

CAPÍTULO 2

DESEMPENHO AGRONÔMICO DE PLANTAS DE COBERTURA EM MONOCULTIVO E CONSÓRCIO E SEUS EFEITOS NAS PROPRIEDADES FÍSICAS DO SOLO



<https://doi.org/10.22533/at.ed.231142514042>

Data de aceite: 13/05/2025

Igor Alexandre de Souza

Lucas Ribeiro Gomes

Resumo: Neste capítulo, exploramos o uso de plantas de cobertura, tanto em monocultivo quanto em consórcio, com o objetivo de gerar fitomassa para cobrir o solo. Este é um tema fundamental, considerando que a produção de matéria orgânica e a cobertura do solo são peças-chave para a sustentabilidade dos sistemas agrícolas modernos. Quando bem manejados, esses fatores ajudam a evitar a lixiviação de nutrientes essenciais e protegem o solo da erosão, um processo natural que pode prejudicar o cultivo.

A pesquisa busca entender como diferentes combinações de plantas de cobertura desempenham papéis distintos na produção de massa seca e na cobertura do solo. Além disso, se propõe a analisar a importância de variáveis como o comprimento das raízes, a produção de massa aérea e de raízes, a umidade e a densidade do solo, o volume total de poros e a relação dessa dinâmica com a matéria orgânica do solo. A metodologia adotada foi quantitativa

e exploratória, com uma abordagem experimental que permite manipular as variáveis relacionadas ao desempenho das plantas de cobertura. Os resultados indicam que, tanto em monocultivo quanto em consórcio, as plantas de cobertura são eficazes na produção de massa seca e no aumento da cobertura do solo, favorecendo a preservação do solo e aumentando sua produtividade. No entanto, a escolha das plantas deve ser feita de forma estratégica, considerando as características climáticas da região onde serão cultivadas. Dessa forma, o acúmulo de matéria orgânica é otimizado, o que, por sua vez, resulta em melhores desempenhos nas áreas de cultivo.

INTRODUÇÃO

A busca por práticas agrícolas mais sustentáveis tem levado produtores e pesquisadores a repensarem o modo como o solo é manejado. Cada vez mais, os sistemas de cultivo estão migrando de práticas convencionais, marcadas pelo intenso revolvimento e exposição do solo, para estratégias que priorizam

sua conservação e equilíbrio. Entre essas estratégias, o uso de plantas de cobertura tem ganhado destaque como uma ferramenta eficiente e multifuncional.

Além de proteger o solo com sua fitomassa (massa vegetal viva ou morta presente sobre o solo), essas plantas contribuem significativamente para o acúmulo de matéria orgânica — um elemento essencial para manter a saúde e a fertilidade do solo ao longo do tempo. Seus benefícios, no entanto, vão muito além disso. Algumas espécies são capazes de romper camadas mais compactadas do solo com suas raízes, facilitando a penetração de água e ar, enquanto outras contribuem com a ciclagem de nutrientes, trazendo elementos de camadas mais profundas para a superfície. Há também aquelas que se associam a microrganismos capazes de fixar nitrogênio, ajudando na nutrição de culturas subsequentes.

A cobertura do solo em si já representa uma proteção importante contra a erosão, reduzindo o impacto direto das chuvas e ajudando na formação e estabilidade dos agregados do solo. Outro ponto positivo é a regulação térmica do ambiente ao redor das raízes — o que favorece a atividade biológica e protege a microbiota essencial para o funcionamento dos ecossistemas do solo.

Do ponto de vista fitossanitário, as plantas de cobertura também são grandes aliadas. Elas podem compor sistemas de rotação de culturas, dificultar o avanço de plantas daninhas, e até mesmo apresentar efeitos alelopáticos (liberação de substâncias que inibem o desenvolvimento de pragas ou patógenos).

Recentemente, tem ganhado força o uso de consórcios — ou seja, a mistura de diferentes espécies de plantas de cobertura numa mesma área. A ideia é simples: aumentar a biodiversidade e, com ela, os benefícios agronômicos. Cada planta possui suas características e, quando combinadas, podem se complementar, formando sistemas mais equilibrados e resilientes.

Diante disso, surge uma pergunta natural: será que consorciar diferentes espécies traz mesmo melhores resultados do que cultivá-las separadamente? Para responder a essa questão, este estudo buscou avaliar o desempenho de plantas de cobertura tanto em monocultivo quanto em diferentes misturas.

O objetivo geral da pesquisa foi justamente esse: analisar o desempenho de plantas de cobertura quando cultivadas sozinhas e em consórcios. Entre os objetivos específicos, destacam-se: mensurar o comprimento de raízes, avaliar a produção de massa aérea e de raízes, analisar a umidade e densidade do solo, calcular o volume total de poros e, ainda, compreender melhor o papel da matéria orgânica nesse contexto.

A escolha do tema surgiu do interesse em entender mais a fundo como as plantas de cobertura podem proteger o solo e preservar os nutrientes nele presentes — evitando perdas por lixiviação (quando a água carrega os nutrientes para camadas mais profundas) e a ocorrência de erosões. Vale lembrar que o benefício dessas plantas vai além do que se vê na superfície: seu sistema radicular desempenha um papel importantíssimo na estruturação do solo e na melhoria das condições para o crescimento das culturas principais.

Este trabalho está estruturado em cinco partes. Na primeira, temos esta introdução. Na segunda, é apresentado o referencial teórico, abordando desde os conceitos básicos sobre plantas de cobertura até os benefícios do uso em consórcio. A terceira parte trata da metodologia adotada. Em seguida, na quarta parte, são discutidos os resultados obtidos. Por fim, a quinta parte apresenta as considerações finais, com base nas observações realizadas ao longo da pesquisa.

REFERENCIAL TEÓRICO

Plantas de cobertura

As plantas de cobertura desempenham um papel essencial na proteção e melhoria do solo, sendo cada vez mais utilizadas como aliadas nos sistemas agrícolas sustentáveis. Sua função principal é cobrir o solo, protegendo-o contra intempéries climáticas, minimizando perdas de água por evaporação, e reduzindo processos como a lixiviação de nutrientes e a erosão. Além disso, elas favorecem a manutenção da umidade e promovem melhorias nas propriedades físicas, químicas e biológicas do solo.

Com o avanço do sistema de plantio direto (SPD), que busca manter o solo o mais protegido e intacto possível, o uso de plantas de cobertura tornou-se uma prática estratégica. Segundo Junior et al. (2011), ao formar uma camada espessa de biomassa sobre o solo, essas plantas ajudam a reduzir a erosão, a pressão de plantas daninhas e o ataque de nematoídes. Essa cobertura, também chamada de palhada, funciona como uma espécie de armadura natural, estabilizando o ambiente e promovendo condições mais equilibradas para o cultivo.

Conforme mencionado por Kiehl (1979 apud OLIVEIRA, 2014), o nome “plantas de cobertura” já revela sua função: proteger o solo. No entanto, sua utilidade vai muito além da proteção física. Muitas espécies utilizadas também servem como adubo verde, podendo ser aproveitadas para a produção de sementes, grãos, feno, silagem e até mesmo como pastagem. Leguminosas, por exemplo, são bastante valorizadas por sua capacidade de fixar nitrogênio atmosférico no solo, o que contribui significativamente para a nutrição vegetal.

Estudos como o de Oliveira, Carvalho e Moraes (2002) mostram que o uso de plantas de cobertura pode impactar positivamente a produtividade agrícola. Ao avaliar o rendimento do feijão em sistema de plantio direto, os autores observaram aumentos significativos quando essas plantas eram utilizadas, especialmente em consórcios entre espécies. Esses consórcios, inclusive, têm se mostrado eficazes também no controle de plantas daninhas, uma vez que muitas coberturas competem com elas por luz, água e nutrientes, reduzindo seu crescimento e propagação (ERASMO et al., 2004).

A adoção crescente das plantas de cobertura nos sistemas agrícolas conservacionistas reforça sua importância na sustentabilidade. Conforme destaca Pereira et al. (2017), elas promovem inúmeros benefícios, entre os quais: prevenção da compactação do solo, aumento da infiltração da água, reciclagem de nutrientes e controle biológico de pragas e doenças. Ambrosano et al. (2005) acrescentam ainda que essas plantas são capazes de elevar os níveis de matéria orgânica no solo, criando um ambiente mais favorável à vida microbiológica.

Segundo Calegari (2014), as plantas de cobertura são, essencialmente, espécies de adubo verde que formam palhada no solo. Elas têm sido amplamente utilizadas na agricultura por trazerem melhorias evidentes na qualidade do solo e, consequentemente, no rendimento das lavouras. Como citado por Angeletti et al. (2016), além de sua aplicação direta em lavouras, essas plantas podem ser consorciadas com culturas anuais ou perenes, promovendo a rotação de culturas e evitando o esgotamento do solo.

A escolha das espécies adequadas é um ponto-chave para o sucesso da cobertura vegetal. Nakayama (2011) reforça que, além da quantidade de biomassa gerada, é necessário considerar a capacidade da planta de fixar nitrogênio e sua adaptação às condições da área de cultivo. Fatores como tipo de solo, clima local e sistema produtivo adotado influenciam diretamente na escolha da cobertura mais eficiente.

Nesse sentido, Alvarenga et al. (2001) indicam que as espécies ideais para cobertura devem apresentar boa produção de biomassa, capacidade de ciclagem de nutrientes, resistência à seca, custo acessível, e não devem contribuir para o aumento de pragas ou doenças. Já Filho et al. (2004) sugerem que, no Cerrado, espécies mais rústicas e adaptadas às condições de estiagem são preferíveis, pois garantem melhor conservação do solo ao longo do ano.

Além da parte aérea, as raízes dessas plantas também são de extrema importância. Elas promovem a descompactação do solo, aumentam a porosidade e facilitam o crescimento das raízes das culturas seguintes. Nakayama (2011) destaca que as plantas de cobertura também melhoram a atividade biológica do solo, interagindo com microrganismos benéficos e favorecendo o equilíbrio ecológico do sistema.

A produção de palhada, por sua vez, deve considerar a qualidade do material gerado. Souza et al. (2014) explicam que espécies que geram grande quantidade de palhada contribuem para a conservação do solo e para a manutenção da umidade. No entanto, a escolha da planta deve levar em conta também a durabilidade dessa cobertura. Gramíneas, por exemplo, produzem palhadas mais duráveis, mas têm alta relação C/N, o que retarda a liberação de nitrogênio no solo. Leguminosas, por outro lado, liberam nitrogênio mais rapidamente, mas produzem menos palhada e de menor durabilidade (OLIVEIRA, 2014).

Assim, de acordo com Oliveira (2014), as principais famílias utilizadas na cobertura vegetal são as gramíneas e as leguminosas. Enquanto as gramíneas são mais produtivas e resistentes a diferentes condições climáticas, as leguminosas destacam-se pela

capacidade de fixação biológica de nitrogênio, promovendo decomposição mais acelerada da biomassa. Menezes et al. (2009) complementam que espécies com alto teor de celulose são preferidas quando se deseja maior persistência da palhada no solo, já que a celulose é um composto de decomposição lenta.

Portanto, fica claro que o uso de plantas de cobertura deve ser planejado com critério, levando em consideração a realidade regional, o sistema de cultivo e os objetivos do produtor. A escolha certa das espécies pode representar um avanço importante rumo à sustentabilidade e à produtividade dos sistemas agrícolas.

A importância da matéria orgânica para as plantas de cobertura do solo

A matéria orgânica é considerada um dos principais componentes responsáveis pela conservação da qualidade do solo, pois proporciona a liberação de nutrientes essenciais para a fertilidade e para o bom desenvolvimento das culturas. Segundo Cunha, Mendes e Giongo (2015, p. 273), a matéria orgânica do solo (MOS) é constituída por “[...] organismos vegetais, cuja composição varia entre diferentes espécies vegetais e, dentro da mesma espécie, com a idade de plantas e animais existentes no solo”.

De acordo com Silva e Resck (1997), a matéria orgânica atua como fonte de nutrientes e energia para o solo, contribuindo para o aumento da produtividade agrícola. Ela também melhora o fornecimento de energia para os microrganismos e influencia positivamente as condições físicas do solo. Nesse contexto, a biomassa representa a parte viva da matéria orgânica e está diretamente envolvida nos processos bioquímicos e biológicos do solo (Souza et al., 2010).

Segundo Fontana (2009), a MOS se origina a partir da decomposição de resíduos vegetais e animais. No entanto, esses resíduos precisam passar por transformações físicas e químicas até que seus nutrientes possam ser absorvidos pelas plantas, desempenhando também um papel importante na conservação do solo.

A matéria orgânica exerce efeitos diretos sobre a disponibilidade de nutrientes como nitrogênio (N), fósforo (P) e enxofre (S), tanto por meio da mineralização de sua estrutura quanto pela criação de um ambiente propício para microrganismos benéficos, como os fixadores de nitrogênio e solubilizadores de fosfato (Stevenson, 1994).

Lepsch (2016) destaca que a matéria orgânica é um dos componentes mais relevantes do solo, estando envolvida em diversos processos benéficos tanto para a dinâmica edáfica quanto para o desenvolvimento das plantas. A MOS resulta da decomposição e mineralização de materiais orgânicos em diferentes estágios, contribuindo para o aumento da capacidade de troca catiônica (CTC), retenção de água, resiliência física do solo, suporte à biota edáfica e outras funções. Além disso, o solo representa um ambiente crucial para o ciclo do carbono na superfície terrestre.

Dick et al. (2009) apontam que o manejo do solo é um dos principais fatores que influenciam os níveis de matéria orgânica. Nesse sentido, práticas agrícolas sustentáveis — como o uso de adubos verdes, plantas de cobertura e a rotação de culturas — são fundamentais para a manutenção e o acúmulo da MOS.

Para Barros (2011), a matéria orgânica é imprescindível para a nutrição das plantas cultivadas, pois auxilia na incorporação de nutrientes, retenção de umidade, tamponamento do solo e melhoria de sua aeração e estrutura.

Cunha, Mendes e Giongo (2015) reforçam que a MOS é uma fonte essencial de nutrientes, fornecendo elementos primordiais como nitrogênio (N), fósforo (P) e enxofre (S). Assim, a biomassa atua como compartimento no ciclo de C, N, P e S no solo, funcionando como reserva de nutrientes ou como agente ativo na decomposição da matéria orgânica (Souza et al., 2010).

Considerando que a matéria orgânica do solo é formada principalmente por resíduos vegetais, a utilização de plantas de cobertura torna-se fundamental como fonte de aporte orgânico. Por isso, é essencial compreender melhor a produção de massa seca pelas plantas de cobertura e adubos verdes, tema abordado a seguir.

Produção de Massa Seca pelas Plantas de Cobertura

As plantas de cobertura são capazes de produzir grandes volumes de massa seca, o que garante a proteção do solo contra intempéries, além de contribuir significativamente para o aumento da matéria orgânica, conservação do solo e redução da erosão e da evaporação da água (GIONGO et al., 2011).

Segundo Santos (2020), o acúmulo de massa seca na superfície do solo favorece sua conservação durante o sistema de plantio direto (SPD), reduz a compactação e estimula o incremento de matéria orgânica. Menezes (2009) destaca que essa massa pode ser eficientemente fornecida por espécies adaptadas ao período de inverno, com destaque para aquelas que apresentam alta produção e durabilidade da biomassa, fixação simbiótica de nitrogênio (FSN) e capacidade de reciclagem de nutrientes. Dentre as espécies mais utilizadas, estão a ervilhaca-peluda, a ervilha-forrageira, o nabo-forrageiro e a aveia, que se sobressai pela elevada produção de biomassa.

As plantas de cobertura contribuem com dois principais compartimentos na produção de massa seca: a parte aérea e o sistema radicular, os quais são abordados a seguir.

Parte Aérea

O crescimento e o desenvolvimento da parte aérea da planta estão diretamente relacionados ao tipo de solo em que são cultivadas, bem como à disponibilidade de água e nutrientes (RAMOS; LIMA; CARVALHO, 1982). Conforme Fernandes et al. (2005), essa parte representa a maior porção da planta — excluindo-se as raízes — e possui grande

potencial de geração de massa seca. Essa biomassa, ao ser depositada no solo, contribui tanto para a fertilidade quanto para o aumento da produtividade de culturas subsequentes, fornecendo nutrientes importantes durante sua decomposição.

Raízes

As raízes desempenham papel essencial na melhoria das condições físicas do solo, promovendo sua descompactação, aumentando a atividade microbiana e facilitando a absorção de nutrientes (CORDEIRO; CORA; NAHAS, 2008). Santos et al. (2014) destacam que raízes com maior ramificação e agressividade são capazes de atingir camadas mais profundas, absorver nutrientes menos disponíveis e, após sua decomposição, formar bioporos – estruturas que facilitam a infiltração e retenção de água, além do fluxo de nutrientes.

Contudo, quando há limitação no volume de solo explorado pelas raízes, a planta pode sofrer com deficiências hídricas e nutricionais (PEQUENO, 2013). As gramíneas, foco desta pesquisa, possuem raízes menos profundas, porém com alta densidade, o que favorece a estruturação do solo e o controle da erosão (WOLSCHICK, 2014). Já as leguminosas promovem o desenvolvimento de fungos micorrízicos, aumentando a absorção de água e nutrientes. O nabo-forrageiro, por sua vez, destaca-se pela capacidade de romper camadas compactadas, melhorando a aeração do solo (BOAKOWICZ, 2007).

Portanto, espécies com raízes vigorosas e profundas favorecem significativamente a estrutura e qualidade do solo, contribuindo para sua descompactação e para a formação de canais naturais (bioporos), que aumentam a porosidade e a capacidade de infiltração de água (CALLEGARI; COSTA, 2009).

Propriedades Físicas do Solo em Áreas com Plantas de Cobertura

As propriedades físicas do solo são determinantes para o crescimento saudável das plantas, pois interferem diretamente nos fluxos de água, calor e gases, essenciais ao desenvolvimento radicular e à produtividade agrícola (BERTOLINO, 2019).

De acordo com Nicoloso et al. (2008), as plantas de cobertura contribuem positivamente para a melhoria das condições físicas do solo, favorecendo o crescimento do sistema radicular e a absorção de água e nutrientes. Isso se deve, em parte, à rusticidade dessas espécies, que possuem maior capacidade de adaptação às adversidades do ambiente.

Moraes (2016) enfatiza que a melhoria da qualidade física do solo está diretamente relacionada ao vigor, profundidade e densidade do sistema radicular das plantas utilizadas. Contudo, diversos fatores podem influenciar essas propriedades, incluindo tipo de solo, clima, rotação de culturas, formas de adubação e até mesmo a pressão exercida pelas máquinas agrícolas.

Mota et al. (2013) complementa que o manejo do solo interfere em variáveis como densidade, resistência à penetração radicular, teor de matéria orgânica e taxa de infiltração de água – todas elas consideradas indicadoras importantes da qualidade física do solo.

Densidade do Solo

A densidade do solo é definida pela relação entre massa e volume, sendo uma das principais propriedades físicas a influenciar tanto a produtividade quanto a qualidade do ambiente edáfico (BERTOLINO, 2019). Segundo Klein (2006), o tipo de manejo pode alterar a densidade, afetando também a porosidade e a resistência à penetração das raízes. Assim, os valores da densidade estão diretamente ligados às características do solo e às práticas de manejo adotadas (LIMA et al., 2007).

Densidades elevadas comprometem a conservação do solo, dificultam a absorção de nutrientes, inibem o crescimento radicular e prejudicam o desenvolvimento da parte aérea. Além disso, afetam a infiltração de água, a aeração e a distribuição de nutrientes (BERTOLINO, 2019).

Para Assis et al. (2014), o uso de plantas de cobertura é uma estratégia eficiente para reduzir a densidade do solo. Com seus sistemas radiculares bem desenvolvidos, essas espécies promovem o rompimento de camadas compactadas e, ao deixar palhada na superfície, protegem o solo. Isso contribui ainda para o aumento da diversidade e da densidade de microrganismos, melhorando a estrutura e a qualidade física do solo (BERTOLINO, 2019).

Umidade do solo

A umidade do solo é um fator determinante para diversas propriedades físicas e biológicas, influenciando diretamente a temperatura, a aeração, a resistência à penetração e a compactação – aspectos frequentemente relacionados à densidade do solo. Um dos elementos essenciais para a manutenção da umidade é a matéria orgânica, cuja presença contribui significativamente para a proteção da superfície contra agentes erosivos, como o vento e o impacto direto das gotas de chuva (BERTOLINO, 2019).

De acordo com Torres (2006), a presença de cobertura vegetal sobre o solo reduz a evaporação da água, favorecendo a manutenção da umidade e diminuindo sua oscilação ao longo do tempo. Ainda segundo o autor, o tipo de solo e as condições climáticas típicas da região do Cerrado exercem influência direta tanto sobre a temperatura quanto sobre a retenção de umidade no solo, destacando a importância da adoção de práticas que favoreçam a conservação da água no perfil.

Porosidade do solo

A porosidade do solo diz respeito ao volume de espaços vazios entre as partículas sólidas, que são responsáveis por armazenar água, permitir a troca gasosa e possibilitar o crescimento das raízes. Esses poros variam em forma e tamanho, e podem ser classificados em microporos e macroporos (KAY; VANDENBYGAART, 2002).

A estrutura porosa do solo é composta por três fases: sólida, líquida e gasosa. Os macroporos estão associados à circulação de ar e à infiltração de água, sendo frequentemente denominados como “poros de aeração”. Já os microporos são responsáveis pela retenção de água. Dessa forma, solos com maior macroporosidade tendem a apresentar maior capacidade de infiltração, enquanto solos compactados ou preparados com arado de discos, por exemplo, podem ter sua macroporosidade reduzida, o que aumenta a retenção de água, porém prejudica a aeração (OLIVEIRA et al., 2002).

Conforme Ros et al. (1997), os níveis de porosidade podem ser avaliados pela presença de macroporos, sendo que valores superiores a $0,25 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$ indicam uma boa porosidade de aeração, enquanto valores abaixo de $0,10 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$ são considerados indicativos de deficiência na aeração do solo.

Dando sequência à temática abordada nesta pesquisa, a próxima seção apresenta as principais espécies de plantas de cobertura utilizadas na região do Cerrado, as quais foram analisadas ao longo do estudo.

Principais plantas de cobertura utilizadas na região do Cerrado

Diversas espécies vegetais podem ser utilizadas como plantas de cobertura nos sistemas de cultivo, oferecendo uma ampla gama de benefícios, que vão desde a proteção do solo até a melhoria de atributos físicos, químicos e biológicos (ALVARENGA et al., 2001). A seguir, são descritas algumas das espécies mais empregadas na agricultura praticada nas regiões do Cerrado brasileiro e que foram objeto de análise na presente pesquisa: milheto, nabo forrageiro e crotalária.

Milheto

O milheto (*Pennisetum glaucum*), pertencente à família Poaceae (gramíneas), destaca-se como uma das principais opções de planta de cobertura no Cerrado, em razão de sua ampla adaptabilidade a diferentes tipos de solo e condições climáticas.

Segundo Lima (2009), o milheto é uma cultura anual adaptada ao clima tropical, caracterizada por seu porte elevado (entre 4 e 5 metros de altura) e crescimento acelerado, especialmente quando a semeadura é realizada de forma adequada. Além disso, apresenta elevada produção de massa seca, o que favorece sua utilização como cobertura vegetal (SOUZA et al., 2010).

A prática recomendada consiste em cultivar o milheto até o estágio de pré-floração, principalmente quando a semeadura ultrapassa 20 kg ha⁻¹. Nessa fase, a planta apresenta crescimento vigoroso, formando elevada quantidade de biomassa, que é então dessecada antes do florescimento. Esse manejo propicia a produção de palhada com baixa relação carbono/nitrogênio (C/N), o que favorece uma decomposição mais rápida e eficiente, viabilizando a semeadura da cultura subsequente (DANTAS; NEGRÃO, 2010).

A janela de semeadura do milheto é bastante flexível, permitindo sua inserção em diferentes épocas do ano e de acordo com os objetivos do agricultor. No sistema de plantio direto, por exemplo, pode-se cultivá-lo como safrinha, logo após a colheita do milho ou da soja, entre o final de janeiro e meados de abril. Nessa estratégia, plantios mais precoces tendem a gerar maior produção de massa e grãos. Outra possibilidade é a semeadura entre agosto e setembro, com dessecação programada para anteceder o plantio de culturas como milho ou soja em novembro (DANTAS; NEGRÃO, 2010).

Além de sua elevada capacidade de cobertura, o milheto é reconhecido por sua tolerância à deficiência hídrica, graças à sua alta eficiência no uso da água e ao seu sistema radicular profundo. Tais características fazem com que essa cultura se destaque entre as opções mais promissoras para os sistemas de produção no Cerrado brasileiro (PEREIRA FILHO et al., 2003).

Com o avanço da agricultura na região, a área plantada com milheto vem crescendo constantemente. Entre os diversos benefícios, destaca-se a formação de palhada densa e uniforme, fundamental para a conservação do solo. Mesmo em ambientes com baixa umidade e fertilidade, o milheto tem demonstrado maior produtividade de fitomassa em comparação a outras espécies utilizadas como cobertura (DANTAS; NEGRÃO, 2010).

Dessa forma, o milheto se destaca como uma das melhores opções para o cerrado brasileiro, graças à sua rusticidade e excelente adaptação aos períodos de estiagem. Sua capacidade de sobreviver com recursos hídricos limitados o torna especialmente indicado para os períodos de safrinha. Além do milheto, outra espécie de planta de cobertura de grande importância para o cultivo no cerrado é o nabo forrageiro, que será detalhado a seguir.

Nabo Forrageiro

O nabo forrageiro (*Brassica rapa*), pertencente à família das brássicas (crucíferas), é uma planta herbácea anual, altamente ramificada e com rápido crescimento. Em apenas 60 dias após a germinação, pode cobrir até 70% do solo, o que a torna eficiente na proteção e recuperação da terra. Seu sistema radicular pivotante e agressivo pode ultrapassar 2 metros de profundidade, sendo capaz de tolerar solos pobres e ácidos (CREMONEZ et al., 2013).

Oliveira (2009) destaca que o nabo forrageiro é uma planta de cobertura amplamente utilizada, principalmente devido à sua habilidade em descompactar o solo com suas raízes. Além disso, é uma espécie de fácil adaptação e apresenta características específicas, como:

“[...] uma espécie anual de inverno, herbácea, ereta e muito ramificada, com folhas basais alternadas, pinatipartidas, de 0,12 a 0,15 m de comprimento, e um longo lobo terminal, enquanto as folhas superiores são caulinares, alternadas, com lobos arredondados” (OLIVEIRA, 2009, p. 13).

O nabo forrageiro foi introduzido no Brasil na década de 1980, quando passou a ser reconhecido como uma importante planta de adubo verde e fonte de matéria orgânica para a cobertura do solo, graças ao seu desempenho notável na recuperação de solos (SÁ, 2005). Além disso, é resistente tanto à geada quanto à seca, embora requeira umidade no solo durante seu desenvolvimento inicial (OLIVEIRA, 2009).

De acordo com Nakayama (2011), o nabo forrageiro oferece diversos benefícios como planta de cobertura, como a reciclagem de nutrientes (principalmente nitrogênio e fósforo), controle de ervas daninhas e maior eficiência na rotação de culturas.

O desenvolvimento do nabo forrageiro pode ser influenciado por condições ambientais, como temperaturas baixas, que favorecem a floração e a produção de sementes, e altas temperaturas, que podem resultar em floração precoce (SÁ, 2005). Portanto, o nabo forrageiro é uma excelente opção para a preservação do solo, redução de ervas daninhas e contribuição para a rotação de culturas.

Crotalárias

As crotalárias, pertencentes à família Fabaceae, são leguminosas reconhecidas pelo seu papel como adubo verde, devido à simbiose com organismos fixadores de nitrogênio. Embora apresentem uma relação C/N baixa, o cultivo das crotalárias pode gerar de 6 a 15 t/ha de massa seca e são especialmente adaptadas ao clima tropical. Além disso, toleram solos de baixa fertilidade, especialmente quando há aplicação de calagem (PAULA JÚNIOR, 2007).

Segundo Nakayama (2011), as crotalárias formam nódulos abundantes e eficientes com rizóbios de crescimento lento, sendo raros os nódulos ineficazes. Essas plantas são rústicas e crescem bem em solos secos, arenosos e até em áreas costeiras.

As crotalárias possuem um porte arbustivo, com folhas compostas e folíolos ovalados, além de inflorescências racemosas de flores amarelas, atraentes para polinizadores (GITTI et al., 2012). Com cerca de 300 espécies, o uso das crotalárias se expandiu à medida que se reconheceu a importância das substâncias produzidas por elas, além de sua afinidade com organismos que promovem a fixação biológica de nitrogênio. Esse conhecimento se fortaleceu especialmente com a popularização do plantio direto (SILVEIRA; RAVA, 2004).

Benefícios Múltiplos do Consórcio entre Espécies de Plantas de Cobertura

O consórcio de espécies de plantas de cobertura oferece vantagens significativas em relação ao cultivo isolado. Ao combinar duas ou mais plantas, é possível aproveitar os benefícios de cada uma, otimizando o uso do solo e melhorando a distribuição de nutrientes e forragem.

Santos et al. (2007) definem o consórcio como uma prática agrícola que visa cultivar simultaneamente diferentes espécies em uma mesma área, com o objetivo de preservar o solo e manter os nutrientes. Giacomini et al. (2003) reforçam que consórcios, especialmente entre gramíneas e leguminosas, têm um impacto positivo no acúmulo de matéria orgânica e nutrientes, além de reduzir a presença de plantas daninhas.

Para um maior acúmulo de biomassa, as plantas forrageiras, leguminosas e gramíneas anuais ou semi-perenes são as mais recomendadas. Essas plantas, especialmente aquelas que fixam nitrogênio e têm sistemas radiculares profundos, promovem a reciclagem eficiente de nutrientes (NAKAYAMA, 2011).

Nakayama (2011) enfatiza a vantagem das leguminosas, que além de fixarem nitrogênio, possuem alta produção de biomassa, o que as torna essenciais, especialmente em solos pobres em matéria orgânica. As gramíneas, por sua vez, contribuem com resíduos ricos em carbono, que liberam mais nutrientes para as culturas e apresentam taxa de decomposição mais lenta.

Estudos de sistemas consorciados têm demonstrado que eles oferecem uma cobertura mais densa do solo e maior aporte de matéria orgânica. No Brasil, experimentos indicam que gramíneas de inverno cultivadas isoladamente resultam em menor acúmulo de biomassa, especialmente quando comparadas aos consórcios com leguminosas (BALBINOT JÚNIOR et al., 2004).

Perin et al. (2006) apontam que o consórcio de leguminosas e gramíneas é vantajoso para os cultivos, pois proporciona uma palhada com relação C/N intermediária, favorecendo a liberação mais equilibrada de nitrogênio para as culturas.

A utilização de consórcios pode resultar em aumento na produtividade de fitomassa e melhorar a qualidade do solo. Menezes et al. (2009) encontraram que a combinação de milheto + crotalária foi a mais eficiente em termos de produção de biomassa, enquanto consórcios como o níger + capim-pé-de-galinha apresentaram menor produção devido à competição por recursos.

Além disso, estudos indicam que o consórcio entre nabo forrageiro e milheto também resulta em alta produção de fitomassa (DEBIASI et al., 2019), enquanto os consórcios de plantas de cobertura em geral promovem a formação de maior quantidade de palhada e aumento da matéria orgânica do solo (RODRIGUES et al., 2012).

Portanto, os consórcios entre plantas de cobertura não apenas aumentam a produtividade das lavouras, mas também oferecem uma série de benefícios agronômicos, como o aumento da eficiência no uso de nutrientes e recursos hídricos (OLIVEIRA et al., 2016).

METODOLOGIA

O experimento foi conduzido no Projeto de Assentamento Nova Califórnia, localizado na região de Unaí/MG. A área está situada a uma altitude de 880 metros, e o solo da região é caracterizado por sua textura argilosa e baixa fertilidade (Tabela 1). A temperatura média anual da região é de 24°C, com máximas de 32°C e mínimas de 10°C. A média pluviométrica anual é de 1200 mm.

Parâmetro	Unidade	Resultado 0-20 cm	Resultado 20-40 cm
Potássio - K	mg/dm ³	66,73	28,57
Fósforo – P (Mehlich)	mg/dm ³	6,24	4,33
Enxofre - S	mg/dm ³	6,32	14,04
Cálcio – Ca²⁺	cmol c/dm ³	0,917	0,463
Magnésio – Mg²⁺	cmol c/dm ³	0,35	0,177
Boro - B	mg/dm ³	0,19	0,15
Cobre - Cu	mg/dm ³	0,68	0,48
Ferro - Fe	mg/dm ³	24,66	8,65
Manganês - Mn	mg/dm ³	4,05	0,51
Zinco - Zn	mg/dm ³	1,57	0,61

Tabela 1 – Características químicas do solo coletado à profundidade de 0-20 cm antes do plantio das plantas de cobertura

Fonte: Autor da pesquisa, 2021.

O experimento foi conduzido em um delineamento de blocos casualizados com amostragens repetidas no tempo, utilizando 4 blocos espaçados a 1 metro entre si, com 5 parcelas de 6 m² cada, para aplicação dos tratamentos, que foram: milheto, nabo forrageiro, crotalária, consórcio de milheto + nabo forrageiro e milheto + crotalária.

O plantio ocorreu no dia 19/03/2021, e a quantidade de sementes aplicada foi de acordo com a recomendação do fornecedor: 15 kg/ha para o milheto, 8 kg/ha para a crotalária, 8 kg/ha para o nabo forrageiro, 8 kg/ha de nabo forrageiro e 15 kg/ha de milheto para o consórcio de milheto + nabo forrageiro, e 8 kg/ha de crotalária e 15 kg/ha de milheto para o consórcio de milheto + crotalária.

A primeira amostragem de solo para determinação da densidade do solo (Ds) e volume total de poros (VTP) foi realizada antes do plantio, com a finalidade de observar essas variáveis antes que sofressem os efeitos do cultivo das plantas. A segunda amostragem ocorreu ao final da colheita, no dia 20/05/2021, totalizando 60 dias entre a primeira e a última coleta.

A amostragem de plantas e solo foi realizada com o uso de um quadrado amostral de 50 cm x 50 cm, lançado aleatoriamente dentro de cada parcela experimental. Com o auxílio de um enxadão, as plantas dentro dessa área foram extraídas do solo e fracionadas em parte aérea e sistema radicular. Foram medidas a altura e o comprimento do sistema radicular de 10 plantas aleatórias.

As partes aéreas e raízes foram acondicionadas em sacos de papel e enviadas ao laboratório de solos da Faculdade de Ciências e Tecnologia de Unaí – FACTU, onde foram secadas em estufa de ventilação forçada a 65°C até peso constante. Após a secagem, as frações de parte aérea e sistema radicular foram pesadas, e os valores foram extrapolados para a produção por hectare. A primeira colheita ocorreu no dia 19/04/2021 (30 dias após o plantio), e a segunda no dia 20/05/2021 (60 dias após o plantio).

Para a determinação da densidade do solo inicial, foram coletadas 16 amostras de solo indeformadas, utilizando um amostrador de solos tipo Ulhand de anéis volumétricos de 5 cm de altura e 5 cm de diâmetro interno. As amostras foram coletadas aleatoriamente, representando toda a área experimental em duas profundidades: 0 – 20 cm e 20 – 40 cm. Ao final do experimento, juntamente com a segunda colheita das plantas, foram coletadas amostras indeformadas em cada parcela nas mesmas profundidades. Além disso, foram coletadas 40 amostras de solo com o auxílio de um trator holandês, sendo duas amostras por parcela, uma de 0 a 20 cm e outra de 20 a 40 cm de profundidade, para determinação da umidade pelo método de secagem em estufa a 105°C por 24 horas.

As análises estatísticas foram realizadas por meio de ANOVA, considerando as variáveis avaliadas nas amostras de plantas e solo, com um delineamento de blocos casualizados em um esquema de parcelas subdivididas, onde a espécie forrageira ou mix de plantas foi considerada como parcela e a época de coleta como medida repetida no tempo. O modelo incluiu os efeitos fixos de bloco, espécie forrageira, época de coleta e interação entre esses fatores, além do efeito aleatório de bloco com espécie. Quando uma interação significativa foi detectada, foi realizado um desdobramento para identificar diferenças dentro de cada nível dos fatores. O teste de Tukey foi utilizado para discriminar as médias de quadrado mínimo, adotando um nível de significância de 5% ou menor na ANOVA, desdobramento e teste de médias. Todas as análises foram conduzidas utilizando o software R Studio (R Core Team, 2019).

Variáveis Avaliadas nas Plantas

A interação entre a época de colheita e as plantas de cobertura não apresentou efeito significativo sobre a produção de massa seca ($P = 0,7115$). Contudo, foram observados efeitos independentes tanto para a época de colheita ($P < 0,0001$) quanto para as espécies e seus consórcios ($P < 0,0001$), conforme mostrado nas Tabelas 2 e 3.

	Plantas em monocultivo e consórcio				$P > F$	CV
	Milheto	Nabo forrageiro	Crotalária	Milheto + nabo forrageiro		
Massa seca (kg ha^{-1})	968,0 ^a	392,6 ^b	358,4 ^b	783,4 ^a	787,8 ^a	< ,0001 35,9

Médias seguidas da mesma letra minúscula a coluna e da mesma letra maiúscula na linha, não diferem significativamente entre si pelo Teste de Tukey 5% de probabilidade.

Tabela 2- Produção de massa seca (kg ha^{-1}) de plantas de cobertura plantadas em monocultivo e em consórcio no período de pousio

Fonte: Autor da pesquisa, 2021.

Dentre as plantas de cobertura avaliadas em monocultivo, o milheto se destacou, apresentando a maior produtividade média, de 968,0 kg ha^{-1} . Em comparação, o nabo forrageiro e a crotalária, também cultivados em monocultivo, apresentaram produtividades inferiores, mas sem diferença significativa entre si, com médias de 392,6 kg ha^{-1} e 358,4 kg ha^{-1} , respectivamente. A produção de massa seca nos consórcios de milheto + nabo forrageiro e milheto + crotalária não apresentou diferenças em relação ao monocultivo de milheto (Tabela 2).

É importante destacar que a produção de massa seca das plantas de cobertura e dos consórcios pode ter sido influenciada pelas condições climáticas. No período de safrinha, quando o plantio foi realizado, o milheto tende a apresentar um crescimento menor, o que resultou em uma redução no seu desenvolvimento e, consequentemente, na produção de massa seca.

O milheto se sobressai na produção de massa seca entre as plantas de cobertura cultivadas no Cerrado, tanto em monocultivo quanto em consórcio, mantendo uma boa produtividade por área (VENEGAS; SCUDELER, 2012; VIEIRA, 2009). Segundo Souza (2018), a cultura do milheto, no período de safrinha, apresenta um crescimento inicial mais acelerado, uma vez que é uma planta de dias curtos, sendo estimulada pelo fotoperíodo do inverno, o que resulta em um ciclo precoce de florescimento e fechamento, diminuindo a produção total de fitomassa.

Ao comparar a produção de massa seca nas diferentes épocas de colheita, observou-se que a segunda colheita foi superior à primeira (Tabela 3). A produção média de massa seca foi 54% maior na segunda colheita, em um intervalo de 30 dias. Esse resultado sugere que, quanto mais tempo a planta de cobertura for mantida, maior será a quantidade de material vegetal disponível na superfície do solo.

Alvarenga et al. (2021) destacam que as épocas de semeadura e colheita influenciam diretamente a produção de massa seca. De acordo com seus estudos, manter as culturas por um período maior contribui para uma maior cobertura do solo.

Massa seca (Kg ha ⁻¹)	Colheita	Colheita	P > F	CV %
	1	2	0,0007	20,1
	517,3 ^b	798,8 ^a		
Médias seguidas da mesma letra minúscula a coluna e da mesma letra maiúscula na linha, não diferem significativamente entre si pelo Teste de Tukey 5% de probabilidade.				

Tabela 3 – Produção de massa seca de plantas de cobertura plantadas em monocultivo e em consórcio em duas épocas de colheita

Fonte: Autor da pesquisa, 2021.

A diferença entre as épocas de colheita foi claramente observada, resultando em desempenhos distintos na produção de massa seca, o que é comum no cultivo de plantas forrageiras durante o período da entressafra (QUEIROZ et al., 2012). Nesse contexto, estudos de Kichel (2018) indicam que a variação na produtividade de massa seca pode ser atribuída às condições climáticas e à fertilidade do solo, incluindo fatores como densidade, temperatura, luz e umidade presentes durante o período do experimento.

Além disso, foi detectado um efeito significativo ($P = 0,0211$) da interação entre a época de colheita e as plantas de cobertura em relação à produção de massa seca das raízes, ao comprimento das raízes e à altura das plantas (Tabela 4).

Colheita	Tratamento	Variáveis		
		Massa de raízes	Comprimento de raízes	Altura
			-----cm-----	
1	Milheto	94,0 ^{abB}	7,2 ^{aB}	83,4 ^{ab}
	Nabo forrageiro	27,0 ^{bA}	6,8 ^{aB}	75,8 ^{ab}
	Crotalária	58,4 ^{abA}	7,3 ^{aB}	49,3 ^b
	Milheto + nabo forrageiro	72,3 ^{abA}	5,6 ^{aB}	101,9 ^a
	Milheto + crotalária	112,8 ^{aA}	7,2 ^{aB}	81,3 ^{ab}
2	Milheto	190,5 ^{aA}	4,7 ^{aA}	117,4 ^a
	Nabo forrageiro	35,2 ^{cA}	8,3 ^{aA}	88,4 ^{ab}
	Crotalária	54,7 ^{bcA}	7,3 ^{aA}	62,0 ^b
	Milheto + nabo forrageiro	106,7 ^{bA}	7,4 ^{aA}	114,1 ^a
	Milheto + crotalária	110,2 ^{baA}	7,5 ^{aA}	98,9 ^{ab}
ANOVA P > F	Colheita	0,0128	0,0001	0,0205
	Tratamento	0,0006	0,5819	0,0002
	Colheita x Trat	0,0211	0,0115	0,0232

CV	1	44,1%	31,4%	31,5 %
	2	34,5%	5,5%	7,7%

Médias seguidas da mesma letra minúscula a coluna e da mesma letra maiúscula na linha, não diferem significativamente entre si pelo Teste de Tukey 5% de probabilidade.

Tabela 4 – Produção de massa seca e comprimento de raízes de plantas de coberturas plantadas em monocultivo e consórcio durante o período de pousio

Fonte: Elaborado pelo autor, 2021.

A maior produção de massa seca de raízes por hectare ocorreu na área cultivada com milheto, quando as plantas foram colhidas aos 60 dias (colheita 2), com 190,5 kg ha⁻¹. Por outro lado, a menor produção de massa seca de raízes foi observada na área cultivada com nabo forrageiro, com 27,0 kg ha⁻¹. Em relação à época de colheita, apenas o milheto apresentou um incremento significativo, variando de 94,0 kg ha⁻¹ na colheita 1 para 190,0 kg ha⁻¹ na colheita 2 (Tabela 4). O curto período de experimento pode ter influenciado esses resultados, uma vez que, ao prolongar o ciclo das plantas, o sistema radicular tende a se tornar mais robusto.

Quanto ao comprimento das raízes, não houve diferenças entre os tratamentos. No entanto, em relação às épocas de colheita, observou-se que, na época 2, as raízes das plantas de cobertura apresentaram comprimento maior em comparação com a época 1 (Tabela 4).

A presença de raízes abundantes e vigorosas contribui para uma melhor estruturação e estabilidade do solo. As gramíneas, por exemplo, possuem um sistema radicular denso, o que favorece a produção de massa seca (WOLSCHICK, 2014). Já as leguminosas têm um sistema radicular que melhora a aeração do solo, proporcionando um ambiente mais adequado para a absorção de água e nutrientes pelas plantas (BOAKOWICZ, 2007).

Em relação à altura das plantas, a área cultivada com milheto + nabo forrageiro se destacou com maior altura, enquanto a área cultivada com crotalária teve a menor altura. Quanto às diferentes épocas de colheita, todas as áreas apresentaram maior altura de plantas na colheita 2. Embora a massa seca por hectare tenha sido relativamente baixa, a altura das plantas foi consideravelmente boa. Normalmente, o período de plantio influencia o crescimento das plantas, e plantas de cobertura cultivadas no período de safrinha tendem a apresentar um porte menor (LEITE et al., 2016).

De acordo com Giacomini et al. (2003), fatores climáticos e ambientais influenciam o crescimento e a adaptação das plantas de cobertura, afetando sua altura e, consequentemente, a produção de massa seca. Fernandes et al. (2005) corroboram esse conceito, afirmando que a parte aérea das plantas contém nutrientes que, ao se transformarem em massa seca, beneficiam o solo.

DENSIDADE DO SOLO E VOLUME TOTAL DE POROS

Não foi observado efeito significativo ($P > 0,05$) da interação entre a época de coleta e as plantas de cobertura e consórcios para as variáveis Densidade do Solo (Ds) e Volume Total de Poros (VTP). No entanto, foi detectado um efeito significativo de forma independente para as plantas de cobertura ($P < 0,00305$) e para a época de coleta ($P < 0,0003$; Tabelas 5 e 6).

		Plantas de cobertura em monocultivo e consórcios						
	Prof.	Milheto	Nabo forrageiro	Crotalária	Milheto + nabo forrageiro	Milheto+ crotalária	P > F	CV %
Densidade (g cm ⁻³)	0 – 20	0,93 ^a	0,89 ^a	0,89 ^a	0,88 ^b	0,90 ^{ab}	0,0305	3,2
	20 – 40	0,88 ^a	0,88 ^a	0,86 ^a	0,90 ^a	0,87 ^a	0,5376	5,1
VTP %	0 – 20	64,8 ^b	66,5 ^{ab}	66,3 ^{ab}	66,7 ^a	65,8 ^{ab}	0,0305	3,2
	20 – 40	66,6 ^a	66,7 ^a	67,6 ^a	66,2 ^a	67,0 ^a	0,5376	2,5

Médias seguidas da mesma letra minúscula a coluna e da mesma letra maiúscula na linha, não diferem significativamente entre si pelo Teste de Tukey 5% de probabilidade.

Tabela 5 – Valores médios de densidade do solo (g cm⁻³) de amostras indeformadas coletas em área cultivada com diferentes plantas de cobertura e seus mixes

Fonte: Autor da pesquisa, 2021.

A Densidade do Solo (Ds) na profundidade 1 foi menor na área cultivada com o consórcio de milheto + nabo forrageiro, apresentando um valor de 0,88 g cm⁻³. Exceto para a área cultivada com o consórcio de milheto + crotalária, que não apresentou diferença significativa, as demais áreas apresentaram valores de Ds superiores (Tabela 5). Isso sugere que o cultivo de plantas de cobertura em consórcio pode resultar em uma Ds menor quando comparado ao monocultivo.

Em relação ao Volume Total de Poros (VTP) na profundidade 1, a área cultivada com o consórcio de milheto + nabo forrageiro obteve a maior média, com 67,6%, enquanto a área cultivada em monocultivo de milheto apresentou o menor valor de VTP, com 64,8%. Já na profundidade 2, o melhor desempenho foi observado na área cultivada com crotalária, que apresentou o maior valor de porosidade total (67,6%), enquanto o pior tratamento foi o consórcio de milheto + nabo forrageiro, com 66,2% de porosidade.

A primeira colheita, realizada antes da semeadura das plantas, apresentou uma densidade do solo superior em comparação à segunda colheita, realizada no final do ciclo. Dessa forma, observa-se que a redução da densidade do solo pode estar relacionada à recuperação do solo após o cultivo (Tabela 6).

	Prof.	Colheita		P > F	CV %
		1	2		
Ds (g cm ⁻³)	0 – 20	0,929857 ^a	0,869424 ^b	0,0003	4,585869 %
	20 – 40	0,9092407 ^a	0,8489707 ^b	0,0001	3,705816 %
VTP %	0 – 20	64,9 ^b	67,2 ^a	0,0003	2,5
	20 – 40	65,7 ^b	68,0 ^a	0,0003	1,8

Médias seguidas da mesma letra minúscula a coluna e da mesma letra maiúscula na linha, não diferem significativamente entre si pelo Teste de Tukey 5% de probabilidade.

Tabela 6- Época de coleta de amostras de solo para determinação da densidade do solo e volume total de poros

Fonte: Autor da pesquisa, 2021.

Normalmente, a densidade maior afeta a velocidade de infiltração de água e a absorção de nutrientes, o que pode gerar problemas no solo. Nesse contexto, Bertolino (2019) destaca que o aumento da densidade do solo interfere na absorção de nutrientes e na distribuição da água, dificultando o crescimento das raízes e das partes aéreas das plantas.

O Volume Total de Poros (VTP) foi maior na coleta realizada ao final do experimento, para ambas as profundidades investigadas (Tabela 6). Esse aumento indica que ocorreu uma aeração do solo durante o período de cultivo das plantas de cobertura.

Conforme estudos de Tormena et al. (2002), “valores de porosidade de aeração abaixo de 10-15% são, geralmente, considerados restritivos para o crescimento e produtividade da maioria das culturas, embora dependa da espécie de planta e da atividade biológica do solo”.

Assim, pode-se afirmar que o cultivo de plantas de cobertura no período da safrinha pode proporcionar um aumento no VTP do solo, mesmo em um curto período de cultivo.

ANÁLISE DA UMIDADE GRAVIMÉTRICA

Dentre as culturas utilizadas na profundidade 1, o tratamento com nabo forrageiro + crotalária apresentou o melhor valor de umidade, com 30,14%, enquanto o tratamento com crotalária foi o que apresentou o pior valor de umidade, com 27,59%. Na profundidade 2, o melhor valor de umidade foi observado no consórcio de milheto + crotalária (27,45%), enquanto o pior valor foi encontrado no consórcio de milheto + nabo forrageiro, com 22,24%.

	Plantas de cobertura em monocultivo e consórcio					P > F	CV
	Milheto	Nabo forrageiro	Crotalária	Milheto + nabo forrageiro	Milheto + crotalária		
Umidade	Prof. 1	27,97227	30,13953	27,59421	27,78399	28,22768	0,9532 25,49925 %
	Prof. 2	23,0750	22,7500	24,54280	22,23654	27,45138	0,1559 23,78245 %

Médias seguidas da mesma letra minúscula a coluna e da mesma letra maiúscula na linha, não diferem significativamente entre si pelo Teste de Tukey 5% de probabilidade.

Tabela 7- Umidade gravimétrica de áreas cultivadas em monocultivo e em consórcio em profundidades de 0-20 cm e 20-40 cm

Fonte: Autor da pesquisa, 2021.

Não houve diferença significativa entre os tratamentos em nenhuma das profundidades de 20 cm a 40 cm. No entanto, foi observada uma diferença significativa apenas entre as épocas de coleta (Tabela 8). De maneira geral, os resultados foram positivos, pois a umidade na profundidade 1 variou entre 27,59% e 30,14%, enquanto na profundidade 2, variou entre 22,24% e 27,45%. A profundidade 2 apresentou maior umidade.

Estudos realizados por Assis et al. (2014) corroboram esses resultados, pois não encontraram diferenças significativas nas umidades dos solos cultivados com plantas de cobertura. Resultados semelhantes também foram observados por Bertolini et al. (2021), que não identificaram diferenças significativas na umidade do solo nas profundidades avaliadas nos tratamentos de milheto + crotalária em monocultivo e consórcio.

	Coleta		P > F	CV
	1	2		
Umidade %	Prof. 1	1 29,52602	2 27,16106	0,1111 15,58447 %
	Prof. 2	23,30859 ^b	28,64654 ^a	0,0073 20,97167 %

Médias seguidas da mesma letra minúscula a coluna e da mesma letra maiúscula na linha, não diferem significativamente entre si pelo Teste de Tukey 5% de probabilidade.

Tabela 8 - Época de coleta de amostras de solo para determinação da umidade gravimétrica em profundidades de 0-20 cm e 20-40 cm

Fonte: Autor da pesquisa, 2021.

Na profundidade 2, o solo estava mais úmido do que na profundidade 1. Além disso, as plantas estavam maiores, com um sistema radicular mais estruturado e maior altura, o que resultou em maior quantidade de massa. Embora a produção de massa seca não tenha mostrado diferenças estatísticas, a maior quantidade de massa e o maior índice de sombreamento na colheita 2 da profundidade 2 ajudaram a reter mais umidade, o que melhorou significativamente os resultados.

Segundo Assis et al. (2014), os resultados relacionados à umidade podem ser influenciados pela curta duração do experimento. Carvalho et al. (2018) destacam que as plantas de cobertura são essenciais para melhorar e proteger o solo, o que pode aumentar a produtividade. Alvarenga et al. (2001) também enfatizam a importância de considerar as características das plantas de cobertura para produzir quantidades significativas de biomassa, ciclar nutrientes e manter os níveis adequados de umidade para melhorar a produtividade.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

A presente pesquisa teve como objetivo avaliar o uso de plantas de cobertura, tanto em monocultivo quanto em consórcio, para a produção de fitomassa e cobertura do solo. A produção de matéria orgânica e a cobertura do solo são fatores fundamentais para a sustentabilidade dos sistemas de cultivo atuais.

Quanto ao desempenho das plantas de cobertura, observou-se que o tratamento com milheto em monocultivo foi superior aos demais, seguido pelos consórcios de milheto + nabo forrageiro e milheto + crotalária, que apresentaram valores semelhantes. No entanto, esperava-se uma maior produção de fitomassa nas culturas de cobertura em consórcio, mas as condições climáticas durante o cultivo resultaram na redução da produção de massa seca.

Em relação ao primeiro objetivo específico, não houve diferença significativa entre os tratamentos. No entanto, observou-se que as raízes apresentaram maior comprimento na colheita 2 em comparação com a colheita 1. O tratamento de crotalária foi o único que apresentou o mesmo comprimento de raiz em ambas as colheitas.

Quanto ao segundo objetivo específico, a maior produção de massa seca de raízes foi observada na área cultivada com milheto, e a menor produção ocorreu na área cultivada com nabo forrageiro. Apenas o milheto apresentou um incremento significativo, variando de 190 kg ha⁻¹ para 94,0 kg ha⁻¹. Em relação à produção de massa seca aérea, todas as áreas apresentaram maior altura de plantas na colheita 2. A área cultivada com milheto + nabo forrageiro teve a maior altura, enquanto a área cultivada com crotalária foi a que apresentou menor altura.

No terceiro objetivo específico, observou-se que não houve diferença significativa na densidade do solo entre os tratamentos. No entanto, o resultado pode ser considerado positivo, pois houve uma recuperação do solo, com a densidade diminuindo da coleta inicial para a coleta final. Quanto ao volume total de poros, o maior valor foi encontrado na colheita 2, em relação à coleta 1, e o curto período de experimentação pode ter influenciado esses resultados. A estrutura do solo tende a melhorar com o tempo, aumentando o volume total dos poros.

Em relação à umidade do solo, a profundidade 2 apresentou maior umidade em comparação com a profundidade 1, devido ao maior tamanho das plantas e à maior estrutura do sistema radicular, o que contribuiu para melhores resultados na segunda coleta.

Por fim, a matéria orgânica das plantas de cobertura é essencial para a melhoria do solo, pois ajuda na absorção de nutrientes, na retenção de umidade e na aeração do solo, contribuindo para o melhor desempenho dos cultivos. Para estudos futuros, sugere-se explorar mais a consorciação de plantas de cobertura, como milheto, crotalária e nabo forrageiro, e seu desempenho com outras culturas de cobertura.

Em conclusão, tanto as plantas de cobertura em monocultivo quanto em consórcio mostraram capacidade de produzir massa seca e cobrir o solo, promovendo a preservação e a produtividade do solo. É importante identificar as características das plantas de cobertura para escolher as mais adequadas ao clima da região e garantir maior acúmulo de matéria orgânica, o que resulta em melhores desempenhos na área de cultivo.

REFERÊNCIAS

ALVARENGA, R. C. *et al.* Plantas de cobertura de solo para sistema plantio direto. **Embrapa Milho e Sorgo-Artigo em periódico indexado (ALICE)**, 2001.

AMBROSANO, E. J. *et al.* **Plantas para cobertura do solo e adubação verde aplicadas ao plantio direto**. Piracicaba, KPPotafos. 2005. 16p. (Encarte do informações agronômicas no 112).

ANGELETTI, M . P. *et al.* Utilização de espécies vegetais como cobertura de solo no sistema plantio direto e como adubação verde na região serrana do ES. **Revista Científica Intelletto**. Venda Nova do Imigrante, ES, Brasil v.1, n.2, 2016 p.87-102.

ASSIS, E. B. *et al.* Resistência à penetração em argissolo vermelho-amarelo sob pousio e diferentes culturas de cobertura. **Enciclopédia Biosfera**, Centro Científico conhecer – Goiânia, v.10, n.19, p. 1668-1677, 2014.

BALBINOT JUNIOR, A. A. B.; BACKES, R. L.; TÔRRES, A. N. L. Desempenho de plantas invernais na produção de massa e cobertura do solo sob cultivos isolado e em consórcios. **Revista de Ciências Agroveterinárias**, v. 3, n. 1, p. 38-42, 2004.

BARDIN, L. **Análise de Conteúdo**. Tradução: Luís Augusto Pinheiro. São Paulo: Edições 70, 2016.

BARROS, J. D. S. **Estoques de carbono em solos dos Tabuleiros Costeiros Paraibanos**: diferenças entre ambientes. 2011. 106 f. Dissertação (Mestrado em Recursos Naturais) Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande – PB, 2011.

BERTOLINO, K. M. **Consórcio de crotalária e milheto**: produção de biomassa e características físicas do solo. Dissertação (mestrado acadêmico) - Universidade Federal de Lavras, 2019.

BERTOLINO, K. M. *et al.* **Produção de biomassa e cobertura do solo pelo consórcio de crotalária e milheto e sua influência em propriedades físicas dos solo**. ForScience, Formiga, v. 9, n. 2, e00931, jul./dez. 2021. DOI: 10.29069/forscience.2021v9n2.e931.

BOAKOWICZ, G. Nabo forrageiro como método biológico para a descompactação do solo. **Revista Ciências Agrárias**. UFRGS. 2007.

CALEGARI, A. Perspectivas e estratégias para a sustentabilidade e o aumento da biodiversidade dos sistemas agrícolas com o uso de adubos verdes. In: LIMA FILHO, O. F. de; AMBROSANO, E. J.; ROSSI, F.; CARLOS, J. A. D. **Adubação verde e plantas de cobertura no Brasil: fundamentos e prática**. Brasília, DF: Embrapa, 2014. V. 1 (507p.).

CALEGARI, A.; COSTA, A. Manutenção da cobertura melhora atributos do solo. **Revista Visão Agrícola**, v. 9, p. 13-16, 2009.

CARVALHO, A. M. *et al.* **Plantas de cobertura do solo recomendadas para a entressafra de milho em Sistema Plantio Direto no cerrado**. Planaltina, DF Março, 2018.

CORDEIRO, M. A. S.; CORÁ, J. A.; NAHAS, E. **Atributos bioquímicos e químicos do solo rizosférico e não rizosférico de culturas em Rotação no sistema de semeadura direta**. R. Bras. Ci. Solo, 36:1794-1803. 2008.

CREMONEZ, P. A. *et al.* Nabo forrageiro: do cultivo a produção de biodiesel. **Acta Iguazu**, v. 2, n. 2, p. 64-72, 2013.

CUNHA, T. J. F.; MENDES, A. M. S.; GIONGO, V. Matéria orgânica do solo. In: NUNES, R. R.; REZENDE, M. O. O. (Org.). **Recurso solo: propriedades e usos**. São Carlos: Cubo, 2015. cap. 9, p. 273-293. mm n

DANTAS, C.C. O; NEGRÃO, F.M. **Características agronômicas do Milheto (Pennisetum glaucum)**. PUBVET, Londrina, V. 4, N. 37, Ed. 142, Art. 958, 2010.

DEBIASI, H.; BALBINOT JUNIOR, A. A.; FRANCHINI, J. C. Culturas para cobertura do solo entre a colheita da soja e a semeadura do trigo como estratégia para maior diversificação dos sistemas de produção. In: REUNIÃO DE PESQUISA DE SOJA, 37., 2019, Londrina. Resumos expandidos... Londrina: Embrapa Soja, 2019.

DICK, D. P. *et al.* Química da matéria orgânica do solo. **Química e mineralogia do solo**, v. 1, p. 1-55, 2009.

ERASMO, E. A. L. *et al.* Potencial de espécies utilizadas como adubo verde no manejo integrado de plantas daninhas. **Planta Daninha**, v. 22, n. 3, p. 337-342, 2004.

FERNANDES, A. C. *et al.* A. Crescimento inicial da parte aérea e do sistema radicular de três cultivos de alfafa. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.9, n.1, p.51-56, 2005.

FILHO, J. S. *et al.* Fitomassa e cobertura do solo de culturas de sucessão ao milho na Região do Cerrado. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília , v. 39, n. 4, abr. 2004. Disponível em <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0100-204X2004000400005&lng=pt&nrm=iso>. Acesso em 22abr. 2021.

FONSECA, J. J. S. Metodologia da pesquisa científica. Fortaleza: UEC, 2002. Apostila.

FONTANA, A. **Fracionamento da matéria orgânica e caracterização dos ácidos húmicos e sua utilização no sistema brasileiro de classificação de solos**. (Tese de Doutorado). Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, 2009. 72 p.

GACOMINI, S. J. *et al.* Matéria seca, relação C/N e acúmulo de nitrogênio, fósforo e potássio em misturas de plantas de cobertura de solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 27, n. 2, p. 325-334, 2003.

GONGO, V. *et al.* Carbono no sistema solo-planta no semiárido brasileiro. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v.6, p.1233- 1253, 2011.

GITTI, D. C. *et al.* Épocas de semeadura de crotalária em consórcio com milho. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, v. 11, n. 2, p. 156-168, 2012.

JUNIOR, A. A. B. *et al.* Estratégias de uso do solo no inverno e seu efeito no milho cultivado em sucessão. **R. Bras. Agrociência**, Pelotas, v.17, n.1-4, p.94-107, jan-mar, 2011.

KAY, B. D.; VANDENBYGAART, A. J. **Conservation tillage and depth stratification of porosity and soil organic matter**. *Soil& Tillage Research*, v.66, p.107-118, 2002.

KICHEL, Armindo Neivo Produtividade de milho e gramíneas tropicais perenes no outono-inverno em sucessão a soja / Armindo NeivoKichel -- Dourados: UFGD, 2018.

KIEHL, E. J. **Manual de edafologia**. São Paulo: CERES, 1979. 262 p.

KLEIN, V.A. Densidade relativa - um indicador da qualidade física de um Latossolo Vermelho. **Revista de Ciências Agroveterinárias**, v.5, n.1, p.26-32, 2006. http://rca.cav.udesc.br/rca_2006_1/klein.pdf. 20 ABR. 2021.

LEITE, E. M. *et al.* Massa seca de milheto no verão e inverno em Dourados, MS. In: XXXI Congresso Nacional de Milho e Sorgo Rio Grande do Sul, 2016.

LEPSCH, I. F. **19 lições de pedologia**. Oficina de textos, 2016.

LIMA, J. D. *et al.* Comportamento do nabo forrageiro (*Raphanussativus L.*) e da nabiça (*Raphanusraphanistrum L.*) como adubo verde. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, Goiânia, v. 37, n. 1, p. 60-63, mar. 2007.

LIMA, M. L. M. *et al.* **Substituição do milho triturado por casca de soja em dietas para vacas mestiças em lactação**. Ciência Animal Brasileira, Vol. 10 nº 4 – 2009.

MARCONI, M. A; LAKATOS, E. M. **Fundamentos da metodologia científica**. 7. ed. São Paulo: Atlas, 2010.

MENEZES, L. A. S. *et al.* **Produção de fitomassa de diferentes espécies, isoladas e consorciadas, com potencial de utilização para cobertura do solo**. Biosci. J., Uberlândia, v. 25, n. 1, p. 7-12, Jan./ Feb. 2009.

MORAES, M. T. *et al.* BENEFÍCIOS DAS PLANTAS DE COBERTURA SOBRE AS PROPRIEDADES FÍSICAS DO SOLO. In: **Manejo e conservação do solo e da água em pequenas propriedades rurais do sul do Brasil**: práticas alternativas de manejo visando a conservação do solo e da água. Org. Tales Tiecher. Porto Alegre, 2016.

MOTA, J. C. A.; FREIRE, A. G.; ASSIS JUNIOR, R. N. de. Qualidade física de um cambissolo sob sistemas de manejo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 37, n. 5, p. 1196-1206, out. 2013.

NAKAYAMA, F. T. **Consórcio de plantas de cobertura para a cultura de algodoeiro no sistema de semeadura direta.** 2011. 89 f. Tese (Doutorado) – Faculdade de Engenharia, Universidade Estadual Paulista, Ilha Solteira, 2011.

NETO, Francisco; CALEGARI, Ademir. (2010). **Sistemas de Produção de Palha para o Manejo de Plantas Daninhas na Cultura do Feijão.** Francisco Skora Neto, Ademir Calegari. p. 75-84 . In “ Documentos, no 95, 2010. Instituto Agronômico de Campinas (IAC). Campinas, SP..

NETO, F. B.; GOMES, E. G. Índices de desempenho de sistemas agrícolas consorciados: uso eficiente da terra, indicadores econômicos e eficiência DEA. In: **XXVIII ENCONTRO NACIONAL DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO. A INTEGRAÇÃO DE CADEIAS PRODUTIVAS COM ABORDAGEM DA MANUFATURA SUSTENTÁVEL**, 2008, Rio de Janeiro, RJ, Brasil. *Anais...* Rio de Janeiro, RJ: 13 a 16 de outubro de 2008, p.1-10.

NICOLOSO, et al. **Eficiência da escarificação mecânica e biológica na melhoria dos atributos físicos de um latossolo muito e no incremento do rendimento de soja.** R. Bras. Ci. Solo, 32:1723-1734, 2008.

OLIVEIRA, A. S. **Características agronômicas e qualidade de sementes de nabo forrageiro em função da densidade de semeadura e do espaçamento.** 2009. 68 p. Dissertação (Mestrado/Fitotecnia) Universidade Federal de Lavras, Lavras, Minas Gerais.

OLIVEIRA, G. C. et al. Distribuição de poros e retenção de água em um Latossolo Vermelho argiloso sob experimentos de uso e manejo de longa duração. In: **Reunião Brasileira de Manejo e Conservação do Solo e da Água**, 14, 2002, Cuiabá. Anais. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2002.

OLIVEIRA, L. E. Z. **Plantas de cobertura:** Características, benefícios e utilização. Orientação de Everaldo Anastácio Pereira – Brasília, 2014, 62p.

OLIVEIRA, T. K; CARVALHO, G. J; MORAES, R. N. S. Plantas de cobertura e seus efeitos sobre o feijoeiro em plantio direto. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 37, n. 8, p. 1079-1087, 2002.

OLIVEIRA, V. F. et al. Desempenho de híbridos de milheto graníferos em camadas compactadas de solo. In: **XXXV CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO**. 2016, Natal, RN. *Anais*. Natal, RN, 02 a 07 de agosto de 2016.

PAULA JÚNIOR, T. J. **101 culturas: Manual de tecnologias agrícolas.** EPAMIG, 2007.

PEQUENO, P. L. L. **Noções básicas de uso e manejo de solo.** Porto Velho-RO: EDUFRO, 2013. 59 p.

PEREIRA FILHO, I. A. et al. Manejo da cultura do milheto. **Embrapa Milho e Sorgo-Circular Técnica (INFOTECA-E)**, 2003.

PEREIRA, A. P. et al. Ciclagem de nutrientes por plantas de cobertura de verão. **Revista de Ciências Agrárias**, v. 40, n. 4, p. 799-807, 2017.

PERIN, A.; SANTOS R. H. S.; URGUIAGA S.; GUERRA J. G. M.; CECON P. R. Produção de fitomassa, acúmulo de nutrientes e fixação biológica de nitrogênio por adubos verdes em cultivo isolado e consorciado. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 39, n. 1, p. 35- 40, 2004.

QUEIROZ, D. S. et al. **Cultivares e épocas de semeadura de milheto para produção de forragem.** Rev. Bras. Saúde Prod. Anim., Salvador, v.13, n.2, p.318-329 abr./jun., 2012.

RAMOS, L. C. S.; LIMA, M. M. A.; CARVALHO, A. **Crescimento do sistema radicular e da parte aérea em plantas jovens de cafeeiros.** Seção de Genética, Instituto Agronômico. Vol. 41, Revista Bragantina, CAMPINAS, 1982.

RESCK, D. V. S.; PEREIRA, J.; SILVA, J. E. **Dinâmica da matéria orgânica do solo na região dos cerrados.** Planaltina: Embrapa – CPAC, 1991. 22 p.

RODRIGUES, G. B. *et al.* Matéria e nutrientes da parte aérea de adubos verdes em cultivos exclusivo e consorciado. **Revista Ceres**, v. 59, n. 3, p. 380-385, 2012.

ROS, C. O. *et al.* Manejo do solo a partir de campo nativo: efeito sobre a estabilidade da estrutura ao final de cinco anos. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.21, p.241-247, 1997.

SÁ, R. O. **Variabilidade genética entre progêneres de meios irmãos de nabo forrageiro** (*Raphanus Sativus L. var. Oleiferus*) cultivar CATI AL 1000. 2005. 47 f. Dissertação (Mestrado Agronomia/ Agricultura) – Universidade Estadual de São Paulo, Botucatu.

SANTOS, H. P. *et al.* **Princípios** básicos da consorciação de culturas. Passo Fundo, Embrapa Trigo, 2007. 28 p.

SANTOS, M. S.; **Compactação do solo e o uso de plantas de cobertura.** Revista Mais Soja, 2020.

SANTOS, H. G. *et al.* **Argissolos Vermelhos.** Agência Embrapa de Informação Tecnológica. EMBRAPA. Brasília-DF. 2014.

SILVA, J. E.; RESCK, D. V. S. Matéria orgânica do solo. In: VARGAS, M.A.T. & HUNGRIA, M., ed. **Biologia dos solos dos cerrados.** Planaltina, Embrapa-CPAC, 1997, p.467-524.

SILVEIRA, P.M; RAVA, C. A. **Utilização de crotalária no controle de nematóides da raiz do feijoeiro.** Embrapa Arroz e Feijão, 2004.

SOUZA, E. D. *et al.* **Biomassa microbiana do solo em sistema de integração lavoura-pecuária em plantio direto, submetido a intensidades de pastejo.** R. Bras. Ci. Solo, 34:79-88, 2010.

SOUZA, I. G. M. *et al.* **Fitomassa e cobertura do solo de culturas de sucessão à soja e doses de calcário dolomítico na implantação do sistema plantio direto.** Encyclopédia Biosfera, Centro Científico Conhecer - Goiânia, v.10, n.19; p. 2014.

SOUZA, M. C. de. **Consorciação de braquiária, milheto e crotalária em safrinha na produção de fitomassa e cobertura do solo.** Monografia apresentada ao Instituto de Ciências Agrárias e Tecnológicas. Rondonópolis, MT, 2018.

STEVENSON, F. J. **Humus chemistry: genesis, composition, reactions.** John Wiley& Sons, 1994.

TORMENA, Cássio Antonio *et al.* Densidade, porosidade e resistência à penetração em Latossolo cultivado sob diferentes sistemas de preparo do solo. In: Solos e Nutrição de Plantas, Sci. agric. (Piracicaba, Braz.) 59 (4), Dez 2002.

TORRES, J. L. R. *et al.* **Influência de plantas de cobertura na temperatura e umidade do solo na rotação milho-soja em plantio direto.** R. Bras. Agrociência, Pelotas, v. 12, n. 1, p. 107-113, jan-mar, 2006.

VENEGAS, F.; SCUDELER, F. Diferentes coberturas vegetais na produção de milho. In: *Ensaios e Ciência*. Vol. 16, nº 2, 2012.

VIEIRA, C. P. **Sistemas de manejo do solo, culturas de cobertura e rotação de culturas: resposta para soja e milho.** 2009. 78f. Tese (Doutorado em Sistemas de Produção) – Faculdade de Engenharia, Unesp – Campus de Ilha Solteira, Ilha Solteira, 2009.

WOLSCHICK, N. H. **Desempenho de plantas de cobertura e influência nos atributos do solo e na produtividade de culturas em sucessão.** Lages, 2014. 93 p.