

UNIVERSIDADE FEDERAL DE MATO GROSSO
CAMPUS DE SINOP
INSTITUTO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS E AMBIENTAIS
CURSO DE AGRONOMIA

DESEMPENHO FISIOLÓGICO DA CULTURA DE SOJA SOB
DIFERENTES TRATAMENTOS COM PLANTAS DE COBERTURA
CULTIVADAS EM SEGUNDA SAFRA

JONATAS IRINEU MUSSKOPF

SINOP – MT
Março – 2024

UNIVERSIDADE FEDERAL DE MATO GROSSO
CAMPUS DE SINOP
INSTITUTO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS E AMBIENTAIS
CURSO DE AGRONOMIA

DESEMPENHO FISIOLÓGICO DA CULTURA DE SOJA SOB
DIFERENTES TRATAMENTOS COM PLANTAS DE COBERTURA
CULTIVADAS EM SEGUNDA SAFRA

JONATAS IRINEU MUSSKOPF
ORIENTADOR: PROF. DR. ONÃ DA SILVA FREDDI

Trabalho de Conclusão de Curso (TCC)
apresentado ao Curso de Agronomia do
ICAA/CUS/UFMT, como parte das
exigências para a obtenção do Grau de
Bacharel em Agronomia.

SINOP – MT
Março – 2024

Dados Internacionais de Catalogação na Fonte.

M989d Musskopf, Jonatas Irineu.
Desempenho fisiológico da cultura de soja sob diferentes tratamentos com plantas de cobertura cultivadas em segunda safra [recurso eletrônico] : Desempenho fisiológico da cultura de soja sob diferentes tratamentos com plantas de cobertura cultivadas em segunda safra / Jonatas Irineu Musskopf. -- Dados eletrônicos (1 arquivo : 48 f., pdf). -- 2024.

Orientador: Onã da Silva Freddi.
Coorientador: Flávio Jesus Wruck.
TCC (graduação em Agronomia) - Universidade Federal de Mato Grosso, Instituto de Ciências Agrárias e Ambientais, Sinop, 2024.
Modo de acesso: World Wide Web:

Ficha catalográfica elaborada automaticamente de acordo com os dados fornecidos pelo(a) autor(a).

Permitida a reprodução parcial ou total, desde que citada a fonte.



UNIVERSIDADE FEDERAL DE MATO GROSSO
CAMPUS UNIVERSITÁRIO DE SINOP
INSTITUTO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS E AMBIENTAIS
CURSO DE AGRONOMIA
Coordenador: Prof. Dr. Carlos Cesar Breda



TERMO DE APROVAÇÃO DE TCC

TÍTULO DO TRABALHO: *Desempenho fisiológico da cultura de soja sob diferentes tratamentos com plantas de cobertura cultivadas em segunda safra.*

ACADÊMICO:

ORIENTADOR: *Onã da Silva Freddi*

CO-ORIENTADOR: *Flávio Jesus Wruck*

APROVADO PELA COMISSÃO EXAMINADORA:

Onã da Silva Freddi

Nome
Orientador

Flávio Jesus Wruck

Nome
Membro ou Co-orientador

Carlos Viana

Nome
Membro

25/03/24



UNIVERSIDADE FEDERAL DE MATO GROSSO
CAMPUS UNIVERSITÁRIO DE SINOP
INSTITUTO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS E AMBIENTAIS
CURSO DE AGRONOMIA
Coordenador: Prof. Dr. Carlos Cesar Breda



DATA DA DEFESA: **25/03/2024**

DEDICATÓRIA

A conclusão deste trabalho resume-se em dedicação, dedicação que vi ao longo dos anos em cada um dos professores deste curso, a quem dedico este trabalho.

O sucesso nasce do querer, da determinação e persistência em se chegar a um objetivo. Mesmo não atingindo o alvo, quem busca e vence obstáculos, no mínimo fará coisas admiráveis. ”

José de Alencar

AGRADECIMENTOS

Este trabalho de conclusão de curso só foi possível graças à ajuda de diversas pessoas, às quais expresso minha gratidão:

Aos meus pais, pelo constante incentivo e apoio, que não me permitiram desistir.

Ao meu orientador, Prof. Dr. Onã da Silva Freddi, e ao meu coorientador, MSc. Flavio de Jesus Wruck, que me acompanharam de forma precisa e forneceram todo o suporte necessário durante esses anos de estudo.

A todos os professores do curso de Agronomia, cujos ensinamentos me permitiram concluir este trabalho.

A minha noiva Giovana Kieling Ler, que sempre esteve ao meu lado, não mediu esforços para me ajudar.

Aos meus pais pelo suporte financeiro e emocional durante o curso.

A todos amigos e aqueles que participaram das pesquisas, de forma direta ou indireta, pela disposição e colaboração no processo de obtenção de dados. Em especial ao meu amigo Adriel Rigotti, que foi meu veterano, e sempre me auxiliou com conselhos e orientações.

SUMÁRIO

	Página
RESUMO	6
ABSTRACT	7
1. INTRODUÇÃO	10
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	12
2.1 Cultura da soja	12
2.2 Déficit hídrico e rendimento da soja	13
2.3 Atributos ecofisiológicos da soja	15
2.4 Compactação e a água no solo	16
2.5 Plantas de cobertura	18
3 MATERIAL E MÉTODOS	22
3.1 Caracterização do local de estudo	22
3.2 Caracterização dos tratamentos e condução das culturas	23
3.3 Amostragens e avaliações	25
3.3.1 Atributos ecofisiológicos	25
3.3.2 Componentes de rendimento	25
3.3.4 Análises Estatísticas	26
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO	27
4.1 Atributos ecofisiológicos	30
4.2 Componentes de rendimento	36
5 CONCLUSÕES	39
REFERÊNCIAS	40

DESEMPENHO FISIOLÓGICO DA CULTURA DE SOJA SOB DIFERENTES TRATAMENTOS COM PLANTAS DE COBERTURA CULTIVADAS EM SEGUNDA SAFRA

RESUMO: A expansão significativa das fronteiras agrícolas no Mato Grosso nos últimos anos, impulsionada pela demanda global por commodities agrícolas, incluindo a soja, tem levado a uma tendência de ampliação das áreas de cultivo dessa cultura para as regiões de transição entre o Cerrado e a Amazônia. Nesse contexto, a introdução de plantas de cobertura na segunda safra, após a colheita da soja, tem sido adotada como uma estratégia de manejo. Essa prática visa melhorar a qualidade do solo, reduzir a erosão, acelerar processo de recuperação e promover a ciclagem de nutrientes, resultando em um aumento na produtividade da cultura da soja cultivada em sucessão. Dessa maneira, objetivou-se nesse estudo avaliar o desempenho fisiológico da cultura de soja sob diferentes tratamentos com plantas de cobertura cultivadas em segunda safra. Para isso, realizou-se o experimento no município de Sinop-MT, avaliando-se diversos fatores fisiológicos e de produção relacionados a cultura submetida a diferentes consórcios de segunda safra, durante a safra 2018/2019. Cinco deles referiam-se à produção com plantas de cobertura (feijão caupi, trigo mourisco, nabo forrageiro, feijão gandhu e sêxtuplo), outro tratamento representado pela sucessão de algodão e milho. Foram avaliadas as seguintes propriedades: condutância estomática, transpiração, temperatura foliar, taxa fotossintética líquida, concentração de carbono intercelular, eficiência do uso da água, plantas por metro, altura de plantas, massa de grãos e produtividade. Com base nos resultados observados, pode-se concluir que o tratamento sêxtuplo se destacou como o mais eficaz, apresentando diferenças positivas significativas em relação aos demais tratamentos, tanto em termos ecofisiológicos quanto de produtividade. Por outro lado, o tratamento com algodão registrou os piores desempenhos. É importante notar que os tratamentos com sistemas de plantio direto (feijão caupi, trigo mourisco, nabo forrageiro, feijão gandhu e sêxtuplo), embora não tenham demonstrado diferenças significativas, indicaram uma tendência para resultados superiores. Esses tratamentos proporcionaram condições hídricas mais adequadas para o cultivo da soja, favorecendo a abertura dos estômatos, o que é crucial para aumentar a fotossíntese e a absorção de dióxido de carbono pelas plantas, resultando em uma melhoria significativa na produtividade da soja.

Palavras-chave: *Glycine max* (L.), Atributos fisiológicos da soja, Estresse hídrico, Produtividade.

DESEMPENHO FISIOLÓGICO DA CULTURA DE SOJA SOB DIFERENTES TRATAMENTOS COM PLANTAS DE COBERTURA CULTIVADAS EM SEGUNDA SAFRA

ABSTRACT: The significant expansion of agricultural frontiers in Mato Grosso in recent years, driven by global demand for agricultural commodities, including soybeans, has led to a trend of expanding cultivation areas for this crop into transition regions between the Cerrado and the Amazon. In this context, the introduction of cover crops in the second crop, after soybean harvesting, has been adopted as a management strategy. This practice aims to improve soil quality, reduce erosion, accelerate the recovery process, and promote nutrient cycling, resulting in increased soybean crop productivity in succession. Thus, this study aimed to evaluate the physiological performance of soybean crops under different treatments with cover crops grown in the second crop. For this purpose, the experiment was conducted in the municipality of Sinop-MT, evaluating various physiological and production factors related to the crop subjected to different second crop consortia during the 2018/2019 season. Five of these treatments involved production with cover crops (cowpea, buckwheat, forage turnip, gandhu bean, and sextuple), while another treatment involved the succession of cotton and maize. The following properties were evaluated: stomatal conductance, transpiration, leaf temperature, net photosynthetic rate, intercellular carbon concentration, water use efficiency, plants per meter, plant height, grain mass, and productivity. Based on the observed results, it can be concluded that the sextuple treatment stood out as the most effective, showing significantly positive differences compared to the other treatments, both in eco-physiological terms and in productivity. On the other hand, the cotton treatment recorded the worst performances. It is important to note that the treatments with direct planting systems (cowpea, buckwheat, forage turnip, gandhu bean, and sextuple), although not showing significant differences, indicated a trend towards superior results. These treatments provided more suitable water conditions for soybean cultivation, favoring the opening of stomata, which is crucial for increasing photosynthesis and carbon dioxide absorption by plants, resulting in a significant improvement in soybean productivity.

Keywords: *Glycine max* (L.), Soil physical attributes, Water stress, Productivity.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Nível de iluminância segundo os (a) tratamentos e (b) época da avaliação.	
	27
Figura 2. Incidência da radiação global segundo os (a) tratamentos e (b) época de avaliação.	28
Figura 3. Radiação fotossintética ativa segundo (a) tratamentos e (b) época de avaliação.	29
Figura 4. Condutância estomática (CE) ao longo do ciclo da cultura da soja referente aos (a) diferentes tratamentos e (b) época de avaliação.	30
Figura 5. Transpiração ao longo do ciclo da cultura da soja referente aos (a) diferentes tratamentos e (b) época de avaliação.	32
Figura 6. Temperatura foliar ao longo do ciclo da cultura da soja referente aos diferentes tratamentos.	32
Figura 7. Taxa de fotossíntese líquida (A) ao longo do ciclo da cultura da soja referente aos (a) diferentes tratamentos e (b) época de avaliação.	34
Figura 8. Concentração de carbono intercelular (ECi) ao longo do ciclo da cultura da soja referente aos (a) diferentes tratamentos e (b) época de avaliação.	35
Figura 9. Eficiência de uso de água (EUA) ao longo do ciclo da cultura da soja referente aos (a) diferentes tratamentos e (b) época de avaliação.	35
Figura 10. Componentes de rendimento da cultura da soja: (a) plantas por metro, (b) altura de plantas, (c) massa de mil grãos e (d) produtividade, mediante diferentes tratamentos.	37

LISTA TABELAS

Tabela 1 - Atributos químicos do solo alterados pelo cultivo de diferentes plantas de cobertura sob Latossolo Amarelo, Sinop, Mato Grosso.	22
Tabela 2. Descrição dos tratamentos com as plantas de cobertura utilizadas em consórcio com <i>Urochloa brizantha</i> cv. BRS Paiaguas semeadas em segunda safra, sob Latossolo Amarelo, no ecótono Cerrado-Amazônia.	23

1. INTRODUÇÃO

A agricultura desempenha um papel significativo na economia brasileira e tem uma influência direta no Produto Interno Bruto (PIB) do país. O PIB do agronegócio brasileiro registrou um crescimento de 8,36% em 2021, apesar dos impactos adversos do clima nas safras agrícolas. Esse resultado posicionou o setor com uma participação de 27,4% no PIB do país, a maior desde 2004, quando alcançou 27,53% (CNA, 2022). No ano de 2022, este setor enfrentou desafios significativos devido a adversidades climáticas, resultando em uma queda de 1,7% no PIB em comparação com o ano anterior (CNA, 2023).

Dentre os produtos agrícolas, a soja (*Glycine max* (L.)) é o destaque em termos de produção e exportação, desempenhando um papel de grande relevância na economia nacional (EMBRAPA, 2020). No cenário nacional, o destaque de produção de soja é o estado do Mato Grosso, em 2022, este estado atingiu uma produção de aproximadamente 40 milhões de toneladas (EMBRAPA, 2023). Atualmente, a maioria da produção de soja no Mato Grosso está concentrada no Bioma Cerrado, porém, devido à expansão das fronteiras agrícolas, há uma tendência de ampliação para as áreas de transição entre o Cerrado e a Amazônia (FERNEDA et al., 2016).

Neste estado, a sucessão de cultivo de soja/milho e soja/algodão sob os sistemas de cultivo mínimo (SCM) e convencional (SCC) é predominante. O sistema convencional, devido ao alto grau de revolvimento do solo, à redução da cobertura vegetal, do estoque de matéria orgânica e da estabilidade dos agregados, favorece a degradação física do solo, promovendo compactação e erosão, prejudicando a qualidade do solo e resultando na queda da produtividade (ARGENTON et al., 2005; CUNHA et al., 2011). De acordo com Almeida et al. (2016), em áreas com SCC e baixa cobertura vegetal, a desagregação do solo e o processo erosivo ocorrem com a mesma intensidade que em áreas com solo completamente exposto.

Cabe mencionar que com o tempo, o sistema de cultivo utilizado pode ter um impacto significativo na qualidade física do solo. Em sistemas de plantio direto (SPD), por exemplo, a palha das plantas se acumula na superfície do solo, ajudando a mitigar os efeitos da compactação. No entanto, muitas propriedades rurais não adotam completamente o sistema de plantio direto, optando por um sistema de cultivo mínimo (SCM) em que predominam culturas como soja e milho em rotação, sem o revolvimento do solo, mas com uma quantidade insuficiente de palha para minimizar a compactação do solo (SOARES, et al., 2020).

A compactação do solo é um evento que pode alterar e reduzir as características físicas do solo, incluindo porosidade e a infiltração de água, além de aumentar a densidade (ANDOGNINI, 2019). Essa ocorrência pode ser ocasionada por diversos fatores, como tráfego intenso de veículos ou maquinário pesado, pisoteio frequente de animais ou práticas inadequadas de manejo do solo (SUZUKI et al., 2014). Normalmente, a compactação ocorre durante as operações de plantio e colheita, especialmente em períodos chuvosos, quando o solo está próximo do seu limite de plasticidade. Nessas circunstâncias, a água age como um lubrificante, reduzindo a coesão entre as partículas do solo e facilitando o seu deslocamento, o que resulta no empacotamento do solo (LUCIANO et al., 2012).

Além dos efeitos mencionados, a compactação do solo ainda pode interferir na coesão e na resistência mecânica do solo ao crescimento radicular, dificultando o crescimento das raízes das plantas. Ademais, pode reduzir o volume total de poros, da aeração, infiltração de água no solo, aumentando o escoamento superficial e reduzindo a capacidade de drenagem de água (HAKANSSON; VOORHESS, 1998; STONE; GUIMARÃES; MOREIRA, 2002; FERREIRA et al., 2019).

Os sistemas de produção que buscam conservar o solo e torná-lo sustentável, como o uso de plantas de cobertura, são de extrema importância para melhorar as condições físicas, químicas e biológicas do solo. Essas práticas conservacionistas preservam a capacidade produtiva do solo a longo prazo e, conseqüentemente, resultam em aumento da produtividade das lavouras (CUNHA et al., 2011; CARDOSO et al., 2014). O sistema radicular de algumas plantas de cobertura pode promover a reestruturação física do solo, a utilização destas plantas seja de forma isolada ou em mistura, é uma alternativa altamente vantajosa para melhorar a qualidade do solo e beneficiar as culturas comerciais em sucessão (EMBRAPA, 2014; SILVA et al., 2021).

Em suma, a adoção de práticas de manejo que aumentam a infiltração de água no solo e a permanência de água na superfície, como o cultivo em nível e a presença de cobertura vegetal viva ou morta permanente no solo, assim como o aumento do teor de matéria orgânica do solo por meio da alta produção de biomassa e pouca mobilização do solo, são fatores que aumentam a disponibilidade de água no solo (REICHERT et al., 2011). Assim sendo, torna-se essencial a adoção de sistemas de cultivo que estimulem a qualidade física do solo e minimizem o impacto do estresse na planta, como é o caso da utilização de plantas de cobertura.

Isto posto, a adoção de consórcios e misturas de plantas de cobertura pode promover melhorias na qualidade física do solo, acelerando seu processo de recuperação e, conseqüentemente, resultando em um aumento na produtividade da cultura da soja cultivada em sucessão. Nesse contexto, o objetivo desse estudo foi avaliar o desempenho fisiológico da cultura de soja sob diferentes tratamentos com plantas de cobertura cultivadas em segunda safra.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 Cultura da soja

A *Glycine max* (L.) Merrill, comumente conhecida como soja, é classificada como pertencente à classe Magnoliopsida, ordem Fabales, família Fabaceae, subfamília Faboideae e gênero *Glycine*. Esta planta apresenta metabolismo fotossintético tipo C3 e ciclo anual, com sua morfologia destacada por raiz pivotante, caule herbáceo e folhas trifoliadas (FERRARI; PAZ; SILVA, 2015).

Até cerca de 1894, a produção de soja era exclusiva da China. Somente na segunda década do século XX, as indústrias mundiais começaram a se interessar pelo grão devido ao seu alto teor de óleo e proteína (EMBRAPA, 2023). Foi só a partir dos anos 1970, quando o preço da soja disparou no mercado mundial, que agricultores e o governo brasileiro começaram a se interessar pelo cultivo da soja no Brasil, investindo em tecnologias para adaptar a cultura às condições climáticas do país. Graças às pesquisas, a soja foi "tropicalizada" e pôde ser cultivada em regiões de baixa latitude pela primeira vez (EMBRAPA, 2023).

A cultura da soja é atualmente cultivada em todos os continentes do mundo e exportada em larga escala, juntamente com seus subprodutos, devido ao alto teor de proteínas e óleo presentes nos grãos. Na safra 2019/2020, a produção mundial de soja alcançou 337,298 milhões de toneladas, com o Brasil liderando a produção com 124,845 milhões de toneladas, sendo o estado do Mato Grosso o maior produtor brasileiro com 39,961 milhões de toneladas de grãos (CONAB, 2021; EMBRAPA, 2023).

A ampla produção e importância da cultura da soja no cenário mundial se deve, em grande parte, à sua vasta gama de subprodutos, especialmente aqueles provenientes da extração do óleo, que são utilizados em diversas áreas, juntamente com o farelo, que é um ingrediente proteico comumente utilizado na formulação de rações animais (COSTA, 2020).

Existem muitas variedades de cultivares de soja, e elas são selecionadas para se adaptarem a diferentes condições climáticas e de solo, além de terem características específicas desejáveis, como maior produtividade, resistência a

doenças e pragas, teor de proteína mais elevado, tolerância a herbicidas, entre outros fatores (EMBRAPA, 2019).

As variedades de soja são dependentes da exigência fotoperiódica para se adaptarem a diferentes regiões e, quando o fotoperíodo crítico é excedido, o florescimento é atrasado. Para que a planta de soja cresça e se desenvolva adequadamente, a faixa ideal de temperatura é de 20 a 30° C, sendo que a floração é induzida com temperaturas acima de 13° C (EMBRAPA, 2013). A intensidade, duração e qualidade da radiação luminosa são essenciais para as respostas morfológicas e fenotípicas da cultura, como altura da planta, indução da floração e ontogenia (FARIAS; NEPOMUCENO; NEUMAIER, 2007).

As condições hídricas também são fatores determinantes para o bom desenvolvimento da cultura. A disponibilidade de água é importante durante todo o ciclo da cultura, especialmente em duas fases críticas: germinação-emergência e floração-enchimento de grãos. A necessidade total de água durante o ciclo da soja varia entre 450 a 800 mm, dependendo das condições climáticas, da duração do ciclo e do manejo adotado (EMBRAPA, 2013).

2.2 Déficit hídrico e rendimento da soja

O estresse hídrico é um dos principais fatores abióticos que afetam diretamente a produtividade e o crescimento da soja, limitando a expressão máxima do seu potencial produtivo (FARIAS; NEPOMUCENO; NEUMAIER, 2007). Isso ocorre porque a água constitui cerca de 90% do peso da planta e está envolvida em praticamente todos os processos fisiológicos e bioquímicos. Além disso, a água funciona como um solvente, permitindo que gases, minerais e outros solutos entrem nas células e se movam pela planta. Também desempenha um papel fundamental na regulação da temperatura da planta, agindo tanto no resfriamento quanto na manutenção e distribuição de calor (FARIAS; NEPOMUCENO; NEUMAIER, 2007).

De acordo com Farias, Nepomuceno e Neumaier (2007), a ausência de chuvas por si só não indica a ocorrência de déficit hídrico, já que a planta busca um equilíbrio entre a absorção de água e a transpiração, e o limite para esse ajuste é o início do déficit hídrico, ou seja, quando a transpiração da planta é afetada pela disponibilidade de água. Para minimizar os efeitos do déficit hídrico, é essencial adotar práticas de manejo que favoreçam o armazenamento de água pelo solo.

De maneira geral, as plantas obtêm água do solo através da absorção pelas raízes, onde se encontram vasos especializados (xilema) que se estendem pelo caule até as nervuras das folhas. Em seguida, a água segue em direção à superfície e é liberada na atmosfera por meio da evaporação (transpiração) (SANTOS; ALEXANDRE; COELHO, 2012).

O movimento da água do solo para a atmosfera é regulado pelo gradiente de potencial hídrico entre o solo, as raízes, os vasos e as folhas das plantas e a atmosfera (SANTOS; ALEXANDRE; COELHO, 2012; FERRARI; PAZ; SILVA, 2015). Além disso, existem outros fluxos de água dentro da planta (fluxos internos), que são responsáveis por ajustar o equilíbrio hídrico das células (por osmose) e transportar os produtos da fotossíntese pelo floema, por meio de um fluxo em massa (SANTOS; ALEXANDRE; COELHO, 2012).

A cultura da soja é conhecida por sua baixa eficiência no uso da água, o que demanda uma grande disponibilidade hídrica, especialmente em dois períodos críticos bem definidos. O primeiro período ocorre durante a germinação até a emergência, no qual tanto o excesso quanto a falta de água são prejudiciais ao estabelecimento da cultura, comprometendo a uniformidade da população de plantas. O segundo período corresponde à floração até o enchimento de grãos, no qual a falta de água pode resultar em aborto das flores, impedimento da antese e redução do peso dos grãos (FARIAS; NEPOMUCENO; NEUMAIER, 2007).

Desta forma, a escassez de água pode trazer inúmeros prejuízos adicionais à cultura da soja, como a diminuição da absorção de nutrientes, crescimento reduzido da planta, aceleração da senescência, redução no número de vagens com o aparecimento de vagens vazias e grãos menores, além da perda de flores e vagens, o que pode resultar em baixas produtividades (FARIAS; NEPOMUCENO; NEUMAIER, 2007; ROSA, 2020), como já mencionado na literatura.

Tavares et al. (2013) observaram que a falta de água durante o período vegetativo da cultura da soja resultou em redução da altura da planta, diâmetro do caule e do número de legumes com três sementes. Já Simeão (2016) constatou que a fase de florescimento e enchimento de grãos é a mais afetada pela falta de água, resultando em uma redução de 62% na produtividade em relação à irrigação plena.

Pode-se dizer que a distribuição da precipitação ao longo do ciclo fenológico da soja é o fator que exerce maior influência sobre o rendimento da cultura (SILVA, 2013). Contudo, em regiões não irrigadas, não é possível controlar esse fator,

tornando-se necessárias medidas alternativas para minimizar os efeitos da escassez e da má distribuição da água a fim de garantir elevadas produtividades. Entre essas medidas, destaca-se a adoção de práticas de manejo que favoreçam o armazenamento de água pelo solo (FARIAS; NEPOMUCENO; NEUMAIER, 2007).

2.3 Atributos ecofisiológicos da soja

A capacidade de adaptação das plantas às mudanças em seu ambiente natural é fundamental para seu desenvolvimento. Entretanto, o déficit hídrico é uma das mudanças ambientais que prejudicam o crescimento da soja, uma vez que os processos fisiológicos, metabólicos e morfológicos da planta são altamente dependentes do estado hídrico das folhas. Diante desse estresse, a planta responde por meio de ajustes para se adaptar às condições impostas, o que pode resultar em redução da produtividade (DOMINGUES, 2016; VITAL, 2019).

O déficit hídrico afeta a germinação das sementes de soja, resultando em uma redução na obtenção de plantas adequadas devido à diminuição da taxa de germinação. Durante o período vegetativo, as plantas sofrem um desenvolvimento insuficiente, com redução na área foliar. Na fase reprodutiva, há uma diminuição no rendimento de grãos (FARIAS; NEPOMUCENO; NEUMAIER, 2007).

Segundo Ferrari, Paz e Silva (2015), este déficit severo pode levar ao fechamento dos estômatos e à redução na assimilação líquida de dióxido de carbono (CO_2), prejudicando o processo fotossintético das plantas. O déficit hídrico no solo pode resultar em sinais químicos nas raízes que afetam o comportamento dos estômatos, como o aumento da concentração de ácido abscísico (ABA) no xilema, levando ao fechamento dos estômatos e à redução da expansão celular. Como forma de proteção contra a dessecação, o fechamento dos estômatos leva a uma diminuição na assimilação líquida de CO_2 . Esses processos prejudicam o equilíbrio entre a demanda de assimilados e a queda no sistema fotossintético.

Em um estudo realizado por Oliveira, Fernandes e Rodrigues (2005) em plantas de feijão mostrou que a condutância estomática e a transpiração diminuem proporcionalmente ao aumento do déficit hídrico. Além disso, Coelho (2017) observou que plantas de soja submetidas ao déficit hídrico apresentaram atraso no desenvolvimento fenológico, redução da área foliar, menor potencial hídrico mínimo das folhas e taxas fotossintéticas inferiores em comparação com plantas irrigadas.

Desta forma, o correto manejo do solo e a utilização de cultivares mais tolerantes ao déficit hídrico são tecnologias disponíveis ao produtor que amenizam o estresse causado pela escassez de água, garantindo o potencial produtivo da cultura (FERRARI; PAZ; SILVA, 2015).

2.4 Compactação e a água no solo

O solo é um sistema que abriga matéria sólida, líquida e gasosa, apresentando espaços vazios entre as partículas sólidas que são preenchidos por ar e água, formando a solução do solo. A solução do solo é composta por solutos que desempenham um papel crucial no desenvolvimento das plantas. Como um reservatório natural de água, o solo sustenta a vida vegetal e fornece suporte para o crescimento da maioria das plantas terrestres (SANTOS et al., 2012).

Nas áreas não irrigadas, a reposição da água no solo ocorre principalmente através da precipitação pluvial, sendo que a quantidade de água disponível depende da frequência, intensidade e volume das chuvas (REICHERT et al., 2011). No entanto, a quantidade de água que será armazenada e disponibilizada para as plantas depende das características do solo, como a sua textura, estrutura, profundidade efetiva do sistema radicular da cultura e o manejo do solo (REICHERT et al., 2011; SCHIEBELBEIN, 2017).

Durante períodos de chuva e boas condições de infiltração, o solo pode ficar saturado até mesmo abaixo da profundidade das raízes das plantas. Quando a chuva cessa, o excesso de água drena livremente e recarrega o lençol freático, cumprindo uma importante função ambiental nos sistemas agrícolas (REICHERT et al., 2011). Para promover a máxima infiltração da água, é necessário ter boas condições de superfície, seguida pela redistribuição da água no solo através dos processos de percolação, que dependem da porosidade e condutividade hidráulica do solo (KLEIN; KLEIN, 2015; SCHIEBELBEIN, 2017).

A compactação do solo é um fator a ser considerado, especialmente em solos com elevada umidade, e é causada pela mecanização inadequada com o uso de máquinas maiores e mais pesadas e tráfego em condições impróprias (SUZUKI et al., 2014). Como resultado, ocorre a redução do volume de macroporos enquanto os microporos permanecem quase inalterados, o aumento na densidade do solo e a diminuição das taxas de infiltração e condutividade hidráulica, além do aumento de

processos erosivos e resistência do solo à penetração, dificultando o desenvolvimento das raízes (STONE; GUIMARÃES; MOREIRA, 2002; FERREIRA et al., 2019). Como consequência, solos compactados tornam-se um grande limitante para o aumento da produtividade da cultura da soja, principalmente em regiões como o Bioma Cerrado, onde são comuns períodos de estiagem (SÁ et al., 2007; WAGNER, 2017).

A compactação do solo pode levar a um impedimento mecânico no crescimento radicular das plantas, resultando em menor taxa de absorção de água e nutrientes. Isso pode causar diminuição da condutância estomatal, atividade fotossintética e expansão foliar, levando a uma diminuição na produtividade da cultura e a um estresse para a planta (BEUTLER; CENTURION, 2003; BEUTLER et al., 2006).

Em outras palavras, a compactação do solo altera o funcionamento bioquímico das plantas, que emitem sinais para reduzir o crescimento e a transpiração, a fim de manter a hidratação. Essa redução na absorção de água e nutrientes pode levar à diminuição da condutância estomatal, atividade fotossintética e expansão foliar, resultando em decréscimo na produção de matéria seca e na produtividade das culturas (TURNER, 1997). Estudos como o de Ferreira et al. (2019) relatam a ocorrência de menor fechamento das entrelinhas e redução da produtividade da soja devido à degradação da qualidade física do solo causada pela compactação.

As práticas culturais e de manejo adotadas podem ter impactos significativos nas características físicas do solo, favorecendo ou não sua qualidade. A dinâmica e retenção de água nos poros do solo podem ser alteradas em decorrência dessas práticas (VIEIRA, 2006; SCHIEBELBEIN, 2017). A descompactação do solo por meio de métodos mecânicos pode ter efeitos temporários e o efeito residual pode ser pequeno se não for acompanhado por práticas intensivas de manejo que busquem aumentar a estabilidade da estrutura do solo (TAVARES; FARHATE; ASSIS, 2020).

2.5 Plantas de cobertura

As plantas de cobertura são importantes para a qualidade física do solo porque contribuem para a melhoria de diversos atributos, como a estrutura, a

porosidade e a agregação do solo. Essas plantas ajudam a reduzir a compactação do solo, aumentar a infiltração de água, a capacidade de retenção de água e a matéria orgânica do solo (BETTIOL, 2014). Além disso, as raízes das plantas de cobertura promovem a descompactação do solo, aumentando a porosidade e a aeração do solo. A presença de uma cobertura vegetal também ajuda a reduzir a erosão do solo (WOLF, 2018), protegendo-o da ação direta da chuva e do vento. Tudo isso contribui para uma melhoria da qualidade física do solo, tornando-o mais saudável e produtivo.

As plantas de cobertura desempenham um papel crucial na proteção da superfície do solo, pois seus resíduos e a própria cobertura evitam a perda de umidade por evaporação. Além disso, elas melhoram a estrutura do solo, aumentando a quantidade de macroporos que permitem a transmissão de água e de microporos que retêm água, resultando em maior conteúdo de água armazenada no solo disponível para o cultivo. Isso favorece a germinação das sementes e o desenvolvimento das plantas (ARGENTON ET AL., 2005; NAKAYAMA, 2011). Essas plantas também desempenham importante papel na ciclagem de nutrientes, regulam a temperatura do solo, reduzem a erosão causada por ventos e chuvas, fornecem matéria orgânica e estimulam a atividade biológica do solo. Portanto, sua adoção é essencial para a manutenção da qualidade do solo e aumento da produtividade agrícola a longo prazo (RAMOS, 2018).

Andrade, Stone e Silveira (2009) afirmam que as culturas de cobertura, especialmente as gramíneas, têm um efeito positivo na agregação do solo na camada superficial, mantendo ou aumentando a agregação em comparação com o solo sob mata nativa. A matéria orgânica do solo (MOS) tem uma influência significativa na agregação do solo, e é necessária a adição contínua de material orgânico para manter uma estrutura adequada para o desenvolvimento das plantas (CUNHA et al., 2011).

A presença de plantas da família Poaceae (gramíneas) é importante para manter a MOS devido à alta relação carbono/nitrogênio (C/N) e teor de lignina em sua composição, formando húmus mais estável e mantendo o solo coberto por mais tempo (KAPPES; ARF; ANDRADE, 2013). Essas plantas têm um sistema radicular agressivo e são agregadoras, o que ajuda a melhorar a estrutura do solo e minimizar os efeitos da degradação do solo (CUNHA et al., 2011).

As gramíneas pertencentes ao gênero *Urochloa*, anteriormente *Brachiaria*, são amplamente utilizadas em sistemas de cultivo, tanto em consórcio como em rotação com outras culturas. Essas forrageiras possuem boa adaptação ao período seco e são frequentemente semeadas na região do Cerrado em sucessão à cultura de verão, como a soja, que ocorre no final do período chuvoso (ENSINAS, 2015). Além disso, possuem densidade de raízes elevada e distribuição ampla do sistema radicular no solo, favorecendo a conexão entre partículas minerais e agregados, o que contribui para a formação e estabilidade do solo (CUNHA et al., 2011).

As plantas da família Fabaceae (leguminosas), com menor relação C/N em comparação às gramíneas, possuem a capacidade de aumentar a disponibilidade de nitrogênio no solo devido à sua associação simbiótica com bactérias fixadoras de N₂ (OHLAND et al., 2005). Essas plantas são decompostas mais rapidamente e contribuem para o aporte de matéria orgânica no solo. Seus resíduos fornecem rapidamente a demanda por nitrogênio dos micro-organismos no processo de decomposição e o nitrogênio em excesso é liberado no solo de forma disponível para os cultivos subsequentes. Por isso, são utilizadas principalmente como adubação verde (MARCELO; CORÁ; FERNANDES, 2012; TAVARES; FARHATE; ASSIS, 2020).

Diversas espécies de leguminosas apresentam raízes vigorosas que podem influenciar positivamente na condutividade hidráulica do solo e na redução da resistência à penetração, como é o caso do feijão de porco e da crotalária (CARDOSO et al., 2013). Por isso, o consórcio entre plantas de cobertura, combinando gramíneas e leguminosas, é uma prática agrícola promissora para melhorar a qualidade do solo, resultando em uma relação C/N intermediária que apresenta características favoráveis tanto para a proteção do solo por tempo prolongado e aporte de matéria orgânica, quanto para o aporte de nitrogênio no solo (MARCELO; CORÁ; FERNANDES, 2012; TAVARES; FARHATE; ASSIS, 2020). Além disso, Nakayama (2011) destaca que os consórcios entre gramíneas e leguminosas resultam em maiores porcentagens de cobertura do solo quando comparados ao cultivo isolado de leguminosas.

O cultivo consorciado apresenta diversas vantagens em relação aos monocultivos, como o aumento do rendimento de matéria seca e acúmulo de nutrientes, além da maior eficiência no uso da água e nutrientes do solo devido à exploração de diferentes volumes de solo pelos sistemas radiculares com

distribuição diferenciada. Além disso, a prática promove a adição de carbono no solo, elevando os teores de MOS e resultando em melhor estruturação do solo. A conservação da umidade do solo é outra vantagem, acelerando assim o processo de recuperação do solo (TORRES et al., 2015; TAVARES; FARHATE; ASSIS, 2020).

Logo, o cultivo de plantas de cobertura traz benefícios significativos à qualidade física e química do solo, o que pode favorecer o aumento da produtividade e dos componentes de produção da soja cultivada em sucessão. Estudos, como o de Anschau et al. (2018), mostraram que a utilização de palhada de plantas de cobertura resultou em aumento da produtividade da soja, assim como em maior altura de plantas, número de vagens por planta e massa de cem grãos. Além disso, Silva e Garcia (2019) verificaram que o consórcio entre braquiária e crotalária proporciona maior aumento de produtividade da soja em sucessão do que o cultivo de gramínea solteira. Outros estudos, como o de Schntitzler (2017), também corroboram que as diferentes coberturas do solo influenciam positivamente o desempenho da cultura da soja.

3 MATERIAL E MÉTODOS

3.1 Caracterização do local de estudo

O experimento foi conduzido e avaliado no ano agrícola de 2019/2020, em área que compõem o sítio da vitrine tecnológica da Embrapa Agrossilvipastoril, situada no município de Sinop, estado de Mato Grosso, cuja região é considerada área de ecótono entre Cerrado e Amazônia (ARAUJO et al., 2009). As coordenadas da unidade experimental são 11°51'51" de latitude Sul e 55°36'57" de longitude Oeste, com altitude de 370 metros em relação ao nível do mar.

A região é classificada, segundo o sistema Köppen-Geiger, como tropical com inverso seco, cuja fórmula climática é AW (ALVARES et al., 2013). Segundo Ramos et al. (2017), a precipitação média anual em Mato Grosso no ano de 2017 apresentou variação entre 1.200 e 2.200 mm, enquanto a temperatura do ar, a média anual variou entre 22 e 27,6 °C.

O solo foi classificado como Latossolo Vermelho-Amarelo distrófico (FOLETTTO et al., 2020). Possuem valores médios de 424 g kg⁻¹ de argila, 183 g kg⁻¹ de silte e 393 g kg⁻¹ de areia. O valor de nutrientes no solo exibiu variação conforme os tratamentos que vem sendo empregados na área ao longo dos anos, como pode ser observado na Tabela 1.

Tabela 1 - Caracterização da fertilidade do solo na área experimental.

Camada (m)	pH	M O	A l	H+ Al	Macronutrientes					Micronutrientes					V%	CTC
					P	K	Ca	M g	S	B	C u	F e	Mn	Zn		
0,0-0,10	5,1	40	0	39	18,2	0,9	27	10	22	0,15	1,5	31	1,3	3,5	49	76,9
0,10-0,20	5,1	29	0	18	1,7	0,8	16	7	27	0,1	0,2	27	0,3	0,3	57	41,8
0,20-0,40	5,2	25	0	18	1	0,9	12	6	49	0,14	0,1	17	0,3	0,2	51	36,9

Análises realizadas conforme RAIJ et al. (1983). P determinado em Mehlich-1; pH: pH determinado em CaCl₂; MO: matéria orgânica do solo (g dm⁻³); K, Ca, Mg, S, Al, H+Al e CTC (mmol_c dm⁻³); P, B, Cu, Fe, Mn, Zn (mg dm⁻³). Análises realizadas conforme RAIJ et al. (1983).

3.2 Caracterização dos tratamentos e condução das culturas

A área era cultivada com soja desde a safra 2010/2011, sendo que no ano agrícola de 2015/2016 implantou-se o experimento com plantas de cobertura e a partir de então começou a ser avaliado as mudanças físicas e estruturais do solo. Constituído por 7 tratamentos com 4 repetições, o cultivo da soja foi efetuado na primeira safra em todas as parcelas, empregando a variação dos tratamentos e na segunda safra do mesmo ano agrícola, os quais são constituídos basicamente do consórcio entre uma forrageira *Urochloa brizanta* cv. BRS Paiaguas e uma ou mais espécies de plantas leguminosas, cultivadas em Sistema de Plantio Direto (SPD), exceto os tratamentos testemunha, cultivados com milho Jem Sistema de Cultivo Mínimo (SCM) e algodão em Sistema de Cultivo Convencional (SCC).

As plantas de cobertura foram semeadas nos dias 27 e 28/02/2018. A forrageira *Urochloa brizantha* cv. BRS Paiaguas foi semeada a lanço com uma taxa de semeadura de 500 PVC/ha (pontos de valor cultural) em todas as parcelas, exceto nas parcelas dos tratamentos testemunha. As outras plantas de cobertura variaram quanto à forma de semeadura, taxa de semeadura e espaçamento de entrelinhas, conforme demonstrado na Tabela 2.

Tabela 2. Descrição dos tratamentos com as plantas de cobertura utilizadas em consórcio com *Urochloa brizantha* cv. BRS Paiaguas semeadas em segunda safra, sob Latossolo Amarelo, no ecótono Cerrado-Amazônia.

Tratamentos (cultivar)	Quant. de sementes	Forma de semeadura	Espaçamento
Feijão Caupi	6 sem/m	Linha	0,5 m
Trigo Mourisco	4 kg SPV/ha	Lanço	
Nabo Forrageiro	3 kg SPV/ha	Lanço	
Feijão Guandu	4 sem/m	Linha	0,5 m
Sextuplo	Trigo Mourisco (4 kg SPV/ha), Nabo (3 kg SPV/ha), Feijão Guandu (4 sem/m), C. ochroleuca (2 kg SPV/ha), Níger (2 kg SPV/ha)	Lanço (Trigo, Nabo, C. ochroleuca e Níger). Linha (Feijão Guandu)	0,5 m
Milho	3 sem/m	Linha	0,5 m
Algodão	6 sem/m	Linha	0,5 m

As culturas semeadas a lanço, eram incorporadas posteriormente pelo parcial revolvimento do solo, proporcionado pela semeadora com espaçamento de 0,5 m entrelinhas, que semeava as culturas com sementes de tamanho médio ou grande a uma profundidade de 3 cm. No caso dos tratamentos que possuíam apenas sementes miúdas, como trigo mourisco e do nabo, a semeadora de linhas era passada, mesmo sem semear, apenas para revolver o solo como nas demais parcelas, a fim de, incorporar as sementes.

Como o intuito das plantas de cobertura no experimento era apenas avaliar seus benefícios para o solo, os cuidados com pragas e doenças foram menos rigorosos, mesmo que algumas culturas apresentaram sintomas isolados de algumas doenças e, surgimento de algumas pragas desfolhadoras, não justificou a realização de nenhuma intervenção para controle.

O tratamento testemunha do algodão teve o solo revolvido a 15 cm de profundidade, através de uma operação de gradagem que ocorreu no mês de agosto de 2019, incorporando praticamente todos os restos vegetais da cultura e deixando o solo exposto.

O manejo de dessecação pré-semeadura da soja foi realizado em duas datas, sendo a primeira no dia 18/10/2019 com a utilização de 1,98 kg i.a. ha⁻¹ de Glifosato + 0,03 kg i.a ha⁻¹ de Carfentrazone-etílica, na segunda data 03/11/19 com os herbicidas Paraquat, na dose 0.14 kg i.a ha⁻¹ + Diuron, na dose 0.07 kg i.a ha⁻¹.

A semeadura da soja sobre a palha das plantas de cobertura ocorreu no dia 04/11/19 no espaçamento 0,5 m de entrelinhas, com uma taxa de semeadura de 300 mil sementes por ha⁻¹, a uma profundidade de 4 cm, foi utilizado tratamento químico das sementes para controle de pragas e doenças do solo. Utilizou-se como adubação de base 415 kg ha⁻¹ do formulado 00-20-20 + micro.

Após a emergência das plântulas o controle de plantas daninhas foi realizado 15 dias após o plantio, utilizando 0,25 kg i.a. ha⁻¹ de Fomesafem. o controle de doenças foi realizado aos 45 DAE com 0,05 kg i.a. ha⁻¹ de Bixafen + 0,07 kg i.a. ha⁻¹ de Protiocanazol + 0,06 kg i.a. ha⁻¹ de Trifloxistrobina, aos 65 DAE com 0,08 kg i.a. ha⁻¹ de METOMINOSTROBINA + 0,120 kg i.a. ha⁻¹ de TEBUCONAZOL e aos 80 dias após o plantio com 0,06 kg i.a. ha⁻¹ de Azoxistrobina + 0,03 kg i.a. ha⁻¹ de Benzovindiflupir. Aos 55 e 70 dias após a semeadura (DAS) foi aplicado inseticida para controle de lagartas e percevejos. A colheita da soja foi realizada no dia 19/02/2020, após a cultura atingir a maturação fisiológica.

3.3 Amostragens e avaliações

3.3.1 Atributos ecofisiológicos

As avaliações foram realizadas com auxílio de um aparelho portátil Medidor de gases Infravermelho (IRGA) da marca Licor modelo LCI-SD. Foram avaliados os parâmetros: fotossíntese líquida (FL, $\mu\text{mol de CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$); condutância estomática (CE, $\text{mol de H}_2\text{O m}^{-2} \text{ s}^{-1}$); concentração de carbono intercelular (C_i , $\mu\text{mol de CO}_2 \text{ mol}^{-1}$); e transpiração (Tr, $\text{mmol de H}_2\text{O m}^{-2} \text{ s}^{-1}$).

Dentro da parcela era demarcada uma planta representativa na qual se posicionava a câmara que contém o sensor do aparelho IRGA, na folia central dos trifólios do terço médio da planta que estivessem bem expostas à radiação solar e, após cerca de dois minutos, tempo necessário para a estabilização, eram realizadas as leituras, três em cada planta. Foram realizadas 6 avaliações ao todo, englobando os dias 09/12/19, 18/12/19, 23/12/19, 30/12/19, 07/01/20 e 15/01/20.

As avaliações ocorriam entre as 08h00min e as 11h00min da manhã, não antes das 08h00min devido à presença de orvalho nas folhas, que promovia a condensação da umidade dentro da câmara do aparelho, impossibilitando as leituras e, não depois das 11h00min em dias de insolação e elevada temperatura as plantas fecham os estômatos alterando reduzindo as trocas gasosas e alterando as leituras.

Seguindo uma dinâmica alternada, a fim de minimizar a interferência das alterações climáticas que ocorrem ao longo do dia, as avaliações iniciavam-se pela primeira repetição do tratamento feijão caupi e seguindo a seguinte sequência: nabo, feijão guandu, sêxtuplo, algodão, milho e trigo mourisco. Após o término da avaliação da primeira repetição em todos os tratamentos, passava-se a avaliar a segunda repetição em sentido contrário, sendo a nova sequência: trigo mourisco, milho, algodão, sêxtuplo, feijão guandu, nabo e feijão caupi, assim sucessivamente, até concluir a última repetição em todos os tratamentos.

3.3.2 Componentes de rendimento

Em cada parcela foram retiradas duas linhas paralelas de 4 m, totalizando 8 m lineares, para avaliação dos componentes de rendimento. Foram avaliados:

número de plantas, altura de plantas, massa de mil grãos e produtividade de grãos por hectare.

As alturas de plantas foram avaliadas no momento da colheita, com auxílio de uma fita métrica, sendo as medições realizadas imediatamente a partir do solo até a inserção da última vagem. Após a aferição das alturas, as plantas passaram por um processo de trilha e separação de grãos. A massa de grãos foi aferida em balança de precisão, a umidade corrigida para 14% pelo método de 60,5 °C, por 72 horas.

A contagem dos grãos, para aferir a massa de mil grãos, foi realizada com auxílio de um contador elétrico de grãos, modelo NV-C/01, que conta os grãos através de um sensor. Após contabilizados os mil grãos, sua massa foi devidamente determinada em balança eletrônica analítica e a umidade corrigida para 14%.

3.3.4 Análises Estatísticas

Os resultados foram submetidos ao teste de normalidade de Shapiro & Wilk (1965) e ao teste de homoscedasticidade de Levene, ambos ao nível de 5% ($p \leq 0,05$).

A área do estudo foi considerada homogênea, as amostras foram coletadas dentro de cada parcela de forma independente (pseudo-repetições), como descrito por (CECAGNO et al. 2016). As diferenças nos atributos ecofisiológicos da soja e dados climáticos ao longo dos sete tratamentos e seis épocas de avaliação foram testadas com um modelo misto usando a função “lmer” no pacote “lme4”, do software R. Os consórcios de segunda safra foram consideradas como efeitos fixos e as épocas de avaliação foram consideradas como efeito aleatório. A comparação de médias foi realizada por meio do teste Bonferroni, ao nível de significância de 5% de probabilidade.

Para os atributos de planta considerou-se um delineamento inteiramente casualizado (DIC) com um único fator (consórcio de segunda safra) e quatro repetições. Quando o teste F da análise de variância foi significativo realizou-se o teste de Tukey ($p < 0,05$) para comparação de médias.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Foram analisados, primeiramente, os componentes climáticos. Os dados relacionados ao nível de iluminância são apresentados na Figura 1. Embora não tenham sido observadas diferenças significativas no nível de iluminância entre os tratamentos (Figura 1(a)), foi observada uma diferença significativa entre as épocas de análise (Figura 1(b)). O resultado indicou que houve uma diferença significativa na iluminância entre 30 e 58 DAE, denotando níveis menores deste parâmetro nesses dias, possivelmente devido ao tempo nublado durante a coleta de dados. Por outro lado, não foram encontradas diferenças significativas em 37, 44, 51 e 66 DAE.

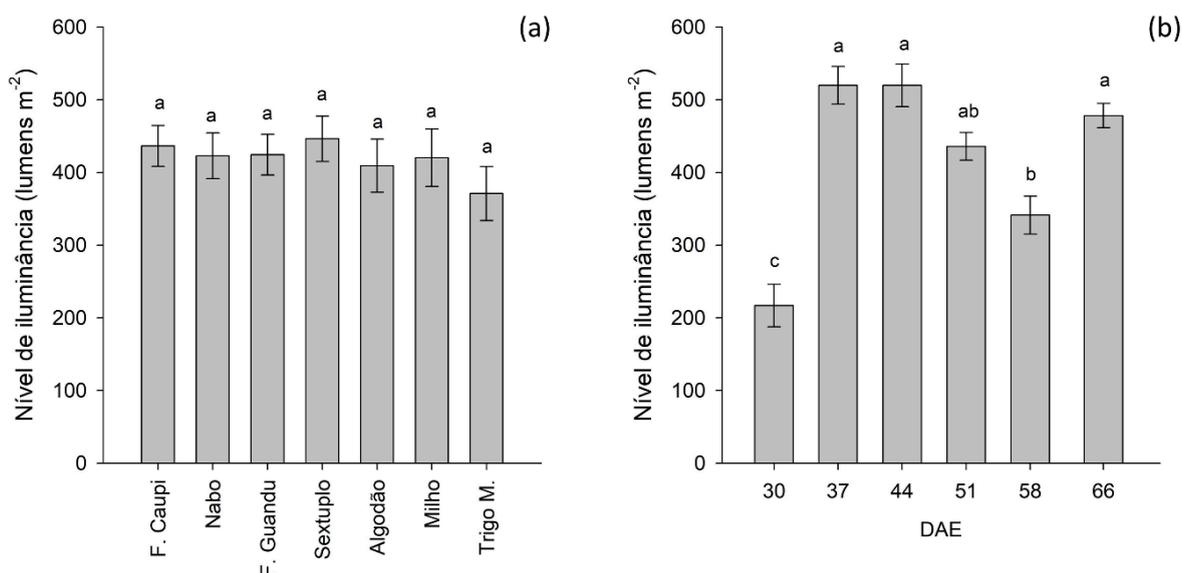


Figura 1. Nível de iluminância segundo os (a) tratamentos e (b) época da avaliação.

A luminância é um fator crítico para o cultivo de soja, pois influencia o seu desenvolvimento, conseqüentemente, a produtividade da cultura. Para maximizar a produtividade, é importante que as plantas recebam uma quantidade adequada de luz durante todo o ciclo de desenvolvimento, o que pode ser alcançado através da escolha de cultivares adaptados às condições de iluminância presentes na região de cultivo e de práticas de manejo que visem a maximização da incidência da radiação solar global.

A disponibilidade de radiação solar é um dos principais fatores limitantes para o crescimento e desenvolvimento das plantas, uma vez que é a principal fonte de

energia para a fotossíntese (TAIZ; ZIEGER, 2009; PETTER et al., 2016). Além de fornecer energia luminosa para a fotossíntese, a radiação solar global também desempenha um papel crucial no fornecimento de sinais ambientais para uma variedade de processos fisiológicos na cultura da soja (THOMAS, 1994; ASSUNÇÃO et al., 2008).

Quanto à incidência de radiação global no cultivo da soja (Figura 2) não foram demonstradas diferenças significativas entre os tratamentos (Figura 2(a)). Os resultados também foram confirmados ao considerar a época de avaliação, como mostrado na Figura 3(b), onde não foram observadas diferenças significativas entre os dias 37, 44, 51 e 66 DAE. Os valores de radiação global foram significativamente mais baixos nos dias 30 e 58 DAE, diferindo dos demais períodos avaliados. Estes dados corroboram com os valores exibidos na Figura 1(b), indicando condições nubladas durante a leitura dos dados.

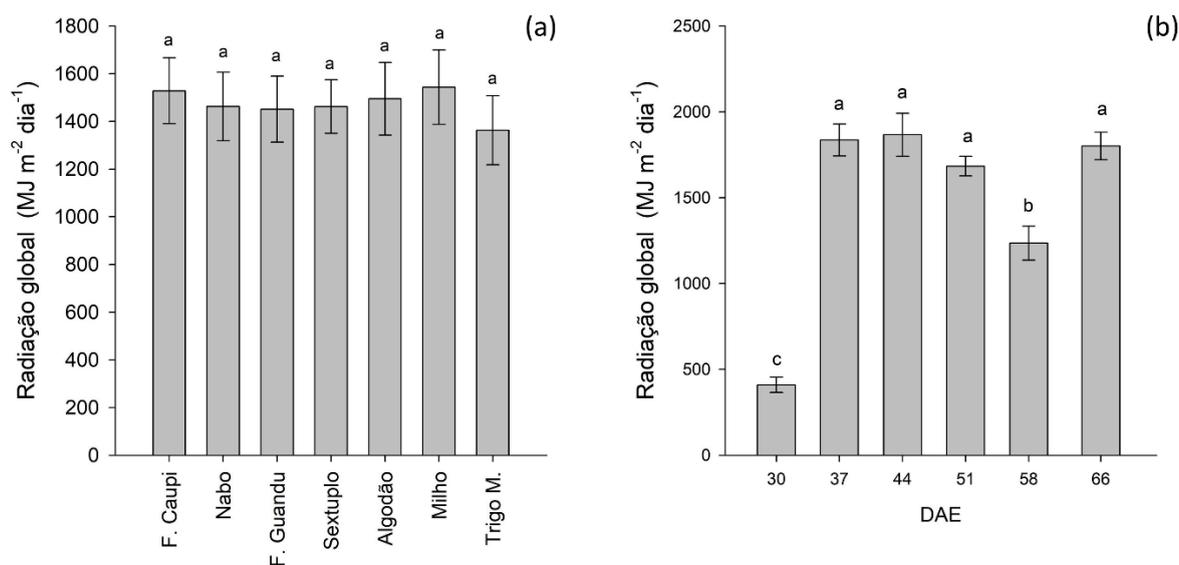


Figura 2. Incidência da radiação global segundo os (a) tratamentos e (b) época de avaliação.

Durante a fase reprodutiva da soja, a disponibilidade de radiação solar ao longo do dossel de plantas pode ser limitada, o que pode ter um impacto negativo na produtividade da cultura (GOTZ, 2019). Como a soja apresenta uma alta taxa de fotossíntese, ela é altamente dependente da disponibilidade de radiação solar para o seu desenvolvimento.

Os valores de incidência da radiação solar observados nos diferentes tratamentos foram próximos da faixa de 1400 a 1600 mJ m² dia⁻¹ (Figura 2(b)), sendo

estes semelhantes aos detectados por Almeida et al. (2014), ao avaliar a radiação solar incidente na faixa de cultivo de soja consorciada com eucalipto. Estes autores verificaram valores de 1500 a 2000 $\text{mJ m}^{-2} \text{dia}^{-1}$, variando de acordo com o horário da medida (maiores valores entre 11 e 14 h) e também, da localização da planta no campo experimental.

Além da radiação global, a radiação fotossinteticamente ativa (RFA) é um parâmetro crucial quando o assunto é fisiologia vegetal, pois está diretamente ligada à produção de biomassa, à morfologia e ao crescimento das plantas (CARTER; KLINKA, 1992; ACKERLY E BAZZAZ, 1995). A RFA está relacionada aos comprimentos de onda eletromagnéticos (380-710 nm) que as plantas conseguem absorver e converter em energia química (PETTER et al., 2016).

Durante os experimentos, os valores de RFA não exibiram diferença significativa entre os tratamentos (Figura 3(a)). No entanto, em relação à época de avaliação (Figura 3(b)), foi observado que a RFA em 58 DAE diferiu significativamente de todas as outras (exceto 51 DAE), apresentando o valor mais baixo para este parâmetro, o que pode estar relacionado aos baixos valores de iluminância (Figura 1(b)) e radiação global (Figura 2(b)) em 58 DAE, devido a presença de nuvens do momento da leitura. Os demais dias não apresentaram diferenças significativas entre si.

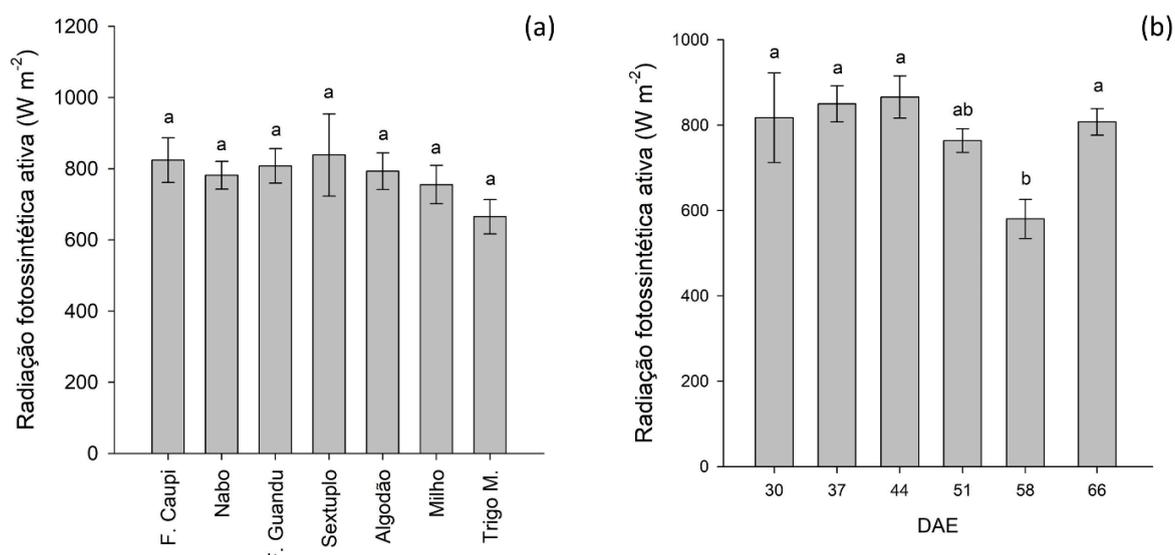


Figura 3. Radiação fotossintética ativa segundo (a) tratamentos e (b) época de avaliação.

A seguir são abordados os atributos ecofisiológicos e na sequência, os componentes de rendimento.

4.1 Atributos ecofisiológicos

Os estômatos são capazes de responder a alterações no suprimento de água e na demanda evaporativa, neutralizando seus efeitos no balanço hídrico da planta. Por exemplo, quando a umidade atmosférica diminui, ocorre uma perda do potencial hídrico da planta, mas os estômatos respondem reduzindo a abertura do poro estomático para restringir esta perda de água (FEITOSA et al. 2016; TAIZ et al., 2017).

Nesta pesquisa, o tratamento testemunha com algodão apresentou diferença significativa dos consórcios com nabo, sêxtuplo e trigo mourisco, não diferindo dos demais (Figura 4(a)). No tratamento com algodão, por exemplo, em um dia ensolarado, possivelmente os estômatos se fechavam antes, pois em um certo horário do dia já não havia um nível de água apropriado no solo para mantê-los abertos, por isso a CE apresenta menor valor.

Sobre a época da avaliação (Figura 4(b)), não foi observada diferença significativa entre 30 e 66 DAE, onde foram identificados os menores valores de CE. Em dias nublados (30 DAE), a umidade relativa do ar geralmente é maior, fazendo com que a transpiração das plantas seja reduzida, pois há menos evaporação da água dos estômatos. Com menor transpiração, existe menos demanda por água, o que leva a uma diminuição na abertura dos estômatos e, novamente, a uma redução na CE.

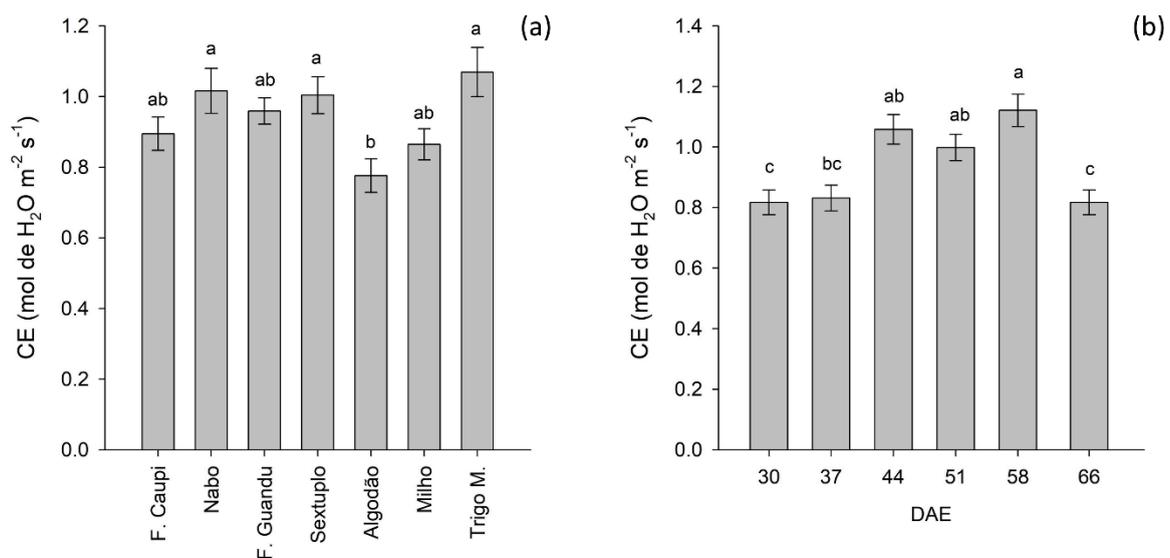


Figura 4. Condutância estomática (CE) ao longo do ciclo da cultura da soja referente aos (a) diferentes tratamentos e (b) época de avaliação.

Pode-se afirmar que a CE tem influência direta na quantidade de CO₂ que é absorvida pela planta e, quanto maior a absorção de CO₂, maior é a taxa de fotossíntese. Portanto, uma relação balanceada entre a CE e a transpiração é essencial para maximizar a taxa de fotossíntese líquida e, conseqüentemente, aumentar a produtividade das plantas.

Neste tocante, a avaliação da transpiração da soja durante seu cultivo é importante pois simboliza um processo vital para a planta, o qual é responsável pela absorção de água e nutrientes e pelo controle da temperatura foliar. Lopes e Lima (2015) e Barbosa (2017) mencionam que a transpiração desempenha um papel crucial no movimento de água nas plantas, pois cria um gradiente de potencial hídrico que é responsável pela transferência da maior parte da água do solo para a atmosfera.

Esse processo ocorre exclusivamente em plantas, devido à existência de diferentes potenciais hídricos no sistema solo-planta-atmosfera, que geram um gradiente de potencial. O potencial hídrico do solo é mais alto do que o da atmosfera, enquanto a planta tem um potencial intermediário. Assim, ocorre um fluxo de água que se move do solo, passa pela planta e chega à atmosfera (SALISBURY; ROSS, 2013).

Ao comparar os valores de transpiração entre tratamentos, não foi observada diferença significativa (Figura 5(a)). No entanto, ao analisar a época da análise (Figura 5(b)), verificou-se que as leituras realizadas aos 30, 37 e 66 DAE não apresentaram diferenças significativas entre si, mas diferiram das leituras feitas aos 44 e 58 DAE. Estas últimas datas não apresentaram diferença entre si e apresentaram os menores valores de transpiração. Um dos fatores que podem influenciar a diminuição da transpiração da soja pode relacionar-se com o estresse hídrico e alta luminosidade (44 DAE – Figura 1(b)). Isso ocorre porque a planta pode fechar seus estômatos para reduzir a perda de água e, assim, preservar sua reserva de água. Nesse caso, a redução da transpiração também pode resultar em uma redução da atividade fotossintética.

A taxa de transpiração, assim como a radiação solar, temperatura ambiente e o estresse hídrico, podem influenciar na temperatura foliar de plantas. Neste estudo, a temperatura foliar da cultura da soja foi avaliada ao longo do ciclo de crescimento, conforme demonstrado na Figura 6, não sendo encontradas diferenças significativas entre os tratamentos. Como a transpiração é responsável pelo controle da

temperatura foliar, é possível observar que os dados da Figura 5(a) e da Figura 6(a) estão em concordância.

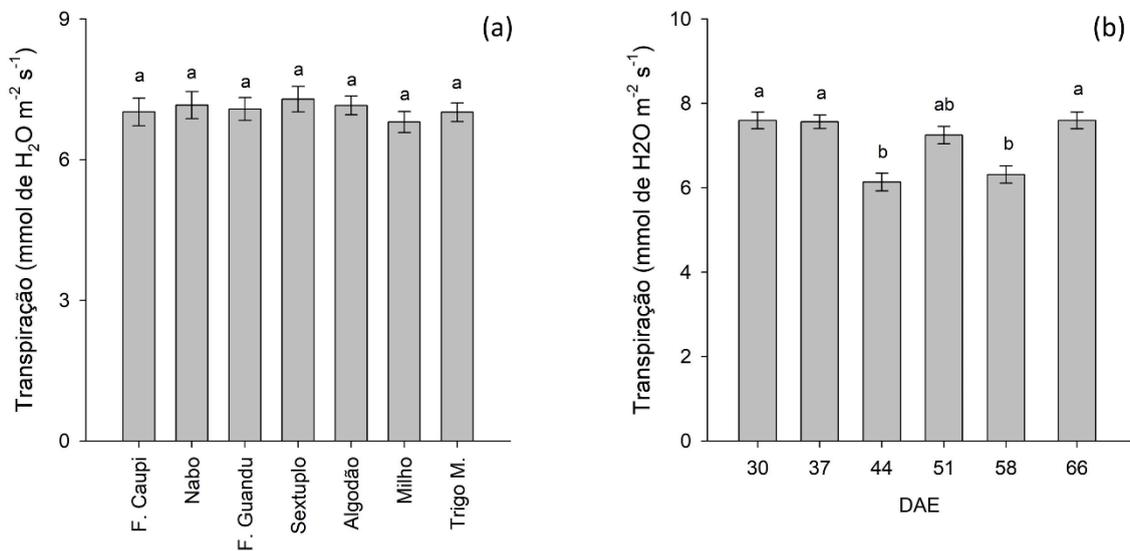


Figura 5. Transpiração ao longo do ciclo da cultura da soja referente aos (a) diferentes tratamentos e (b) época de avaliação.

A temperatura foliar relatada neste experimento variou entre 35 e 40° C. A elevação da temperatura das folhas tem sido apontada como um fator determinante na redução da fixação de carbono durante as diferentes fases do cultivo das plantas (GRIFFIN et al., 2002). A fixação de carbono está diretamente relacionada à taxa fotossintética e esta é um dos processos mais sensíveis ao calor, sendo que temperaturas entre 35 e 45°C tendem a inibi-la (BERRY; BJORJMAN, 1980).

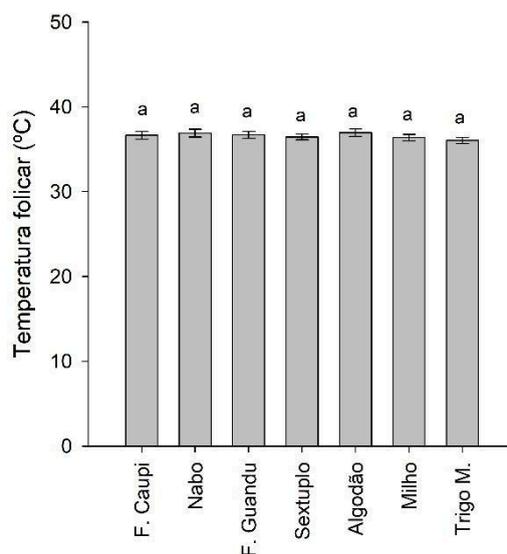


Figura 6. Temperatura foliar ao longo do ciclo da cultura da soja referente aos diferentes tratamentos.

De acordo com a Farias, Nepuceno e Neumaier (2021), a faixa de temperatura ambiente de 20 a 30°C é considerada ideal para o cultivo da soja, visto que a cultura se adapta melhor a essa condição. A temperatura ambiente ótima para o desenvolvimento da soja é em torno de 30°C. Temperaturas mais elevadas podem prejudicar a taxa de crescimento. Assim, a prevalência de alta temperatura ambiente durante a realização do experimento pode ter influenciado nos parâmetros de rendimento da cultura, independente do tratamento.

A temperatura ambiente tem o potencial de afetar a temperatura das folhas, e isso pode ter um impacto na taxa líquida de fotossíntese (A) das plantas. Essa taxa é calculada subtraindo a quantidade de CO₂ liberada durante a respiração das células da planta da quantidade líquida de CO₂ fixada durante a fotossíntese. Portanto, esses parâmetros estão interligados e podem afetar a capacidade fotossintética das plantas.

Em outras palavras, a taxa líquida de fotossíntese indica a eficiência da planta em produzir matéria orgânica a partir da luz solar e CO₂, sendo uma medida importante para avaliar o crescimento e a produtividade das plantas. Mohoyti e Lawbor (2012) mencionam que além da temperatura, a taxa de fotossíntese líquida pode ainda ser influenciada pela intensidade da luz e pela disponibilidade de água e nutrientes.

Neste estudo, verificou-se que o tratamento de testemunha com algodão apresentou menor valor de fotossíntese líquida, diferindo-se significativamente do

tratamento com feijão guandu e sêxtuplo, mas não exibiu diferença entre os demais (Figura 8(a)). Essa diminuição pode estar relacionada à estresse hídrico, o que causa redução na fotossíntese e na produção de biomassa. Além disso, esse estresse pode afetar a absorção de nutrientes pela planta, o que pode levar a uma redução na atividade fotossintética.

No que tange a época de avaliação (Figura 7(b)), pode-se comprovar um aumento na taxa de fotossíntese líquida com o desenvolvimento das plantas, sendo os maiores valores obtidos em 58 DAE, período em que não foi observado diferença significativa com 44 e 51 DAE. Em 30, 37 e 66 DAE não foram vistas diferenças entre si, mas elas diferiram dos demais tratamentos. As leituras de 44 e 51 DAE não diferiram dos demais tratamentos.

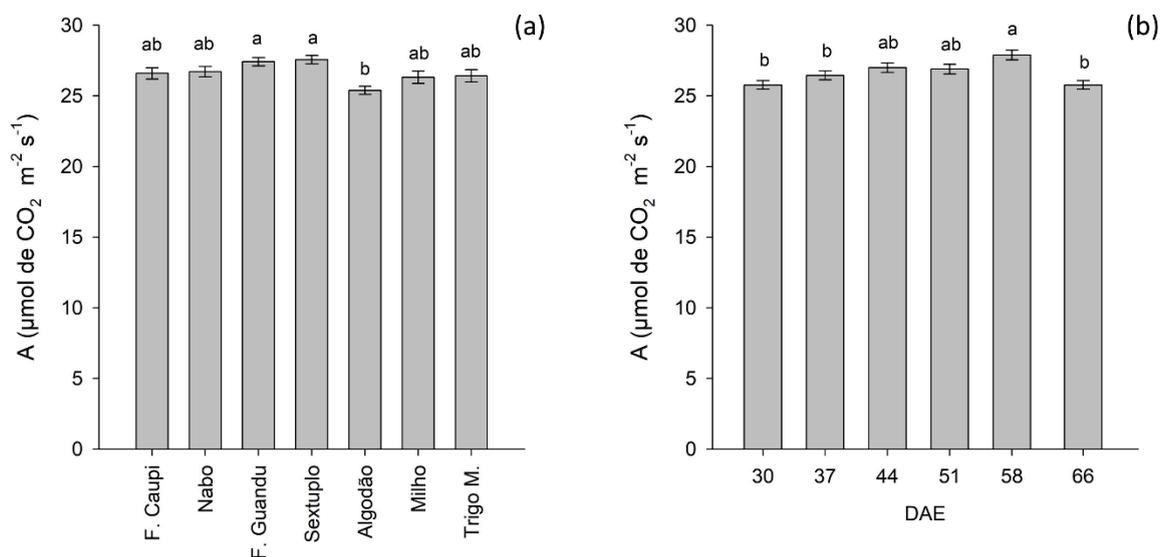


Figura 7. Taxa de fotossíntese líquida (A) ao longo do ciclo da cultura da soja referente aos (a) diferentes tratamentos e (b) época de avaliação.

Em geral, a taxa de fotossíntese líquida das plantas decresce de acordo com o decréscimo do nível de radiação solar (GUARDA; 2014), o que corrobora com os dados averiguados neste estudo que, nos 30 DAE, são demonstrados menores valores radiação global e de RFA, como foi demonstrado na Figura 2(b) e na Figura 3(b).

Outro indicador importante relacionado a taxa de fotossíntese de plantas é a concentração de carbono intercelular (ECi). Ela mede a concentração de CO_2 dentro das células, que é regulada pelos estômatos. Quando a luminosidade é alta e a

planta está fotossinteticamente ativa, a taxa de fotossíntese aumenta, o que reduz a concentração de CO_2 na folha e diminui a ECi . Por outro lado, quando a iluminância é baixa ou quando a planta está sob estresse, a taxa de fotossíntese diminui e a ECi aumenta. Nesta pesquisa não foram identificados dados com diferença significativa na época analisada (Figura 8(b)). Mas em relação aos tratamentos (Figura 8(a)), observa-se que a cobertura com feijão guandu e com sêxtuplo apresentaram maiores valores de ECi , não diferendo entre si e estando em consonância com a Figura 2(a), onde não foram exibidas diferenças significativas quanto a iluminância para esses tratamentos.

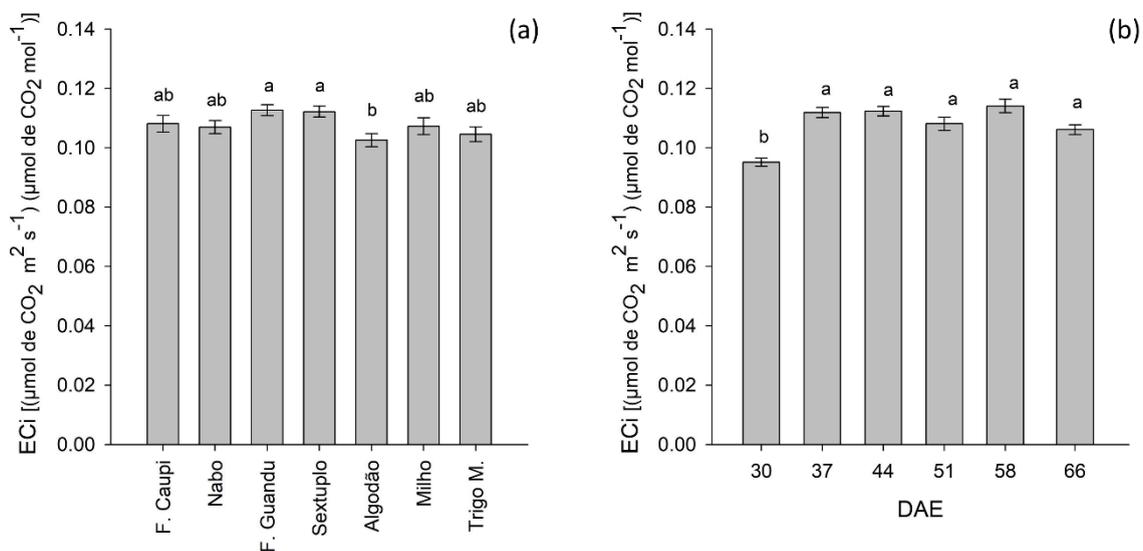


Figura 8. Concentração de carbono intercelular (ECi) ao longo do ciclo da cultura da soja referente aos (a) diferentes tratamentos e (b) época de avaliação.

A razão fotossintética e a taxa de transpiração da soja são importantes indicadores do desempenho da planta em relação à eficiência utilização de água (EUA) e luz para produzir biomassa. A EUA pode ser utilizada para determinar como os estômatos são controlados durante o processo metabólico das plantas. (MANAVALAN et al., 2009). Na Figura 9 são elencados os dados referentes EUA, onde denota-se que segundo os tratamentos, não houve diferença significativa entre eles (Figura9(a)).

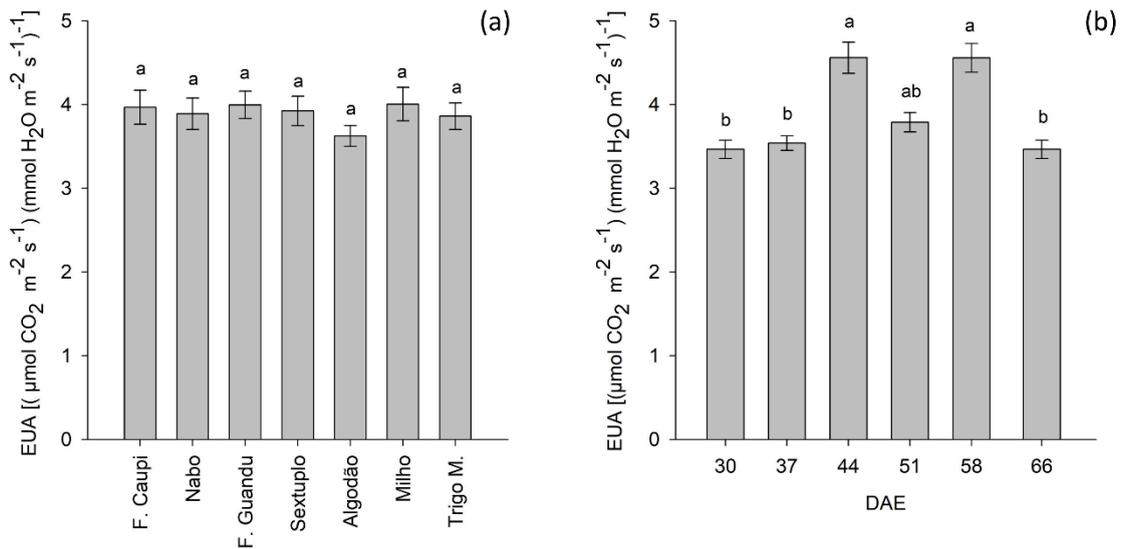


Figura 9. Eficiência de uso de água (EUA) ao longo do ciclo da cultura da soja referente aos (a) diferentes tratamentos e (b) época de avaliação.

A EUA reflete a capacidade da planta em manter a entrada de CO_2 para a fotossíntese, ao mesmo tempo em que limita a perda de água. Uma alta EUA indica um controle eficiente dos estômatos, permitindo que a planta maximize a produção de biomassa com o mínimo de perda de água. Na Figura 9(b), pode-se observar que os maiores valores desse parâmetro foram observados em 44 e 58 DAE, o que está relacionado com o aumento da condutância estomática (CE) nesse período, conforme indicado na Figura 4(b). Não houve diferença significativa entre os valores verificados nessas duas datas. Por outro lado, em 30, 37 e 66 DAE, observou-se uma redução nos valores de EUA, em decorrência dos menores valores de CE (Figura 4(b)).

Todos parâmetros discutidos até aqui são fatores e processos importantes para o crescimento e desenvolvimento da soja. Por exemplo, uma baixa taxa de fotossíntese pode reduzir a produção de grãos da soja, enquanto uma alta taxa de transpiração pode levar à desidratação das plantas e afetar o seu rendimento/productividade. Visto isso, a seguir são abordados os dados referentes aos componentes de rendimento da cultura da soja.

4.2 Componentes de rendimento

Conforme Figura 10(a)), o número de plantas de soja por metro não apresentou diferença significativa em todos tratamentos testados. No que diz respeito à altura das plantas, apenas o tratamento com cobertura de feijão caupi e a testemunha com algodão apresentaram diferenças significativas entre si, mas não em relação aos demais tratamentos (Figura 10(b)). Quanto à massa de grãos, os tratamentos com cobertura de feijão guandu e a sucessão com algodão apresentaram diferenças significativas entre si, mas não em relação aos demais tratamentos (Figura 10(c)).

É importante notar que a testemunha com algodão e o tratamento com milho tiveram o menor número de plantas, menor altura de plantas e menor massa de grãos, conseqüentemente, esses tratamentos obtiveram menores produtividades (Figura 10 (d)). Vale frisar que tanto a cultura da soja quanto a do milho requerem altos níveis de nutrientes, especialmente o nitrogênio (EMBRAPA, 2007; GOES et al., 2012).

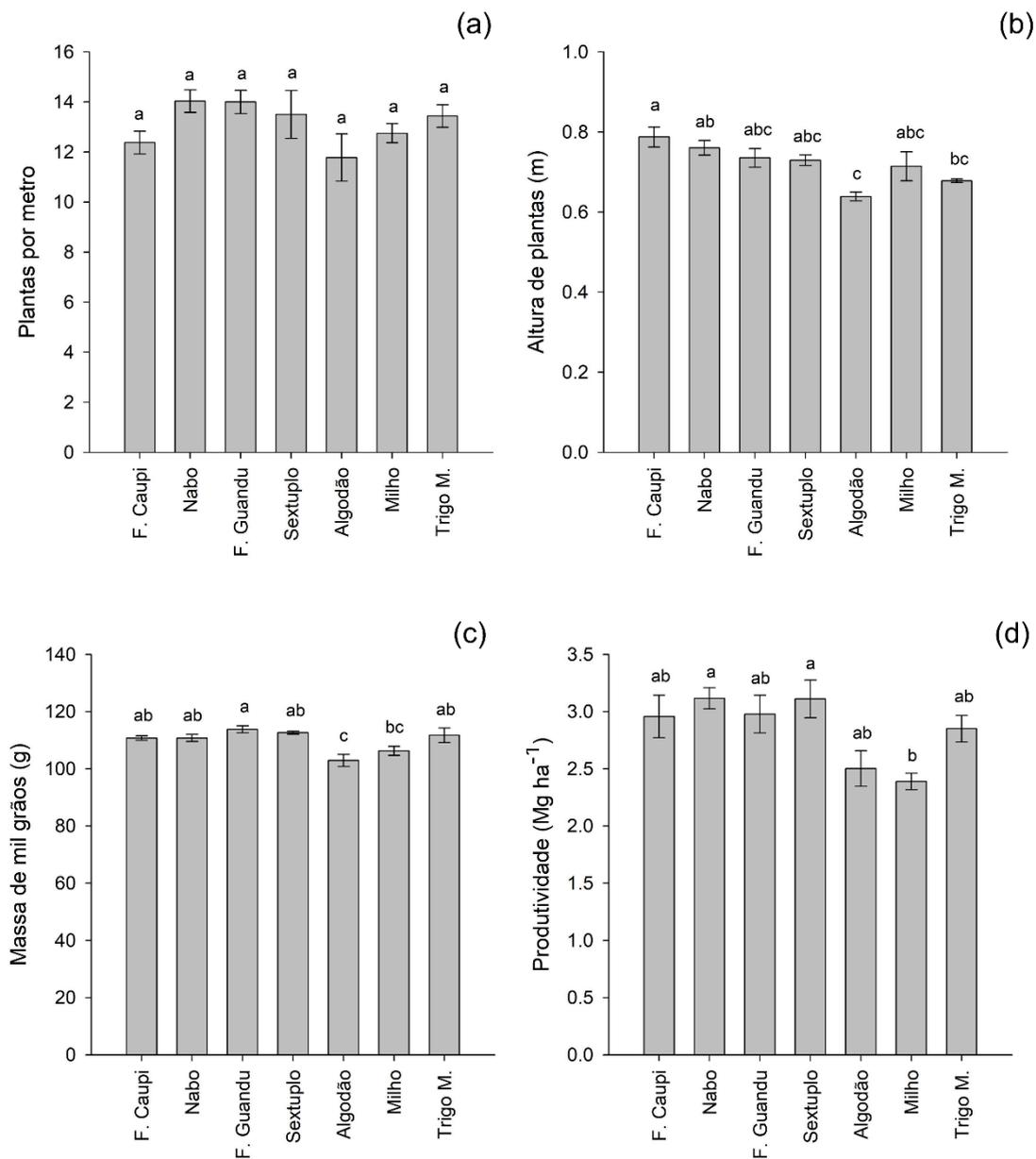


Figura 10. Componentes de rendimento da cultura da soja: (a) plantas por metro, (b) altura de plantas, (c) massa de mil grãos e (d) produtividade, mediante diferentes tratamentos.

Os maiores valores foram obtidos com o cultivo com cobertura de sêxtuplo e nabo, que não diferiram significativamente entre si, mas diferiram do milho. Além disso, esses três tratamentos não apresentaram diferenças significativas em relação aos demais tratamentos (Figura 11(d)). A maior produtividade vista no tratamento com sêxtuplo e nabo pode ser explicada pelo fato de que as leguminosas são capazes de fixar o nitrogênio atmosférico em seus tecidos, por meio de bactérias que vivem em simbiose em suas raízes (CERETTA et al., 1994; OHLAND et al., 2005). Quando a leguminosa é usada como cobertura no solo, a decomposição de seus tecidos libera o nitrogênio fixado no solo, que pode ser usado pelas plantas de

soja como nutriente, aumentando a disponibilidade de nitrogênio no solo e melhorando a produtividade.

Como mencionado anteriormente, as plantas utilizadas como cobertura do solo são capazes de proporcionar diversos benefícios aos sistemas agrícolas, devido à influência positiva da palhada produzida por elas nas propriedades do solo (aspectos físicos, químicos ou biológicos). Isso pode resultar em um aumento na produtividade das culturas, além de ajudar a mitigar as emissões de gases de efeito estufa para a atmosfera. Para Silva et al. (2021), no caso dos solos do Cerrado, que são conhecidos por serem ácidos, com baixo teor de matéria orgânica e baixa fertilidade, o uso dessas plantas de cobertura é ainda mais importante. Além de melhorar a qualidade do solo da região, elas também permitem a adoção de práticas de plantio direto, graças à palhada de qualidade adicionada ao solo.

Ainda, de acordo com Santos, Lhamby e Wobeto (1998), a planta de soja pode exibir características agronômicas distintas, incluindo produtividades diferentes, quando submetida a diferentes níveis de restevras em um sistema de semeadura direta, confirmando os resultados obtidos neste estudo.

5 CONCLUSÕES

Com base nos resultados apresentados, foi possível concluir que os tratamentos com plantas de cobertura proporcionaram os melhores resultados para o cultivo da soja. Isso porque os piores índices de produção foram observados nos tratamentos convencionais, que envolviam a sucessão de culturas convencionais, como o algodão, e o cultivo mínimo de milho. Além disso, foi constatado que o tratamento com algodão apresentou diferenças significativas em relação ao tratamento com sêxtuplo em termos de condutância estomática, taxa fotossintética e concentração de carbono intracelular. Enquanto isso, o tratamento com milho mostrou diferenças em relação ao tratamento sêxtuplo e ao de nabo em termos de produtividade.

Adicionalmente, ressalta-se que o tratamento sêxtuplo se destacou como o mais eficaz, apresentando diferenças positivas significativas em relação aos demais tratamentos, tanto em termos ecofisiológicos quanto de produtividade. Por outro lado, o tratamento com algodão teve os piores desempenhos.

É relevante notar que os tratamentos com sistemas de plantio direto, como feijão caupi, trigo mourisco, nabo forrageiro, feijão gandhu e sêxtuplo, embora não tenham demonstrado diferenças significativas, indicaram uma tendência para resultados superiores. Esses tratamentos proporcionaram condições hídricas mais favoráveis para o cultivo da soja, permitindo a manutenção dos estômatos abertos, o que é fundamental para o aumento da fotossíntese e da absorção de CO_2 pelas plantas, resultando em uma melhoria na produtividade da cultura da soja. É importante ressaltar a necessidade de encontrar um equilíbrio adequado entre a abertura dos estômatos e a perda de água pela transpiração, a fim de maximizar a produção de biomassa e a produtividade da cultura.

REFERÊNCIAS

- ACKERLY, D. D.; BAZZAZ, F. A. **Seedling crown orientation and interception of diffuse radiation in tropical forest gaps**. Ecology: New York, 1995.
- ALMEIDA, F. L. et al. Produtividade de soja em diferentes posições entre renques de eucalipto em cultivo consorciado. **Colloquium Agrariae**, v. 10, n. 1, p.33-44, 2014.
- ALMEIDA, W. S. et al. Erosão hídrica em diferentes sistemas de cultivo e níveis de cobertura do solo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 51, n. 9, p. 1110-1119, 2016.
- ALVARES, C. A. et al. Köppen's climate classification map for Brazil. **Meteorologische Zeitschrift**, v. 22, n. 6, p. 711 – 728, 2013.
- ANDOGNINI, J. **Efeito do grau de compactação nos atributos físicos de solos de Santa Catarina e nas características produtivas e nutritivas da aveia-preta**. 2019. 88f. Dissertação (mestrado em Ciência do Solo) - Universidade do Estado de Santa Catarina, Lages. 2019.
- ANDRADE, R. S.; STONE, L. F.; SILVEIRA, P. M. Cultura de cobertura e qualidade física de um Latossolo em plantio direto. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 13, n. 4, p. 411-418, 2009.
- ANSCHAU, K. A. et al. Propriedade física do solo, características agronômicas e produtividade da soja em sucessão a plantas de cobertura. **Scientia Agraria Paranaensis**, v. 17, n. 3, p. 293-299, 2018.
- ARAUJO, R. de A. et al. Florística e estrutura de fragmento florestal em área de transição na Amazônia Matogrossense no município de Sinop. **Acta Amazônica**, v. 39, p. 865-877, 2009.
- ARGENTON, J. et al. Comportamento de atributos relacionados com a forma da estrutura de latossolo vermelho sob sistemas de preparo e plantas de cobertura. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 29, p. 425-435, 2005.
- ASSUNÇÃO, H. F. et al. Eficiência de uso da radiação e propriedades Óticas da cultura do amendoim. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, v. 38, n. 3, p. 215-222, 2008.
- BARBOSA, L. A. **Limite crítico do potencial hídrico da soja durante os estádios vegetativo e reprodutivo**. 2017. 92f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) - Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia. 2017.
- BERRY, J. A.; BEERLING, D. J.; FRANKS, P. J. Stomata: Key players in the earth system, past and present. *Current Opinion in Plant Biology*, v. 13, p. 232–239, 2010.

BERRY, J. A.; BJORKMAN, O. Photosynthetic response and adaptation to temperature in higher plants. **Annual Review of Plant Biology**, v. 31, p. 491-543, 1980.

BETTIOL, A. C. T. **Efeitos de plantas de cobertura em atributos Químicos do solo**. 2014. 52f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Universidade Estadual Paulista, Jaboticabal. 2014.

BEUTLER, A. N.; CENTURION, J. F. Efeito do conteúdo de água e da compactação do solo na produção de soja. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 38, n. 7, p. 849-856, 2003.

BEUTLER, A. N. et al. Efeito da compactação na produtividade de cultivares de soja em latossolo vermelho. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 30, p. 787-794, 2006.

CARDOSO, D. P. et al. Espécies de plantas de cobertura no condicionamento químico e físico do solo. **Revista Brasileira de Ciência Agrárias**, v. 8, n. 3, p. 375-382, 2013.

CARDOSO, R. A. et al. Influência da adubação verde nas propriedades físicas e biológicas do solo e na produtividade da cultura de soja. **Semina: Ciência biológica e da Saúde**, v. 35, n. 2, p. 51-60, 2014.

CARTER, R. E.; KLINKA, K. Variation in shade tolerance of Douglas-fir, western hemlock, and western red cedar in coastal British Columbia. **Forest Ecology and Management**, v. 55, p. 87-105, 1992.

CECAGNO, D. et al. Least limiting water range and soybean yield in a long-term, no till, integrated crop-livestock systems under different grazing intensities. **Soil & Tillage Research**, v. 156, p. 54–62, 2016.

CERETTA, C. A. et al. Fornecimento de nitrogênio por leguminosas para o milho em sucessão nos sistemas de cultivo mínimo e convencional. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.18, p.215-220, 1994.

CHRISTIE, D. Resampling with Excel. **Teaching Statistics**, v. 26, n. 1, p. 9-14, 2004.

COELHO, F. K. **Resposta de cultivares de soja ao déficit hídrico**. In: Salão de Iniciação Científica da UFRGS, 29, 2017, Porto Alegre. Resumos... Porto Alegre: UFRGS, 2017.

COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO - CONAB. Acompanhamento da Safra Brasileira de Grãos. Brasília, DF, v. 8, safra 2020/21, n. 8, oitavo levantamento, maio. 2021.

CONFEDERAÇÃO DA AGRICULTURA E PECUÁRIA DO BRASIL – CNA. **Após alcançar patamar recorde em 2021, PIB do agronegócio recua 4,22% em 2022**. 2022. Disponível em:

<https://www.cnabrazil.org.br/publicacoes/apos-alcancar-patamar-recorde-em-2021-pib-do-agronegocio-recua-4-22-em-2022>. Acesso em: 20 abr. 2023.

CONFEDERAÇÃO DA AGRICULTURA E PECUÁRIA DO BRASIL – CNA. **PIB do Brasil cresce 2,9% em 2022**. 2023. Disponível em: <https://www.cnabrazil.org.br/publicacoes/pib-do-brasil-cresce-2-9-em-2022>. Acesso em: 20 abr. 2023.

COSTA, F. L. A. **Adução potássica e fosfatada na sucessão cártamo e soja**. 2020. 52f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) - Universidade Federal de Goiás, Jataí. 2020.

CUNHA, E. Q. et al. Sistemas de preparo do solo e culturas de cobertura na produção orgânica de feijão e milho: I – atributos físicos do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 35, p. 589-602, 2011.

DEWAR, R. C. The Ball-Berry-Leuning and Tardieu-Davies stomatal models: Synthesis and extension within a spatially aggregated picture of guard cell function. **Plant, Cell and Environment**, v. 25, p. 1383–1398, 2002.

DOMINGUES, R. **Atributos físicos do solo, regime hídrico e resposta biológica do feijoeiro (*Phaseolus vulgaris* L.) sob ambiente protegido**. 2016. 107f. Dissertação (Agronomia) – Universidade Estadual de Ponta Grossa, Ponta Grossa. 2016.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA. **A importância do processo de fixação biológica do nitrogênio para a cultura de soja: componente principal para competitividade do produto brasileiro**. Londrina: Embrapa Soja. 2007.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA – EMBRAPA. **Cultivares de soja**. Londrina: Embrapa Soja, 2019. 35p.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA. **História da soja**. 2023. Disponível em: <<https://www.embrapa.br/web/portal/soja/cultivos/soja1/historia>>. Acesso em: 26 de abr. de 2023.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA. **Sistema Radicular de Plantas e Qualidade do Solo**. Comunicado técnico 198. 2014.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA – EMBRAPA. **Soja em números (safra 2021/22)**. Disponível em: <<https://www.embrapa.br/soja/cultivos/soja1/dados-economicos>>. Acesso em: 14 mai. 2023.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA. **Tecnologias de Produção de Soja**. Londrina : Embrapa Soja, 2020.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA.
Tecnologia de produção de Soja – Região Central do Brasil 2014. Londrina:
Embrapa Soja. 2013.

ENSINAS, S. C. **Culturas de cobertura isoladas e/ou consorciadas na produção de massa seca, produtividade de milho e soja, atributos químicos e matéria orgânica do solo.** 2015. 98f. Tese (Doutorado em Agronomia) - Universidade Federal da Grande Dourados, Dourados. 2015.

FARIAS, J. R. B.; NEPOMUCENO, A. L.; NEUMAIER, N. **Ecofisiologia da soja.** Londrina: Embrapa Soja. Circular Técnico 48, 2007.

FARIAS, J. R. B.; NEPOMUCENO, A. L.; NEUMAIER, N. **Temperatura.** 2021.

Disponível em:

<https://www.embrapa.br/agencia-de-informacao-tecnologica/cultivos/soja/pre-producao/caracteristicas-da-especie-e-relacoes-com-o-ambiente/exigencias-climaticas/temperatura#:~:text=A%20soja%20se%20adapta%20melhor,torno%20de%2030oC.>

Acesso em: 10 abr. 2023.

FEITOSA, S. S. et al. Fisiologia do *Sesamum indicum* L. sob estresse hídrico e aplicação de ácido salicílico. **Irriga**, v. 21, n. 4, p. 711, 2016.

FERNEDA, B. G. et al. Graus-dias na estimativa das taxas de crescimento de quatro cultivares de soja em diferentes épocas de plantio. **Nativa**, v. 4, n. 3, p. 121-127, 2016.

FERRARI, E.; PAZ, A.; SILVA, A. C. Déficit hídrico no metabolismo da soja em sementeiras antecipadas no Mato Grosso. **Nativa**, v. 3, n. 1, p. 67-77, 2015.

FERREIRA, C. J. B. et al. **Efeitos da compactação no desempenho de cultivares de soja.** In: Congresso de Ensino, Pesquisa e Extensão, 1. ed., Rio verde, 2019. Anais... Rio Verde/GO: Universidade de Rio Verde, 2019. p. 39-43.

FOLETTTO, R. L. et al. **Densidades de *Crotalaria spectabilis* na população do nematoide das lesões radiculares e no rendimentos de grãos de milho safrinha em consórcio.** In: IV Encontro de Ciências e Tecnologias Agrossustentáveis e IX Jornada Científica da Embrapa Agrossilvipastoril. 9 ed., Sinop, 2020. Resumos... Sinop/MT: Embrapa Agrossilvipastoril, 2020.

GOES, R. J. et al. Nitrogênio em cobertura para o milho (*Zea mays* L.) em sistema plantio direto na safrinha. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, v. 11, n. 2, p. 169-177, 2012.

GOTZ, W. J. H. **Incremento na entrada de radiação solar no período reprodutivo de plantas de soja.** 2019. 33f. Trabalho de Conclusão do Curso (Graduação em Agronomia) -Universidade Federal de Santa Catarina, Curitibanos, 2019.

GRIFFIN, K. L. et al. Leaf respiration is differentially affected by leaf vs. stand-level night-time warming. **Global Change Biology**, v. 8, n. 5, p. 479-485, 2002.

GUARDA, V. D. A. **Bases Ecofisiológicas da Assimilação de Carbono e Suas Implicações na Produção de Forragem**. Palmas: Embrapa Pesca e Aquicultura, 2014.

HAKANSSON, I.; VOORHEES, W. B. Soil compaction. In: LAL, R. et al. (Ed.). *Methods for assessment of soil degradation*. Boca Raton: CRS Press, 1998. p.167-179.

KAPPES, C.; ARF, O.; ANDRADE, J. A. C. Produtividade do milho em condições de diferentes manejos do solo e de doses de nitrogênio. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 37, n. 5, p. 1310-1321, 2013

KLEIN, C.; KLEIN, V. A. Estratégias para potencializar a retenção e disponibilidade de água no solo. **Revista Energética em Gestão, Educação e Tecnologia Ambiental**, v. 19, n. 1, p. 21-29, 2015.

LOPES, N. F.; LIMA, M. G. S. **Fisiologia da produção**. Editora UFV: Viçosa. 2015.

LUCIANO, R. V. et al. Physical attributes related to soil compaction under native vegetation of Southern Brazil. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 36, n. 6, p. 1733-1744, 2012.

MANAVALAN, L. P. et al. Physiological and molecular approaches to improve drought resistance in soybean. **Plant e Cell Physiology**, v. 50, p. 1260-1276, 2009.

MARCELO, A. V.; CORÁ, J. E.; FERNANDES, C. Sequência de culturas em sistema de semeadura direta. II – Decomposição e liberação de nutrientes na entressafra. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 36, p. 1568-1582, 2012.

MELLO, J. M. et al. Dinâmica dos atributos físico-químicos e variação sazonal dos estoques de carbono no solo em diferentes fitofisionomias do pantanal Norte Mato-grossense. **Revista Árvore**, v. 39, n. 2, p. 325-336, 2015.

MOHOTTI, A. J.; LAWLOR, D. W. Diurnal variation of photosynthesis and photoinhibition in tea: effects of irradiance and nitrogen supply during growth in the field. **Journal of Experimental Botany**, v. 53, p. 313-322, 2012.

NAKAYAMA, F.T. **Consórcio de plantas de cobertura para a cultura de algodoeiro no sistema de semeadura direta**. 2011. 90f. Tese (Doutorado em Agronomia) – Universidade Estadual Paulista, Ilha Solteira, 2011.

OHLAND, R. A. A. et al. Culturas de cobertura do solo e adubação nitrogenada no milho em plantio direto. **Ciência e Agrotecnologia**, v. 29, n. 3, p. 538-544, 2005.

OLIVEIRA, A. D. D.; FERNANDES, E. J.; RODRIGUES, T. D. J. Condutância estomática como indicador de estresse hídrico em feijão. **Engenharia Agrícola**, v. 25, p. 86-95, 2005.

OLIVEIRA, B. de S. et al. Atributos físicos do solo em sistema de integração lavoura-pecuária-floresta, na região Amazônica. **Revista Espacios**, v. 38, n. 41, p. 8, 2017.

PETTER, F. A. et al. Elevada densidade de semeadura aumenta a produtividade da soja? Respostas da radiação fotossinteticamente ativa. **Bragantia**, v. 75 n. 2, p. 173-183, 2016.

RAMOS, H. C. et al. Precipitação e temperatura do ar para o estado de Mato Grosso utilizando krigagem ordinária. **Revista Brasileira de Climatologia**, v. 20, p., 211-233, 2017.

RAMOS, R. C. **Atributos físicos do solo cultivado com plantas de cobertura sob dois regimes hídricos**. 2018. 53f. Dissertação (Mestrado em Agricultura Tropical) – Universidade Federal do Espírito Santo, Espírito Santo. 2018.

REICHERT, J. M. et al. **Hidrologia do solo, disponibilidade de água às plantas e zoneamento agroclimático**. In: BRAIDA, J. A. et al. Tópicos em Ciência do Solo. 1 ed., v. 7. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do solo, 2011. p. 1-54.

ROSA, V. R. **Ação de bioestimulantes na mitigação do estresse por deficiência hídrica em soja**. 2020. 101f. Tese (Doutorado em Agronomia) – Universidade Estadual Paulista, Botucatu. 2020.

SÁ, M. A. C. et al. **Compactação do solo e produtividade da cultura da soja em área irrigada no cerrado**. Embrapa Cerrados – Boletim de pesquisa e desenvolvimento 177, 2007.

SALISBURY, F. B.; ROSS, C. W. **Fisiologia das plantas**. 4. ed. São Paulo: Cengage Learning 2013.

SANTOS, F. L.; ALEXANDRE, C. A.; COELHO, R. R. Relações solo-água-plantas. In: SHAHIDIAN, S. et al. **Hidrologia Agrícola**. 1. ed. Évora: Universidade de Évora e ICAAM, 2012. p.153-203.

SANTOS, F. L. et al. **Hidrologia Agrícola**. 1. ed. Évora: Universidade de Évora e ICAAM. 2012. p.153-203.

SANTOS, H. P.; LHAMBY, J. C. B.; WOBETO, C. Efeito de culturas de inverno em plantio direto sobre a soja cultivada em rotação de culturas. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 33, p. 289-295, 1998.

SCHIEBELBEIN, L.M. **Atributos físicos do solo e cobertura de inverno sobre a disponibilidade de água e os componentes de rendimento do milho**. 2017. 235f. Tese (Doutorado em Agronomia) – Universidade Estadual de Ponta Grossa, Ponta Grossa. 2017.

SCHNTITZLER, F. **Desempenho da cultura da soja sob diferentes plantas de cobertura do solo**. 2017. 34f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em

Agronomia) – Universidade Regional do Noroeste do Estado do Rio Grande do Sul, Ijuí. 2017.

SILVA, C. A.; GARCIA, R. A. **Consórcio de crotalárias com braquiária e produção de soja em sucessão**. In: Jornada de Iniciação à Pesquisa da Embrapa, 8 ed., Dourados, 2019. Resumos... Dourados/MS: Embrapa Agropecuária Oeste, 2019.

SILVA, M. A. et al. Plantas de cobertura isoladas e em mix para a melhoria da qualidade do solo e das culturas comerciais no Cerrado. **Research, Society and Development**, v. 10, n. 12, e11101220008, 2021.

SILVA, R. R. **Relação entre precipitação pluviométrica e produtividade da cultura de soja no município de Ibirubá-RS**. 2013. 95f. Dissertação (Mestrado em Geografia) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria. 2013

SIMEÃO, M. Crescimento e produtividade de grãos de soja sob déficit hídrico no solo. 2016. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Universidade Federal do Piauí, Bom Jesus. 2016.

SOARES, M. B. et al. Integrated production systems: An alternative to soil chemical quality restoration in the Cerrado-Amazon ecotone. **Catena**, v. 185, p. 104279, 2020.

STONE, L. F.; GUIMARÃES, C. M.; MOREIRA, J. A. A. Compactação do solo na cultura do feijoeiro. I: efeitos nas propriedades físico-hídricas do solo. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 6, n. 2, p. 207-212, 2002.

SUZUKI, L. E. A. S. et al. Estrutura e armazenamento de água em um argissolo sob pastagem cultivada, floresta nativa e povoamento de eucalipto no Rio Grande do Sul. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 38, p. 94-106, 2014.

TAIZ, L. et al. Fisiologia vegetal e desenvolvimento vegetal. 6. ed. Porto Alegre: Editora Artmed. 2017.

TAIZ, L.; ZEIGER, E. **Fisiologia vegetal**. 4. ed. Porto Alegre: Artmed, 2009.

TAVARES, L. C. et al. Rendimento e qualidade de sementes de soja de alto e baixo vigor submetidas ao déficit hídrico. **Interciência**, v. 38, n. 1, p. 73-80, 2013.

TAVARES, R. L. M.; FARHATE, C. V. V. ASSIS, R. L. **Plantas de cobertura e seus benefícios ao solo**. Anuário de Pesquisa Agricultura (Resultados 2020), v. 3, p. 40-55, 2020.

THOMAS, J. F. Ontogenetic and morphological plasticity in crop plants. In: BOOTE, K. J. et al. (Comp.). **Physiology and determinations of crop yield**. Madison: ASA/CSSA/SSSA, p.181-185, 1994.

TORRES, J. L. R. et al. Atributos físicos de um Latossolo Vermelho cultivado com plantas de cobertura, em semeadura direta. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 39, p. 428-437, 2015.

TURNER, N. C. Further progress in crop water relations. **Advances in Agronomy**, v. 58, p. 293-325, 1997.

VAN RAIJ, B.; QUAGGIO, J. A. **Métodos de análise de solo para fins de fertilidade**. Campinas: Instituto Agrônômico, 1983. 31p.

VIEIRA, M. L. **Propriedades físico-hídrico-mecânicas do solo e rendimento de milho submetido a diferentes sistemas de manejo**. 2006. 104f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Universidade de Passo Fundo, Passo Fundo. 2006.

VITAL, R. G. **Mecanismos da tolerância ao déficit hídrico e a alta temperatura em cultivares de soja**. 2016. 90f. Tese (Doutorado em Agronomia) – Instituto Federal Goiano, Rio Verde. 2019.

WAGNER, W. A. **Espacialização da compactação do solo e o efeito da escurificação mecânica sob a produtividade da cultura da soja**. 2017. 49f. Dissertação (Mestrado em Agricultura de Precisão) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria. 2017.

WOLF, B. A. **Plantas de cobertura na entressafra soja trigo e milho trigo**. 2018. 40f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Agronomia) - Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Dois Vizinhos. 2018

..