

CAPÍTULO 2

Como o solo e os microrganismos ajudam a planta a produzir energia

Alissa Borges de Oliveira

<https://doi.org/10.69570/mp.978-65-84548-43-5.c2>

Resumo

Todo organismo precisa de energia para se manter funcionando, para as plantas essa energia vem da fotossíntese. Para que isso ocorra, além da luz solar, essas plantas precisam de água, ar e também nutrientes, que vem do solo. O solo é um ambiente vivo, cheio desses nutrientes, mas também microrganismos que disponibilizam esses nutrientes no solo e ajudam as plantas em sua absorção. Em troca, a planta compartilha parte do alimento que produz com os fungos e bactérias que ficam em volta da sua raiz ou até dentro dela. Entender essa interação é fundamental para termos plantas mais saudáveis e produtivas.

Palavras-chave: rizosfera; microrganismos; interação.

Abstract

Every organism needs energy to stay alive and function. In plants, this energy comes from photosynthesis. For this process to happen, plants need more than just sunlight: they also need water, air, and nutrients, which come from the soil. The soil is a living environment, rich in nutrients and full of microorganisms that help make these nutrients available and assist plants in absorbing them. In return, the plant shares part of the food it produces with the fungi and bacteria that live around its roots or even inside them. Understanding this interaction is essential for growing healthier and more productive plants and for making better decisions in agriculture.

Keywords: rhizosphere; microorganisms; interaction.

“The soil is the great connector of lives, the source and destination of all.”

Wendell Berry

Atualmente, temos uma consciência muito maior de que nenhum ser vivo existe de forma isolada. Cada vez mais se fala sobre como nossas ações impactam outras espécies e sobre como tudo no meio ambiente está conectado, filmes, como a série Avatar tratam muito bem desse tema. Mas também, documentários e debates ambientais nos mostram que pequenas mudanças podem gerar grandes consequências dentro dos ecossistemas.

No entanto, além dessas relações visíveis, existem interações invisíveis que muitas vezes passam despercebidas. Como, por exemplo, a rede que sustenta a vida de alguns dos organismos responsáveis pela possibilidade da vida como conhecemos: as plantas. Desde a escola, ouvimos que as plantas são fundamentais para a vida no planeta, pois produzem oxigênio e formam a base da cadeia alimentar. Embora essas afirmações sejam corretas, elas costumam ser simplificadas, sem especificar os processos e interações que tornam isso possível.

Por trás desse protagonismo das plantas, no solo, há uma região ao redor das raízes, chamada rizosfera, que abriga uma grande diversidade de microrganismos que participam ativamente da ciclagem de nutrientes e do fornecimento de elementos essenciais para a planta.

Para produzir energia por meio da fotossíntese, as plantas dependem não apenas da luz solar, mas também do solo e dos microrganismos que vivem ao redor ou dentro de suas raízes. Bactérias e fungos auxiliam na absorção de nutrientes e, em troca, recebem parte do alimento produzido pelas plantas, estabelecendo uma relação de cooperação.

Estudos recentes mostram que essas interações entre plantas e microrganismos aumentam a eficiência da produção de energia e contribuem para plantas mais saudáveis e produtivas, com impactos diretos na agricultura e na sustentabilidade dos ecossistemas. Compreender essas relações vai além do conteúdo escolar tradicional e permite uma visão mais completa de como a vida na Terra é sustentada.

1. O que é “energia” para uma planta?

Pense numa placa solar, elas estão em alta hoje em dia. Como elas funcionam? Mesmo não sabendo exatamente como tudo funciona, sabemos que

ela capta a energia solar e essa energia pode ser usada para esquentar a água de uma piscina, ou até mesmo para ser utilizada para atividades cotidianas como ligar a Air Fryer. Podemos comparar esse processo, de uma maneira bem lúdica, ao processo de fotossíntese.

Durante a fotossíntese, os cloroplastos nas folhas- equivalente a placas solares, no nosso paralelo- captam essa energia solar e utilizam essa energia para formar uma molécula de açúcar. Por que utilizam energia pra isso?

As plantas não conseguem utilizar essa energia diretamente, então precisam converter, tipo um aparelho 220 numa tomada de 110, é energia, mas precisa vir do jeito certo. Quando essas moléculas de açúcar são quebradas, elas liberam energia para a planta, que então conseguem utilizá-la apropriadamente.

Inclusive, é no meio de todos esses processos que o oxigênio é liberado. Quando a planta usa a água nesse processo, elas só precisam das moléculas de H (Hidrogênio) e não do O (Oxigênio) e ele acaba sendo liberado como pode ser visto na Figura 1.



Figura 1. Diagrama ilustrativo do processo de fotossíntese mostrando a absorção de 6 moléculas água (H₂O) 6 moléculas de dióxido de carbono (CO₂) e luz solar pela planta e a produção de glicose e oxigênio (O₂). Imagem adaptada de fontes educacionais de fotossíntese. *Fonte: ilustração própria adaptada.*

2. O solo: muito mais do que “terra”

O solo é bem mais complexo do que só terra e fornece mais para a planta do que só estabilidade, ele contém partículas minerais misturadas com matéria orgânica (restos de plantas e animais em decomposição), além de água e ar. Sim, tem ar no solo. E além disso, o solo abriga milhões de microrganismos, como bactérias e fungos, que formam o chamado microbioma do solo — a comunidade de seres vivos que habita esse ambiente.

São esses microrganismos desempenham um papel fundamental na ciclagem de nutrientes, processo que possibilita a disponibilização de nutrientes— como nitrogênio, fósforo e potássio — presentes nos restos e que não poderiam ser absorvidos diretamente antes, em uma forma que as plantas conseguem absorver pelas raízes. Sem essa atividade biológica, grande parte dos nutrientes permaneceria indisponível, limitando o crescimento das plantas.

Do mesmo jeito que as plantas descartam o oxigênio e nós o usamos, as bactérias descartam esses minerais para as plantas, mas essa parceria é bem mais estabelecida que a nossa com as plantas.

3. Nutrientes do solo: peças essenciais para a energia

Tá, mas por que esses nutrientes são tão importantes? Relembrando aquela ideia de que as folhas podem ser comparadas a placas solares. Elas são as partes da planta responsáveis por captar a luz do sol. No entanto, para que essa luz seja realmente aproveitada, é necessário um “mecanismo” especial dentro das folhas. Esse mecanismo é a clorofila, um pigmento verde que absorve a energia da luz e dá início às reações da fotossíntese.

Cada nutriente tem uma função específica nesse processo. O nitrogênio é essencial para a formação da clorofila; o magnésio faz parte da estrutura dessa molécula; o ferro participa das reações químicas que permitem a transferência de energia; e o fósforo e o potássio ajudam no armazenamento e no transporte da energia produzida dentro da planta.

Quando o solo é pobre em nutrientes, a planta até recebe luz solar, mas não consegue transformá-la em energia de forma eficiente. É como ter placas solares sujas ou danificadas: o sol está lá, mas a energia não é bem aproveitada. Por isso, um solo fértil é indispensável para que a fotossíntese funcione corretamente e para que a planta cresça forte e saudável.

4. As raízes: o ponto de contato entre a planta e o solo

A região do solo que fica diretamente em contato com as raízes tem um apelo especial, ela recebe o nome de rizosfera. Esse é um dos ambientes mais vivos do planeta em termos microscópicos. Ali vivem bactérias e fungos que ajudam a planta a encontrar e absorver nutrientes essenciais.

Para manter essa parceria funcionando, as raízes liberam substâncias chamadas exsudatos radiculares. Esses exsudatos são compostos ricos em açúcares, aminoácidos e outras moléculas que servem de alimento para microrganismos benéficos. É como se a planta estivesse “alimentando” seus aliados no solo.

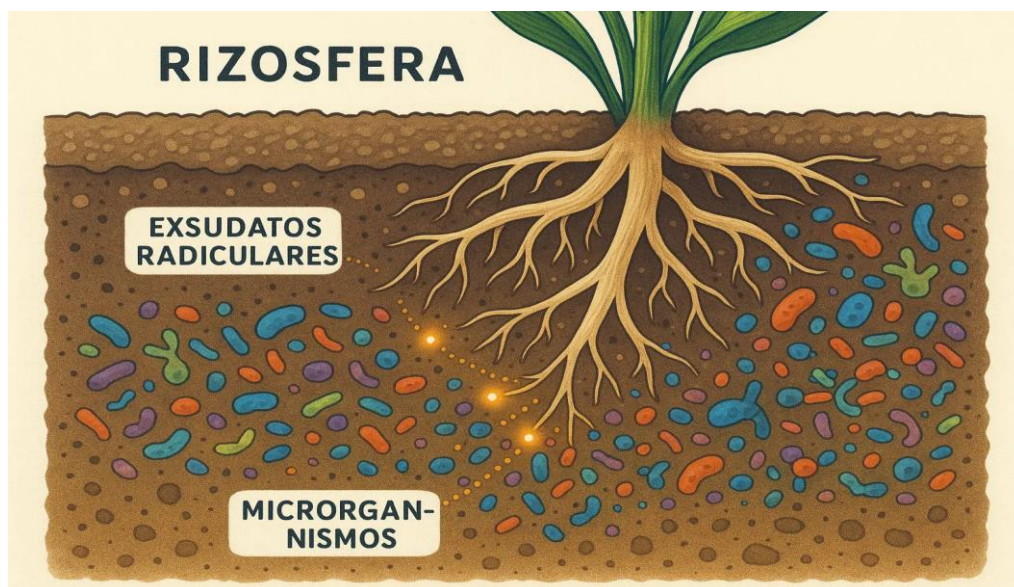


Figura 2. Representação esquemática da rizosfera, a região do solo diretamente influenciada pelas raízes das plantas. As raízes liberam exsudatos radiculares, compostos ricos em açúcares e outras moléculas, que atraem e alimentam microrganismos do solo, como bactérias e fungos.

Fonte: <https://agrotecnico.com.br/rizosfera-e-o-impacto-em-planta-microrganismo-para-productividade/>

5. A importância dos exsudatos radiculares para a especificidade das interações

Mas também não é qualquer bactéria ou fungo que vai ajudar a planta nesse processo, há especificidade. E ela não acontece por acaso. Um dos principais responsáveis por essa seleção é o próprio exsudato radicular. Cada espécie de planta libera um tipo de exsudato diferente, com proporções próprias desses compostos. Isso significa que cada planta favorece microrganismos específicos, selecionando aqueles que trazem maiores benefícios para seu crescimento e metabolismo energético. Esse processo é conhecido como especificidade da interação planta–microrganismo.

Podemos comparar o exsudato a um cardápio. Assim como diferentes pessoas preferem alimentos distintos, os microrganismos também respondem de forma diferente aos compostos liberados pelas raízes. Quando uma planta produz um determinado perfil de exsudatos, ela atrai microrganismos capazes de ajudar na absorção de nutrientes, na proteção contra patógenos ou no aumento da eficiência da fotossíntese.

Dessa forma, a planta não é um organismo passivo no solo. Ao liberar exsudatos específicos, ela participa ativamente da escolha de seus parceiros microbianos, estabelecendo relações mais eficientes e equilibradas. Essa interação refinada ajuda a explicar por que plantas diferentes apresentam respostas distintas mesmo quando cultivadas no mesmo solo.

6. Microrganismos e nutrientes: uma parceria essencial

De forma bem didática, integrando todo esse conhecimento, a Figura 3 nos ajuda a visualizar como a planta, o solo e os microrganismos trabalham juntos.

No centro da imagem, vemos a raiz, que funciona como a ponte entre a planta, que está acima do solo, e o ambiente subterrâneo.

No lado esquerdo da imagem, estão representados os processos químicos induzidos pela raiz. Tudo que já vimos sobre a absorção de nutrientes e modificação da rizosfera pela liberação de prótons, carboxilatos e enzimas,

que ajudam a soltar nutrientes como fósforo, ferro, zinco, manganês e cobre, que muitas vezes estão presos às partículas do solo. Esse processo pode acidificar a rizosfera e facilitar a disponibilidade desses nutrientes. Em outras palavras, a raiz “prepara o terreno” para conseguir se alimentar melhor. Mas lembramos que não são todos os nutrientes que esses processos conseguem dissolver.

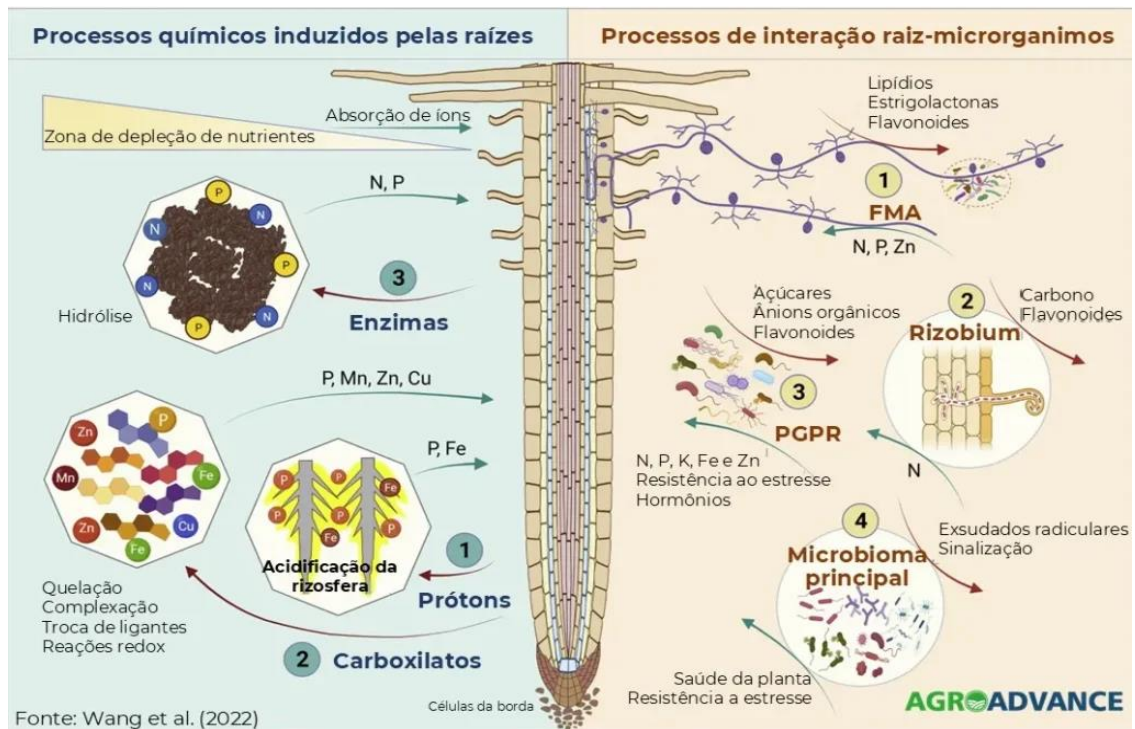


Figura 3. Processos bioquímicos (à esquerda) e microbianos (à direita) da rizosfera influenciados pelas raízes. *Fonte: Wang et al. (2022).*

E no lado direito da imagem, aparecem os processos de interação entre raiz e microrganismos. Os microrganismos destacados são:

- FMA (Fungos Micorrízicos Arbusculares), que são fungos que se associam diretamente às raízes. Eles funcionam como uma extensão delas, ajudando principalmente na absorção de fósforo, zinco e água.
- Rizóbio, que são bactérias associadas às raízes, formando nódulos, conhecidas por auxiliar na obtenção de nitrogênio, um nutriente essencial para o crescimento da planta.

- PGPR (Plant Growth-Promoting Rhizobacteria), que são bactérias promotoras de crescimento vegetal. Elas ajudam na absorção de nutrientes como nitrogênio, fósforo, potássio, ferro e zinco, além de produzirem hormônios e aumentarem a resistência da planta ao estresse.

Assim, a planta alimenta os microrganismos, e os microrganismos ajudam a planta a acessar os nutrientes do solo, formando uma parceria essencial para a saúde e o crescimento vegetal.

7. Rizóbio

Nem todas as bactérias promotoras de crescimento de plantas (BPCP) são do tipo Rizóbio, mas grande parte são. Esse é um grupo de bactérias do solo que estabelece uma relação apenas com as raízes de determinadas plantas, é o caso das leguminosas, como feijão.

Aqueles exsudatos liberados “avisam” o rizóbio de que aquela raiz é um parceiro adequado. Em resposta, a bactéria se aproxima da raiz e inicia a formação de estruturas chamadas nódulos radiculares.

Na Figura 4, utilizada neste trabalho, é possível observar esses nódulos ao longo da raiz. Eles aparecem como pequenas protuberâncias e são o local onde ocorre a fixação biológica do nitrogênio. Nesse processo, o rizóbio transforma o nitrogênio presente no ar do solo em formas assimiláveis pela planta, como amônia. Esse nutriente é essencial para a produção de proteínas, enzimas e clorofila, estando diretamente ligado à fotossíntese e ao metabolismo energético vegetal.

Em troca, a planta fornece ao rizóbio açúcares produzidos na fotossíntese, garantindo energia para a bactéria. Essa troca transforma o solo em um sistema dinâmico: nutrientes que antes estavam inacessíveis passam a circular entre solo, microrganismos e planta. Estudos recentes destacam que essa associação reduz a dependência de fertilizantes nitrogenados e aumenta a sustentabilidade dos sistemas agrícolas.



Figura 4. Raiz de planta leguminosa apresentando nódulos radiculares formados pela associação com bactérias do gênero *Rhizobium*. Esses nódulos são estruturas especializadas onde ocorre a fixação biológica do nitrogênio, permitindo a conversão do nitrogênio atmosférico em formas assimiláveis pela planta. *Fonte: Thomas Koffel, CC-BY-NC.*

8. Fungos micorrízicos: a internet subterrânea

Os fungos micorrízicos formam uma das parcerias mais impressionantes da natureza. Eles se conectam às raízes das plantas e crescem para dentro e para fora do solo, formando uma vasta rede de filamentos microscópicos.

Essa rede aumenta enormemente a área de absorção das raízes, permitindo que a planta alcance água e nutrientes que, sozinha, não conseguiria. O fósforo, por exemplo, é um nutriente essencial para a produção de energia, mas se move lentamente no solo. Os fungos micorrízicos resolvem esse problema.



Figura 5. Raiz de planta colonizada por fungos micorrízicos arbusculares (FMA), visíveis como uma rede esbranquiçada de hifas fúngicas envolvendo e penetrando o sistema radicular. *Fonte:* <https://en.renovablesverdes.com/mycorrhiza/>

9. O impacto das ações humanas no solo

Muitas ações humanas recentes têm alterado esse equilíbrio de forma rápida e intensa, afetando diretamente a capacidade das plantas de produzir energia, os próximos parágrafos desenvolvem a maleficência delas para a planta.

O desmatamento é um dos exemplos mais claros. Quando a vegetação é removida, o solo fica exposto ao sol intenso e à chuva, perdendo matéria orgânica e umidade. Com isso, grande parte dos microrganismos do solo — como fungos micorrízicos arbusculares (FMA), rizóbios e bactérias promotoras de crescimento vegetal (PGPR) — perde seu ambiente de sobrevivência. Sem esses parceiros, a planta encontra mais dificuldade para absorver nutrientes essenciais à fotossíntese, como fósforo e nitrogênio.

Outro fator é o uso excessivo de agrotóxicos e fertilizantes químicos. Embora esses produtos tenham sido desenvolvidos para aumentar a produtividade, seu uso indiscriminado pode reduzir drasticamente a diversidade microbiana do solo. Muitos desses compostos não distinguem microrganismos

benéficos de patógenos, como alguns tratamentos para câncer que não conseguem ser específicos pra células cancerígenas e acabam afetando as boas. O resultado é um solo cada vez mais dependente de insumos externos e uma planta menos eficiente.

A compactação do solo, causada por máquinas pesadas e manejo inadequado, também traz sérias consequências. Solos compactados apresentam menos poros, o que reduz a entrada de ar e a infiltração de água. Isso dificulta a respiração das raízes e dos microrganismos, limita o crescimento das hifas dos fungos micorrízicos e reduz a movimentação de nutrientes. Mesmo com luz solar disponível, a planta passa a operar “no limite”, com baixa eficiência fotossintética.

Por outro lado, práticas sustentáveis mostram que é possível reverter ou minimizar esses impactos.

10. Agricultura sustentável e energia das plantas

Práticas como a adubação orgânica ajudam a devolver ao solo matéria orgânica e nutrientes de forma gradual, as compostagens são bem conhecidas e práticas. Esse tipo de adubação alimenta não só a planta, mas também os microrganismos aumentam sua atividade e tornam os nutrientes mais acessíveis às raízes, por ter mais alimento disponível.

A rotação de culturas também é uma prática essencial, pois estimula uma maior diversidade de microrganismos. Cada planta libera exsudatos radiculares distintos, como já foi explicado, atraindo diferentes comunidades microbianas. Isso torna o solo mais equilibrado e resiliente, reduzindo a incidência de pragas e doenças e melhorando a nutrição das plantas.

Já o uso reduzido de produtos químicos evita danos aos microrganismos benéficos e preserva as interações naturais da rizosfera. Com menos estresse químico, o solo mantém sua capacidade de reciclar nutrientes e de sustentar plantas saudáveis.

Quando essas práticas são adotadas em conjunto, o solo se torna mais saudável e como resultado, as plantas sofrem menos com estresse hídrico e

nutricional e conseguem transformar a luz solar em energia de forma mais eficiente. A longo prazo, a agricultura sustentável promove plantas mais produtivas, resistentes e energeticamente eficientes, ao mesmo tempo em que preserva o solo como base da vida e da produção de alimentos.

11. Referências

Bender, S. F., Wagg, C., & van der Heijden, M. G. A. (2023). Soil biodiversity and soil ecosystem services. *Sustainability*, 15(4), 2890. <https://doi.org/10.3390/su15042890>

Philippot, L., Raaijmakers, J. M., Lemanceau, P., & van der Putten, W. H. (2024). Going back to the roots: The microbial ecology of the rhizosphere. *Environmental Microbiome*, 19, 12. <https://doi.org/10.1186/s40793-024-00489-1>

Shi, S., Nuccio, E. E., Shi, Z. J., He, Z., Zhou, J., & Firestone, M. K. (2023). The interconnected rhizosphere: High microbial connectivity drives plant–soil feedbacks. *Nature Communications*, 14, 1124. <https://doi.org/10.1038/s41467-023-36862-5>

Singh, B. K., Trivedi, P., Egidi, E., Macdonald, C. A., & Delgado-Baquerizo, M. (2025). Linking soil microbial diversity to plant productivity and ecosystem sustainability. *Microbiology and Ecology Reviews* (PubMed Review).

Taiz, L., Zeiger, E., Møller, I. M., & Murphy, A. (2023). Photosynthesis, nutrients and plant energy metabolism. *Annual Review of Plant Biology*, 74, 1–28. <https://doi.org/10.1146/annurev-arplant-070522-033221>

Trivedi, P., Leach, J. E., Tringe, S. G., Sa, T., & Singh, B. K. (2025). Plant–microbiome interactions: From ecology to agronomy. *Cell Host & Microbe*, 33(1), 1–15. <https://doi.org/10.1016/j.chom.2025.01.003>

Wang, X., Song, D., Liang, G., Zhang, Q., Ai, C., & Zhou, W. (2022). Rhizosphere biochemical and microbial processes regulating nutrient availability. *Soil Biology and Biochemistry*, 165, 108517. <https://doi.org/10.1016/j.soilbio.2022.108517>

Autor

Alissa Borges de Oliveira

Programa de Pós-Graduação em Ciências Biológicas pela Universidade Estadual de Maringá.