072, 2020. DOI: 10.1016/j.plipres.2020.101072.

YEUNG, E. *et al.*, A stress recovery signaling network for enhanced flooding tolerance in *Arabidopsis thaliana*. **Proceedings of the National Academy of Sciences**, v. 115, n. 26, p. E6085–E6094, 2018. DOI: 10.1073/pnas.1803841115.

ZHOU, W.; CHEN, F.; MENG, Y.; CHANDRASEKARAN, U.; LUO, X.; YANG, W.; SHU, K. Plant waterlogging / flooding stress responses: From seed germination to maturation. **Plant Physiology and Biochemistry**, v. 148, p. 228–236, 2020. DOI: 10.1016/j.plaphy.2020.01.020.

Capítulo 04

PRÁTICAS CONSERVACIONISTAS E RAÍZES DAS PLANTAS

EDNA MARIA BONFIM-SILVA

ALISSON SILVA COSTA

LUANA APARECIDA MENEGAZ MENEGHETTI

RENATA VILALBA REIS

NICLENE PONCE RODRIGUES DE OLIVEIRA

TONNY JOSÉ ARAÚJO DA SILVA

RESUMO: As práticas conservacionistas são utilizadas para aumentar a resistência do solo ou diminuir as forças do processo erosivo. Essas práticas podem ser de caráter edáfico, vegetativo e mecânico. As práticas de caráter edáfico visam manter ou melhorar a fertilidade do solo, com o uso de adubos verdes ou adubação orgânica, adubação mineral, calagem ou gessagem. As práticas de caráter vegetativo têm como principal objetivo minimizar o processo de erosão com o uso de vegetação, protegendo o solo contra a precipitação. As práticas de caráter mecânico têm como objetivo reduzir o escoamento superficial advinda de precipitações pluviométricas. As práticas conservacionistas de maneira geral, são essenciais para o desenvolvimento das raízes das culturas e as raízes por sua vez são importantes órgãos responsáveis pela absorção de água e nutrientes, melhoria na estrutura do solo e pela fixação das partículas do solo reduzindo o processo erosivo. Nesse capítulo será abordado a influência das práticas conservacionistas no desenvolvimento do sistema radicular.

Palavras-chave: Práticas conservacionistas. Sistema radicular. Manejo no sistema radicular.

ABSTRACT: The conservation practices are used to increase soil resistance or reduce the forces of the erosive process. These practices can be edaphic, vegetative and mechanical. The edaphic practices aim to maintain or improve soil fertility with the use of green manures or organic manure, mineral manure, liming or gypsum. The vegetative practices have as their main objective to minimize the erosion process with the use of vegetation, protecting the soil against precipitation. Mechanical practices aim to reduce surface runoff from rainfall. The conservation practices in general are essential for the development of crop roots and the roots in turn are important organs responsible for absorbing water and nutrients improving soil structure and fixing soil particles reducing the erosive process. In this chapter, the influence of conservation practices on the development of the root system will be discussed.

Keywords: Conservation practices. Root system. Management on the root system.

INTRODUÇÃO

Todas as técnicas utilizadas para aumentar a resistência do solo ou diminuir as forças do processo erosivo denomina-se práticas conservacionistas.

Desse modo, as práticas conservacionistas podem ser de caráter edáfico, vegetativo e mecânico.

As práticas conservacionistas de caráter edáfico são medidas que dizem respeito ao solo em si, procurando manter ou melhorar sua fertilidade, principalmente no que diz respeito à adequada disponibilidade de nutrientes para as plantas. Como exemplo dessas práticas tem-se a adubação mineral, adubação orgânica e adubação verde. Todas essas práticas, apresentam reflexos diretos e positivos no bom desenvolvimento do sistema radicular.

As práticas de caráter vegetativo são aquelas em que se utiliza a vegetação para defender o solo contra a erosão. Essa prática requer um bom desenvolvimento do sistema radicular tanto para a sustentação das partículas do solo contra o desprendimento e erosão quanto da abertura de canais para melhorar a infiltração da água, movimentação de nutrientes e oxigenação do solo.

As práticas conservacionistas de caráter mecânico são práticas que têm como finalidade principal reduzir o escoamento superficial de água advinda de precipitações pluviométricas por meio do uso de implementos ou ferramentas agrícolas. No planejamento conservacionista, todas as práticas são importantes e necessárias, porém, sob o ponto de vista da Engenharia Agrícola as práticas de caráter mecânico são mais estudadas.

As práticas conservacionistas são fundamentais para o bom desenvolvimento, crescimento e produção do sistema radicular. Nesse capítulo é abordado a influência das práticas conservacionistas no desenvolvimento das raízes.

PRÁTICAS CONSERVACIONISTAS

No planejamento para o uso do solo, uma das primeiras providências é adotar práticas conservacionistas baseadas na capacidade de uso para exploração das terras de maneira adequada visando redução do processo erosivo.

As práticas de manejo são favoráveis ao controle da erosão e melhoram a capacidade de infiltração da água no solo, diminuem o escoamento

superficial, favorecem a formação de agregados e reduzem o impacto das gotas da chuva reduzindo assim o desprendimento das partículas e o processo erosivo. A erosão é o arrastamento das partículas do solo pela ação das águas das chuvas (erosão hídrica) ou pelo vento (erosão eólica). O processo erosivo é composto por três etapas: desprendimento, transporte e deposição das partículas. Dentre as etapas, adotar o manejo conservacionistas para evitar o desprendimento do solo é o desafio mais importante na redução da erosão, sendo as raízes das plantas fundamentais nesse processo.

A maior parte dos resíduos orgânicos está disponível no horizonte A, onde as raízes conseguem adentrar ao solo com facilidade por ter mais porosidade e absorver os nutrientes necessários para seu desenvolvimento, já o horizonte B é onde a água fica armazenada. Essa combinação dos horizontes permite o cultivo das plantas, e se não preservada, pode vir a ocasionar a perda desse horizonte A, como as erosões, ficando o horizonte B que é mais adensado, exposto para o cultivo das plantas, tornando-se um obstáculo para o crescimento radicular (LEPSCH, 2010).

A busca por alternativas que consigam diminuir os impactos do homem bem como práticas que beneficiam o desenvolvimento sustentável de uma dada localidade por meio da exploração racional do solo são indispensáveis para o equilíbrio entre a produção agrícola e a preservação do meio ambiente (TAGLIARINI *et al.*, 2019).

Com isso, as práticas conservacionistas têm o objetivo de preservar o horizonte A, bem como visando a conservação das raízes e parte aérea das plantas, com tecnologias que controlam o escoamento superficial do solo, favorecendo a cobertura vegetal e possibilitando a infiltração de água no solo. Algumas práticas são direcionadas ao controle da erosão; outras recuperam os solos, proporcionando-lhes melhores condições químicas, físicas e biológicas (FRANCISCO *et al.*, 2018), ou seja, são práticas em que se adequam ao sistema de cultivo para manter ou melhorar a fertilidade do solo, fornecendo à superfície maior quantidade de cobertura possível (ZONTA *et al.*, 2012).

O solo é o insumo mais essencial na agricultura, sendo o mais atingido com o esgotamento de nutrientes como nitrogênio, fósforo e potássio, orgânicos, umidade, e redução na profundidade cultivável (SINGHA, 2019). Menos perturbação desse recurso também significa uma melhor proteção de

sua estrutura e estabilização do carbono orgânico nos agregados do solo (VIGNOZZI *et al.*, 2019). A precipitação é o principal motivo da erosão em terras cultivadas ou nua, ocorrendo quando o solo carece de proteção de cobertura vegetal (ZUAZO & PLEGUEZUELO, 2008).

As práticas conservacionistas foram desenvolvidas e implementadas para reduzir a erosão do solo e conseqüentemente garantir uma agricultura sustentável (MAETENS *et al.*, 2012; LIMA *et al.*, 2018;). Cada prática, aplicada isoladamente, previne apenas de maneira parcial os problemas, e o uso simultâneo dessas práticas é o ideal (FRANCISCO *et al.*, 2018).

Práticas conservacionistas de caráter edáfico

As práticas edáficas são medidas que dizem respeito ao solo, para manter ou melhorar sua fertilidade, principalmente no que diz respeito à adequada disponibilidade de nutrientes, possibilitando o crescimento radicular e garantindo o desenvolvimento da planta (LEPSCH, 2010). Essas práticas são fundamentais para restituir os nutrientes e adição da matéria orgânica retidos pelas culturas e melhorar a produtividade delas (BORGES & SILVA, 2019). Dessa forma, tem-se como práticas edáficas a adubação verde, adubação orgânica, mineral, calagem e a gessagem.

A adubação verde promove a produtividade das culturas agrícolas e a sua adoção continuada afeta de forma sistêmica o ambiente solo, contribuindo para melhoria dos indicadores dos atributos químicos, físicos e biológicos (BORGES *et al.*, 2018; ESPÍNDOLA, 2004). Borges *et al.*, (2018), ainda explicam que a adubação verde demanda a seleção da espécie e da estratégia de manejo mais adequada para cada condição.

Pes & Giacomini (2017) citam culturas leguminosas utilizadas na adubação verde tais como crotalária (*Crotalaria juncea* L.), feijão de porco (*Canavalia ensiformis* L.) e feijão-caupi (*Vigna unguiculata* (L.) Walp.) e, as culturas não leguminosas o capim-sudão (*Shorghum sudanense* L.), azevém (*Lolium multiflorum* Lam.), cevada (*Hordeum vulgare* L.) e aveia (*Avena sativa* L.).

Vale ressaltar que as leguminosas possuem em suas raízes nódulos formados por bactérias do gênero *Rhizobium* que fixam nitrogênio de forma

simbiótica. Estudos realizados por Oliveira (2015) com adubação verde no cultivo de mandioca (*Manihot esculenta*), observou que a adubação verde com feijão de porco e feijão guandu (*Cajanus cajan* L.) associado ao composto orgânico promoveu um aumento significativo na produtividade das raízes.

Outra fonte de adubação são os adubos orgânicos, em que diversos estudos observaram efeito significativo para o aumento da produtividade de raízes. Como Bonfim-silva *et al.* (2011) que encontraram aumento na produção de massa seca de raízes de *Crotalaria juncea* (*Crotalaria juncea* L.) em função da adubação orgânica com cinza vegetal (Figura 1A). Rós *et al.* (2013) estudando adubo orgânico com esterco de galinha na produção de mandioca (*Manihot esculenta*) encontraram que a adubação orgânica promoveu aumento da produtividade das raízes. Bonfim-Silva *et al.* (2013) também observaram aumento da massa seca de raízes em função da adubação com cinza vegetal (Figura 1B).

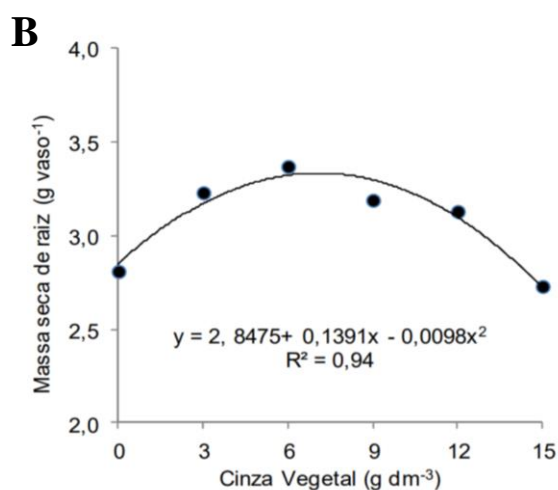
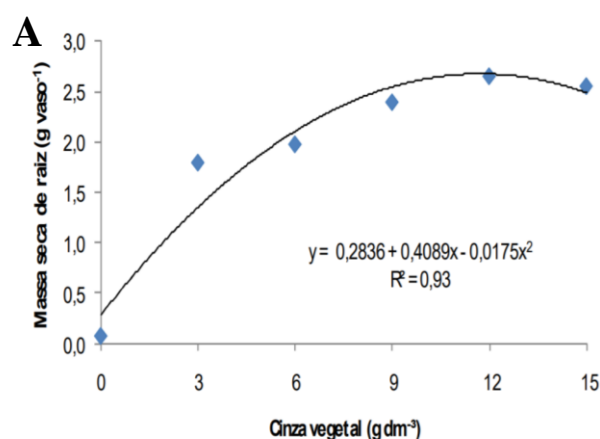


Figura 1 – Massa seca de raízes de *Crotalárea juncea* (A) e massa seca de raízes de Mucuna Preta em função de doses de cinza vegetal (B) em função de doses de cinza vegetal.
Fonte - (A) Bonfim-silva *et al.* (2011); (B) Bonfim-Silva *et al.* (2013)

A manutenção e o restabelecimento contínuo dos níveis de fertilidade do solo, através de um plano racional de adubação, devem fazer parte de qualquer programa de conservação do solo. Com um solo bem manejado, os nutrientes essenciais estarão disponíveis para o sistema radicular da planta desenvolver-se. A adubação química é necessária para suprir os nutrientes retirados pelas culturas, para manter regularmente uma quantidade adequada de elementos essenciais (SILVA *et al.*, 2015). Bonfim-Silva (2005) mostrou a influência das doses de nitrogênio no cultivo de capim-Braquiária, em que encontrou um ajuste de curva para produção da massa seca de raízes (Figura 2).

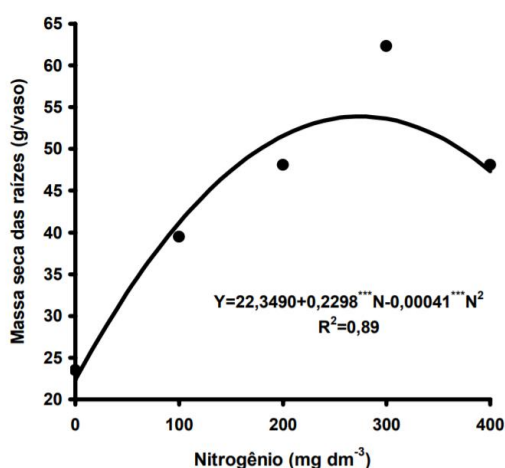


Figura 2 – Produção de massa seca de raízes do capim-Braquiária em função das doses de nitrogênio.
Fonte. Bonfim-Silva (2005).

Morais (2015) estudando a importância do nitrogênio e potássio no desenvolvimento das raízes de Capim piatã (*Brachiaria brizantha*), em que observou aumento na produção das raízes com o fornecimento desses nutrientes (Figura 3).

$$\hat{y} = 5,21273 + 0,11188^{***}N - 0,000213719^{***}N^2 + 0,110765^{***}K - 0,000225532^{***}K^2$$

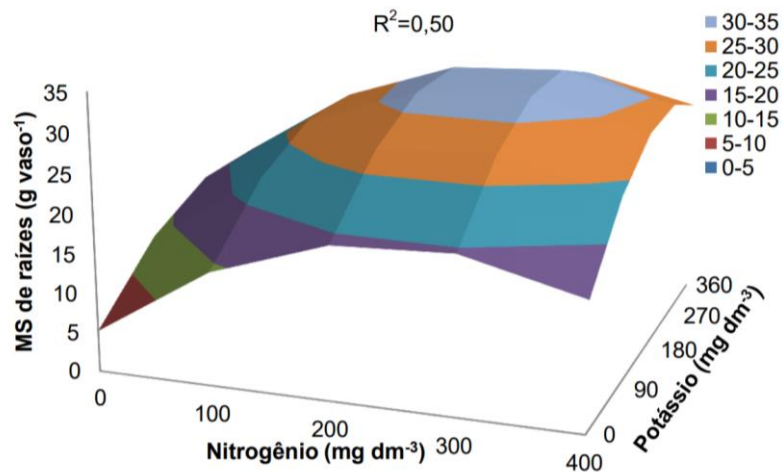


Figura 3 - Massa seca de raízes de capim piatã, em função das combinações de doses de nitrogênio e de potássio na adubação em Latossolo Vermelho distrófico.

Fonte – Moraes (2015).

Bonfim-Silva *et al.* (2012) explanam que o fósforo é importante para a fixação biológica de nitrogênio, e em seus estudos sobre produção de *Crotalaria* adubada com fosfato natural encontrou um aumento linear no número de nódulos e massa seca de nódulos em função das doses de fósforo (Figura 4A e 4B). Além disso, os autores observaram uma curva de massa seca da raiz em função das doses de fósforo, isso demonstra a importância do manejo adequado desse nutriente, que em excesso limitou o desenvolvimento da raiz, porém, quando em quantidade adequada possibilitou a produção máxima (Figura 4C).

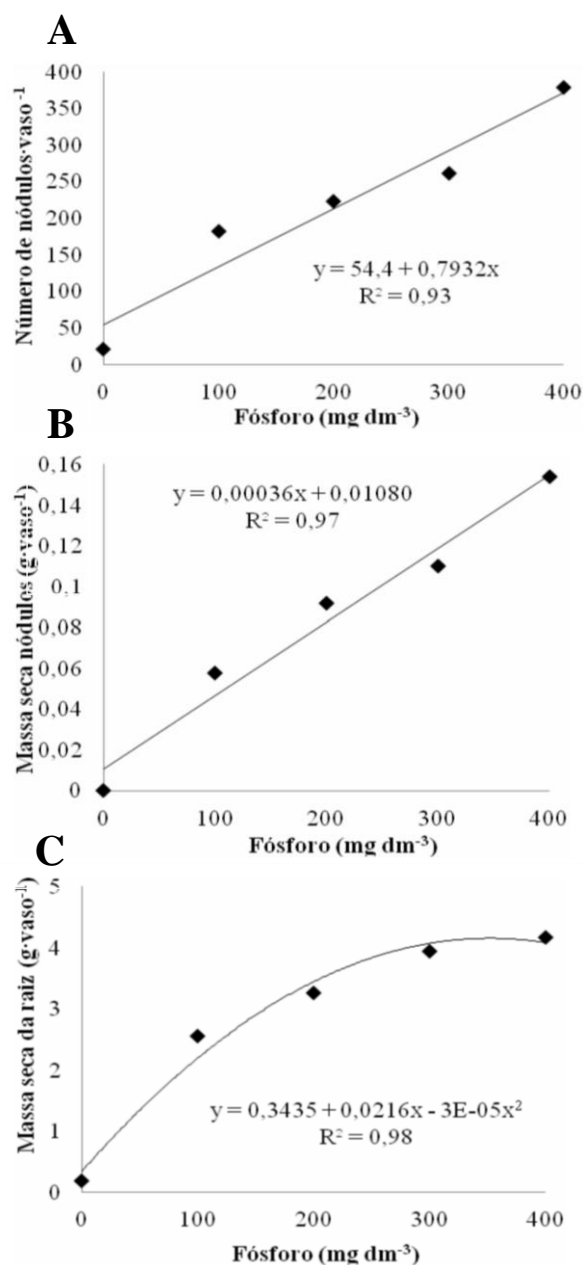


Figura 4 - Número de nódulos (A), massa seca de nódulos (B) e massa seca das raízes (C) da *Crotalaria juncea* em função de doses de potássio em Latossolo Vermelho.

Fonte – Bonfim-Silva *et al.* (2012).

As adubações e os corretivos visam adicionar ao solo os nutrientes que lhe faltam para melhor desenvolvimento das culturas. Os materiais que podem ser utilizados na correção da acidez dos solos é o calcário dolomítico, calcário calcinado, óxido de cálcio ou de magnésio, hidróxido de cálcio, hidróxido de magnésio e escórias (SILVA *et al.*, 2015). Bonfim-Silva *et al.* (2019) estudando efeito da calagem no girassol (*Helianthus annuus L.*) observaram efeito linear crescente do volume de raiz e massa seca de raiz em função dos níveis de

saturação por bases, além disso, mostram a diferença de incubar ou não o solo com o calcário (Figura 5). Assim, os tratamentos que o solo foi incubado com calcário apresentaram melhores resultados (Figura 5A). Os resultados demonstram a importância da incubação do solo com o calcário para que ocorram as reações químicas de correção de acidez do solo.

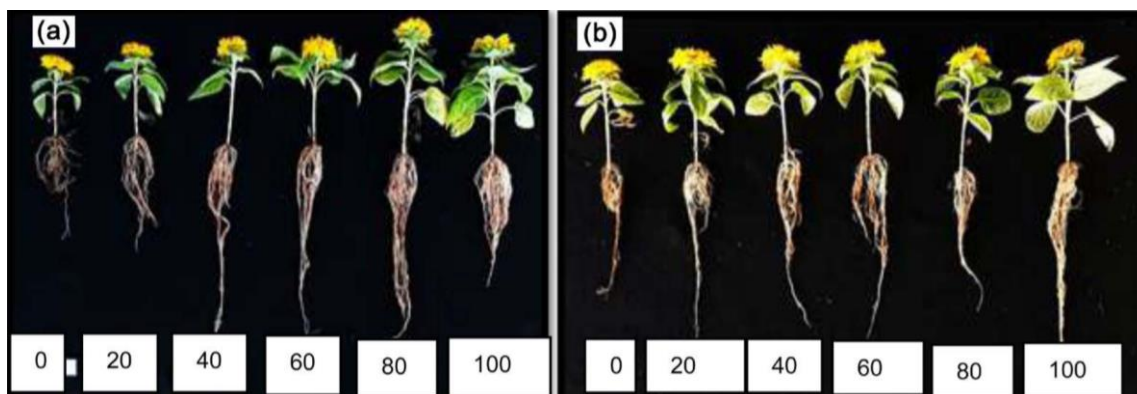


Figura 5 – Desenvolvimento da raiz de *Helianthus annuus* L. cv. Folded Sungold em 0, 20%, 40%, 60%, 80% e 100% da saturação de bases incubada nos tratamentos incubado (A) e não incubado (B).

Fonte – Bonfim-Silva *et al.* (2019).

Assim como a calagem, o gesso disponibiliza cálcio ao solo, contribuindo para o desenvolvimento do sistema radicular. Silva (2018) em seu estudo com cultivo de soja (*Glycine max* (L.) Merrill) no Latossolo Amarelo distrófico em função de doses de gesso observou efeito linear crescente para massa seca de raiz, ou seja, conforme o aumento da dose de gesso, maior o volume de massa seca do sistema radicular.

Dessa forma, observa-se a importância do manejo do solo com as práticas edáficas como adubo verde, adubação orgânica, mineral, calagem ou gessagem, essenciais para o desenvolvimento do sistema radicular das culturas.

Práticas conservacionistas de caráter vegetativo

As práticas conservacionistas de caráter vegetativo, são métodos de cultivo em que a vegetação é utilizada para proteger o solo contra o efeito do impacto das gotas de chuva ou da irrigação e conseqüentemente minimizar o processo da erosão (LEPSCH, 2010). Dentro dessas práticas

conservacionistas de caráter vegetativo, estão o florestamento, reflorestamento, pastagem e plantas de cobertura (ZONTA *et al.*, 2012). As espécies vegetais contribuem de forma diferenciada em relação a contenção a erosão do solo, sendo de maneira geral as culturas perenes mais eficientes que as culturas anuais.

As plantas protegem e prendem/fixam as partículas do solo com suas raízes e reduzem a energia das gotas de chuva com o seu dossel (ZUAZO & PLEGUEZUELO, 2008). A vegetação intercepta a chuva, protegendo a superfície do solo do impacto direto das gotas de chuva, e diminui o escoamento superficial, promovendo a infiltração de água e melhorando a estabilidade e coesão dos agregados do solo (LIMA *et al.*, 2018).

A vegetação é muito importante no manejo e conservação do solo e da água, pois atua como uma barreira física, alterando o fluxo de sedimentos na superfície do solo (RAYA & ZUAZO & MARTÍNEZ, 2006). A vegetação amortece o impacto das gotas da chuva, dificulta o escoamento superficial através da cobertura morta e as raízes contribuem com a inserção de matéria orgânica e com a agregação do solo. Espécies vegetais atuam de formas diferentes.

As gramíneas forrageiras são recursos valiosos de alimentação animal em todo o mundo, principalmente para milhões de pequenos agricultores que dependem de pastagens. As pastagens promovem boa estabilidade do solo, aumentam o conteúdo de carbono no solo por um forte enraizamento e decomposição das plantas no seu processo de renovação de ciclos de cortes ou pastejo. Com maior teor de matéria orgânica, o solo melhora suas propriedades como as trocas catiônica, capacidade de retenção de água, porosidade, aeração e infiltração (CUBILLOS *et al.*, 2016). As gramíneas forrageiras, quando em manejo adequado, são consideradas a segunda vegetação de potencial de proteção ao solo quando comparada a florestas.

As gramíneas forrageiras que são submetidas a desfolhas ou cortes frequentes na sua parte aérea, favorece a inserção de matéria orgânica no sistema por meio da morte e renovação do sistema radicular, contribuindo assim com a manutenção da matéria orgânica no sistema produtivo (Figura 6).

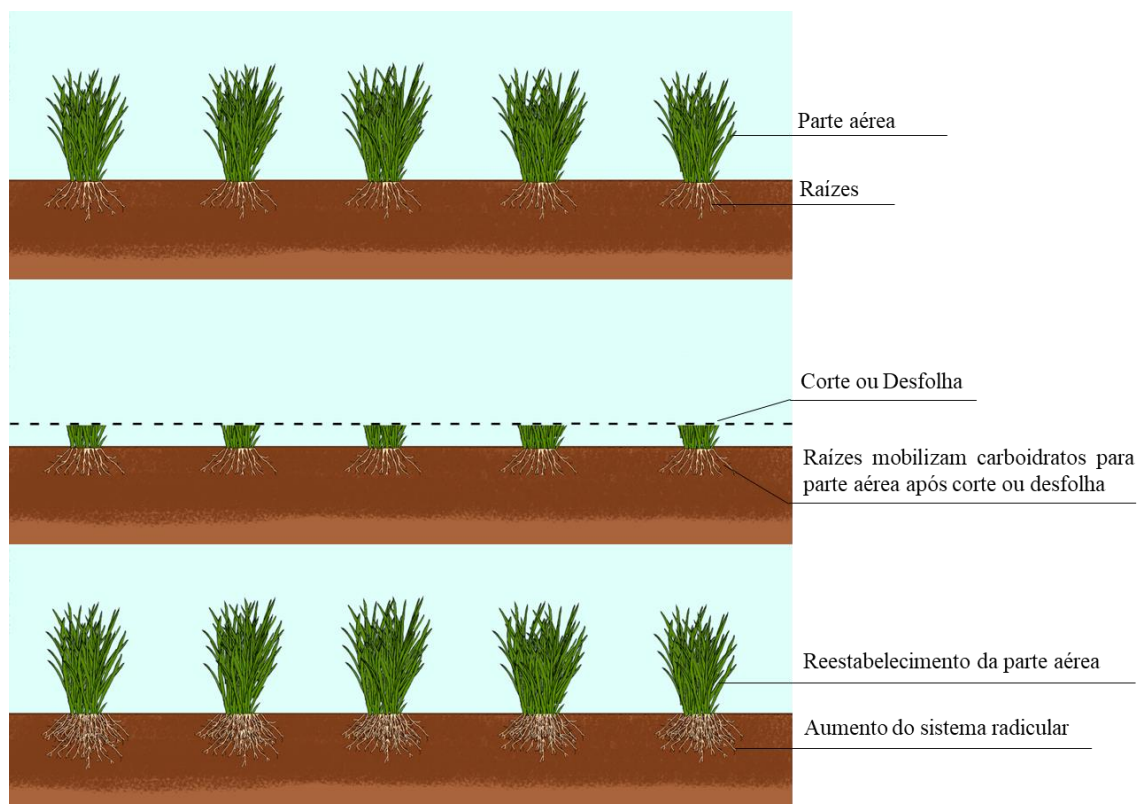


Figura 6 – Dinâmica de renovação do sistema radicular de gramíneas forrageiras, sob pastejo submetidas ao corte ou desfolha.

Fonte – Os autores.

O sistema de plantio direto com culturas consorciadas com gramíneas como *Brachiaria*, *Panicum* ou milho, tem grande potencial para melhorar a qualidade do solo por meio do sequestro de carbono, ciclagem de nutrientes e melhoria dos atributos microbiológicos do solo (SOUSSANA & LEMAIRE, 2014; COSER *et al.*, 2016; OLIVEIRA, 2016; SOARES *et al.*, 2019). No sistema de plantio direto como não se tem revolvimento do solo ocorre um acúmulo de raízes principalmente na camada dos primeiros 5 cm de profundidade.

Práticas conservacionistas de caráter mecânico

As práticas conservacionistas de caráter mecânico são práticas que têm como finalidade principal reduzir o escoamento superficial de água advinda de precipitações pluviométricas. Essas práticas são consideradas as mais onerosas em sistemas de produção agrícola. Essas práticas relacionam-se ao trabalho de conservação do solo, com a utilização de máquinas (LEPSCH, 2010). Zonta *et al.* (2012) complementam dizendo que essa prática usa

estruturas artificiais (terraços, canais escoadouros, bacias de captação de águas pluviais, barragens etc.) para reduzi-la a velocidade de escoamento da água sobre a superfície do solo, interferindo nas fases mais avançadas do processo erosivo, assim também garantindo que as raízes das plantas consigam se estabelecer se fixando melhor ao solo e sendo levada pelo escoamento superficial.

O terraceamento consiste na construção de estruturas hidráulicas transversalmente ao sentido da declividade do terreno, chamadas terraços, para diminuir a ação da enxurrada e são constituídas de um canal e um camalhão (PES & GIACOMINI, 2017).

A função do terraço é a de reduzir o comprimento da rampa, área contínua por onde há escoamento das águas das chuvas, e, com isso, diminuir a velocidade de escoamento da água superficial. A função do terraço em nível é melhorar a retenção, absorção ou infiltração da água na gleba. Esse tipo de terraço deve ser construído com o canal em nível e suas extremidades bloqueadas, interceptando a enxurrada e promovendo a infiltração da água oriunda do escoamento superficial, sendo recomendado para solos de boa permeabilidade, solo profundo, com alta velocidade de infiltração, solo de textura média a argiloso e com relevo plano a suave ondulado.

O terraço em gradiente tem como principal função reduzir o comprimento da rampa e conduzir o excesso de água da gleba para um local seguro. A terraço em gradiente possui pelo menos uma das suas extremidades abertas. Deve ser utilizado em solo raso, solos compactados ou naturalmente adensados, solo de textura argilosa e de relevo ondulado.

A construção de terraços é um dos processos mais caros de se realizar por conta da utilização de máquinas, implementos agrícolas pesados. Mas se operado juntamente com as outras práticas, pode-se reduzir muito a utilização das máquinas e sendo importante para a preservação do solo, assim como preservar a fertilidade. A aração é utilizada para revolvimento das camadas superficiais do solo com objetivo de diminuir a compactação do solo, a incorporação de fertilizantes e aumentar a porosidade que aumenta o fluxo de ar e água que conseqüentemente vai aumentar a atividade dos microrganismos, beneficiando o solo e facilitando o crescimento das raízes das plantas (LEPSCH, 2010). No entanto, vale ressaltar que a aração quando

utilizada como práticas de manejo na manutenção de pastagens já estabelecidas pode causar danos ao sistema radicular, reduzindo assim temporariamente a produção do pasto.

Em relação as raízes das plantas os impactos do mau manejo podem acarretar prejuízos no desenvolvimento do sistema radicular o que poderá refletir diretamente na produção agrícola causando prejuízos ambientais e econômicos. Dentro do manejo inadequado, um dos mais prejudiciais as raízes é a compactação do solo. A compactação é o aumento da densidade do solo e da resistência a penetração das raízes e a redução da sua porosidade, que se dá quando ele é submetido a um grande esforço ou a uma pressão contínua. A compactação é causada pela ação antrópica por meio do solo utilizando máquinas e implementos de maneira inadequada.

A compactação causada pelo aumento da densidade do solo por reduzir o espaço poroso e a resistência a penetração das raízes, tem ação direta sobre o desenvolvimento radicular (Figuras 7, 8 e 9). Desse modo, um dos principais atributos físicos que reduz a produtividade das culturas é a densidade do solo e a sua relação com a resistência à penetração.

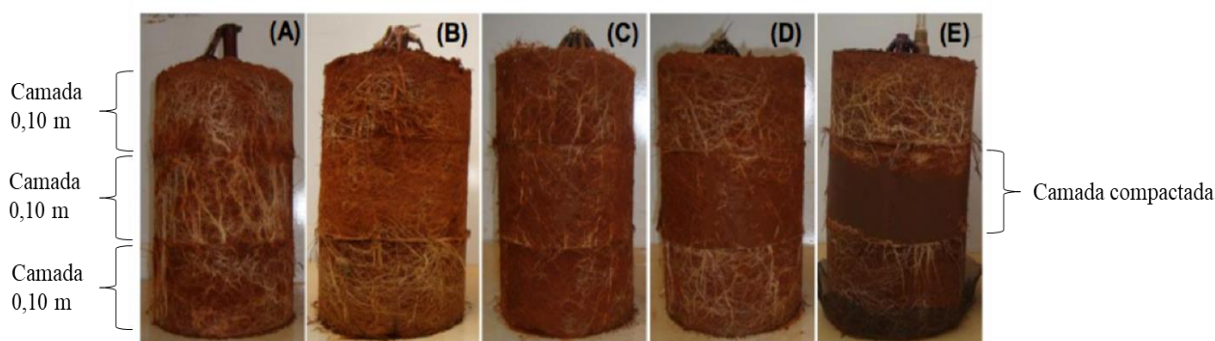


Figura 7 - Disposição das raízes de milho no perfil do solo (camada de 30cm) das unidades experimentais nas densidades do solo de (A) 1,0, (B) 1,2, (C) 1,4 (D) 1,6 e (E) 1,8 Mg m⁻³.

Fonte – Adaptado de Nunes (2014).

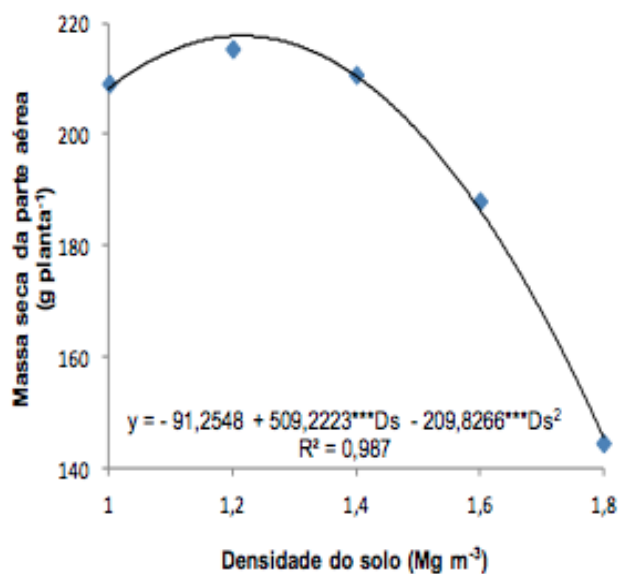


Figura 8 - Massa seca de plantas de milho em função dos níveis de densidade do solo.
Fonte – Nunes (2014).

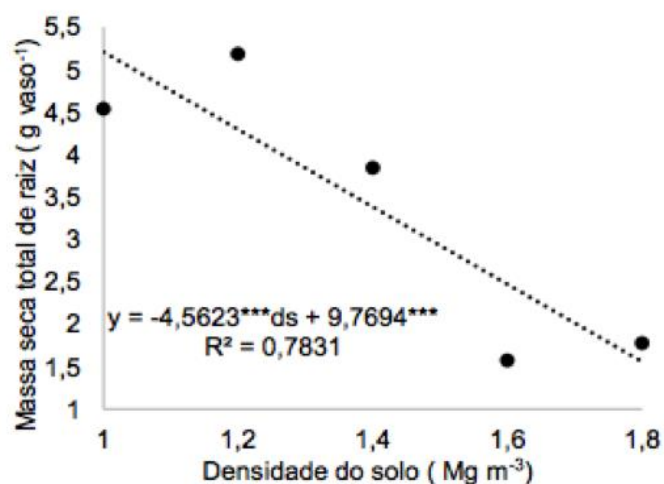


Figura 9 - Massa seca de raiz de cartamo em função dos níveis de densidade do solo, em Latossolo Vermelho distrófico.
Fonte – Santos (2018).

As práticas conservacionistas de caráter edáfico, vegetativo ou mecânico são fundamentais para potencializar o uso intensivo do solo na agricultura, sendo todas as práticas com mesmo objetivo de preservar e reduzir a erosão do solo.

O sistema radicular é influenciado diretamente pelas práticas conservacionistas sendo as raízes componentes ocultas importantes na conservação do solo e da água com efeito direto na redução do processo erosivo.

REFERÊNCIAS

BONFIM-SILVA E. M.; GUIMARÃES, S. L.; SILVA, J. R.; NEVES, L. C. R.; SILVA, T. J. A. Desenvolvimento e produção da *Crotalária* adubada com fosfato natural reativo em Latossolo do Cerrado. **Enciclopédia Biosfera**, Centro Científico Conhecer - Goiânia, v.8, N.14; p. 2012 347

BONFIM-SILVA, E. M. **Nitrogênio e enxofre na recuperação de pastagem de capim-Braquiária em degradação em Neossolo Quartzarênico com expressiva matéria orgânica**. Tese (Doutorado) – Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, 2005.

BONFIM-SILVA, E. M.; SANTOS, C. C.; VILELA, M. O. Adubação com cinza vegetal no cultivo de *Mucuna* preta em Latossolo do Cerrado. **Enciclopédia Biosfera**. Centro Científico Conhecer, v. 9 n. 17, p. 33, 2013

BONFIM-SILVA, E. M.; SILVA, C. T. R.; FEITOSA, P. B.; GRECO, T. M.; DAMASCENO, A. P. B.; ALVES, R. D. S. Saturation Levels by Bases and Time of Incubation in the Development and Growth of Ornamental Sunflower. **Agricultural Sciences**, 2019, 10, 852-869. DOI: 10.4236/as.2019.107065

BONFIM-SILVA, E. M.; SILVA, T. J. A.; GUIMARÃES, S. L.; POLIZEL, A. C. Desenvolvimento e produção de *crotalária* juncea adubada com cinza vegetal. **Enciclopédia Biosfera**, Centro Científico Conhecer - Goiânia, vol.7, n.13; 2011.

BORGES, A. C. L.; SILVA, P. R. **Conservação do solo: práticas conservacionistas**. Brasília - DF: EMATER-DF, 2019. Disponível em: www.emater.df.gov.br.

BORGES, W. L.; SOUZA, D. C. J.; RODRIGUES, D. M. S.; RIOS, R. M. **Cobertura do Solo, acúmulo de biomassa e de nutrientes em leguminosas para uso como adubo verde**. Macapá - AP: Embrapa Amapá, Boletim de pesquisa e desenvolvimento, 105, 2018.

COSER, T. R.; RAMOS, M. L. G.; FIGUEIREDO, C. C.; CARVALHO, A. M.; CAVALCANTE, E.; MOREIRA, M. K. R.; ARAÚJO, P. S. M.; OLIVEIRA, S. A. Soil microbiological properties and available nitrogen for corn in monoculture and intercropped with forage. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 51, n. 9, p. 1660–1667, 2016. DOI: 10.1590/S0100-204X2016000900066.

CUBILLOS, A. M.; VALLEJO, V. E.; ARBELI, Z.; TERÁN, W.; DICK, R. P.; MOLINA, C. H.; MOLINA, E.; ROLDAN, F. Effect of the conversion of conventional pasture to intensive silvopastoral systems on edaphic bacterial and ammonia oxidizer communities in Colombia. **European Journal of Soil Biology**, v. 72, p. 42–50, 2016. DOI: 10.1016/j.ejsobi.2015.12.003.

ESPÍNDOLA, J. A. A. **Estratégias para utilização de leguminosas para adubação verde em unidades de produção agroecológica**. Seropédica: Embrapa Agrobiologia, Documentos, 174, 2004.

FRANCISCO, P. R. M.; SANTOS, R. F.; VITAL, A. F. M.; SANTOS, R. V. **Solos: estudo e aplicações**. Campina Grande: EPGRAF, 2018.

MORAIS, L. P. V. X. C. **Nitrogênio e potássio na adubação de Capim piatã em solo do Cerrado Matogrossense**. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Mato Grosso, Cuiabá – MT, 2014.

NUNES, J. A. S. **Desenvolvimento da cultura do milho sob níveis de densidade e tensões de água em latossolo vermelho de cerrado**. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Mato Grosso. 83p., 2014.

LEPSCH, I. F. **Formação e conservação dos solos**. 2. ed. São Paulo: Oficina de Textos, 2010.

LIMA, P. L. T.; SILVA, M. L. N.; QUINTON, J. N.; BATISTA, P. V. G.; CÂNDIDO, B. M.; CURTI, N. Relationship among crop systems, soil cover, and water erosion on a typic hapludox. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 42, p. 1–16, 2018. DOI 10.1590/18069657rbc20170081.

MAETENS, W.; POESEN, J.; VANMAERCKE, M. How effective are soil conservation techniques in reducing plot runoff and soil loss in Europe and the Mediterranean? **Earth Science Reviews**, v. 115, p. 21–36, 2012. DOI: 10.1016/j.earscirev.2012.08.003.

OLIVEIRA, J. P. F. **Produção de mandioca em função da adubação verde, biofertilizante e composto orgânico**. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal Rural de Pernambuco, Garanhuns, 2015.

OLIVEIRA, W. R. D. *et al.*, Dynamics of soil microbiological attributes under integrated production systems, continuous pasture, and native cerrado. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 51, n. 9, p. 1501–1510, 2016. DOI: 10.1590/S0100-204X2016000900049.

PES, L. Z.; GIACOMINI, D. A. **Conservação do Solo**. Santa Maria: Universidade Federal de Santa Maria, Colégio Politécnico; Rede e-Tec Brasil, 2017.

RAYA, A. M.; ZUAZO, V. H. D.; MARTÍNEZ, J. R. F. Soil erosion and runoff response to plant-cover strips on semiarid slopes (Se Spain). **Land Degradation & Development**, v. 17, p. 1–11, 2006. DOI: 10.1002/ldr.674 SOIL.

RÓS, A. B.; HIRATA, A. C. S.; NARITA, N. Produção de raízes de mandioca e propriedades química e física do solo em função de adubação com esterco de

galinha. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, Goiânia, v.43, n.3, p.247-254, 2013.

SANTOS, T. M. **Compactação do solo e adubação com cinza vegetal na cultura do Cártamo em solo do Cerrado Mato-Grossense**. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Mato Grosso, Cuiabá – MT, 82p., 2018.

SILVA, M. L. N.; FREITAS, D. A. F.; CÂNDIDO, B. M.; OLIVEIRA, A. H. Manejo e conservação do solo e da água: guia de estudos. Lavras: UFLA, 2015. DOI: 10.13140/RG.2.1.3609.2241.

SILVA, M. R. **Influência do gesso agrícola no desenvolvimento da soja cv. BRS Tracajá**. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Roraima. Boa vista – RR, 2018.

SINGHA, C. Impact of the adoption of vegetative soil conservation measures on farm profit, revenue and variable cost in Darjeeling district, India. **Environment and Development Economics**, v. 24, n. 5, p. 1–25, 2019. DOI: 10.1017/S1355770X19000226.

SOARES, D. S.; RAMOS, M. L. G.; MARCHÃO, R. L.; MACIEL, G. A.; OLIVEIRA, A. D.; MALAQUIAS, J. V.; CARVALHO, A. M. Soil & Tillage Research How diversity of crop residues in long-term no-tillage systems affect chemical and microbiological soil properties. **Soil & Tillage Research**, v. 194, p. 104316, 2019. DOI: 10.1016/j.still.2019.104316.

SOUSSANA, JF; LEMAIRE, G. Agriculture, Coupling carbon and nitrogen cycles for environmentally sustainable intensification of grasslands and crop-livestock systems. **Ecosystems and Environment**, v. 190, p. 9–17, 2014. DOI: 10.1016/j.agee.2013.10.012.

TAGLIARINI, F. S. N.; BARROS, A. C.; RODRIGUES, B. T.; GARCIA, Y. M.; CAMPOS, S. Capacidade de uso do solo como subsídio para estudos em bacia hidrográfica. **Energia na Agricultura**, v. 34, n. 3, p. 418–428, 2019. DOI: <https://doi.org/10.17224/EnergAgric.2019v34n3p418-428>.

VIGNOZZI, N. *et al.*, Soil ecosystem functions in a high-density olive orchard managed by different soil conservation practices. **Applied Soil Ecology**, v. 134, p. 64–76, 2019. DOI: 10.1016/j.apsoil.2018.10.014.

ZONTA, J. H. *et al.*, **Práticas de conservação de solo e água**. Campina Grande - PB: Embrapa Algodão. Circular Técnica, 133, 2012. Disponível em: <http://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/handle/doc/928493>.

ZUAZO, V. H. D.; PLEGUEZUELO, C. R. R. Soil-erosion and runoff prevention by plant covers . A review. **Review article**, v. 28, p. 65–86, 2008. DOI: 10.1051/agro:2007062.

Capítulo 05

MICRO-ORGANISMOS QUE HABITAM RAÍZES: PEÇAS-CHAVE PARA A SUSTENTABILIDADE DOS AGROECOSSISTEMAS

SALOMÃO LIMA GUIMARÃES

EDNA MARIA BONFIM-SILVA

RESUMO: As interações ecológicas que ocorrem entre micro-organismos do solo e plantas, assim como os mecanismos que as regulam vem sendo estudados e dúvidas elucidadas. Contudo, ainda há muito a ser explorado no mundo dos infinitamente pequenos. Bactérias e fungos têm contribuído para o desenvolvimento vegetal, desde a manutenção das grandes florestas até as lavouras agrícolas. Na agropecuária, insumos biológicos (inoculantes e agentes de biocontrole) auxiliam na produção de culturas como a soja, feijão, milho, arroz, trigo, cana-de-açúcar, pastagens, dentre outras. Dessa forma, colaboram para crescimento das plantas por meio das simbioses e/ou associações formadas, especialmente no sistema radicular. Consequentemente, substâncias promotoras do crescimento são liberadas, a exemplo dos hormônios vegetais (ácido indolacético, giberelina, citocinina), além da fixação biológica de nitrogênio, ocasionando menos impacto ao meio ambiente. Ao longo desse capítulo, serão apresentados trabalhos gerados por diversos grupos de pesquisadores, os quais consolidam o papel da microbiota do solo na preservação e sustentabilidade agroambiental.

Palavras-chave: Microbiota do solo, rizosfera, ecologia microbiana.

ABSTRACT: The ecological interactions that occur between soil microorganisms and plants, as well as the mechanisms that regulate them, have been studied and doubts clarified. However, there is still much to be explored in the world of the infinitely small. Bacteria and fungi have contributed to plant development, from the maintenance of large forests to agricultural crops. In agriculture, biological inputs (inoculants and biocontrol agents) help in the production of crops such as soybeans, beans, corn, rice, wheat, sugarcane, pastures, among others. In this way, they contribute to plant growth through symbiosis and/or associations formed, especially in the root system. Consequently, growth-promoting substances are released, such as plant hormones (indole acetic acid, gibberellin, cytokinin), in addition to biological nitrogen fixation, causing less impact on the environment. Throughout this chapter, works generated by various groups of researchers will be presented, which consolidate the role of soil microbiota in environmental preservation and sustainability.

Keywords: Soil microbiota, rhizosphere, microbial ecology

INTRODUÇÃO

O solo, como berço da vida, sustenta diretamente uma infinidade de espécies microbianas e vegetais, e tem na heterogeneidade a sua essência e composição, aglomerando elementos bióticos e abióticos, de modo que a sua atuação também esteja relacionada ou condicionada às inter-relações entre os indivíduos que nele habitam.

As relações e/ou interações entre plantas e micro-organismos vem sendo estudadas há décadas em todo o mundo, especialmente aquelas associadas ao sistema radicular. Nesse sentido, as raízes exercem papel fundamental na formação e manutenção das comunidades microbianas, podendo influenciar diretamente a dinâmica das populações ali presentes.

Dentre os micro-organismos componentes da microbiota do solo, bactérias e fungos estão entre os mais pesquisados, cuja contribuição vai além da decomposição de substratos orgânicos e ciclagem de nutrientes, encontrando nas raízes ou na fração de solo por elas influenciada, o ambiente propício para que se multipliquem e exerçam o papel que lhes cabe, tanto nos sistemas naturais quanto nos agroecossistemas.

As espécies microbianas do solo têm sua atividade despertada a partir de estímulos oriundos do metabolismo vegetal, tais como exsudatos radiculares que podem ser compreendidos como moléculas biológicas, a exemplo de aminoácidos, carboidratos, flavonoides, enzimas, dentre outros. Esses compostos podem determinar o grau de afinidade entre a planta e o micro-organismo e as formas como interagem, porquanto considera-se a atividade microbiana como um indicador de qualidade e saúde do solo, das quais dependem a sustentabilidade ambiental.

Nesse capítulo serão abordados, numa linguagem simples ao leitor, os benefícios oriundos a partir das interações que se formaram ao longo do processo evolutivo entre plantas e micro-organismos do solo, sobretudo quando estabelecidas no sistema radicular e por ele estimuladas.

BACTÉRIAS E FUNGOS QUE BENEFICIAM AS PLANTAS: ESTÍMULO AO DESENVOLVIMENTO VEGETAL A PARTIR DAS RAÍZES

As raízes, de maneira geral, auxiliam na fixação das plantas, nutrição, absorção de água e melhorias na qualidade do solo, contribuindo para a conservação e estabilidade em suas propriedades físicas, químicas e biológicas.

A área ou zona de influência das raízes, conhecida como rizosfera (HILTNER, 1904) concentra grande diversidade de populações microbianas, as quais encontram nesse ambiente, o lugar ideal para o seu desenvolvimento.

Devido à complexidade dos sistemas radiculares, a rizosfera pode ser considerada como um gradiente de propriedades físico-químicas e biológicas que se alteram ao longo da raiz (MCNEAR, 2013; HARTMANN *et al.*, 2008).

As raízes liberam quantidades expressivas de carbono, que podem estar nas formas orgânica ou inorgânica. Entretanto, os compostos orgânicos apresentam-se em formas mais variadas, podendo influenciar os processos que ocorrem na rizosfera (JONES *et al.*, 2009). Conseqüentemente, substâncias como mucilagens (ricas em polissacarídeos) e exudatos (compostos quimicamente diversos – açúcares, ácidos orgânicos, vitaminas, e inúmeras outras biomoléculas em atividade) liberados a partir do metabolismo vegetal, nas diferentes etapas do seu desenvolvimento, são fundamentais para o estabelecimento e permanência das populações microbianas ali existentes.

A disponibilidade dessas biomoléculas na região rizosférica faz com que a atividade microbiana se intensifique, tornando mais sólidas as interações entre as plantas e os micro-organismos. Esse fator pode estar associado às ações relacionadas com a facilidade na obtenção de nutrientes como fósforo e ferro, quimiotaxia (a partir da liberação de sinais químicos específicos – leguminosas e rizóbio por exemplo, além da promoção do crescimento e colonização radicular realizada por espécies de bactérias e fungos. Da mesma forma, substâncias inibidoras também são depositadas na rizosfera, funcionando como defesa contra micro-organismos antagônicos (BAIS *et al.*, 2004; MOREIRA; SIQUEIRA, 2006; CHAPARRO *et al.*, 2012).

São inúmeras as espécies bacterianas que colonizam as raízes e/ou vivem na rizosfera. Bactérias diazotróficas podem formar simbioses, desenvolvendo estruturas específicas conhecidas como nódulos, ou associa-se às plantas, ocupando o interior de tecidos vegetais, especialmente nas raízes. O endofitismo é uma característica comum entre os diazotróficos, podendo ser facultativo ou obrigatório, não causando danos à planta hospedeira (BALDANI & BALDANI, 2005; SUMAN *et al.*, 2005).

O papel desempenhado por bactérias na regulação ou promoção do crescimento das plantas se estende além da habilidade em fixar o nitrogênio atmosférico, característica presente em algumas espécies que possuem o complexo enzimático denominado nitrogenase. Compreendem diversas habilidades, dentre as quais destacam-se a produção de hormônios vegetais,

solubilização de fosfatos, produção de antibióticos, sideróforos, controle de patógenos (NEILANDS, 1995; REIS, 2002; REIS JÚNIOR *et al.*, 2003; RADWAN *et al.*, 2004; BRAUD *et al.*, 2006; RYAN *et al.*, 2008; HUNGRIA *et al.*, 2010; VIDEIRA *et al.*, 2012; PII *et al.*, 2015; JACOBY *et al.*, 2017; SANTOS *et al.*, 2019).

O endofitismo também está presente entre os indivíduos do Reino Fungi. Associações mutualísticas entre fungos e plantas superiores, com designação de micorrizas, são objetos de estudos por muitos pesquisadores em todos os continentes. Fungos micorrízicos habitam o sistema radicular, se estabelecendo nos espaços entre células ou de forma intracelular, não provocando injúrias às células e/ou tecidos, com relações tróficas bem estabelecidas. Podem colonizar desde florestas até culturas de importância agrícola, a exemplo da soja, milho, trigo, arroz, hortaliças, frutíferas, dentre outras, fazendo com que o sistema radicular se expanda por meio de suas hifas, favorecendo principalmente a absorção de nutrientes e água (GERDEMANN, 1968; LOPES *et al.*, 1983; SIMPSON & DAFT, 1990; POSTA *et al.*, 1994; SIQUEIRA *et al.*, 1998; BERBARA *et al.*, 2006; SOUZA *et al.*, 2005; SOUZA *et al.*, 2006; SOUZA *et al.*, 2010; DUAN *et al.*, 2011; MERGULHÃO *et al.*, 2014; ZHAO *et al.*, 2015; CARDOSO *et al.*, 2020).

A agricultura no Brasil, a partir da introdução da Revolução Verde, passou a incorporar pacotes tecnológicos, a fim de expandir e melhorar as áreas de produção (SANTOS, 1986). Concomitante a esse processo, avanços na Microbiologia do Solo foram ganhando destaque (DÖBEREINER, 1966; MAGALHÃES & DÖBEREINER, 1984; COLOZZI-FILHO & SIQUEIRA, 1986; DÖBEREINER & PEDROSA, 1987; CAVALCANTE & DÖBEREINER, 1988; SIQUEIRA, *et al.*, 1991; DIDONET & MAGALHÃES, 1993; BALDANI *et al.*, 1997), por meio da descoberta de novas espécies, abrindo caminho para novos grupos e linhas de pesquisa, demonstrando o potencial microbiano na promoção do crescimento vegetal, e almejando sistemas agrícolas mais sustentáveis.

As culturas de importância no cenário agrícola nacional se beneficiam das “parcerias”/interações desenvolvidas com as bactérias e fungos desde os primórdios. É notório a relevância para a soja (*Glycine max*), onde a fixação biológica de nitrogênio, realizada por rizóbios, presentes nos nódulos

radiculares, fornecem todo o nitrogênio requerido pela cultura, elevando o Brasil ao patamar não somente de grande produtor como também exportador dos grãos (HUNGRIA *et al.*, 2007; SEIXAS *et al.*, 2020).

Outra característica desses grupos de bactérias está relacionada à habilidade em solubilizar fosfatos e assim, melhorar a eficiência no aproveitamento do fósforo e a capacidade simbiótica pelas plantas (CHAGAS JUNIOR *et al.*, 2010).

Bactérias não nodulíferas, como *Azospirillum* spp., quando associadas à soja (processo conhecido como coinoculação), contribuem para incrementar a produtividade. Podem ser consideradas promotoras do crescimento, pois apresentam a capacidade de disponibilizar hormônios vegetais, indutores do crescimento radicular e assim, ampliam a área de absorção de nutrientes pelas raízes (CHIBEBA *et al.*, 2015; PRANDO *et al.*, 2020), e a contribuição é ampliada com a presença de fungos micorrízicos arbusculares presentes no sistema radicular, principalmente quando selecionados e inoculados (MIRANDA *et al.*, 2005; OLIVEIRA *et al.*, 2019).

A coinoculação em lavouras de soja tem propiciado às plantas maior resistência aos estresses abióticos sob condições de campo, representando uma estratégia com eficácia no aumento da produtividade de grãos, preservando a fixação biológica de nitrogênio, melhorando o ajuste osmótico, manutenção dos processos fisiológicos nas regiões tropicais onde são frequentes curtos períodos de seca (MORETTI *et al.*, 2021).

Rondina *et al.* (2020) avaliaram os efeitos da coinoculação em plantas de soja com estirpes de *Azospirillum brasilense* e da aplicação de seus exsudatos nas características morfológicas das raízes e observaram que houve aumento no número de ramos e nódulos radiculares, no comprimento específico da raiz, na densidade do comprimento da raiz no solo, na incidência e comprimento de pelos da raiz e no conteúdo de nitrogênio total na parte aérea, com resultado significativo sobre a produtividade de grãos.

Outras leguminosas produtoras de grãos também são favorecidas pelas simbioses estabelecidas com bactérias diazotróficas: feijão comum (*Phaseolus vulgaris*), feijão caupi (*Vigna unguiculata*), amendoim (*Arachis hypogaea* L.), grão-de-bico (*Cicer arietinum* L.), ervilha (*Pisum sativum*) e feijão guandu (*Cajanus cajan*), no qual as raízes contribuem sobretudo para auxiliar na

descompactação de solos, assim como melhoria da qualidade do solo quando utilizada como adubo verde. Embora não apresentando o mesmo grau de eficiência da soja, é grande a contribuição e serviços ambientais prestados a partir das interações entre essas culturas e sua microbiota, tendo em vista economia na utilização de fertilizantes nitrogenados, redução dos impactos ambientais e a sustentabilidade do sistema (GIARDINK *et al.*, 1985; NEVES *et al.*, 2020; GUIMARÃES *et al.*, 2019; BRITO *et al.*, 2015, SILVA *et al.*, 2006; DEEPA *et al.*, 2010; FRIGO *et al.*, 2014; ROKHZADI *et al.*, 2008; PERES *et al.*, 1989; AZEVEDO *et al.*, 2002; GUIMARÃES *et al.*, 2016, FARIAS *et al.*, 2015).

A sustentabilidade agroambiental é um propósito a ser alcançado. Assim, o manejo do solo requer cuidados além do uso correto de insumos industrializados, considerando que nas grandes regiões produtoras de grãos no Brasil, a monocultura exerce predomínio, culminando em baixa diversidade de espécies (vegetal e microbiana) habitando o solo. Nesse sentido, o emprego de bactérias e/ou fungos que promovem o crescimento das plantas é uma prática que vem sendo adotada e aperfeiçoada para aplicação em plantas não leguminosas produtoras de grãos – milho (*Zea mays*), arroz (*Oryza sativa* L.), trigo (*Triticum aestivum*), na produção de cana-de-açúcar (*Saccharum officinarum*) e na formação e manutenção de pastagens, com espécies do gênero *Brachiaria* (*Urochloa* spp.).

Bactérias promotoras do crescimento de plantas isoladas a partir das raízes de milho, foram aplicadas em experimentos a fim de se verificar o potencial em auxiliar no desenvolvimento dessa cultura. Estudo realizado no estado do Paraná demonstrou que as estirpes bacterianas utilizadas contribuíram para aumento no comprimento, diâmetro, volume e massa seca radicular, refletindo em melhor concentração de nitrogênio e fósforo. Observou-se a capacidade em produzir sideróforos, ácido indolacético, solubilização de fosfato e fixação biológica de nitrogênio. Adicionalmente, análises filogenéticas permitiram a identificação das estirpes como pertencentes aos gêneros *Cellulosimicrobium*, *Stenotrophomonas*, *Enterobacter*, and *Bacillus* (IKEDA *et al.*, 2020).

A contribuição de micro-organismos diazotróficos e promotores do crescimento de plantas para a cultura do milho, também foram relatadas por outros grupos de pesquisa (HUNGRIA *et al.*, 2010; ARAÚJO *et al.*, 2014,

GALINDO *et al.*, 2016; MOREIRA *et al.*, 2017; CARVALHO DIAS *et al.*, 2021), com resultados promissores quando relacionados ao potencial biotecnológico microbiano, visando à produção de inoculantes (SANTOS *et al.*, 2021) e ampliação da adoção dessa tecnologia nas pequenas, médias e grandes propriedades.

Considerados alimentos indispensáveis à dieta do brasileiro, o arroz e o trigo em seu processo de produção requerem grandes quantidades de nitrogênio fertilizante para que possam completar o ciclo fenológico, elevando os custos de produção e possíveis impactos ao sistema. No entanto, a microbiota presente na rizosfera dessas plantas tem contribuído para que a produção nessas culturas, assim como em outras já discutidas nesse capítulo, ocorra com menos dependência de insumos industrializados.

Estirpes de *A. brasilense*, por sua capacidade em produzir hormônios vegetais e fixar nitrogênio contribuem com até 40% do nitrogênio requerido pelo arroz (SANTOS F. *et al.*, 2019). Contribuições de espécies bacterianas como *Herbaspirillum seropedicae* e *Burkholderia kururiensis*, também são observados e seus benefícios confirmados (BALDANI *et al.*, 2000; GUIMARÃES *et al.*, 2007; SABINO *et al.*, 2012).

Em plantas de trigo, a coinoculação de *A. brasilense* juntamente com *Bradyrhizobium japonicum*, *Rhizobium tropici* e *R. leguminosarum* promoveram incremento no comprimento e volume das raízes (figura 1) e ganhos de qualidades dos grãos (ROQUE *et al.*, 2021).



Figura 1 – Raízes de plantas de trigo, cultivar BR264, coinoculadas com *A. brasilense* e bactérias nodulíferas. (A) – *A. brasilense*+*B. japonicum* (soja); (B) - *A. brasilense*+*B. japonicum* (caupi); (C) - *A. brasilense*+*R. tropici*; (D) - *A. brasilense*+*R. tropici*; (E) - *A. brasilense*+*R. leguminosarum*; (F) – Testemunha.

Fonte – Roque (2020).

A cana-de-açúcar, desde muito tempo, é uma cultura de destaque no Brasil, não somente pela fabricação do açúcar, como também pelo etanol produzido, bastante empregado na indústria de automóveis, menos poluente que os combustíveis derivados do petróleo. Estudos têm mostrado os efeitos da inoculação de bactérias diazotróficas e promotoras do crescimento em plantas de cana-de-açúcar, com resultados promissores obtidos quando se executa a inoculação combinada de diferentes espécies bacterianas. Desse modo, melhor desenvolvimento de colmos e mais expansão do sistema radicular estão diretamente relacionados, e os ganhos de nitrogênio via fixação biológica podem variar de 31% (PEREIRA *et al.*, 2021) a 64% (MARTINS *et al.*, 2020).

Importante destacar que a interação entre bactérias diazotróficas e cana-de-açúcar pode ser maior entre variedades com resposta à baixa fertilidade do solo, efeito pertinente, principalmente quando relacionado à redução de insumos industrializados e melhoria das condições ambientais (SANTOS *et al.*, 2020). Adicionalmente, a cana-de-açúcar, quando inoculada com rizóbio, tem seu crescimento radicular e aéreo estimulados, possivelmente em função da produção de substâncias hormonais, destacando-se as giberelinas (FERREIRA *et al.*, 2020).

Esses efeitos benéficos provenientes das diversas interações, similarmente ocorre em gramíneas forrageiras tropicais, em grande parte em espécies de braquiária, as quais são muito utilizadas nas pastagens brasileiras, aumentando a absorção de nutrientes, decorrentes de maior prolongamento das raízes e melhor exploração do solo (HUNGRIA *et al.*, 2010), confirmado posteriormente em estudos que abordaram sobre maior população diazotrófica associada às raízes das pastagens e maior potencial para a fixação biológica de nitrogênio descrito para estirpes pertencentes ao gênero *Azospirillum* (SANTOS *et al.*, 2013; BOSA *et al.*, 2016).

A aplicação de micro-organismos (bactérias e fungos micorrízicos) nas pastagens brasileiras, além de ser uma estratégia ecologicamente correta, pode gerar forragens com melhor qualidade nutricional, reduzir a emissão de gases de efeito estufa por meio do sequestro de carbono, melhorar de forma significativa o desenvolvimento, a saúde e o rendimento das plantas, com

maior viabilidade e sustentabilidade (HUNGRIA *et al.*, 2021; KUNDAN *et al.*, 2015; CARNEIRO *et al.*, 2012).

A sustentabilidade, palavra tão falada e discutida nas últimas décadas, requer esforço global. Atualmente, não se pode conceber a ideia de elevar a produção de alimentos sem que haja uma relação com a preservação ambiental e, por conseguinte, dos agroecossistemas.

São notórios os benefícios advindos da aplicação e uso de tecnologias sustentáveis, a partir das interações entre plantas e micro-organismos. Conhecimentos foram gerados por meio de estudos ecológicos, desde o isolamento à caracterização filogenética das espécies envolvidas nos processos. Precisamos continuar avançando com novas descobertas e potenciais aplicações biotecnológicas, visando sempre os sistemas sustentáveis de produção, com foco na conservação do solo, água, manutenção das coberturas vegetais e preservação dos recursos genéticos microbianos – chave para a sustentabilidade.

REFERÊNCIAS

ARAÚJO, R.M.; ARAÚJO, A S.F.; NUNES, L.A.P.L.; FIGUEIREDO, M.V.B. Resposta do milho verde à inoculação com *Azospirillum brasilense* e níveis de nitrogênio. **Ciência Rural**, v. 44, p.1556-1560, 2014.

AZEVEDO, W.R.; FAQUIN, V.; MOREIRA, F.M.S.; JÚNIOR, A.C.O.; LISBOA, C.C. Efeito do boro na nodulação da ervilha cultivada em solos de várzea. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 37, n. 8, p. 1137-1143, 2002.

BAIS, H.P.; PARK, S.W.; WEIR, T.L.; CALLAWAY, R. M.; VIVANCO, J.M. How plants communicate using the underground information superhighway. **Trends in Plant Science**, v.9, n.1, p. 26-32, 2004.

BALDANI, I. J.; BALDANI, L.V. History on the biological nitrogen fixation research in graminaceous plants: special emphasis on the Brazilian experience. **Anais da Academia Brasileira de Ciências**, v.77, p.549-579, 2005.

BALDANI, J.I., CARUSO, L., BALDANI, V.L., GOI, S. R., DÖBEREINER, J. Recent advances in BNF with non-legume plants. **Soil Biology and Biochemistry**, v.29, p. 911-922, 1997.

BALDANI, J.I.; BALDANI, V.L.D.; DÖBEREINER, J. Inoculation of rice plants with the endophytic diazotrophs *Herbaspirillum seropedicae* and *Bulkholderia* spp. **Biology and Fertility of Soils**, v.30, p.485-491, 2000.

BERBARA, R. L. L.; SOUZA, F. A.; FONSECA, H. M. A. C. Fungos micorrízicos arbusculares: muito além da nutrição. In: FERNADES, M. S. (Ed.). **Nutrição mineral de plantas**. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, p. 53-88.2006.

BOSA, C. K.; GUIMARÃES, S. L.; POLIZEL, A. C.; BONFIM-SILVA, E. M.; CANUTO, E. L. Características produtivas e nutricionais do capim-xaraés inoculado com bactérias diazotróficas associativas. **Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinária e Zootecnia**, v.68, n.5, p. 1360-1368, 2016.

BRAUD, A.; JEZEQUEL, K.; LEGER, M. A.; LEBEAU, T. Siderophore production by using free and immobilized cells of two pseudomonads cultivated in a medium enriched with Fe and/or toxic metals (Cr, Hg, Pb). **Biotechnology and Bioengineering**, v.94, p. 1080-1088, 2006.

BRITO, L.F.; PACHECO, R.S.; FILHO, B.F.S.; FERREIRA, E.P.B.; STRALIOTTO, R.; ARAÚJO, A.P. Resposta do Feijoeiro Comum à Inoculação com Rizóbio e Suplementação com Nitrogênio Mineral em Dois Biomas Brasileiros. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.39, n.4, p.981-992, 2015.

CARDOSO, E.J.B.N.; GONÇALVES, J.L.M.; BALIEIRO, F.C.; FRANCO, A.A. **Mixed Plantations of Eucalyptus and Leguminous Trees**. Springer International Publishing, 459p., 2020.

CARNEIRO, R.F.V.; CARDOZO JÚNIOR, F.M.; PEREIRA, L.; ARAÚJO, A. S.F.; SILVA, G.A. Fungos micorrízicos arbusculares como indicadores da recuperação de áreas degradadas no Nordeste do Brasil. **Revista Ciência Agrônômica**, v. 43, n. 4, p. 648-657, 2012.

CARVALHO DIAS, A.; ALVES, G.C.; DA SILVA, T.F.R.; ALVES, B.J. R.; SANTOS, L.A.; REIS, V.M. Comparison of N uptake of maize inoculated with two diazotrophic bacterial species grown under two N levels. **Archives of Agronomy and Soil Science**, v. 1, p. 1-17, 2021.

CAVALCANTE, V.A., DÖBEREINER, J. A new acidtolerant nitrogen-fixing bacterium associated with sugarcane. **Plant and Soil**, v.108, p. 23-31, 1988.

CHAGAS JUNIOR, A.F.; OLIVEIRA, L.A.; OLIVEIRA, A.N.; WILLERDING, A. L. Capacidade de solubilização de fosfatos e eficiência simbiótica de rizóbios isolados de solos da Amazônia. **Acta Scientiarum. Agronomy**, v. 32, n. 2, p. 359-366, 2010.

CHAPARRO, J. M.; SHEFLIN, A. M.; MANTER, D. K.; VIVANCO, J. M. Manipulating the soil microbiome to increase soil health and plant fertility. **Biology and Fertility of Soils**, v. 48, n. 5, p. 489-499, 2012.

CHIBEBA, A. M.; GUIMARÃES, M. F.; BRITO, O. R.; NOGUEIRA, M. A.; ARAUJO, R. S.; HUNGRIA, M. Co-inoculation of soybean with *Bradyrhizobium*

and *Azospirillum* promotes early nodulation. **American Journal of Plant Sciences**, v. 6, p. 1641-1649, 2015.

COLOZZI-FILHO, A.; SIQUEIRA, J. O. Micorrizas vesículo-arbuscular em mudas de cafeeiro. I. Efeitos da *Gigaspora margarita* e adubação fosfatada no crescimento e nutrição. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 10, p. 119-205, 1986.

DEEPA, C.K., DASTAGER, S.G.; PANDEY, A. Isolation and characterization of plant growth promoting bacteria from non-rhizospheric soil and their effect on cowpea (*Vigna unguiculata* L. Walp.) seedling growth. **World Journal of Microbiology and Biotechnology**, v. 26, p.1233-1240, 2010.

DIDONET, A.D., MAGALHÃES, A.C.N. The role of auxin-like compounds in plant Growth promoting rhizobacteria: the wheat-*Azospirillum* association. **Revista Brasileira de Fisiologia Vegetal**, V.5, P.179-183, 1993.

DÖBEREINER, J. *Azotobacter paspali* sp. n., uma bactéria fixadora de nitrogênio na rizosfera de *Paspalum*. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.1, p. 357-365, 1966.

DÖBEREINER, J., PEDROSA, F.O. Nitrogen-fixing bacteria in non-leguminous crop plants. **Science Tech**, Madison, USA. 155p. 1987.

DUAN, T., FACCELIC, E., SMITHC, S.E., SMITHC, F.A., NANA, Z. Differential effects of soil disturbance and plant residue retention of arbuscular mycorrhizal (AM) symbioses are not reflected in colonization of roots or hyphal development in soil. **Soil Biology and Biochemistry**. v. 43, n. 3, p. 571-578, 2011.

FARIAS, L.N.; BONFIM-SILVA, E.M.; GUIMARAES, S.L.; POLIZEL, A.C.; SILVA, T.J.A.; SCHLICHTING, A.F. Concentration of nutrients and chlorophyll index in pigeon pea fertilized with rock phosphat and liming in Cerrado oxisol. **African Journal of Agricultural Research**, v. 10, p. 1743-1750, 2015.

FERREIRA, N.S.; MATOS, G.F.; MENESES, C.H.S.G.; REIS, V.M.; ROUWS, J.R. C.; SCHWAB, S.; BALDANI, J.I.; ROUWS, L.F.M. Interaction of phytohormone-producing rhizobia with sugarcane mini-setts and their effect on plant development. **Plant and Soil**, v. 451, p. 221–238, 2020.

FRIGO, G.R.; GUIMARAES, S.L.; BONFIM-SILVA, E. M.; POLIZEL, A.C. The inoculation of cowpeaculture with rhizobial lineage in Brazilian Cerrado Region. **African Journal of Microbiology Research**, v. 8, p. 3150-3156, 2014.

GALINDO, F.S.; TEIXEIRA FILHO, M.C.M.; BUZETTI, S.; SANTINI, J.M.K.; ALVES, C.J.; NOGUEIRA, L.M.; LUDKIEWICZ, M.G.Z.; ANDREOTTI, M.; BELLOTE, J.L.M. Corn yield and foliar diagnosis affected by nitrogen fertilization and inoculation with *Azospirillum brasilense*. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.40, p.1-18. 2016.

GERDEMANN, J.W. Vesicular-arbuscular mycorrhiza and plant growth **Annual Review of Phytopathology**, Palo Alto, v. 6, p. 397-418, 1968.

GIARDINK, A.R.; LOPES, E.S.; FILHO, A.S.; NEPTUNE, A.M.L. Inoculação com *Rhizobium* e aplicação de nitrogênio em amendoim. **Bragantia**, v.44, n.1, p.27-39, 1985.

GUIMARÃES, S.L.; BALDANI, V.L. D.; BALDANI, J.I.; JACOB-NETO, J. Adição de molibdênio ao inoculante turfoso com bactérias diazotróficas usado em duas cultivares de arroz irrigado. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 42, p. 393-398, 2007.

GUIMARÃES, S.L.; BONFIM-SILVA, E.M.; SOUZA, A.C.P.; SIMEON, B.G. Efficiency of Inoculation with *Rhizobium* in Peanuts (*Arachis hypogaea* L.) Grown in Brazilian Cerrado Soil. **Agricultural Sciences**, v. 10, p. 948-956, 2019.

GUIMARÃES, S.L.; NEVES, L.C.R.; BONFIM-SILVA, E.M.; CAMPOS, D.T.S. Development of pigeon pea inoculated with *rhizobium* isolated from cowpea trap host plants. **Revista Caatinga**, v. 29, p. 789-795, 2016.

HARTMANN, A.; SCHMID, M.; VAN-TUINEN, D.; BERG, G. Plantdriven selection of microbes. Springer Science. **Plant and Soil**, v.321, p. 235-257, 2008.

HILTNER, L. Ueber neuere Erfahrungen und Probleme auf dem Gebiete der Bodenbakteriologie und unter besonderer Berücksichtigung der Grundungung und Brache. **Arb. Deut. Landw. Gesell**, v.98, p. 59-78, 1904.

HUNGRIA, M.; CAMPO, R. J.; MENDES, I. C. **A importância do processo de fixação biológica do nitrogênio para a cultura da soja: componente essencial para a competitividade do produto brasileiro**. Londrina: Embrapa Soja, Documentos, 283, 80 p., 2007.

HUNGRIA, M.; CAMPO, R.J.; SOUZA, E.M.; PEDROSA, F.O. Inoculation with selected strains of *Azospirillum brasilense* and *A. lipoferum* improves yields of maize and wheat in Brazil. **Plant and Soil**, v.331, p.413-425, 2010.

HUNGRIA, M.; RONDINA, A.B.L.; NUNES, A.L.P.; ARAUJO, R.S.; NOGUEIRA, M.A. Seed and leaf-spray inoculation of PGPR in brachiarias (*Urochloa* spp.) as an economic and environmental opportunity to improve plant growth, forage yield and nutrient status. **Plant and Soil**, v. 463, p.171–186, 2021.

IKEDA, A.C.; HUNGRÍA, M.; SAVI, D.C.; KAVA, V.; GLIENKE, C.; GALLITERASAWA, L. Bioprospecting of elite plant growth-promoting bacteria for the maize crop. **Acta Scientiarum. Agronomy**, v. 42, p. e44364, 2020.

JACOBY, R.; PEUKERT, M.; SUCCURRO, A.; KOPRIVOVA, A.; KOPRIVA, S. The role of soil microorganisms in plant mineral nutrition – Current knowledge and future directions. **Frontiers in Plant Science**, v.8, p.1-19, 2017.

JONES, D.L., NGUYEN, C., FINLAY, R.D. Carbon flow in the rhizosphere: carbon trading at the soil-root interface. **Plant and Soil**. v.321, p.5-33, 2009.

KUNDAN, R.; PANT, G.; JADON, N.; AGRAWAL, P.K. Plant Growth Promoting Rhizobacteria: Mechanism and Current Prospective. **Journal of Fertilizers & Pesticides**, v.6, p. 2-9, 2015.

LOPES, E.S.; SIQUEIRA, J.; ZAMBOLIM, L. Características das Micorrizas Vesículo Arbusculares e seus Efeitos no Crescimento das Plantas. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, 1983.

MAGALHÃES, F.M.M., DÖBEREINER, J. Ocorrência de *Azospirillum amazonense* em alguns ecossistemas da Amazônia. **Revista de Microbiologia**, v.15, p. 246-252, 1984.

MARTINS, D.S.; REIS, V.M.; SCHULTZ, N.; ALVES, B.J.R.; URQUIAGA, S.; PEREIRA, W.; SOUSA, J.S.; BODDEY, R.M. Both the contribution of soil nitrogen and of biological N₂ fixation to sugarcane can increase with the inoculation of diazotrophic bacteria. **Plant and Soil**, v.454, p.155–169, 2020.

MCNEAR Jr., D. H. The Rhizosphere - Roots, Soil and Everything In Between. **Nature Education Knowledge**. v.4, n.3, p.1-20, 2013.

MERGULHÃO, A.C.E.S.; SILVA, M.V.L.; FIGUEIREDO, M.C.C.P.; SILVA, M.V.B.; MAIA, M.L.R.B.; COSTA, L. Caracterização morfológica e molecular de fungos micorrízicos arbusculares isolados de áreas de mineração de gesso, Araripina, PE, Brasil. **Hoehnea**. v. 41, n. 3, p. 393- 400, 2014.

MIRANDA, J.C.C.; VILELA, L.; MIRANDA, L.N. Dinâmica e contribuição da micorriza arbuscular em sistemas de produção com rotação de culturas. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.40, n.10, p.1005-1014, 2005.

MOREIRA, F. M. S.; SIQUEIRA, J. O. **Microbiologia e bioquímica do solo**. 2ª ed., Lavras: Editora UFLA, 729p., 2006.

MOREIRA, J.C.F.; GUIMARAES, S. L.; CANUTO, E.L.; BONFIM-SILVA, E. M. Development and yield of maize in response to inoculation of associative diazotrophic bacteria and nitrogen doses. **Australian Journal of Crop Science**, v.11, p. 1210-1215, 2017.

MORETTI, L.G.; CRUSCIOL, C.A.C.; BOSSOLANI, J.W.; CALONEGO, J.C.; MOREIRA, A.; GARCIA, A.; MOMESSO, L.; KURAMAE, E.E.; HUNGRIA, M. Beneficial microbial species and metabolites alleviate soybean oxidative damage and increase grain yield during short dry spells. **European Journal of Agronomy**, v.127, 126293, 2021.

NEILANDS, J. B. Siderophores – structure and function of microbial iron transport compounds. **Journal of Biological Chemistry**, v.270, p. 26723-26726, 1995.

NEVES, L.C.R.; GUIMARAES, S. L.; BONFIM-SILVA, E. M.; SOUZA, A. C. P.; CAMPOS, D.T.S. Efeito da compactação do solo e da coinoculação com *Azospirillum brasilense* no desenvolvimento de plantas de amendoim. **Revista Caatinga**, v. 33, p. 1049-1059, 2020.

OLIVEIRA, T.C.; UEHARA, H.M.; SILVA, L.D.; TAVARES, G.G.; SANTANA, L. R.; CABRAL, J.S.R.; SOUCHIE, E.L.; MENDES, G.C. Produtividade da soja em associação ao fungo micorrízico arbuscular *Rhizophagus clarus* cultivada em condições de campo. **Revista de Ciências Agroveterinárias**, v.18, n.4, p. 1-6, 2019.

PEREIRA, W.; OLIVEIRA, R.P.; PEREIRA, A.; SOUSA, J.S.; SCHULTZ, N.; URQUIAGA, S.; REIS, V.M. Nitrogen acquisition and 15N-fertiliser recovery efficiency of sugarcane cultivar RB92579 inoculated with five diazotrophs. **Nutrient Cycling in Agroecosystems**, v. 119, p.37–50, 2021.

PERES, J.R.R.; SUHET, A.R.; VARGAS, M.A.T. Fixação de nitrogênio atmosférico pela ervilha em solos de cerrados. **Informe Agropecuário**, Belo Horizonte, v. 14, n. 158, p. 19, mar. 1989.

PII, Y.; MIMMO, T.; TOMASI, T.; TERZANO, R.; CESCO, S.; CRECCHIO, C. Microbial interactions in the rhizosphere: beneficial influences of plant growth-promoting rhizobacteria on nutrient acquisition process. A review. **Biology and Fertility of Soil**, v.51, p.403-415, 2015.

POSTA, K.; MARSCHNER, H.; RÖMHELD, V. Manganese reduction in the rhizosphere of mycorrhizal and non-mycorrhizal maize. **Mycorrhiza**, Berlin, v. 5, p. 119-124, 1994.

PRANDO, A.M.; OLIVEIRA, A.B.; LIMA, D.; POSSAMAI, E.J.; REIS, E.A.; NOGUEIRA, M.A.; HUNGRIA, M.; CONTE, O. Coinoculação da soja com *Bradyrhizobium* e *Azospirillum* na safra 2019/2020 no Paraná. **Circular Técnica 166**, p.1-22, 2020.

RADWAN, T.E.E.; MOHAMED, Z.K.; REIS, V.M. Efeito da inoculação de *Azospirillum* e *Herbaspirillum* na produção de compostos indólicos em plântulas de milho e arroz. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.39 n.10, 2004.

REIS JÚNIOR, F.B. dos; TEIXEIRA, K.R. dos S.;URQUIAGA, S.;REIS, V. M. **Associação de bactérias promotoras de crescimento de plantas do gênero *Azospirillum* com diferentes espécies de *brachiaria***. Planaltina: Embrapa Cerrados, 2003. 51p. (Embrapa Cerrados. Documentos, 81).

REIS, V.M. Production of indole-3-acetic acid by different strains of *Azospirillum* and *Herbaspirillum* spp. **Symbiosis**, v.32, p.39-54, 2002.

ROKHZADI, A.; ASGHARZADEH, A.; DARVISH, F.; NOUR-MOHAMMADI, G.; MAJIDI, E. Influence of plant growth-promoting rhizobacteria on dry matter accumulation and yield of chickpea (*Cicer arietinum* L.) under field conditions.

American-Eurasian Journal of Agricultural and Environmental Science, v.3, p.253-257, 2008.

RONDINA, A.B.L.; DOS SANTOS SANZOVO, A.W.; GUIMARÃES, G.S.; WENDLING, J.R.; NOGUEIRA, M.A.; HUNGRIA, M. Changes in root morphological traits in soybean co-inoculated with *Bradyrhizobium* spp. and *Azospirillum brasilense* or treated with *A. brasilense* exudates. **Biology and Fertility of Soils**. v. 56, p. 537-549, 2020.

ROQUE, W.F. **Desempenho de Cultivares de Trigo Coinoculadas com Bactérias Nodulíferas**. Dissertação - Universidade Federal de Mato Grosso, 90 p., 2020

ROQUE, W.F.; GUIMARÃES, S.L.; BONFIM-SILVA, E.M. Development of wheat plants coinoculated with rhizobium strains. **Brazilian Journal of Agricultural and Environmental Engineering**, v.25, n.11, p.758-763, 2021.

RYAN, R. P.; GERMAINE, K.; FRANKS, A.; RYAN, D. J.; DOWLING D. N. Bacterial endophytes: recent developments and applications. **FEMS – Microbiology Letters**. v.278, p. 1-9, 2008.

SABINO, D.C.C.; FERREIRA, J.S.; GUIMARÃES, S.L.; BALDANI, V.L.D. Bactérias diazotróficas como promotoras do desenvolvimento inicial de plântulas de arroz. **Enciclopédia Biosfera**, v.8, n.15; p. 2337-2345, 2012.

SANTOS F.L.; SILVA, F.B.; SÁ, E.L.S.; VIAN, A.L.; WESTPHAL MUNIZ, A.W.; SANTOS, R.N. Inoculation and co-inoculation of growth promoting rhizobacteria in irrigated rice plants. **Revista Brasileira de Ciência Agrária**, v.14, p. e5665, 2019.

SANTOS M.S., NOGUEIRA M.A., HUNGRIA M. Outstanding impact of *Azospirillum brasilense* strains Ab-V5 and Ab-V6 on the Brazilian agriculture: Lessons that farmers are receptive to adopt new microbial inoculants. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.45, p. e0200128, 2021.

SANTOS, M.C.M.; SANTOS, D.R.; BAKKE, O.A.; BAKKE, I. Ocorrência e atividade de bactérias diazotróficas em forrageiras cultivadas na região semiárida no Brasil. **Revista Caatinga**, v. 26, n. 1, p. 27-34, 2013.

SANTOS, R.F. Análise crítica da interpretação neoclássica do processo de modernização da agricultura brasileira. In: SANTOS, R.F. Presença de vieses de mudança técnica da agricultura brasileira. São Paulo: USP/IPE, p.39-78, 1986.

SANTOS, S.G.; CHAVES, V.A.; RIBEIRO, S.F.; ALVES, G.C.; REIS, V.M. Rooting and growth of pre-germinated sugarcane seedlings inoculated with diazotrophic bacteria. **Applied Soil Ecology**, v.133, p.12-23, 2019.

SANTOS, S.G.; RIBEIRO, F.S.; ALVES, G.C.; SANTOS, L.A.; REIS, V.M. Inoculation with five diazotrophs alters nitrogen metabolism during the initial

growth of sugarcane varieties with contrasting responses to added nitrogen. **Plant and Soil**, v.451, p. 25–44, 2020.

SEIXAS, C. D. S.; NEUMAIER, N.; BALBINOT JUNIOR, A. A.; KRZYŻANOWSKI, F. C.; LEITE, R. M. V. B. de C. (Ed.). **Tecnologias de produção de soja**. Londrina: Embrapa Soja, 347 p., 2020.

SILVA, V.N.; SILVA, L.E.S. F.; FIGUEIREDO, V.B. Atuação de rizóbio com rizobactéria promotora de crescimento em plantas na cultura do caupi (*Vigna unguiculata* [L.] Walp.). **Acta Scientiarum Agronomy**, v. 28, n. 03, p. 407-412, 2006.

SIMPSON, D., DAFT, M.J. Interactions between water-stress and different mycorrhizae development in maize and sorghum. **Plant and Soil**, Hague, v. 121, p. 179-186, 1990.

SIQUEIRA, J. O.; SAFIR, G. R.; NAIR, M. G. Stimulation of vesiculararbuscular mycorrhiza formation and growth of white clover by flavonoid compounds. **New Phytologist**, Oxford, v. 118, p. 87-93, 1991.

SIQUEIRA, J. O.; SAGGIN-JÚNIOR, O. J.; FLORES-AYLAS, W. W.; GUIMARÃES, P. T. G. Arbuscular mycorrhiza inoculation and superfosphate application influence plant development and yield of coffee in Brazil. **Mycorrhiza**, Heidelberg, v. 7, p. 293-300, 1998.

SOUZA, F. A.; STURMER, S. L.; CARRENHO, R.; TRUFEM, S. F. B. Classificação e taxonomia de fungos micorrízicos arbusculares e sua diversidade e ocorrência no Brasil. In: SIQUEIRA, J. O.; SOUZA, F. A.; CARDOSO, E. J. B. N.; TSAI, S. M. (Eds.). **Micorrizas: 30 anos de pesquisa no Brasil**. Lavras: Ed da UFLA, p. 15- 73, 2010.

SOUZA, P.V.D.; CARNIEL, E.; SCHIMITZ, J.A.K.; SILVEIRA, S.V. Influência de substratos e fungos micorrízicos arbusculares no desenvolvimento do porta-enxerto Flying Dragon (*Poncirus trifoliata*, var. *monstruosa* Swing.). **Revista Brasileira de Fruticultura**, v.27, p.285–287, 2005.

SOUZA, V. C.; SILVA, R. A.; CARDOSO, G. D.; BARRETO, A. F. Estudos sobre fungos micorrízicos. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**. v. 10, n. 3, p. 612-618, 2006.

SUMAN, A.; GAUR, A.; SHRIVASTAVA, A.K.; YADAV, R. Improving sugarcane growth and nutriente uptake by inoculating *Glucanacetobacter diazotrophicus*. **Plant Growth Regulation**, v.47, p. 155-162, 2005.

VIDEIRA, S.S.; OLIVEIRA, D.M.; MORAIS, R.F.; BORGES, W.L.; BALDANI, V.L.D. & BALDANI, J.I. Genetic diversity and plant growth promoting traits of diazotrophic bacteria isolated from two *Pennisetum purpureum* Schum. genotypes grown in the field. **Plant and Soil**, 356:51-66, 2012.

ZHAO, R.; GUO, W.; BI, N. *et al.*, Arbuscular mycorrhizal fungi affect the growth, nutrient up take and water status of maize (*Zea mays* L.) grown in two types of coal mine spoils under drought stress. **Applied Soil Ecology**, v. 88, p. 41–49, 2015.

EDITOR (A)

Edna Maria Bonfim-Silva – Zootecnista e Mestre em Agronomia (Ciências do Solo) ambos pela Universidade Federal Rural de Pernambuco (UFRPE). Doutora em Agronomia (Solos e Nutrição de plantas) e Pós-Doutora em Ciências do Solo pela Escola Superior de Agricultura ‘Luiz de Queiroz’ (ESALQ-USP). Professora Associada do curso de Engenharia Agrícola e Ambiental (UFR) na área de Engenharia de Água e Solo e membro permanente dos programas de pós-graduações em Engenharia Agrícola da Universidade Federal de Rondonópolis (UFR) e de Agricultura Tropical da Universidade Federal de Mato Grosso (UFMT).

E-mail: embonfim@hotmail.com

Lattes: <http://lattes.cnpq.br/8660058048761423>

AUTORES (AS)

Alisson Silva Costa – Engenheiro Agrícola e Ambiental pela Universidade Federal de Mato Grosso (UFMT). Mestre em Engenharia Agrícola pela Universidade Federal de Mato Grosso (UFMT). Doutorando em Agricultura Tropical pela Universidade Federal de Mato Grosso (UFMT).

E-mail: alissonsilvadk@gmail.com

Lattes: <http://lattes.cnpq.br/6647093492876663>

Edna Maria Bonfim-Silva – Zootecnista e Mestre em Agronomia (Ciências do Solo) ambos pela Universidade Federal Rural de Pernambuco (UFRPE). Doutora em Agronomia (Solos e Nutrição de plantas) e Pós-Doutora em Ciências do Solo pela Escola Superior de Agricultura ‘Luiz de Queiroz’ (ESALQ-USP). Professora Associada do curso de Engenharia Agrícola e Ambiental (UFR) na área de Engenharia de Água e Solo e membro permanente dos programas de pós-graduações em Engenharia Agrícola da Universidade

Federal de Rondonópolis (UFR) e de Agricultura Tropical da Universidade Federal de Mato Grosso (UFMT).

E-mail: embonfim@hotmail.com

Lattes: <http://lattes.cnpq.br/8660058048761423>

Luana Aparecida Menegaz Meneghetti – Engenheira Agrícola e Ambiental pela Universidade Federal de Mato Grosso (UFMT). Mestre em Engenharia Agrícola pela Universidade Federal de Mato Grosso (UFMT). Doutoranda em Agricultura Tropical pela Universidade Federal de Mato Grosso (UFMT).

E-mail: luana_m.meneghetti@hotmail.com

Lattes: <http://lattes.cnpq.br/0235765423448863>

Niclene Ponce Rodrigues de Oliveira – Engenheira Agrícola e Ambiental pela Universidade Federal de Mato Grosso (UFMT). Mestranda em Engenharia Agrícola pela Universidade Federal de Rondonópolis (UFR).

E-mail: niclene_ponce@hotmail.com

Lattes: <http://lattes.cnpq.br/7394462858018357>

Renata Vilalba Reis – Engenheira Agrônoma pela Faculdade Anhanguera de Rondonópolis. Mestranda em Agricultura Tropical pela Universidade Federal de Mato Grosso (UFMT).

E-mail: renata-vilalba@hotmail.com

Lattes: <http://lattes.cnpq.br/1018670544539814>

Salomão Lima Guimarães – Licenciado em Ciências Agrícolas pela Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro (UFRRJ). Mestre em Ciência do Solo e Doutor em Fitotecnia, ambos pela UFRRJ. Professor Associado da Universidade Federal de Rondonópolis (UFR), lotado no Curso de Graduação em Engenharia Agrícola e Ambiental. Professor Permanente no Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola da UFR.

E-mail: salomao@ufr.edu.br

Lattes: <http://lattes.cnpq.br/9250168755115649>

Tallys Henrique Bonfim da Silva – Graduando em Engenharia Mecânica pela Universidade Federal de Mato Grosso (UFMT).

E-mail: tallys@aluno.ufr.edu.br

Lattes: <http://lattes.cnpq.br/4222734661654408>

Tonny José Araújo da Silva – Engenheiro Agrônomo e Mestre em Agronomia (Ciências do Solo) pela Universidade Federal Rural de Pernambuco (UFRPE). Doutor em Irrigação e Drenagem pela Escola Superior de Agricultura ‘Luiz de Queiroz’ (ESALQ-USP). Foi pesquisador científico do Instituto Agronômico de Campinas (IAC) – Centro de Ecofisiologia e Biofísica. Professor Associado na área de Engenharia de Água e Solo da Universidade Federal de Rondonópolis (UFR). Membro permanente dos programas de pós-graduações em Engenharia Agrícola da Universidade Federal de Rondonópolis (UFR) e de Agricultura Tropical da Universidade Federal de Mato Grosso (UFMT).

E-mail: tonnyjasilva@hotmail.com

Lattes: <http://lattes.cnpq.br/0651075688988405>