

Campina Grande, PB / Março, 2026

Agricultura regenerativa: manejo do solo e produção agrícola sustentável

Magna Maria Macedo Nunes Costa⁽¹⁾⁽¹⁾Pesquisadora, Embrapa Algodão, Campina Grande, PB.

Introdução

A agricultura regenerativa é uma estratégia agrícola que utiliza processos naturais para aumentar a atividade biológica e melhorar a saúde do solo, melhorar a ciclagem de nutrientes, restaurar a função da paisagem e produzir alimentos, fibras e óleos, preservando ou aumentando a lucratividade da propriedade. Essa estratégia é baseada em um conjunto de princípios norteadores, e os profissionais usam uma variedade de táticas que integram processos biológicos e ecológicos (Khangura et al., 2023).

O objetivo da agricultura regenerativa não é restaurar a pré-agricultura nativa, mas alavancar processos ecológicos na natureza com o intuito de melhorar a saúde do sistema agrícola como um todo. O termo “agricultura regenerativa” foi cunhado pela primeira vez por Gabel (1979). Depois, Rodale (1986) desenvolveu ainda mais o conceito para incluir algumas opções que abrangessem uma abordagem holística com foco em melhorias ambientais e sociais, sem o uso de fertilizantes e agrotóxicos.

Desde então, várias definições de agricultura regenerativa têm sido apresentadas por vários pesquisadores. Francis et al. (1986) propuseram dar prioridade aos recursos encontrados na propriedade ao invés dos insumos sintéticos. Duchin (2017) usou o termo agricultura regenerativa para se referir aos sistemas de culturas anuais que utilizem, no mínimo, quatro práticas sustentáveis. Ele denominou esses sistemas de “Projeto Drawdown”. Sherwood

e Uphoff (2000) e Rhodes (2017) afirmaram que a agricultura regenerativa é um sistema que deve ser construído com base em princípios biológicos que busquem aumentar tanto a produtividade quanto a preservação do meio ambiente. Por sua vez, sistemas que reduzem a fertilidade do solo, o armazenamento de carbono e a biodiversidade são chamados de agricultura degenerativa.

A Organização das Nações Unidas para Agricultura e Alimentação (FAO) propôs que o objetivo da agricultura regenerativa deve ir além dos princípios da agricultura sustentável de “não prejudicar” o meio ambiente (Zoveda et al., 2014). A agricultura regenerativa é uma transição necessária para transformar o uso da terra e a qualidade dos alimentos. Em geral, essa prática inclui abordagens que regeneram o solo, reduzem o uso de pesticidas e fertilizantes sintéticos e têm um impacto positivo na natureza (Burgess et al., 2019). A agricultura regenerativa é importante para o alcance do Objetivo do Desenvolvimento Sustentável 2 das Nações Unidas: “Até 2030, garantir os sistemas sustentáveis de produção de alimentos e implementar práticas agrícolas resilientes que aumentem a produtividade, que ajudem a manter os ecossistemas, que fortaleçam a capacidade de adaptação às mudanças climáticas, temperaturas extremas, seca, alagamento e outros desastres e que, progressivamente, melhorem a qualidade do solo”.

Apesar de haver várias definições, ainda não há um consenso entre pesquisadores, agricultores, consultores, formuladores de políticas públicas e consumidores sobre o termo agricultura regenerativa (Khangura et al., 2023). Baseado em uma análise qualitativa de 28 estudos, Schreefel et al. (2020) propuseram uma definição provisória de agricultura regenerativa como um sistema agrícola que usa a conservação do solo como ponto de partida na produção de alimentos, visando melhorar as dimensões ambientais, sociais e econômicas.

De acordo com Khangura et al. (2023), os cinco princípios que guiam a agricultura regenerativa são: (1) cultivo mínimo do solo, (2) cobertura do solo durante o ano todo, (3) manutenção de raízes vivas no solo o maior tempo possível, (4) biodiversidade e (5) integração animal-lavoura-pecuária. Defensores (Francis et al., 1986; Sherwood; Uphoff, 2000; Rhodes, 2017; Burgess et al., 2019; Schreefel et al., 2020) e praticantes (Lv et al., 2019; White, 2020; Fenster et al., 2021; Cheng et al., 2022; Jones, 2022; Junge et al., 2022; Macik et al., 2023; Macray; Montgomery, 2023) da agricultura regenerativa argumentam que esses métodos previnem a erosão e o esgotamento do solo (Macray; Montgomery, 2023); ativam a atividade microbiana (Macik et al., 2023); fornecem nutrientes em quantidades e proporções adequadas às culturas (White, 2020); aumentam a produção (Lv et al., 2019); proporcionam produtos agrícolas de boa qualidade (White, 2020); diminuem insetos-praga (Junge et al., 2022), doenças (Jones, 2022) e plantas daninhas (Cheng et al., 2022); limitam a emissão de gases do efeito estufa (Iqbal et al., 2023); incrementam os retornos financeiros (Fenster et al., 2021) e melhoram a saúde humana (Ebbott; Papanagnou, 2023). Esta publicação encontra-se alinhada com a agenda 2030 por meio do Objetivo de Desenvolvimento Sustentável (ODS) 2 – Fome Zero e Agricultura Sustentável.

Benefícios da agricultura regenerativa para a saúde do solo

Saúde do solo é a sua capacidade de continuar a funcionar como um sistema vivo quando submetido a atividades agrícolas (Friedrichsen et al., 2021). Essa característica é atribuída às suas propriedades físicas — textura e capacidade de retenção de água —, químicas — pH e matéria orgânica — e biológicas — diversidade microbiana, mineralização de nutrientes e respiração. A intensificação da agricultura com tecnologia moderna diminuiu a capacidade do solo de manter suas funções (Khangura et al., 2023). Nesse contexto, melhorar a saúde do solo é o foco principal da agricultura regenerativa.

Aumento do carbono do solo

O solo é considerado um reservatório ativo de carbono (C) devido à sua capacidade de armazenar três vezes mais esse elemento em relação à atmosfera. Uma das principais causas da degradação do solo é a perda de C orgânico, uma vez que ele melhora a estrutura, a fertilidade, a aeração, a infiltração e a capacidade de retenção de água do solo, além de mitigar os efeitos deletérios das mudanças climáticas (Khangura et al., 2023). Práticas de manejo que aumentam o C orgânico são recomendadas para otimizar os rendimentos agrícolas pois os cultivos, ao revolverem a camada superficial, desagregam o solo e expõem a matéria orgânica à oxidação (Liu et al., 2023). Algumas práticas de cultivo abaixo são recomendadas para manter ou aumentar o C do solo.

Cultivo mínimo

O ‘cultivo do solo’ refere-se à prática de preparar mecanicamente o solo com cultivador, e o ‘cultivo’ refere-se à prática de cultivar o solo, ou seja, implantar uma cultura no solo.

Uma prática-chave na agricultura regenerativa é o cultivo mínimo (Figura 1) ou nenhum cultivo do solo, a fim de permitir a proliferação de microrganismos, aumentando assim a reciclagem de nutrientes (Mogaka, 2023). Por sua vez, o revolvimento do solo devido ao cultivo extensivo causa fluxos de CO₂ e H₂O para a atmosfera. O cultivo mínimo ou a ausência dele, ao contrário, sequestra C, mitigando os efeitos das mudanças climáticas. Essa prática deu origem ao plantio direto.

Trata-se de um sistema cujo objetivo é reduzir as operações de preparo do solo, por meio de uma sequência de operações mínimas de revolvimento.



Foto: Alexandre Cunha de Barcellos Ferreira

Figura 1. Sistema cultivo mínimo de algodoeiro sobre palha de *Brachiaria ruziziensis*.

Fonte: Ferreira et al. (2011).

Também conhecido como preparo mínimo ou preparo reduzido, possibilita o emprego de outros equipamentos diferentes dos usados no preparo convencional, como o arado escarificador, que ajuda na prevenção da erosão, pois revolve menos o solo e deixa, na sua superfície, restos culturais que melhoram a infiltração de água (Ferreira; Lamas, 2006).

O cultivo mínimo é importante no cultivo sustentável da mamona no Semiárido brasileiro (Beltrão et al., 2006). Para a prática, segundo os autores, deve-se fazer a limpa e a destoca antecipadas do terreno, eliminando os restos de cultura, o mato e, no início do inverno, realizar o plantio em solo úmido, sem cortar a terra. Pavinato (2005), ao testar o sistema de cultivo mínimo na cultura do algodoeiro, encontrou uma produtividade de algodão em caroço de 4.589 kg ha⁻¹.

Plantas de cobertura

As plantas de cobertura (Figura 2) são cultivadas no intervalo entre as culturas principais, com a finalidade de manter o solo sempre coberto. Pode ser de uma única espécie ou uma mistura de espécies, incluindo leguminosas, para fornecer simultaneamente todos os benefícios das espécies separadas. Essa técnica potencializa as funções do ecossistema como fixação biológica do nitrogênio, diversidade microbiana, redução da compactação do solo, atração de insetos benéficos, supressão de plantas daninhas, regulação da temperatura e aumento da infiltração de água no solo (Mamabolo et al., 2024). Além de melhorar a fertilidade do solo, ajuda no sequestro de C, reduzindo as emissões de GEE (Iqbal et al., 2023).

Segundo Ferreira et al. (2016), o cultivo de plantas de cobertura para a semeadura direta do algodoeiro deve ser entendido como investimento para

as futuras culturas em sucessão e rotação, pois alguns de seus efeitos positivos são geralmente de médio e longo prazos.

De modo a propiciar vantagens ao sistema produtivo do algodoeiro, a espécie de planta de cobertura a ser cultivada deve apresentar algumas características: ser de fácil estabelecimento; apresentar rápido crescimento; propiciar boa cobertura do solo; não ser hospedeira de pragas, doenças e nematoides do algodoeiro; auxiliar no manejo integrado de plantas daninhas; produzir matéria seca em quantidade suficiente para a semeadura direta; não tornar-se invasora da lavoura de algodão em sucessão; e a matéria seca residual deve apresentar boa persistência no solo durante o ciclo do algodoeiro. Algumas espécies de plantas de cobertura com potencial de uso no sistema de semeadura direta do algodoeiro são: *Urochloa ruziziensis*, *Urochloa brizantha*, *Panicum maximum*, *Pennisetum glaucum* (milheto), *Sorghum bicolor* (sorgo), *Cajanus cajan* (guandu), *Crotalaria spectabilis*, *Crotalaria juncea*, *Crotalaria ochroleuca* e *Crotalaria breviflora*.

Retenção de restolho

O restolho é constituído pela palhada e restos culturais que permanecem no campo após a colheita da cultura implantada.

A retenção de restolho após a colheita tem numerosas vantagens, entre elas a redução da erosão e do escoamento superficial da água no solo, o retorno de nutrientes ao solo, o aumento do sequestro de C e da infiltração de água (O'Leary; Connor, 1997). No entanto, deve-se ter muito cuidado com a disseminação de fitopatógenos no sistema. Para evitar essa situação adversa, aconselha-se fazer um programa de manejo integrado de doenças.

Segundo Ferreira et al. (2023), os esquemas de rotação ou sucessão com as culturas da soja, do milho e do algodão é uma importante estratégia para possibilitar a retenção de restolho, ao passo que propicia a ciclagem de nutrientes, além do benefício de suas raízes para a melhoria das características físicas e biológicas do solo. Entretanto, os potenciais de produção de matéria seca e de ciclagem de nutrientes variam de acordo com o ambiente, a espécie, a época de semeadura e o tempo de cultivo.

Um experimento foi conduzido por Ferreira et al. (2022) com o objetivo de avaliar a produtividade de matéria seca e o acúmulo de nutrientes por restolho de gramíneas cultivadas em segunda safra após a soja, e seus efeitos sobre a produtividade do algodoeiro em sucessão. Os autores concluíram que a *Urochloa brizantha* cv BRS Piatã, cultivada na entressafra após a soja, produz elevadas quantidades



Foto: Fabiano José Perina

Figura 2. Plantas de cobertura. *Crotalaria spectabilis* + *Brachiaria ruziziensis*.

de matéria seca com altos conteúdos de N, P, K, Ca, Mg e S, além de propiciar altas produtividades do algodão semeado sobre a sua palhada. As poáceas *U. brizantha* Piatã, *U. ruziziensis* e *Panicum maximum* Aruana disponibilizam ao algodão em sucessão pelo menos 169,6 kg ha⁻¹ de K ou o equivalente a 203,5 kg ha⁻¹ de K₂O (Figura 3), permitindo otimizar e reduzir os custos da adubação mineral.

Foto: Alexandre Cunha de Barcellos Ferreira

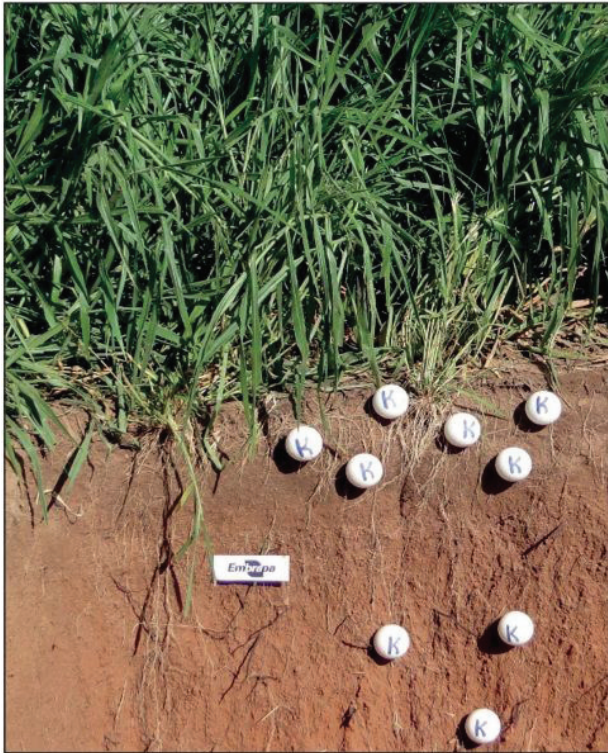


Figura 3. *Urochloa ruziziensis*, com raízes desenvolvidas até 1 m de profundidade em solo arenoso de Luís Eduardo Magalhães, BA.

Fonte: Ferreira et al. (2023).

Rotação de culturas

A rotação de culturas é uma prática secular, que melhora o rendimento das culturas, proporciona benefícios nutricionais e quebra o ciclo de pragas, doenças e plantas daninhas (Verneti Junior et al., 2009). No entanto, em meados do século passado, essa prática foi sendo abandonada para dar lugar às monoculturas, cuja prática apresenta altas produtividades, mas tem forte dependência de fertilizantes, agrotóxicos e variedades melhoradas. Isso resultou em degradação do solo e perda de matéria orgânica (Silva; Martins, 2010). Porém, atualmente, o potencial de rotação de culturas tem sido cada vez mais reconhecido devido ao fato de melhorar a qualidade do solo, o rendimento das culturas e a eficiência do uso da água (Verneti Junior et al., 2009).

Os sistemas de produção de grãos e fibra no Cerrado normalmente envolvem rotação ou sucessão de culturas, principalmente a soja e o algodão, que possuem baixa capacidade de aporte de palha e cobertura do solo. A matéria seca (MS) residual da soja apresenta baixa relação carbono/nitrogênio (C:N), o que favorece a sua rápida mineralização. O milho, outra cultura que costuma integrar o sistema de produção do algodão e da soja, apesar de disponibilizar maior quantidade de MS com maior relação C:N, não propicia adequada cobertura do solo devido à predominância do colmo. O cultivo de gramíneas, integradas a esquemas de rotação ou sucessão com as culturas da soja, do milho e do algodão (Figura 4), é uma importante estratégia para possibilitar o aumento na disponibilidade de palhada, ao passo que propicia a ciclagem de nutrientes, além do benefício de suas raízes para a melhoria das características físicas e biológicas do solo. Ferreira et al. (2023) afirmaram, com base em suas pesquisas, que o cultivo de gramíneas em consórcio com o milho ou em sucessão à soja é capaz de assegurar a obtenção de altas produtividades do algodoeiro e melhorar a eficiência das adubações.

Sá et al. (2015) consideram a mamona como uma opção para rotação de cultura visando à redução de nematoides-de-galha no cultivo do algodoeiro. Segundo esses autores, é possível classificar a cultura da mamoneira como resistente (não hospedeira) ao nematoide das galhas (*Meloidogyne incognita* e *Meloidogyne javanica*), podendo ser recomendada para o manejo (diminuição da população) desses parasitas em áreas infestadas. Algumas espécies têm sido utilizadas em áreas infestadas por *M. incognita* para determinação do fator de reprodução. Com o uso de alguns híbridos de mamona, foi constatado que a cultura apresenta fator 0,4. Vale lembrar que fator de reprodução abaixo de 1 indica resistência da cultura. Essa reação pode ser comparada à *Crotalaria* para o manejo dessa espécie de nematoide (Figura 5).

Pastoreio rotacional

Outra prática popular da agricultura regenerativa consiste em integrar animais para melhorar a saúde do solo e diversificar a renda do produtor, apesar do fato de que a pecuária é responsável por contribuir com as emissões de metano, um gás mais potente do que o CO₂ no aquecimento global. Nesse contexto, para aumentar o C orgânico e a saúde do solo, o pastoreio rotacional é preferido ao contínuo, especialmente em climas mais secos e quentes como o do Semiárido Nordeste.

Foto: Alexandre Cunha de Barcellos Ferreira



Figura 4. Cultivo de plantas de cobertura consorciadas (sorgo granífero e *Braquiária ruziziensis*) em rotação com milho, soja e algodão.

Fonte: Ferreira et al. (2016).

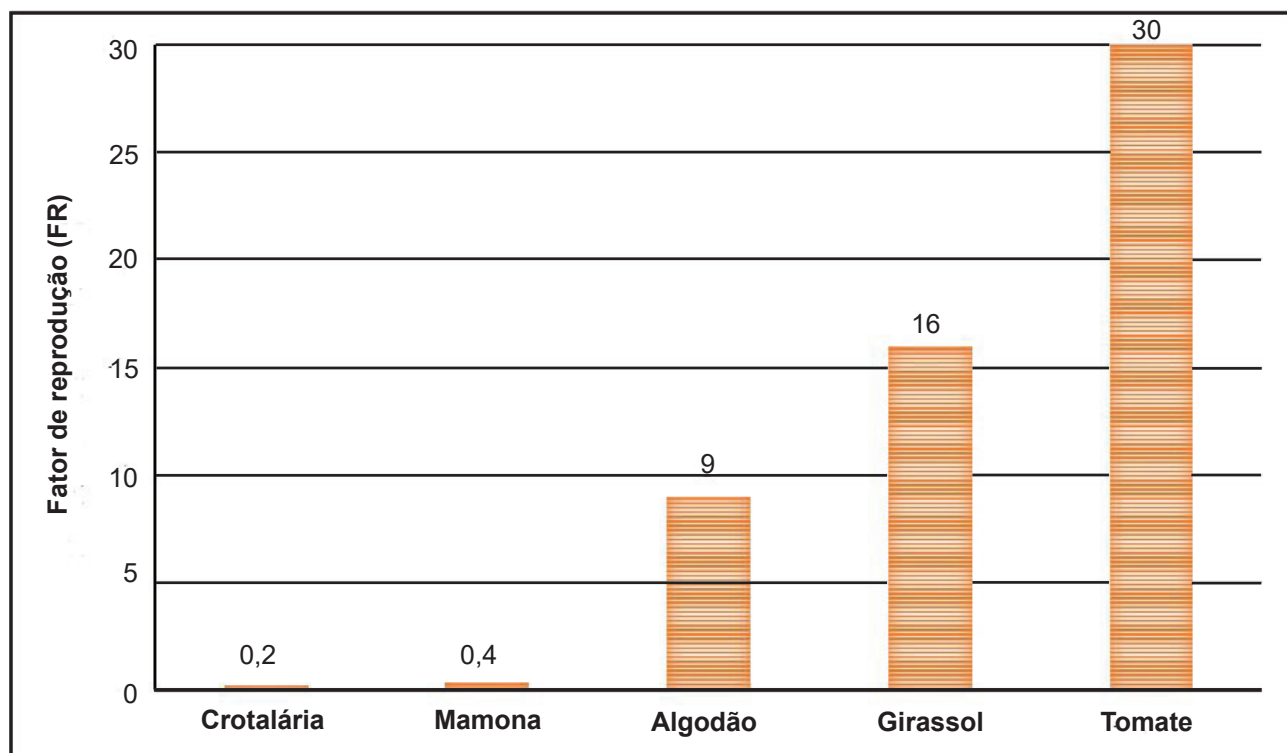


Figura 5. Reação de diferentes culturas ao nematoide-das-galhas (*Meloidogyne incognita*)*.

(*) *Crotalaria spectabilis*: cultivar "comum"; Mamona: híbrido AG IMA 110204; Algodão: FM 975 WS; Girassol: Multissol; Tomate: "Santa Cruz".

FR > 10: Altamente suscetível (boa hospedeira); 1 < FR < 10: Suscetível; FR > 10: Resistente (não hospedeira).

(*) Fator de Reprodução com valor médio de três experimentos em casa de vegetação.

Fonte: Sá et al. (2015).

O pastoreio rotacional deixa quantidade significativa de palha na superfície e raízes no perfil do solo. Isso possibilita maior ciclagem de nutrientes e incrementa a matéria orgânica, o que é fundamental para a melhoria das características físicas e químicas do solo. As raízes das pastagens, por sua agressividade, conseguem penetrar até em camadas mais adensadas do solo e podem descompactá-lo, melhorando a porosidade, a aeração e a infiltração de água. A palha também é fonte de carbono para os organismos do solo. Esse ambiente criado no perfil do solo é fundamental para garantir maior sustentabilidade e produtividade no sistema agropecuário (Zonta et al., 2016).

O pastoreio rotacional pode ser usado com culturas como algodão, feijão, gergelim, girassol, dentre outras que podem ser cultivadas sobre a palha da pastagem dessecada. Ainda, a palhada protege o solo dos efeitos da erosão e diminui a evaporação da água do solo. Esse sistema é fundamental para o melhor aproveitamento da água da chuva no Semiárido, fato imprescindível para o sucesso da agricultura na região, visto que as precipitações escassas e extensos períodos de estiagem são constantes (Zonta et al., 2016).

Devido às estiagens comuns do Semiárido, a tolerância de espécies forrageiras ao estresse hídrico é uma das condições necessárias para aproveitar as vantagens do pastoreio rotacionado. Diversas espécies são utilizadas em consórcio com milho e sorgo (Figura 6), e a escolha vai depender do objetivo do produtor (Tabela 1).



Figura 6. *Brachiaria brizantha* cv Piatã em consórcio com milho.

Fonte: Zonta et al. (2016).

Tabela 1. Espécies a serem utilizadas no pastoreio rotacional no Semiárido do Nordeste e indicações para cultivo.

| Espécie | Indicação de uso |
|--|---|
| <i>Brachiaria brizantha</i> cv. Piatã e Marandu, <i>Brachiaria decumbens</i> , <i>Brachiaria ruziziensis</i> | Formação de pastagem, formação de palha, cobertura do solo. |
| <i>Panicum maximum</i> (Cultivares mombaça e massai) | Formação de pastagem, corte para silagem. |
| Capim-andropogon (<i>Andropogon gayanus</i>) | Formação de pastagem, corte para silagem. |
| Capim-buffel (<i>Cenchrus ciliaris</i> L.) | Formação de pastagem, formação de palha, cobertura do solo. |
| Capim-urocloa (<i>Urochloa mosambicensis</i>) | Formação de pastagem, formação de palha, cobertura do solo. |

Fonte: Zonta et al. (2016).

Aumento da matéria orgânica do solo

A matéria orgânica é bem conhecida por seus efeitos benéficos na capacidade de retenção de água no solo, especialmente na camada superficial (Akenbauer; Loheide, 2017). Essa propriedade está diretamente relacionada à textura. Solos de textura argilosa, mais pesados, tornam-se mais leves com a adição de matéria orgânica, melhorando a sua retenção de água (Rosenbloom et al., 2001). Da mesma forma, solos arenosos, muito leves, que não seguram água, são melhorados pela adição de matéria orgânica, passando a reter mais umidade. Dessa forma, práticas como o uso de plantas de cobertura, a adição de esterco, húmus de minhoca e palhada, a rotação de culturas e o plantio direto têm um impacto positivo na retenção de água do solo (Feifel et al., 2023).

Em solos tropicais, principalmente os do Semiárido, a quantidade e a qualidade da matéria orgânica humificada do horizonte superficial é o principal fator responsável por sua “capacidade de troca de cátions” (CTC), verdadeiro estoque de nutrientes que podem ser liberados lenta e progressivamente às plantas. Além disso, o húmus contribui para o aumento da estruturação e da porosidade do solo, da quantidade e diversidade dos microrganismos, além de reduzir a toxidez por metais pesados e os efeitos deletérios do alumínio (Medeiros et al., 2021). Estudando o efeito da matéria orgânica sobre os atributos do solo — matéria orgânica, capacidade de troca de cátions e percentagem de saturação por bases — e a produtividade de milho cv. MC 20, Alcântara et al. (2022) encontraram resultados promissores (Tabela 2).

Tabela 2. Atributos químicos (teor de matéria orgânica e variáveis relacionadas à fertilidade) na camada de 0,0 a 10,0 cm do Latossolo Vermelho ácrico e produtividade de grãos de milho submetido a diferentes compostos orgânicos.

| Composto | MO | t | T | V | R |
|----------|--------|-------|-------|--------|--------|
| C1 | 30,2 a | 3,6 a | 6,5 a | 53,1 a | 5,96 a |
| C2 | 30,2 a | 3,6 a | 6,6 a | 53,4 a | 6,01 a |
| C3 | 28,7 a | 4,4 a | 6,9 a | 63,8 a | 6,01 a |
| C4 | 32,7 a | 3,8 a | 6,7 a | 55,7 a | 6,21 a |

Médias seguidas por letras iguais, nas colunas, não diferem pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. C1: Controle; C2: Composto orgânico enriquecido com termofosfato; C3: Composto orgânico enriquecido com remineralizador de solo; C4: Composto orgânico enriquecido com termofosfato e remineralizador de solo; MO: Matéria orgânica do solo, em g kg⁻¹; t e T: Capacidade trocável de cátions efetiva e potencial, respectivamente, em cmolc dm⁻³; V: Saturação por bases, em %; R: Rendimento, em t ha⁻¹.

Fonte: Alcântara et al. (2022).

Aumento da biodiversidade e da função microbiana no solo

O aumento na biodiversidade do solo, representada pelo aumento da atividade exercida por organismos vivos como micróbios, meso, macro e megafauna, desempenha papel importante no funcionamento do ecossistema devido às suas interações complexas. A sua funcionalidade é bastante melhorada pelas práticas da agricultura regenerativa, devolvendo a fertilidade em solos que se encontram degradados, produzindo alimentos mais saudáveis e contribuindo para combater os efeitos deletérios das mudanças climáticas (McCauley; Barlow, 2023). A microbiota do solo é essencial para a decomposição da matéria orgânica, a ciclagem de nutrientes e a fertilidade (Kothe, 2024). Nesse sentido, a resiliência de um solo, ou seja, sua resistência à degradação, é diretamente proporcional à sua comunidade microbiana, constituindo-se um excelente indicador do funcionamento geral do ecossistema (Aleksander et al., 2019).

Um estudo foi conduzido por Alves et al. (2011) para avaliar a biomassa e a atividade microbiana de solos com diferentes sistemas de uso — integração lavoura-pecuária (ILP), lavoura, pastagem, vegetação nativa (VN) e vegetação nativa em recuperação (VNR) — no Cerrado brasileiro. Na área de ILP, foram cultivados arroz (*Oryza sativa*), soja (*Glycine max*), capim-andropogon (*Andropogon gayanus*) e *Brachiaria brizantha*, cv. MG-5; na área de lavoura, arroz, soja e milho (*Zea mays*); na área de pastagem, *B. brizantha*, cv. MG-5; na VN, a vegetação era a típica do Cerrado e, na VNR, a vegetação nativa foi derrubada, no local foi introduzido capim-humidicola (*Brachiaria humidicola*) para formação de pasto, e a área foi mantida sem interferência antrópica para revegetação.

As diferentes práticas agrícolas afetaram a biomassa e a atividade microbiana dos solos (Tabela 3). Os maiores valores para carbono da biomassa microbiana (CBM) foram encontrados nos sistemas ILPF e pecuária. Quando bem manejadas, as pastagens apresentam alto conteúdo de matéria orgânica e densa massa radicular, favorecendo a existência de grande biomassa microbiana na rizosfera. O sistema radicular da *Brachiaria sp.*, além de abundante e volumoso, apresenta contínua renovação e elevado efeito rizosférico. A utilização do ILP, além dos fatores que protegem os microrganismos pela utilização de resíduos como cobertura, rotação de culturas e não revolvimento do solo, favorecem a microbiota pela adição de excrementos. Com relação à respiração microbiana (RM), a VNR apresentou a maior taxa. Com

Tabela 3. Carbono da biomassa microbiana (CBM) e respiração microbiana (RM) em diferentes manejos do solo.

| Manejos ⁽¹⁾ | CBM | RM |
|------------------------|----------------------------------|-------|
| | mg de C kg ⁻¹ de solo | |
| ILP | 217 a ⁽²⁾ | 59 c |
| Lavoura | 140 b | 79 c |
| Pecuária | 258 a | 153 b |
| VN | 135 b | 155 b |
| VNR | 85 b | 234 a |

⁽¹⁾ILP – Integração lavoura-pecuária; VN – Vegetação nativa; VNR – Vegetação nativa em recuperação.

⁽²⁾Médias seguidas da mesma letra minúsculas não diferem estatisticamente, nas colunas, entre os sistemas de manejos, pelo teste de Scott-Knott a 5%.

a substituição da cobertura vegetal, ocorre decomposição mais acelerada dos resíduos vegetais, aumentando a respiração microbiana.

Uma pesquisa foi conduzida por Capuani et al. (2012) para estudar a atividade microbiana em quatro solos — areia, Cambissolo Háplico eutrófico, Luvisso Crômico e Cambissolo Háplico — influenciada por resíduos de algodão e torta de mamona. A torta de mamona proporcionou a maior quantidade acumulada de carbono mineralizado e, conseqüentemente, os maiores índices de atividade microbiana, independentemente do tipo de solo. O resíduo de algodão e a ausência de resíduo proporcionaram liberação de CO_2 intermediária e inferior, respectivamente. Na ausência de resíduo, o Cambissolo Háplico eutrófico apresentou a menor emissão de CO_2 dentre os tipos de solo; entretanto, quando da utilização do resíduo de algodão, verificou-se, nesse solo, a maior respiração microbiana acumulada (Figura 7).

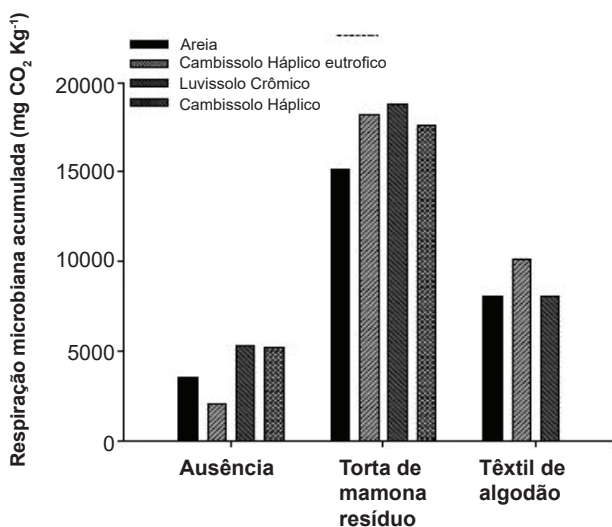


Figura 7. Respiração microbiana acumulada em diferentes tipos de solos em função dos resíduos utilizados.

Fonte: Capuani et al. (2012).

Controle/supressão de insetos-praga, doenças e plantas daninhas

Insetos-praga, doenças e plantas daninhas causam significantes perdas econômicas na produção das culturas a nível global. Nesse contexto, mudanças climáticas e sistemas de monocultura contribuíram para exacerbar a ocorrência e a severidade desses inimigos das plantas cultivadas, particularmente em climas equatoriais e tropicais (Mir et al., 2022). Para reduzir as perdas, é frequentemente

recomendado o manejo integrado de pragas e doenças, entretanto, o uso de inseticidas/fungicidas/herbicidas como estratégia de controle tem causado várias limitações, como resistência das pragas, dos agentes etiológicos de patógenos e das plantas daninhas (Kole et al., 2019); poluição do solo e das águas (Manjarre-López et al., 2021); e efeitos deletérios sobre os inimigos naturais (Sánchez-Bayo, 2021). Conseqüentemente, há interesse entre os pesquisadores em desenvolver soluções ambientalmente seguras e sustentáveis.

Os agentes microbianos de controle biológico são capazes de proteger as culturas dos patógenos através de uma variedade de mecanismos, incluindo competição, predação, parasitismo, antibiose e indução da resistência das plantas ao ataque de patógenos (Pinotti; Santos, 2013). Várias bactérias, fungos e vírus de solo são considerados agentes potenciais de controle biológico e são capazes de contribuir para a restauração do equilíbrio ecológico. As micorrizas ectotróficas, por exemplo, através de suas redes de Hartig, transmitem sinais de defesa de plantas atacadas por pulgões para plantas saudáveis, funcionando como um alerta precoce (Heklau et al., 2021). Práticas de manejo como cultivo mínimo, consórcio, plantas de cobertura e adubação orgânica atraem insetos predadores benéficos, favorecendo assim o controle natural de pragas (Dicks et al., 2016).

As plantas daninhas constituem sério problema aos sistemas agrícolas, sendo necessário o controle químico mesmo em práticas regenerativas como o plantio direto. Para resolver esse problema, necessário se faz que pesquisas sejam direcionadas no sentido de desenvolver soluções de natureza ecológica para o controle, pois o combate de ervas daninhas com produtos químicos, além de ser caro, pode incorrer em problemas de seleção de populações resistentes. A melhor solução obtida até o momento é o manejo integrado de plantas daninhas, combinando abordagens de natureza física, cultural, genética, biológica e química (Imoloame et al., 2021). A alelopatia se constitui uma alternativa ao uso de herbicidas. A microbiota do solo — fungos, bactérias, vírus e nematoides — tem a capacidade de atacar as sementes dessas plantas invasoras dos cultivos. Entretanto, uma desvantagem é que alguns desses micróbios atacam igualmente plantas daninhas e cultivadas (Khangura et al., 2023). Uma das possíveis soluções para superar esse problema consiste no uso de variedades melhoradas que tenham a capacidade de competir com vantagem com essas ervas.

As Tabelas 4 e 5 mostram as medidas de caráter ecológico adotadas para o controle das principais pragas e doenças, respectivamente, da cultura do gergelim.

Tabela 4. Medidas de caráter ecológico adotadas para o controle das principais pragas da cultura do gergelim na região Nordeste.

| Pragas | Medidas de controle |
|--|--|
| Lagarta-enroladeira <i>Antigastra catalaunalis</i> | Variedades resistentes (Arawaca, Maporal e Fonucla), aplicações de Dipel (<i>Bacillus thuringiensis</i>) e preparado à base de Neem (<i>Azadiracta indica</i>). |
| Mosca-branca <i>Bemisia tabaci</i> / <i>Bemisia argentifolii</i> | Sua infestação é mais frequente em período de seca. Com quatro moscas por folha, deve-se aplicar solução de detergente neutro na concentração de 180 mL para 20 litros de água ou sabões neutros a 0,5% para o controle das ninfas, em pulverizações dirigidas à parte inferior da folha. Utilização de variedades resistentes (Arawaca e Piritu). |
| Cigarrinha-verde <i>Empoasca</i> sp | Aplicação de soluções de <i>neem</i> . |
| Pulgão <i>Aphis</i> sp | Aplicação de soluções de <i>neem</i> . |
| Formigas ou Saúvas <i>Atta</i> spp. | As folhas do gergelim, em decomposição, contaminam o fungo que serve de alimento para as saúvas, levando à destruição dos formigueiros. Outra estratégia é alimentar, a cada três dias, os formigueiros com folhagem de maniçoba (<i>Manihot glaziovii</i> Mull.) ou <i>neem</i> . |
| Lagartas do gênero <i>Spodoptera</i> ssp | Preparo do solo algumas semanas antes da semeadura para eliminar ovos e plantas hospedeiras de larvas. Armadilhas de luz contra traças. Preparado de <i>nem</i> . |
| Cochonilla do gênero <i>Pseudococcidae</i> | Aplicação de soluções: calda sulfocálcica (500 mL) + óleo bruto de algodão (300 mL) + detergente neutro (50 mL). |

Fonte: Queiroga et al. (2011).

Tabela 5. Medidas de caráter ecológico adotadas para o controle das principais doenças da cultura do gergelim.

| Patógeno | Medidas de controle |
|--|---|
| Cercosporiose <i>Cercospora sesami</i> | Queima de resíduos. Tratamentos de sementes com água quente: 30 minutos a 53 °C. Uso de variedades resistentes (Maporal, Morada id, Acariagua, Arawaca, Inamar e <i>Sesamum radiatum</i>). |
| Mancha-angular <i>Cylindrosporium sesami</i> | Uso de sementes sadias. Variedades resistentes. |
| Podridão-negra-do-caule <i>Macrophomina phaseolina</i> | Uso de variedades resistentes (Arawaca, Venezuela 52, Ajimo Atar, Adong Acol e <i>Sesamum radiatum</i>). Aplicação de adubo verde para estimular o antagonismo. |
| Murcha-de-fusarium <i>Fusarium oxysporium</i> | Emprego de sementes selecionadas. Variedades resistentes (Delco). Eliminação de restos culturais. Rotação de culturas. |

Fonte: Queiroga et al. (2007).

No manejo ecológico de plantas daninhas na cultura do algodão (Figura 8), utilizam-se: i) Método preventivo: são medidas adotadas para prevenir a entrada e disseminação de plantas daninhas em áreas nas quais elas não ocorrem. Feito pelo uso de sementes isentas de propágulos de plantas daninhas, isolamento de áreas, limpeza de máquinas e equipamentos; ii) Método cultural: contempla aspectos como o manejo na entressafra, rotação de culturas, uso da cobertura morta, uso de cultivares adaptadas ao local, preparo do solo, época ideal de semeadura, sementes com germinação e vigor elevados, populações adequadas envolvendo espaçamento, configuração e densidade de semeadura de acordo com as características do solo e do clima; e iii) Método mecânico: consiste na eliminação das



Foto: Júlio César Bogliani

Figura 8. Plantas daninhas na cultura do algodoeiro.

plantas daninhas por meio do uso de enxadas ou cultivadores de tração animal ou tratorizado (Joaquim Junior et al., 2021).

Efeito das práticas de manejo sobre a atividade microbiana

A retirada da vegetação nativa para práticas agrícolas reduz a microbiota funcional do solo. Práticas de conservação como rotação de culturas, adubação orgânica, cultivo mínimo e plantas de cobertura tendem a minimizar esse problema (Mazzetto et al., 2016). Rotações de culturas que incluem plantas de cobertura incorporam restos orgânicos, melhorando a fertilidade do solo pelo aumento do C, do N e da biomassa microbiana, beneficiando o agroecossistema por longo tempo (Pissinati et al., 2018). Uma opção eficiente é utilizar leguminosas como cobertura, devido à sua baixa relação C/N. Elas possuem a capacidade de fixar simbioticamente o N₂ da atmosfera e disponibilizá-lo de uma forma assimilável às plantas (Costa, 2023). Dessa forma, quando incorporadas ao solo, se decompõem facilmente. Por outro lado, a aplicação continuada de fertilizantes solúveis tem o impacto de diminuir a atividade enzimática do solo (Souza et al., 2008).

Os fertilizantes são usados nos sistemas de cultivo para atender às demandas nutricionais das plantas. Entretanto existe uma preocupação crescente de que seu uso excessivo esteja contribuindo para a degradação e poluição do solo e da água e emissões de gases do efeito estufa (Tripathi et al., 2022). Parte das pesquisas agrícolas estão focadas no desenvolvimento de soluções baseadas em microrganismos capazes de substituir fertilizantes e agrotóxicos, devido às exigências, cada vez maiores, dos consumidores de alimentos saudáveis. Nessa perspectiva, o uso de bioestimulantes e biofertilizantes está aumentando nos últimos anos. Uma pesquisa realizada pela McKinsey com mais de 5.500 agricultores ao redor do mundo revelou que o Brasil é o país que mais utiliza biofertilizantes e bioestimulantes no mundo. Cerca de 36% e 50% dos agricultores já utilizam esse tipo de produto, ante 25% e 28% na Europa, 12% e 16% nos Estados Unidos, respectivamente. No ano de 2022, o risco de desabastecimento de fertilizantes químicos, gerado pela guerra entre Rússia e Ucrânia, aumentou o uso de bioinsumos nas lavouras. Dados da consultoria Kynetec revelaram que o mercado de bioinsumos cresceu quase 70% em valor de mercado na safra 21/22, movimentando R\$ 2,9 bilhões. Desde a temporada 16/17, esse mercado subiu 50%, contra um aumento de 14% do mercado de insumos químicos (Nannini, 2023). Esses

produtos, derivados de matéria-prima natural, são considerados alternativas ambientalmente seguras e inovadoras, que melhoram processos fisiológicos como eficiência do uso de nutrientes e tolerância a estresses bióticos e abióticos (Pereira et al., 2019). São vários os produtos naturais utilizados na elaboração desses insumos: ácidos húmicos e fúlvicos, extrato de algas marinhas, silício, micorrizas e bactérias fixadoras de N.

A Tabela 6, a seguir, mostra a média do peso de vagens de dois genótipos de amendoim (*Arachis hypogaea*) — BR 1 e L7 Bege — submetidos à adubação nitrogenada ou inoculado com linhagem de bactérias fixadoras de nitrogênio do gênero *Bradyrhizobium* (SEMIA 6144 e ESA 123) em três localidades do Nordeste brasileiro — zona rural das cidades de Abreu e Lima, PE; Campina Grande, PB; e Barbalha, CE —, sendo a primeira de clima tropical e as duas últimas de clima semiárido.

Conforme os dados da Tabela 6, o melhor ambiente para a produção de amendoim foi o semiárido de Barbalha, CE; o genótipo que proporcionou a melhor produção de vagens foi o L7 Bege; e a melhor fonte de N para inoculação de sementes de amendoim foi a estirpe ESA 123, a qual os autores indicam para futuros experimentos que objetivem desenvolver inoculantes comerciais recomendados

Tabela 6. Média do peso de vagens de genótipos de amendoim crescidos em três ambientes do Nordeste brasileiro, sob quatro fontes de N.

| | Peso de vagens (g planta ⁻¹) |
|--------------------------------|---|
| <i>Ambiente (A)</i> | |
| A1 (Abreu e Lima, PE) | 36,19 b |
| A2 (Campina Grande, PB) | 38,07 b |
| A3 (Barbalha, CE) | 46,87 a |
| <i>Genótipo (G)</i> | |
| G1 (BR 1) | 35,86 b |
| G2 (L7 Bege) | 44,85 a |
| <i>Fonte de Nitrogênio (N)</i> | |
| N1 (Sem nitrogênio) | 31,50 b |
| N2 (Adubação nitrogenada) | 40,52 ab |
| N3 (ESA 123) | 45,02 a |
| N4 (SEMIA 6144) | 44,42 a |
| Média | 40,38 |
| Coefficiente de variação (%) | 18,1 |

Médias seguidas de mesma letra não diferem significativamente entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Fonte: Sizenando et al. (2016).

para o cultivo da oleaginosa na região do Nordeste brasileiro.

Estudando o efeito do biofertilizante simples sobre variáveis produtivas do gergelim, Lima et al. (2013) constataram que, com o uso desse bioinsumo, houve um aumento no peso de 1.000 sementes, no peso e no número de cápsulas. Segundo esses autores, o biofertilizante bovino pode atenuar os efeitos das perdas elevadas de água por evaporação no Semiárido. Shakeri et al. (2013) afirmam, fundamentados por experimento de campo, que os biofertilizantes aumentam o rendimento de sementes de gergelim, o número de ramos e cápsulas por planta, o número de sementes por cápsula e o teor de óleo nas sementes. Segundo os autores, os biofertilizantes podem muito bem substituir a adubação química nitrogenada.

Mitigação dos efeitos da mudança climática

Um dos benefícios da agricultura regenerativa é a capacidade de redução da emissão de gases do efeito estufa (Tabela 7), pois suas práticas agrícolas proporcionam o sequestro de C do solo através da fotossíntese (Iqbal et al., 2023). A assimilação do C do solo é potencializada por práticas de manejo como plantio de culturas forrageiras perenes,

cobertura do solo, adubação orgânica, cultivo mínimo, plantio direto e produção de biomassa, principalmente quando utilizadas de forma holística, devido aos efeitos sinérgicos entre elas (Wiltshire; Beckage, 2023).

A interação planta x microrganismos x prática de manejo x ambiente é a principal impulsionadora do sequestro de C, da melhoria da saúde do solo e da resiliência do agroecossistema (Polyak; Sukchaveriak, 2019). Os benefícios da agricultura regenerativa são determinados pelo bem-estar dos agricultores e pelos ganhos sociais e econômicos: baixo investimento, aumento do C orgânico do solo e seus benefícios associados, alimentos mais limpos e nutritivos, maiores ganhos econômicos e sustentabilidade na agricultura. A limitação ao seu uso tem a ver com a falta de técnicos capacitados nesta modalidade de agricultura, de políticas governamentais, de mercado e de pesquisas mais direcionadas à regeneração do meio ambiente através da agricultura. Organizações governamentais e não governamentais e instituições de pesquisa podem desempenhar um papel importante na promoção da adoção da agricultura regenerativa, fornecendo educação e treinamento, promulgando políticas que apoiem essas práticas e auxiliando no desenvolvimento de mercados para produtos cultivados regenerativamente.

Reconhece-se que a mudança da agricultura convencional para a regenerativa pode resultar em

Tabela 7. Potencial de aquecimento global acumulado para cinco estratégias regenerativas, de acordo com o tipo de cultivo, a textura do solo e a quantidade adicionada.

| | | Potencial de aquecimento global acumulado (%) | | | | |
|-----------------------|--------|---|---------|----------|------------------------|------------------------|
| | | Fertilizante inorgânico | Esterco | Biochar | Esterco + fertilizante | Biochar + fertilizante |
| Tipo de cultivo | Trigo | 179,6 | 191,15 | -138,67 | 184 | -25 |
| | Milho | 99,65 | 137,57 | -111,11 | 197 | -58 |
| | Arroz | 202 | – | – | 288 | – |
| | Pousio | 18 | 198,82 | -14,76 | 264 | 35,3 |
| Textura do solo | Grossa | 52,51 | 82,55 | -196,36 | 159 | -32,08 |
| | Média | 106 | 164,85 | -172,78 | 287 | -46 |
| | Fina | 210 | 248 | -59 | 315,25 | -16 |
| Quantidade adicionada | 1 | 36 | 67,77 | -26 | 131 | -164,55 |
| | 2 | 131 | 82,5 | -54 | 209,45 | -17,4 |
| | 3 | 198,29 | 207 | -108,9 | 287,96 | 3,45 |
| | 4 | 211 | 249 | -143,95 | – | – |
| | 5 | – | – | -171,855 | – | – |
| | 6 | – | – | -204,43 | – | – |

Fonte: Iqbal et al. (2023).

queda da produção nos primeiros anos. No entanto, essa queda pode ser compensada pelo preço mais baixo dos insumos utilizados nessa modalidade de agricultura e pelo maior valor dos produtos no mercado (Dudek; Rosa, 2023). Nessa fase, é recomendado que os agricultores tenham um meio de renda à parte para garantir sua subsistência.

Considerações finais

A agricultura regenerativa está ganhando destaque em resposta aos desafios impostos pelas mudanças climáticas e pelo alto custo dos insumos. Ela se caracteriza por incorporar recursos de sistemas agrícolas sustentáveis para restaurar a saúde do solo e trazer benefícios ambientais, econômicos e sociais. Além disso, ajuda no sequestro de carbono, na reciclagem de nutrientes e no aumento da produção.

Matéria orgânica e carbono são essenciais para a biodiversidade do solo. Mesmo uma pequena diminuição nesses recursos tem um grande impacto sobre o ecossistema. Nessa perspectiva, as práticas de manejo da agricultura regenerativa têm um efeito profundo na microbiologia do solo, entretanto, para que sejam bem-sucedidas, há necessidade de se realizar estudos prévios nas áreas de implementação desse sistema, principalmente em relação às viabilidades econômica e ambiental, uma vez que, se houver riscos, especialmente financeiros, os agricultores terão resistência em adotar.

Cada vez mais, há evidências científicas de que as práticas da agricultura regenerativa ajudam a prevenir a degradação do solo, melhorar a performance do ecossistema e produzir alimentos nutritivos. Entretanto, mais pesquisas são necessárias para elucidar a complexidade desses sistemas em diferentes biomas.

Referências

- AKENBAUER, K. J.; LOHEIDE, S. P. The effects of soil organic matter on soil water retention and plant water use in a meadow of the Sierra Nevada, CA. **Hydrological Processes**, v. 31, n. 4, p. 891-901, 2017. DOI: <https://doi.org/10.1002/hyp.11070>.
- ALCÂNTARA, F. A. de; STONE, L. F.; HEINEMANN, A. B.; MARTINS, E. de S. **Atributos do solo e produtividade de milho em sistema agroecológico** após adubação verde e fertilizantes orgânicos. Santo Antônio de Goiás: Embrapa Arroz e Feijão, 2022. 27 p. (Embrapa Arroz e Feijão. Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento, 62).
- ALEKSANDER, M. S.; DRAGUTIN, Đ.; LEKA, M. Mikroorganizmi zemljišnog ekosistema i njegovo zdravlje. **Acta Agriculturae Serbica**, v. 24, n. 48, p. 191-207, 2019. DOI: <https://doi.org/10.5937/AASer1948191M>.
- ALVES, T. dos S.; CAMPOS, L. L.; ELIAS NETO, N.; MATSUOKA, M.; LOUREIRO, M. F. Biomassa e atividade microbiana de solo sob vegetação nativa e diferentes sistemas de manejos. **Acta Scientiarum Agronomy**, v. 3, n. 2, p. 341-347, 2011. DOI: <https://doi.org/10.4025/actasciagron.v33i2.4841>.
- BELTRÃO, N. E. de M.; CARTAXO, W. V.; PEREIRA, S. R. de P.; SOARES, J. J.; SILVA, O. R. R. F. **O cultivo sustentável da mamona no Semi-árido Brasileiro**. Campina Grande: Embrapa Algodão, 2006. 62 p. (Embrapa Algodão. Cartilha, 01).
- BURGESS, P. J.; HARRIS, J.; GRAVES, A. R.; DEEKS, L. K. **Regenerative Agriculture: identifying the impact; enabling the potential**. Cranfield University: Bedfordshire, 2019. DOI: <https://farmpep.net/index.php/node/164>.
- CAPUANI, S.; RIGON, J. P. G.; BELTRÃO, N. E. de M.; BRITO NETO, J. F. de. Atividade microbiana em solos, influenciada por resíduos de algodão e torta de mamona. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 16, n. 12, p. 1269-1274, 2012. DOI: <https://doi.org/10.1590/S1415-43662012001200002>.
- CHENG, L.; DITOMASO, A.; KAO-KNIFFIN, J. Opportunities for microbiome suppression of weeds using regenerative agricultural Technologies. **Frontiers in Soil Science**, v. 2, e838595, 2022. DOI: <https://doi.org/10.3389/fsoil.2022.838595>.
- COSTA, M. M. M. N. **Fixação Biológica de Nitrogênio: uma revisão**. Campina Grande: Embrapa Algodão, 2023. 34 p. (Embrapa Algodão. Documentos, 293).
- DICKS, L. V.; WRIGHT, H. L.; ASHPOLE, J. E.; HUTCHISON, J.; McCORMACK, C. G.; LIVOREIL, B.; ZULKA, K. P.; SUTHERLAND, W. J. What works in conservation? Using expert assessment of summarised evidence to identify practices that enhance natural pest control in agriculture. **Biodiversity and Conservation**, v. 25, p. 1383-1399, 2016. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10531-016-1133-7>.
- DUCHIN, F. Drawdown the most comprehensive plan ever proposed to reverse global warming. **Science**, 2017, v. 356, n. 6340, p. 811.
- DUDEK, M.; ROSA, A. Regenerative agriculture as a sustainable system of food production: concepts, conditions, perceptions and initial implementations in Poland, Czechia and Slovakia. **Sustainability**, v. 15, n. 22, p. 15721, 2023. DOI: <https://doi.org/10.3390/su152215721>.

- EBBOTT, D.; PAPANAGNOU, D. What regenerative agriculture can teach medical students about human health. **International Journal of Medical Education**, v. 14, p. 63-64, 2023. DOI: <http://creativecommons.org/licenses/by/3.0>.
- FEIFEL, M.; DURNER, W.; HOHENBRINK, T. L.; PETERS, A. Effects of improved water retention by increased soil organic matter on the water balance of arable soils: A numerical analysis. **Vadose Zone Journal**, v. 23, e20302, 2023. DOI: <https://doi.org/10.1002/vzj2.20302>.
- FENSTER, T. L. D.; OIKAWA, P. Y.; LUNGGREN, J. G. Regenerative almond production systems improve soil health, biodiversity, and profit. **Frontiers in Sustainable Food Systems**, v. 5, e664359, 2021. DOI: <https://doi.org/10.3389/fsufs.2021.664359>.
- FERREIRA, A. C. de B.; LAMAS, F. M. **Manejo do solo e instalação da cultura do algodoeiro**. Campina Grande: Embrapa Algodão, 2006. 8 p. (Embrapa Algodão. Circular Técnica, 91).
- FERREIRA, A. C. de B.; BORIN, A. L. D. C.; LAMAS, F. M. **Espécies vegetais de cobertura do solo para o sistema de semeadura direta do algodoeiro**. Campina Grande: Embrapa Algodão, 2011. 12 p. (Embrapa Algodão. Circular Técnica, 172).
- FERREIRA, A. C. de B.; BOGIANI, J. C.; SOFIATTI, V.; LAMAS, F. M. **Sistemas de cultivo de plantas de cobertura para a semeadura direta do algodoeiro**. Campina Grande: Embrapa Algodão, 2016. 15 p. (Embrapa Algodão. Comunicado Técnico, 377).
- FERREIRA, A. C. de B.; BORIN, A. L. D. C.; LAMAS, F. M.; SOFIATTI, V. **Acúmulo de nutrientes por plantas de cobertura no Sistema Plantio Direto com rotação soja-algodão**. Campina Grande: Embrapa Algodão, 2022. 25 p. (Embrapa Algodão. Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento, 111).
- FERREIRA, A. C. de B.; PERINE, F. J.; BOGIANI, J. C.; SOFIATTI, V.; FERREIRA, G. B.; REBEQUI, A. M. **Plantas de cobertura em solo arenoso da Bahia: NPK na palhada, Potássio no solo e produtividade do algodão**. Campina Grande: Embrapa Algodão, 2023. 2 p. (Embrapa Algodão. Circular Técnica, 17).
- FRANCIS, C. A.; HARWOOD, R. R.; PARR, J. F. The potential for regenerative agriculture in the developing world. **American Journal of Alternative Agriculture**, v. 1, n. 2, p. 65-74, 1986. DOI: <https://www.jstor.org/stable/44506928>.
- FRIEDRICHSEN, C. N.; HAGEN-ZAKARISON, S.; FRIESEN, M.; McFARLAND, C.; TAO, H.; WULFHORST, J. D. Soil health and well-being: Redefining soil health based upon a plurality of values. **Soil Security**, v. 2, e100004, 2021. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.soisec.2021.100004>.
- GABEL, M. **Ho-Ping: a world scenario for food production**. Philadelphia: World Game Institute, 1979.
- HEKLAU, H.; SCHINDLER, N.; BUSCOT, F.; EINSENHAUER, N.; FERLIAN, O.; SALCEDO, L. D. P.; BRUELHEIDE, H. Mixing tree species associated with arbuscular or ectotrophic mycorrhizae reveals dual mycorrhization and interactive effects on the fungal partners. **Ecology and Evolution**, v. 11, p. 5424-5440, 2021. DOI: <https://doi.org/10.1002/ece3.7437>.
- IMOLOAME, E. O.; AYANDA, I. F.; YUSUF, O. J. Integrated weed management practices and sustainable food production among farmers in Kwara State, Nigeria. **Open Agriculture**, v. 6, p. 124-134, 2021. DOI: <https://doi.org/10.1515/opag-2021-0221>.
- IQBAL, S.; XU, J.; KHAN, S.; WORTHY, F. R.; KHAN, H. Z.; NADIR, S.; RANJITKAR, S. Regenerative fertilization strategies for climate-smart agriculture: Consequences for greenhouse gas emissions from global drylands. **Journal of Clean Production**, v. 398, e136650, 2023. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2023.136650>.
- JOAQUIM JUNIOR, C. Z.; BARBOSA, I. J.; CARDOSO, E. L.; SANÓ, L.; N'BALI, N. N.; COSTA, Y. K. S. da; CARVALHO, L. B. de. Manejo de plantas daninhas na cultura do algodoeiro: breve revisão. **Revista Agronomia Brasileira**, v. 5, p. 1-5, 2021. DOI: <http://dx.doi.org/10.29372/rab202125>.
- JONES, R. A. C. Alteration of plant species mixtures by virus infection: Managed pastures the forgotten dimension. **Plant Pathology**, v. 71, p. 1255-1281, 2022. DOI: <https://doi.org/10.1111/ppa.13571>.
- JUNGE, S. M.; LEISCH-WASKÖNIG, S.; WINKLER, J.; KIRCHNER, S. M.; SAUCKE, H.; FINCKH, M. R. Late to the party—transferred mulch from green manures delays colorado potato beetle infestation in regenerative potato cropping systems. **Agriculture**, v. 12, n. 12, p. 2130, 2022. DOI: <https://doi.org/10.3390/agriculture12122130>.
- KHANGURA, R.; FERRIS, D.; WAGG, C.; BOWYER, J. Regenerative agriculture - A literature review on the practices and mechanisms used to improve soil health. **Sustainability**, v. 15, p. 2338, 2023. DOI: <https://doi.org/10.3390/su15032338>.
- KOLE, R. K.; ROY, K.; PANJA, B. N.; SANKARGANESH, E.; MANDAL, T.; WOREDE, R. E. Use of pesticides in agriculture and emergence of resistant pests. **Indian Journal of Animal Health**, v. 58, n. 2, p. 53-70, 2019. DOI: <https://doi.org/10.36062/ijah.58.2SPL.2019.53-70>.
- KOTHE, E. Special issue: soil microbiology and agriculture. **Journal of Basic Microbiology**, v. 64, e2400025, 2024. DOI: <https://doi.org/10.1002/jobm.202400025>.
- LIMA, F. A.; SOUSA, G. G. de; VIANA, T. V. de A.; PINHEIRO NETO, L. G.; AZEVEDO, B. M. de;

- CARVALHO, C. M. de. Irrigação da cultura do gergelim em solo com biofertilizante bovino. **Revista Brasileira de Agricultura Irrigada**, v. 7, n. 2, p. 102-111, 2013. DOI: <http://dx.doi.org/10.7127/rbai.v7n200007>.
- LIU, Z.; NIE, L.; ZHANG, M.; ZHANG, S.; YANG, H.; GUO, L.; XIA, J.; NING, T.; JIAO, N.; KUZYAKOV, Y. Long-term subsoiling and straw return increase soil organic carbon fractions and crop yield. **Journal of Soil and Water Conservation**, v. 78, n. 3, p. 234-244, 2023. <https://doi.org/10.2489/jswc.2023.00094>.
- LV, S. H.; DONG, Y. J.; JIANG, Y.; PADILLA, H.; LI, J.; UPHOFF, N. An opportunity for regenerative rice production: combining plastic film cover and plant biomass mulch with no-till soil management to build soil carbon, curb nitrogen pollution, and maintain high-stable yield. **Agronomy**, v. 9, n. 10, p. 600, 2019. DOI: <https://doi.org/10.3390/agronomy9100600>.
- MACIK, M.; GRYTA, A.; SAS-PASZT, L.; FRAC, M. New insight into the soil bacterial and fungal microbiome after phosphorus biofertilizer application as an important driver of regenerative agriculture including biodiversity loss reversal and soil health restoration. **Applied Soil Ecology**, v. 189, e104941, 2023. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.apsoil.2023.104941>.
- MACRAY, J. E.; MONTGOMERY, D. R. Trends in soil organic matter and topsoil thickness under regenerative practices at the University of Washington student farm. **PeerJ**, v. 11, e16336, 2023. DOI: <https://doi.org/10.7717/peerj.16336>.
- MAMABOLO, E.; PRYKE, J. S.; GAIGHER, R. Soil fauna diversity is enhanced by vegetation complexity and no-till planting in regenerative agroecosystems. **Agriculture, Ecosystems and Environment**, v. 367, e108973, 2024. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.agee.2024.108973>.
- MANJARRES-LÓPEZ, D. P.; ANDRADES, M. S.; SÁNCHEZ-GONZÁLEZ, S.; RODRÍGUEZ-CRUZ, M. S.; SÁNCHEZ-MARTIN, M. J.; HERRERO-HERNÁNDEZ, E. Assessment of pesticide residues in waters and soils of a vineyard region and its temporal evolution. **Environmental Pollution**, v. 284, e117463, 2021. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2021.117463>.
- MAZZETTO, A. M.; CERRI, C. E. P.; FEIGL, B. J.; CERRI, C. C. Atividade da biomassa microbiana do solo alterada pelo uso da terra no sudoeste da Amazônia. **Bragantia**, v. 75, n. 1, p. 79-86, 2016. DOI: <http://dx.doi.org/10.1590/1678-4499.066>.
- MCCAULEY, K.; BARLOW, K. Regenerative agriculture: increasing plant diversity and soil carbon sequestration on agricultural landscapes. **Studies by Undergraduate Researchers at Guelph**, v. 15, n. 1, 2023. DOI: <https://doi.org/10.21083/surg.v15i1.7196>.
- MEDEIROS, J. da C.; COSTA, M. M. M. N.; PEREIRA, J. R.; SABOYA, R. de C. C.; SANTIAGO, F. dos S.; BLACKBURN, R. M. **Recomendações de manejo de água e solo para o cultivo de algodão agroecológico em consórcios agroalimentares no Semiárido do Nordeste brasileiro**. Campina Grande: Embrapa Algodão, 2021. 38 p. (Embrapa Algodão. Cartilha).
- MIR, M. S.; SAXENA, A.; KANTH, R. H.; RAJA, W.; DAR, K. A.; MAHDI, S. S.; BHAT, T. A.; NAIKOO, N. B.; NAZIR, A.; AMIN, Z.; MANSOOR, T.; MYINT, M. Z.; KHAN, M. R.; MOHAMMAD, I.; MIR, S. A. Role of intercropping in sustainable insect-pest management: A review. **International Journal of Environment and Climate Change**, v. 12, n. 11, p. 2581-3403, 2022. DOI: <https://doi.org/10.9734/ijec/2022/v12i111390>.
- MOGAKA, H. Effects of regenerative agriculture technologies on the productivity of cowpea in the drylands of Embu County, Kenya. **Journal of Experimental Biology and Agricultural Sciences**, v. 11, n. 1, p. 190-198, 2023. DOI: [http://dx.doi.org/10.18006/2023.11\(1\).190.198](http://dx.doi.org/10.18006/2023.11(1).190.198).
- NANNINI, G. **Brasil é o país que mais adota uso de biofertilizantes no mundo**. São Paulo: Planeta Campo, 2023. Disponível em: <https://planetacampo.canalrural.com.br/>. Acesso em: 26 dez. 2023.
- O'LEARY, G. J.; CONNOR, D. J. Stubble retention and tillage in a semi-arid environment: 1. Soil water accumulation during fallow. **Field Crops Research**, v. 52, p. 209-219, 1997. DOI: [https://doi.org/10.1016/S0378-4290\(97\)00034-8](https://doi.org/10.1016/S0378-4290(97)00034-8).
- PAVINATO, A. Entraves para a cultura do algodoeiro em sistema plantio direto. In: ENCONTRO DE PLANTIO DIRETO NO CERRADO, 8., 2005, Tangará da Serra. **Anais...** Tangará da Serra: Gráfica e Editora Sanches, 2005. p. 162-166.
- PEREIRA, C.; DIAS, M. I.; PETROPOULOS, S. A.; PLEXIDA, S.; CHRYSARGYRIS, A.; TZORTZAKS, N.; CALHELHA, R. C.; IVANOV, M.; STOJKOVIĆ, D.; SOKOVIĆ, M.; BARROS, L.; FERREIRA, I. C. F. R. The Effects of Biostimulants, Biofertilizers and Water-Stress on Nutritional Value and Chemical Composition of Two Spinach Genotypes (*Spinacia oleracea* L.). **Molecules**, v. 24, p. 4494, 2019. DOI: <https://doi.org/10.3390/molecules24244494>.
- PINOTTI, M. M. Z.; SANTOS, J. C. P. From the ancient times of the agriculture to the biological control in plants: a little of the history. **Ciência Rural**, v. 43, n. 10, p. 1797-1803, 2013. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0103-84782013001000011>.
- PISSINATI, A.; MOREIRA, A.; SANTORO, P. H. Yield components and nutrients content in summer cover plants used in crop rotation in no-tillage system. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**,

v. 49, n. 13, p. 1604-1616, 2018. DOI: <https://doi.org/10.1080/00103624.2018.1474899>.

POLYAK, Y. M.; SUKCHAVERICK, V. I. Allelopathic interactions between plants and microorganisms in soil ecosystems. **Biology Bulletin Reviews**, v. 9, n. 6, p. 562-574, 2019. DOI: <http://dx.doi.org/10.1134/S2079086419060033>.

QUEIROGA, V. de P.; ARRIEL, N. H. C.; BELTRÃO, N. E. de M.; SILVA, O. R. R. F. da; GONDIM, T. M. de S.; CARTAXO, W. V.; SILVA, A. C.; VALE, D. G.; NÓBREGA, D. A. **Cultivo ecológico do gergelim**: alternativa de produção para comunidades de produtores familiares da região Semi-árida do Nordeste. Campina Grande: Embrapa Algodão, 2007. 54 p. (Embrapa Algodão. Documentos, 171).

QUEIROGA, V. de P.; GONDIM, T. M. de S.; VALE, D. G.; GEREON, H. G. M.; QUEIROGA, D. A. N. Produção de gergelim orgânico em agricultura familiar no nordeste brasileiro. **Revista Agro@ambiente On-line**, v. 5, n. 2, p. 166-172, 2011. DOI: <https://doi.org/10.18227/1982-8470ragro.v5i2.420>.

RHODES, C. The imperative for regenerative agriculture. **Science Progress**, v. 100, n. 1, p. 80-129, 2017. DOI: <https://doi.org/10.3184/003685017X14876775256165>.

RODALE, R. Learning to think regeneratively. **Bulletin of Science, Technology and Society**, v. 6, p. 6-16, 1986.

ROSEMBLOOM, N. A.; DONEY, S. C.; SCHIMEL, D. S. Geomorphic evolution of soil texture and organic matter in eroding landscapes. **Global Biogeochemical Cycles**, v. 15, n. 2, p. 365-381, 2001. DOI: <https://doi.org/10.1029/1999GB001251>.

SÁ, R. O. de; GALBIERE, R.; BÉLOT, J.-L.; ZANOTTO, M. D.; DUTRA, S. G.; SEVERINO, L. S.; SILVA, C. J. da. **Mamona**: opção para rotação de cultura visando a redução de nematoides de galha no cultivo do algodoeiro. Cuiabá: IMAmt, 2015. 12 p. (IMAmt. Circular Técnica, 5).

SÁNCHEZ-BAYO, F. Indirect effect of pesticides on insects and other arthropods. **Toxics**, v. 9, n. 8, p. 177, 2021. DOI: <https://doi.org/10.3390/toxics9080177>.

SCHREEFEL, L.; SCHULTE, R. P.; De BOER, I. J.; SCHRIJVER, A. P.; Van ZANTEN, H. H. Regenerative agriculture – the soil is the base. **Global Food Security**, v. 26, e100404, 2020. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.gfs.2020.100404>.

SHAKERI, E.; AMINI DEHAGHI, M.; TABATABAEI, S. A.; MODARES SANAVI, S. A. M. Effect of chemical fertilizer and biofertilizer on seed yield, its components, oil and protein percent in sesame varieties. **Journal Science and Sustainable Production**, v. 22, n. 1, p. 71-85, 2013.

SHERWOOD, S.; UPHOFF, N. Soil health: Research, practice and policy for a more regenerative agriculture. **Applied Soil Ecology**, v. 15, n. 1, p. 85-97, 2000.

SILVA, M. A. de M.; MARTINS, R. C. A degradação social do trabalho e da natureza no contexto da monocultura canavieira paulista. **Sociologias**, v. 12, n. 24, p. 196-240, 2010. DOI: <https://doi.org/10.1590/S1517-45222010000200008>.

SIZENANDO, C. I. T.; RAMOS, J. P. C.; FERNANDES-JUNIOR, P. I.; LIMA, L. M. de; FREIRE, R. M. M.; SANTOS, R. C. Agronomic efficiency of *Bradyrhizobium* in peanut under different environments in Brazilian Northeast. **African Journal of Agricultural Research**, v. 11, n. 37, p. 3482-3487, 2016. DOI: <http://dx.doi.org/10.5897/AJAR2016.11294>.

SOUZA, S. R.; STARK, E. M. L. M.; FERNANDES, M. S.; MAGALHÃES, J. R. Effects of supplemental nitrogen on nitrogen-assimilation enzymes, free amino nitrogen, soluble sugars, and crude protein of rice. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, v. 30, n. 5-6, p. 711-724, 2008. DOI: <https://doi.org/10.1080/00103629909370240>.

TRIPATHI, A.; PANDEY, M.; SHARMA, P. A review: Effects of nitrogenous fertilizers on soil (pH, microbial community, greenhouse gases emission and carbono pool). **Environmental Contaminants Reviews**, v. 5, n. 2, p. 44-48, 2022. DOI: <http://doi.org/10.26480/ecr.02.2022.35.39>.

VERNETTI JUNIOR, F. de J.; GOMES, A. da S.; SCHUCH, L. O. B. Sustentabilidade de sistemas de rotação e sucessão de culturas em solos de várzea no Sul do Brasil. **Ciência Rural**, v. 39, n. 6, p. 1708-1714, 2009. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0103-84782009005000112>.

WHITE, C. Why regenerative agriculture? **American Journal of Economics and Sociology**, v. 79, n. 3, p. 799-812, 2020. DOI: <https://doi.org/10.1111/ajes.12334>.

WILTSHIRE, S.; BECKAGE, B. Soil carbon sequestration through regenerative agriculture in the U.S. state of Vermont. **PLOS Climate**, v. 1, n. 4, e0000021, 2023. DOI: <https://doi.org/10.1371/journal.pclm.0000021>.

ZONTA, J. H.; SOFIATTI, V.; SILVA, O. R. R. F. da; RAMOS, E. N.; BARBOSA, H. F.; CORDEIRO JUNIOR, A. F.; LIRA, A. J. S. **Sistema Integração Lavoura Pecuária (ILP) para a Região Agreste do Nordeste**. Campina Grande: Embrapa algodão, 2016. 26 p. (Embrapa Algodão. Documentos, 266).

ZOVEDA, F.; GARCIA, S.; PANDEY, S.; THOMAS, G.; SOTO, D.; BIANCHI, G.; FAURES, J.M.; GRIFFIN, J.; LIPPER, L.; VAHANEN, T.; KOLLERT, W.; CAMPANHOLA, C. **Building a common vision for sustainable food and Agriculture**. FAO: Roma, 2014. 56 p.

Embrapa Algodão

Rua Osvaldo Cruz, 1143, Centenário
58428-095, Campina Grande, PB
www.embrapa.br/algodao
www.embrapa.br/fale-conosco/sac

Comitê Local de Publicações

Presidente: *Daniel da Silva Ferreira*

Secretária-executiva: *Magna Maria Macedo Nunes Costa*

Membros: *Joao Henrique Zonta, Lucia Vieira Hoffmann, Marcone Cesar Mendonca das Chagas, Roseane Cavalcanti dos Santos e Ziany Neiva Brandao*

Circular Técnica 148

ISSN 0100-6460 / e-ISSN 0000-0000
Março, 2026

Edição executiva: *Geraldo Fernandes de S. Filho*

Revisão de texto: *Marcela Bravo Esteves*

Normalização bibliográfica: *Enyomara Lourenço Silva (CRB-4/1569)*

Projeto gráfico: *Leandro Sousa Fazio*

Diagramação: *Geraldo Fernandes de S. Filho*

Publicação digital: PDF



**Ministério da
Agricultura e Pecuária**

Todos os direitos reservados à Embrapa.