

CRESCIMENTO E DESENVOLVIMENTO DE PLANTAS DE COBERTURA DO SOLO PARA A REGIÃO DO MÉDIO MEARIM-MA

Ana Kétilla de Paiva Carvalho Silva¹, Rute Sousa da Costa², Emerson Dalla Chieza³

RESUMO:

O presente trabalho teve como objetivo avaliar o crescimento das leguminosas, crotalária juncea (*Crotalaria juncea* L.), mucuna-cinza (*mucuna-cinza pruriens* (L.) DC) e feijão-de-porco (*Canavalia ensiformis* (L.) DC), como potencialidade para a cobertura de solo para as condições edafoclimáticas da região do Médio Mearim no estado do Maranhão. A condução deste ensaio foi realizada no campo de experimentação “Horto” nas dependências da Universidade Federal do Maranhão (UFMA) em Bacabal. O delineamento utilizado foi o inteiramente casualizado, com quatro repetições em um esquema fatorial 3x2, sendo três espécies e duas densidades populacionais, totalizando uma área de 24 parcelas experimentais. A semeadura foi realizada em abril de 2021 e as coletas realizadas aos 08, 23, 39, 56, 69, 83 e 104 dias após a emergência (DAE). Foram avaliados parâmetros de matéria seca da parte aérea (MS), altura, índice de área foliar (IAF), taxa de crescimento da cultura (TCC), taxa de assimilação líquida (TAL) e taxa de crescimento relativo (TCR). Os resultados aferiram que os principais acúmulos de MS foram conferidos pela crotalária juncea. A maior média para IAF foi conferida pela mucuna-cinza e a menor, pela crotalária juncea devido aos seus hábitos de crescimento, enquanto a primeira é rasteira, a segunda é ereta, assim, a distribuição da mucuna-cinza foi melhor pelo terreno. Por outro lado, o IAF máximo foi obtido pelo feijão-de-porco na análise de crescimento. Para as condições edafoclimáticas estudadas, a crotalária juncea obteve melhores parâmetros morfofisiológicos para TCC, TCR e TAL quando semeada em abril.

Palavras-chave: Adubação verde, análise de crescimento vegetal, agricultura familiar.

GROWTH AND DEVELOPMENT OF COVER CROPS IN THE MÉDIO MEARIM REGION, MARANHÃO

This study aimed to evaluate the growth of the legumes sunn hemp (*Crotalaria juncea* L.), velvet bean (*mucuna-cinza pruriens* (L.) DC), and jack bean (*Canavalia ensiformis* (L.) DC) as potential soil cover crops under the edaphoclimatic conditions of the Médio Mearim region, Maranhão State, Brazil. The experiment was carried out in the “Horto” experimental field of the Federal University of Maranhão (UFMA), in Bacabal. A completely randomized design was used, with four replications in a 3 × 2 factorial scheme—three species and two plant densities—totaling 24 experimental plots. Sowing was performed in April 2021, and the samplings were conducted at 8, 23, 39, 56, 69, 83, and 104 days after emergence (DAE). The following parameters were assessed: aboveground dry matter (DM), plant height, leaf area index (LAI), crop growth rate (CGR), net assimilation rate (NAR), and relative growth rate (RGR). Results showed that sunn hemp recorded the highest accumulation of aboveground dry matter. The highest mean LAI was observed in velvet bean, while sunn hemp presented the lowest LAI due to differences in growth habit—velvet bean being prostrate and sunn hemp erect—thus allowing velvet bean to achieve better ground coverage. On the other hand, the highest maximum LAI was recorded for jack bean in the growth analysis. Under the studied edaphoclimatic

¹Especialista em Biodiversidade e Agricultura. Universidade Federal do Maranhão, Bacabal-MA; <https://orcid.org/0000-0001-7565-5552>. ana.ketilla@gmail.com ²Licenciada em Educação do Campo – Ciências Agrárias. Universidade Federal do Maranhão, Bacabal-MA. rutesofia2017@gmail.com. <https://orcid.org/0009-0009-2219-5586>. ³Professor Adjunto na Universidade Federal do Maranhão, Bacabal-MA. emerson.dc@ufma.br. <https://orcid.org/0000-0003-4787-7902>

conditions, sunn hemp exhibited superior morphophysiological parameters for CGR, RGR, and NAR when sown in April.

Keywords: Green manure, plant growth analysis, family farming.

INTRODUÇÃO

O modelo de produção adotado ao longo da formação do espaço agrário brasileiro, derivado de uma proposta rural extensionista para o melhoramento da produção agrícola, gerou diversas consequências, mostrando ser insustentável do ponto de vista socioambiental, o que comprometeu os povos do campo, a perda de biodiversidade, a poluição de águas e a deterioração dos solos agrícolas (Caporal e Dambrós, 2017). Por essa razão, a autonomia e a segurança alimentar também são comprometidas pela instabilidade do clima, a qual tem provocado secas prolongadas e inundações em algumas regiões, além do aumento de ocorrência de pragas e doenças, tornando a produção de alimentos muitas vezes insuficiente para o sustento das famílias (Calegari, 2023).

Em relação ao potencial produtivo, o Maranhão possui condições edafoclimáticas propícias para o desenvolvimento da agricultura. Todavia, este potencial se mantém parcialmente distante de ser alcançado devido às práticas de manejo empregadas, a exemplo da exploração do solo por meio do corte e da queima no modelo conhecido como “roça no toco” (Santos *et al.*, 2020).

A Roça no toco é uma atividade que majoritariamente utiliza a mão de obra familiar e tem como princípio o uso do corte e da queima, onde é feita a derrubada da vegetação (os pequenos agricultores chamam essa prática de encoivara) comumente sem a ajuda de maquinários. Após é realizado o aceiro e a limpeza que consiste na queima. Por último é feito o plantio das culturas que geralmente são anuais ou também agricultura de pousio. Ela é uma atividade agrícola frequentemente utilizada no estado do Maranhão por pequenos agricultores e constitui-se como uma das principais formas de subsistência das populações rurais (Rego; Kato, 2017).

Essa prática torna-se insustentável uma vez que as queimadas são sucessivas na mesma área, desta forma, esse sistema de cultivo precisa de um período de pousio (Rego; Kato, 2017). Todavia, pelas circunstâncias, os agricultores não conseguem deixar a área sem utilização e a prática da queima é repetida ano após ano, devido a utilização do fogo ser economicamente mais viável para pequenos agricultores.

Neste sentido, a adubação verde pode ser utilizada como uma alternativa e/ou complementar ao manejo adotado pelos agricultores, podendo ser implementada em diferentes arranjos, como cultura principal, em consórcio com a cultura de interesse ou durante períodos de pousio. A escolha da forma de utilização depende de fatores como solo, clima e sistema de cultivo, sendo necessário planejamento e manejo adequados para cada situação (Joshna *et al.*, 2024).

Assim, atividades produtivas como agricultura e pecuária, ausente de um manejo adequado, associadas a fatores climáticos, como chuvas, ventos e altas temperaturas, podem ocasionar danos ao solo (Silva *et al.*, 2021). Diante dessas circunstâncias, as plantas de cobertura de solo, se apresentam como uma tecnologia eficiente para melhorias, manutenção ou mesmo a recuperação gradativa da qualidade do solo. A maioria das espécies utilizadas mundo afora são da família das Fabaceae, Poaceae e Brassicaceae (Elhakeem *et al.*, 2019) que, podem ser mantidas na superfície ou incorporadas ao solo, atuando na reserva de nutrientes e produção de matéria orgânica (Bertolino *et al.*, 2021). Dessa forma, aliada ao sistema radicular, elas contribuem com os atributos químicos, físicos e biológicos, levando as culturas de importância econômica a se beneficiar de tais mudanças (Calegari, 2023).

Além dos benefícios citados anteriormente, algumas das plantas de cobertura de solo, através da fixação biológica de nitrogênio (FBN), fornecem ao sistema um dos elementos que as plantas necessitam em maior quantidade para o desenvolvimento e crescimento durante seu ciclo de vida (Joshna *et al.*, 2024). Esse fator é importante porque pode reduzir os custos de produção e minimiza o uso de insumos externos, por vezes, nocivos ao ambiente.

A literatura brasileira e internacional já possui muitas informações referentes ao uso de plantas de cobertura. Todavia, para o Estado do Maranhão, os estudos ainda são escassos com relação à adaptação dessas espécies. A maioria deles demonstra grande êxito no Cerrado, mas, especificamente para a região do Médio Mearim, não foram encontrados trabalhos relacionados.

É importante destacar que, para a introdução de técnicas que envolvem o uso de plantas de cobertura do solo, é necessário conhecimento prévio sobre as espécies mais adequadas a serem utilizadas, considerando as características da região e do clima.

A ausência dessa informação pode resultar em efeitos indesejados sobre as culturas em sucessão.

METODOLOGIA

A pesquisa foi desenvolvida no campo experimental “Horto”, pertencente à Universidade Federal do Maranhão no Centro de Ciências Bacabal (UFMA/CCBa) com a colaboração do Núcleo de Estudos em Agroecologia e Agricultura Orgânica (NEA) e o Programa de Educação Tutorial Conexões de Saberes/Educação do Campo (PET Educação do Campo). O Horto se situa na área da UFMA, próxima à BR-316, na cidade de Bacabal, cortada pelo Rio Mearim. Essa cidade está em uma zona de transição entre os Biomas Cerrado e Amazônico e faz parte da macrorregião do Médio Mearim (IBGE, 2023). Os solos predominantes nesta região são os Plintossolos e os Argissolos Vermelho eutrófico abrupto (Farias Filho *et al.*, 2019).

O delineamento experimental utilizado foi o inteiramente casualizado, com quatro repetições, em um esquema fatorial 3 x 2, sendo: três espécies de

plantas de cobertura e duas densidades de semeadura, totalizando uma área com 24 parcelas (Unidades Experimentais - UE). As espécies utilizadas foram: Crotalária juncea (*Crotalaria juncea* L), Feijão-de-porco (*Canavalia ensiformis* (L.) DC) e mucuna-cinza (*mucuna-cinza pruriens* (L.) DC).

A limpeza da área foi feita com uma roçadeira e, após essa etapa, foi realizado manualmente o preparo do solo e dos canteiros para receber as sementes.

Para a semeadura, realizada no dia 21/04/2021 para alcançar a densidade almejada (Quadro 1) foram feitos cálculos considerando o percentual germinativo e a pureza das sementes, informado nas embalagens, para cada espécie. Após chegar ao quantitativo de sementes foi acrescentado 20% para garantir o stand de plantas. Para a Crotalária juncea, o espaçamento utilizado entre linhas foi de 0,25 m, enquanto para as plantas de Feijão-de-porco e mucuna-cinza, o espaçamento foi de 0,4 m. Dez dias após a germinação, foi feito o desbaste até atingir as densidades desejadas.

Quadro 1. Densidades populacionais das espécies de plantas de cobertura em baixa densidade (BD) e em alta densidade (AD).

Tratamento	Espaço entre linhas (m)	plantas por metro linear		Plantas por hectare	
		BD	AD	BD	AD
Crotalária juncea	0,25	10	20	400.000	800.000
Feijão-de-porco	0,4	6	10	150.000	250.000
Mucuna-cinza	0,4	6	10	150.000	250.000

Baixa Densidade (BD), Alta Densidade (AD)

Marafon (2012) disserta sobre critérios para amostragem em pesquisas utilizando análise do crescimento de plantas pelo método funcional. Com base nas considerações do referido autor, foram realizadas sete coletas de dados, sendo aos 08, 23, 39, 56, 69, 83 e 104 dias após a emergência (DAE). Em cada amostragem e, para todos os tratamentos, foi coletada uma seção linear de 0,5 m, deixando uma bordadura de pelo menos 0,25 m entre os pontos de coleta, bem como a bordadura de linha de plantio entre cada linha de coleta.

Nos tratamentos de Crotalária juncea, foram retiradas 10 plantas para o tratamento de alta densidade (AD) e cinco plantas para o tratamento de baixa densidade (BD). Já para os tratamentos de Feijão-de-porco e mucuna-cinza foram coletadas cinco plantas para os tratamentos de alta densidade e três plantas para os tratamentos de baixa densidade.

Após a coleta, as plantas foram desfolhadas e medida a altura. A altura considerada foi aquela que vai desde o nível do solo até a inserção da última folha, assim como o comprimento dos ramos, que

considerou desde a base até a inserção da última folha do ramo.

As folhas foram digitalizadas com o auxílio de uma impressora multifuncional Canon® G3110 e organizadas em arquivos individuais correspondentes ao tamanho de uma folha A4. Assim, diversas unidades experimentais, devido ao grande volume de folhas, apresentaram um conjunto com dois ou mais arquivos. Após, foram pesadas em uma balança de precisão (centesimal) para obtenção do peso verde. Essas amostras foram direcionadas para uma estufa de circulação de ar forçado a 65 °C por no mínimo 72 horas ou até obter peso constante, aqui chamado de peso seco.

Para obtenção da área foliar, foi utilizado o programa “ImageJ”, o qual pode ser utilizado em substituição a um medidor fotoelétrico de área foliar (Martin *et al.*, 2020). Para tanto, se criou um documento em uma folha A4 com diferentes imagens, mas com tamanhos e áreas conhecidas, o qual foi utilizado para calibrar o programa. Em seguida, as imagens capturadas pela digitalização das folhas, foram transformadas em arquivos de imagem, tomando o cuidado para manter o tamanho e a relação com uma folha A4.

Dentro do programa ImageJ, cada arquivo foi preparado, transformando as imagens em figuras em escala de cinza com 8 bit e, posteriormente, ajustada (pela função Threshold) para um intervalo que pegasse a totalidade do espectro informado pelo programa. Por fim, cada arquivo foi submetido para a função *analyze* do programa que forneceu a área, em cm², de cada arquivo. Para unidades experimentais que continham mais de um arquivo, para se obter a área foliar, os valores foram somados. Importante mencionar que somente foram executadas as análises depois que a calibração do programa apresentou um erro inferior a 0,5%.

De posse dos dados de área foliar, altura e peso da fitomassa seca da parte aérea das plantas, estes foram levados para testes de Kaiser-Meyer-Olkin (KMO) e de Esfericidade de Bartlett, para testar a independência e correlações entre as variáveis. Os testes foram realizados no programa estatístico SPSS 22® e confirmaram o ajuste dos dados à Análise Fatorial Exploratória (Chaves *et al.*, 2022).

A análise de variância dos dados primários, realizada para auxiliar na interpretação do

crescimento das plantas pelo método funcional, foi conduzida utilizando o delineamento de blocos causalizados, no esquema de subparcela no tempo, em um experimento fatorial 8 x 6. Foram considerados os fatores, tratamentos e dias após a emergência (DAE) das plantas de adubação verde, com os tratamentos desdobrados em cada DAE. A comparação das médias entre os tratamentos foi realizada por meio do teste de Tukey ($\alpha = 5\%$) para cada época de coleta, conforme predição de Araújo (2003). Para tanto se utilizou o pacote estatístico SISVAR 5.7 (Ferreira, 2019)

Após análise de variância, os dados foram avaliados utilizando o método funcional de análise do crescimento vegetal (Cairo *et al.*, 2008; Vidigal *et al.*, 2021). Os dados originais foram transformados utilizando o logaritmo neperiano para minimizar os efeitos de heterocedasticidade, naturalmente presente pela diferença dos dados entre as coletas no início e ao final do experimento (Araújo, 2003). Foram aplicadas funções polinomiais de 2º grau aos dados de Matéria Seca (MS), Índice de Área Foliar (IAF) e altura. Foi escolhido este modelo, por mostrar os melhores ajustes, com coeficiente de determinação (R²) acima de 83,6%, e adequação à expectativa biológica dos parâmetros avaliados.

Das funções ajustadas se retiraram os coeficientes (A, B e C) e foram aplicados a função exponencial $X = \exp\left[\frac{f_0}{T}(A+B+CT^2)\right]$, para calcular os valores instantâneos (Cairo *et al.*, 2008).

Onde: X é a variável desejada; A, B, C são coeficientes obtidos nos ajustes e T, representa o tempo em dias após a emergência (DAE).

A partir dos dados ajustados foram calculadas taxas como: Taxa de Crescimento da Cultura (TCC); taxa de assimilação líquida (TAL) e a Taxa de Crescimento Relativo (TCR), segundo Cairo *et al.* (2008).

RESULTADOS E DISCUSSÕES

Os resultados evidenciam que independente da densidade de semeadura, a Crotalaria juncea foi a cultura que mais produziu matéria seca, diferindo estatisticamente de todas as outras (Tabela 1). Esse fator resultou em maiores acúmulos de biomassa pela espécie, que consequentemente proporcionou maior cobertura durante as avaliações.

Tabela 1. Produtividade de matéria seca dos adubos verdes, crotalária juncea, feijão-de-porco e mucuna-cinza nas duas densidades de sementes.

Tratamentos	Densidades de sementeira (kg ha ⁻¹)		Média (kg ha ⁻¹)
	Alta	Baixa	
Crotalária juncea	16048,500aA	10118,000bA	13083,250A
Feijão-de-porco	7559,250B	6986,750B	7273,000B
mucuna-cinza	9385,500aB	4723,000bB	7054,250B
	10997,750a	7275,917b	

Médias seguidas de letras maiúsculas na coluna e minúscula na linha não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey 5% de probabilidade.

A superioridade da Crotalária juncea frente às demais espécies já era esperada, pois esta cultura tem alto potencial de produção de biomassa com valores que diferem de outras espécies (Pereira *et al.*, 2016), com valores que frequentemente ultrapassam 10.000 kg ha⁻¹. Quando comparada a densidade de sementeira, a crotalária teve maior eficiência de produção de matéria seca nas duas densidades, com acúmulo de 15.624 kg ha⁻¹ para alta densidade e 14,303 kg ha⁻¹ em baixa densidade.

Estes mesmos autores compararam diferentes épocas de sementeira, para as espécies mucuna-cinza, crotalária juncea e guandu, objetivando entender o comportamento dessas espécies em diferentes períodos, na região de Pariquerá-Açu SP. Verificou-se que a crotalária juncea obteve melhor resultado quando semeada em novembro. Para janeiro, fevereiro e março, a redução de matéria seca foi bastante significativa, induzindo sensibilidade da espécie ao fotoperíodo, quando os dias são mais curtos (Pereira *et al.*, 2016).

Resultados inferiores aos encontrados neste estudo foram relatados por Pfuller (2019), que observou produtividades de 732,2; 497 e 470 kg ha⁻¹ para mucuna-cinza-cinza, crotalária-juncea e feijão-de-porco, respectivamente. Uma possível explicação para essa discrepância pode estar relacionada às condições climáticas, uma vez que o autor menciona que, mesmo nos períodos mais quentes, a temperatura máxima registrada na região estudada por ele foi de somente 22 °C. Em contraste, na região do Médio Mearim, as temperaturas máximas durante os períodos quentes ultrapassam os 30 °C. Considera-se, portanto, que as espécies avaliadas neste estudo

apresentaram desempenho satisfatório nas condições locais.

A produção de matéria seca reflete uma boa cobertura de solo ao sistema, contribuindo para fornecer proteção contra os fatores erosivos e aumentar a atividade microbiana (Bertolino *et al.*, 2021). Neste caso, vários trabalhos atestam a potencialidade das espécies trabalhadas nesse ensaio para o acúmulo e aporte de nutrientes ao solo, como: Bortoluzzi *et al.* (2019) e Sousa (2017).

A produção eficiente de matéria seca pela crotalária pode estar associada ao fotoperíodo, uma vez que essa espécie responde a esse estímulo. No entanto, tal fator não parece ter influenciado significativamente a produção na região estudada. Por sua vez, o feijão-de-porco, que apresentou produtividade inferior à da mucuna-cinza, pode ter tido seu desempenho comprometido em razão da disposição sobreposta de suas folhas, favorecendo o sombreamento e, consequentemente, reduz a produção de matéria seca.

Sabe-se que o crescimento por si só não é um fator determinante para a avaliação da adaptação da espécie no local proposto, é somente uma variável importante. Contudo, neste estudo a altura foi um fator determinante para a avaliação do desempenho das plantas no solo estudado de modo a prever a viabilidade. Neste sentido, na tabela 2 estão apresentados os valores obtidos para a altura.

O adubo verde mucuna-cinza foi a espécie que teve maior êxito no crescimento, tanto na alta quanto na baixa densidade, atingindo 370,75 cm e 338,25 cm respectivamente (Tabela 2). Cabe ressaltar que, para essa espécie, foi tratado como altura o comprimento da rama.

Tabela 2. Valores médios de altura em função dos adubos verde, crotalária juncea, feijão-de-porco e mucuna-cinza nas densidades de sementeiras altas e baixas (Médio Mearim, MA, 2021).

Tratamentos	Densidades de sementeira (cm)		Média (cm)
	Alta	Baixa	
Crotalária juncea	220,75aB	251,00aB	235,88b
Feijão-de-porco	119,25aC	136,50aC	127,88c
mucuna-cinza	370,75aA	338,25aA	354,50a
	236,92a	241,92a	

Médias seguidas de letras maiúsculas na coluna e minúscula na linha não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey 5% de probabilidade.

Se avaliar este parâmetro sobre seu comportamento ao longo do período, conforme apresentado no Figura 1.B, a mucuna-cinza apresentou decréscimo (quando cultivada em baixa densidade) o que provavelmente é um reflexo do método utilizado, contudo, não foi uma diferença significativa. Essa espécie apresentou diferença estatística significativa quanto ao Feijão-de-porco e a crotalária juncea.

Esta já era uma situação esperada por ser uma planta de hábito rasteiro e crescimento inicial rápido, porém, apresentou fragilidade em algumas circunstâncias durante o manejo. Ela quebra com

facilidade, ocasionando assim perda de partes da planta, o que pode ter influenciado nos resultados de crescimento e biomassa.

A crotalária juncea foi a espécie que apresentou segundo maior crescimento tanto na alta quanto na baixa densidade, neste caso, não apresentaram diferenças estatísticas significativas entre si, porém, apresentou diferenças do feijão-de-porco nas duas densidades de sementeiras conforme Tabela 3. O feijão-de-porco obteve na densidade alta e baixa 119,25 cm e 136,50 cm, respectivamente. Com menor desempenho no maior adensamento de plantas (Figura 1.B) que pode ter sido causado por alguma espécie de competição.

Tabela 3. Índice de área foliar (IAF) com valores médios em função dos adubos verde - espécies crotalária juncea, feijão-de-porco e mucuna-cinza nas duas densidades de sementeiras (Médio Mearim, MA, 2021).

Tratamentos	Densidades de sementeira ($\text{m}^2 \text{m}^{-2}$)		Média ($\text{m}^2 \text{m}^{-2}$)
	Alta	Baixa	
Crotalária juncea	2,50aB	1,75bB	2,13b
Feijão-de-porco	4,75aA	4,25aA	4,50a
mucuna-cinza	5,50aA	4,00bA	4,75a
	4,25a	3,33b	

Médias seguidas de letras maiúsculas na coluna e minúscula na linha não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey 5% de probabilidade.

A altura revela as taxas de crescimento no porte da planta, indicando maior potencial na produção de biomassa e sombreamento do solo, o que pode inibir o crescimento de plantas espontâneas na área, assim como ocorreu com a espécie crotalária juncea (Oliveira *et al.*, 2021). Esse mesmo autor, encontrou para crotalária, 368 cm e 14,1 t ha⁻¹ de matéria seca. Somente a mucuna-cinza em baixa densidade alcançou valores parecidos para altura neste trabalho.

Conforme os resultados obtidos para índice de área foliar (IAF), a mucuna-cinza em densidade alta apresentou IAF com 5,5 $\text{m}^2 \text{m}^{-2}$, porém, não diferiu estatisticamente ($p < 0,05$) do feijão-de-porco na mesma densidade de sementeira que apresentou o segundo melhor desempenho com IAF médio de 4,75

$\text{m}^2 \text{m}^{-2}$ (Figura 1.C). Na densidade baixa, as mesmas espécies apresentaram desempenho com a mesma tendência, assim, não diferiram estatisticamente entre si (Tabela 3).

Já a crotalária juncea apresentou menor IAF (Tabela 3), o que pode ser explicado pelas características das folhas. Todavia, o IAF encontrado ao final do período estudado, é similar aos obtidos por Lima (2021), que trabalhando com diferentes espécies de plantas para adubação verde no estado de Roraima, encontrou valores abaixo de 2,5 $\text{m}^2 \text{m}^{-2}$.

Ao observar as curvas de IAF (Figura 1.C), vê-se que para esta mesma espécie, em torno de 40 DAE, se obteve um IAF entre 3,5 e 4,0 $\text{m}^2 \text{m}^{-2}$. Essa situação pode estar relacionada ao crescimento e perda de folhas por planta, especialmente na parte

inferior que, com o crescimento, a copa interfere na incidência de luz nas folhas mais próximas do caule.

Comportamento do crescimento dos adubos verdes

A biomassa produzida pelas plantas de cobertura é um importante componente associado a questões de proteção do solo e promoção de melhorias em propriedades químicas, físicas e biológicas do solo, com reflexos na produtividade e sustentabilidade dos agroecossistemas (Algeri *et al.*, 2018). Em relação à biomassa dos tratamentos utilizados, é possível constatar na Figura 1.A que a crotalária juncea em ambas as densidades populacionais apresentou maiores teores de produções.

Seguido da crotalária juncea, o feijão-de-porco foi a espécie que mais produziu biomassa, sobretudo em densidade alta. Em contrapartida, é prudente destacar que em densidade menor, teve melhor expressividade entre 69 e 83 DAE com produção de matéria seca de $726,75 \text{ g m}^{-2}$ e 837 g m^{-2} (Figura 1.A). Tais resultados demonstram que o adensamento de plantas não interferiu na primeira etapa de crescimento, uma vez que as plantas competem por água, luz e nutrientes.

Um destaque interessante apresentado na Figura 1.A é o comportamento linear da mucuna-cinza em alta densidade, cuja produção de biomassa não apresentou declínio mesmo aos 105 dias após a emergência (DAE). Isso sugere que o período utilizado para a avaliação do crescimento não foi suficiente para alcançar a máxima produção de biomassa da parte aérea. O referido tratamento apresentou bom rendimento inicial de biomassa, superando os demais tratamentos até 20 DAE. Esse comportamento pode estar relacionado ao hábito de crescimento prostrado da leguminosa.

Por outro lado, em baixa densidade, o tratamento demonstrou menor rendimento de biomassa, aparentemente comprometido pelo ataque de pragas e pela competição com plantas espontâneas. Esse resultado diverge dos encontrados por Da Macena *et al.* (2020), que, em estudo realizado com agricultores maranhenses, observaram que essa espécie apresenta grande potencial para suprimir plantas espontâneas. Outra possível causa para o mau desenvolvimento é o déficit hídrico, uma vez que as

plantas foram cultivadas fora do período chuvoso e não houve sistema de irrigação disponível.

No experimento conduzido por Sousa (2017), eles constataram que o feijão-de-porco conseguiu se sobressair em relação as outras plantas na produção de biomassa, tanto verde quanto seca, contudo, as maiores taxas de biomassa encontradas neste trabalho foram para crotalária juncea.

Para os resultados de IAF, inicialmente as plantas apresentam rápida expansão após a germinação e vai atingindo o pico segundo o crescimento, porém, em um dado momento esse índice começa a decrescer devido ao processo natural de senescência da planta, podendo ser observado na Figura 1.C em todas as espécies, especialmente para a crotalária juncea e feijão-de-porco.

Observa-se o maior índice de área foliar nos tratamentos com feijão-de-porco no período de crescimento da planta que compreende aproximadamente 30 e 85 DAE para as duas densidades de semeadura (Figura 1.C). Isto pode ser explicado pelo tamanho das lâminas foliares que vai ao encontro das proposições de Cairo *et al.*, (2008), os quais dizem que quanto maiores forem as folhas, mais sombreamento no terreno é proporcionado, uma vez que o índice de área foliar (IAF) é a relação entre a área das lâminas foliares e da superfície do terreno por elas sombreadas.

Um fator importante a ser destacado é a taxa linear de crescimento da mucuna-cinza nas duas densidades, dado ao fato que o IAF não decaiu, com exceção da densidade baixa que apresentou uma queda tímida ao final para 4 m m^{-2} (Figura 1.C).

Como o hábito de crescimento da mucuna-cinza é prostrado, o autossombreamento nesta espécie pode ter sido menos intenso. Além disso, os dados relativos ao acúmulo de biomassa (Figura 1.A) sugerem que o período utilizado para avaliação desta espécie, para a região, não foi suficiente, uma vez que, comparada com as outras plantas, ela não atingiu floração e acabou não entrando na fase de senescência.

Com relação à Taxa de Crescimento Relativo (TCR), as leguminosas apresentaram declínios na acumulação de matéria seca no decorrer de todo o ciclo de todas as espécies nas duas densidades de semeadura (Figura 1.D). As crotalárias apresentaram maiores conversões.

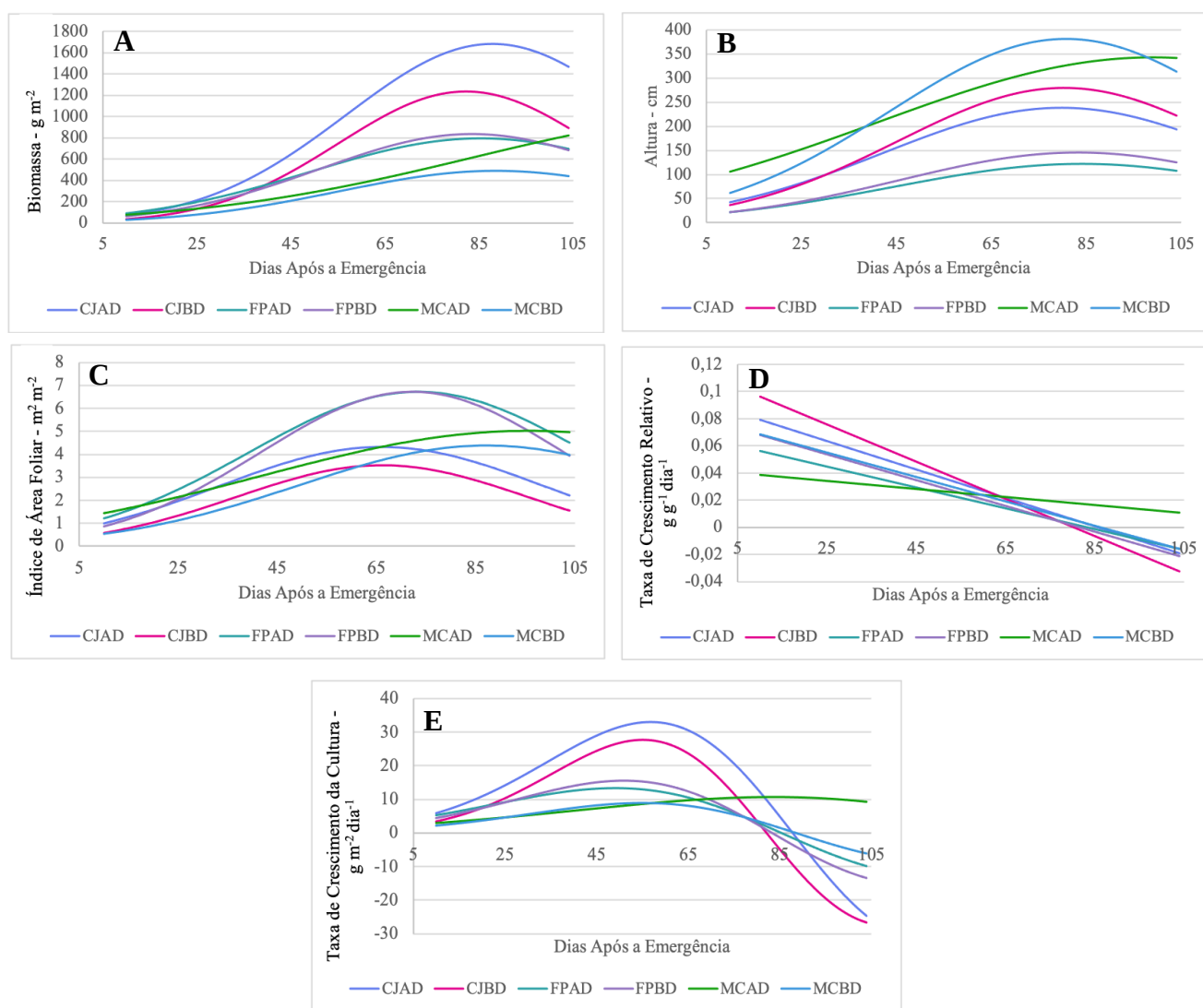


Figura 1. Acúmulo de biomassa da parte aérea (matéria seca) de plantas de cobertura do solo em diferentes densidades populacionais (A). Valores de altura (cm) (B), Índice de Área Foliar (IAF) (C), Taxa de crescimento relativo (D) e Variação de Taxa de Crescimento da Cultura (TCC) (E) para crotalária juncea, feijão-de-porco e mucuna-cinza em diferentes densidades de sementes dos adubos verdes.

A TCR reflete o aumento da matéria seca em função do tamanho inicial da planta (Cairo *et al.*, 2008). Reduções na TCR estão geralmente associadas ao acúmulo contínuo de matéria seca ao longo do desenvolvimento da planta, ao declínio na taxa de produção de biomassa, bem como ao aumento da atividade respiratória e ao autossombreamento. Assim, à medida que as plantas adquirem crescimento, ocorre o aumento no processo respiratório, implicando em maior exigência da fotossíntese para o atendimento das necessidades metabólicas das plantas (Peixoto e Peixoto, 2009).

Por outro lado, a mucuna-cinza apresentou menor inserção de matéria seca em relação ao seu

peso inicial até aproximadamente 65 DAE, quando superou as outras espécies, sendo aquela a única que não atingiu valores abaixo de zero.

Lima (2021), ao analisar o crescimento de leguminosas na Savana de Roraima, observou valores de TCR para as cultivares Crotalária juncea e feijão-de-porco semelhantes aos obtidos para esta última espécie no presente estudo, que apresentou TCR próxima de 0,01 g g⁻¹ dia⁻¹ aos 60 dias DAE (Figura 1.D). Sousa (2017) também verificou decréscimos na TCR para todos os espaçamentos avaliados em cultivos de milho no Maranhão. No espaçamento de 1,0 metro, a curva de TCR apresentou comportamento semelhante ao da mucuna-cinza em

alta densidade no presente estudo, com um decréscimo menos acentuado e valor aproximado de $0,01 \text{ g g}^{-1} \text{ dia}^{-1}$ (Figura 1.D).

A Taxa de Crescimento da Cultura (TCC) é diretamente proporcional à quantidade de fitomassa produzida pelas plantas de uma mesma comunidade vegetal. De acordo com Cairo (2008), a TCC pode ser definida como a relação entre o incremento de matéria seca por unidade de área e o tempo decorrido, refletindo, portanto, a produtividade da cultura ao longo do seu ciclo de desenvolvimento.

Nesse sentido, observa-se na Figura 1.E que a *Crotalaria juncea* apresentou os maiores valores de TCC, tanto em alta quanto em baixa densidade. O feijão-de-porco foi a espécie com o segundo melhor desenvolvimento em relação à TCC, mantida em boa parte do ciclo de vida das plantas nas duas densidades, desde os 10 DAE até cerca de 60 dias, quando atinge seu pico. A partir desse momento, a TCC começa a declinar, chegando inclusive a apresentar valores negativos (Figura 1.E).

A *Crotalaria juncea* tem rápido crescimento inicial, que associada à sua maior densidade populacional consegue promover uma maior TCC em relação às outras espécies. Por sua vez, este rápido crescimento associado ao porte ereto (crescimento vertical) resulta em um sombreamento nas folhas inferiores, ocasionando a senescência destas e, posterior desprendimento da planta, chegando a um momento, posterior aos 60 DAE, onde a TCC começa a apresentar um decréscimo progressivo, chegando a valores negativos após 85 DAS, momento em que a taxa de aparecimento de novas folhas é menor do que a taxa de perdas das folhas inferiores. Este comportamento é similar ao encontrado por Sousa (2017) que trabalhou com diferentes densidades de semeadura de milho refletindo em uma TCC regressiva.

O pico de TCC atingido pela *crotalaria* ocorreu entre os dias 50 e 60 após a emergência, e logo após começou a decair drasticamente, conferindo-lhe boa cobertura de solo, período ao qual a espécie já atingia 50% de floração (Figura 1.E). Esse resultado é concomitante aos encontrados por Lima (2021) no ano de 2014, bem como no que diz respeito ao estabelecimento mais rápido para esta espécie e Feijão-de-porco.

Esse processo ocorre para todas as espécies principalmente para *Crotalaria* e Feijão-de-porco, pois, após as plantas atingirem certo tamanho, elas começam a se autossombrear, bem como entram no

processo de senescência e perdem tecidos vegetais, assim, a interceptação de luz pela área foliar diminui, impactando diretamente no acúmulo de matéria seca (Peixoto e Peixoto, 2009).

Estes valores encontrados para *crotalaria juncea* nas duas densidades de semeaduras, são condizentes com os valores de biomassa produzida pela espécie durante as avaliações, onde ela apresenta crescimento rápido a partir do 25ª DAE (Figura 1.E). Se espera que para ocorrer um rápido crescimento se tenha um considerável aparato fotossintético, expresso pelo IAF. Os tratamentos com maiores IAFs foram o feijão-de-porco em ambas as densidades estudadas. Todavia não apresentaram os maiores TCC.

Na avaliação das taxas de assimilação líquida (TAL), das três espécies estudadas em duas densidades de semeaduras, infere-se que a *crotalaria juncea*, teve comportamento similar em ambas as densidades (Figura 2), ou seja, conseguiram até os 65 DAE vantagens em incremento de matéria seca por unidade foliar (fator este que pode ser conferido na produção de biomassa, conforme Tabela 1), quando então obtiveram queda das curvas ao atingiram fase vegetativa.

Já a espécie feijão-de-porco e mucuna-cinza tiveram semelhanças na fotoassimilação até os 65 e 70 DAE, momento este ao qual a mucuna-cinza em alta densidade se destaca por apresentar linearidade, enquanto as curvas para feijão alta e baixa densidade e mucuna-cinza densidade baixa, decaem a valores negativos.

O comportamento observado em todas as espécies atribui boa capacidade das plantas jovens realizar fotossíntese nos primeiros 40 DAE, uma vez que a TAL reflete a capacidade das plantas em aumentar a sua matéria seca diante da superfície assimilatória. Lima (2021) encontrou resultados semelhantes para a espécie, quando aos 21 dias após a emergência, obteve $11,40 \text{ g m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$ no ano de 2014 para a *Crotalaria juncea*, enquanto, no presente estudo, no mesmo período foram encontrados valores próximos de $10 \text{ m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$.

Sousa (2017) trabalhando com diferentes espaçamentos de milho, encontrou aumento das curvas para TAL em espaçamentos que havia uma maior população de plantas até os 40 dias, para a região do Médio Mearim, os resultados foram melhores para os canteiros com menor densidade de plantas. Isso sugere que em maiores densidades, as

espécies exerceram algum tipo de competição entre si (água, luz e nutriente).

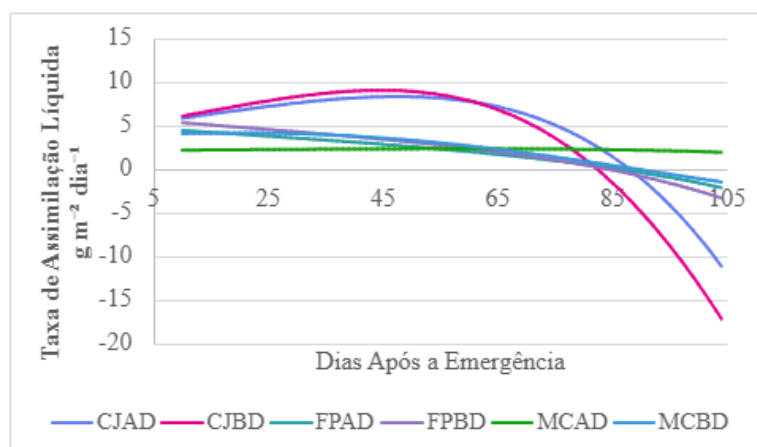


Figura 2. Taxa de assimilação líquida para as espécies de crotalária juncea , feijão-de-porco e mucuna-cinza.

CONCLUSÃO

Para matéria seca, a crotalária juncea mostrou ser a espécie mais eficiente para a utilização de adubo verde para a região do Médio Mearim quando semeada após o período de chuvas, independente da densidade de semeadura, resultando em altos índices de biomassa.

A crotalária juncea apresentou os melhores parâmetros morfofisiológicos (produção de biomassa aérea, TCR, TCC e TAL) para as condições edafoclimáticas do Médio Mearim.

A inflexão da curva de produção de biomassa para a crotalária mostra que esta espécie foi a que mais sofreu impactos pelo autossombreamento.

Os maiores valores para índices de área foliar foram obtidos pela mucuna-cinza e pelo feijão-de-porco. Os resultados sugerem que o período de avaliação utilizado não foi suficiente para avaliar todos os estádios ontogênicos da mucuna-cinza.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Algeri, A. C.C.; Vilar, S.Y.; Ushiwata, Y. & R.G.E. Reis. 2018. Produção de biomassa e cobertura do solo por milheto, braquiária e crotalaria cultivados em cultura pura e consorciados. **Global Science and technology**. Rio Verde 11(2): 112-125.

Araújo, A. P. (2003). Análise de variância dos dados primários na análise de crescimento vegetal. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, 38 (1): 1-10. <https://doi.org/10.1590/S1678-3921.pab2003.v38.6537>.

Bertolino, K. M.; Duarte, G. R. B.; Vasconcelos, G. M. P. de V. e, & Botrel, Élderis P. (2021). Desempenho de crotalária consorciada com milheto na produção de biomassa. **ForScience**, 9(1): e00895. <https://doi.org/10.29069/forscience.2021v9n1.e895>.

Bortoluzzi, M. P.; Leonardi, M.; Heldwein, A.; Silva, J. R. (2019). Crescimento, acúmulo de fitomassa e produtividade do “feijão-de-porco” em diferentes datas de semeadura. **Revista de Ciências Agrárias Amazonian Journal of Agricultural and Environmental Sciences**, 62(28). <http://dx.doi.org/10.22491/rca.2019.3040>.

Cairo, P. A. R.; Oliveira, L. E. M. De & Mesquita, A. C. **Análise de Crescimento de Plantas**. Vitória da Conquista: UESB, 2008.

Calegari, A. (2023). Benefícios do uso de adubos verdes como garantia de sustentabilidade e aumento da biodiversidade dos sistemas agrícolas. In: Lima Filho, O. F. de; , E. J.; Wutke, E. B. Rossi, F., & Donizeti Carlos, J. A. (editores técnicos). **Adubação**

verde e plantas de cobertura no Brasil. 1(2), 2. ed. Brasília, DF : Embrapa, 2023, p 17-34.

Caporal, F. R. & Dambrós, O. (2017). Extensão Rural Agroecológica: experiências e limites. **REDES: Revista de Desenvolvimento Regional**, 22(2): 275-297. <https://doi.org/10.17058/redes.v22i2.9352>.

Chaves, T. G.; Dal Maso, A. B.; Figueiredo, A. M. R. & Dallemole, D. (2022). Indicador de desempenho competitivo: análise da produção de milho no estado de Mato Grosso como fator determinante do desenvolvimento competitivo territorial. **Desafio Online**, 10(2): 337-360. <https://doi.org/10.55028/don.v10i2.12195>.

Da Macena, C. V. S. P.; Cardoso, M. P.; Santos, L. L. O.; Santos, R. N. V., & Silva, M. R. M. (2020). Efeitos de leguminosas sobre as plantas espontâneas. **Cadernos de Agroecologia**, 15(2). Disponível em: <https://cadernos.aba-agroecologia.org.br/cadernos/article/view/4345>. Acesso em: 12 jun 2025.

Elhakeem, A., van der Werf, W.; Ajal, J.; Lucà, D.; Claus, S.; Vico, R. A., & Bastiaans, L. (2019). Cover crop mixtures result in a positive net biodiversity effect irrespective of seeding configuration. **Agriculture, Ecosystems & Environment**, 285: 106627. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2019.106627>.

Farias Filho, M. S.; Júnior, J. L. D. S. M.; de Macedo, L. T. D. S., & de Lima Santos, A. (2019). Análise da produção agrícola no município de Bacabal, MA. **Revista da Casa da Geografia de Sobral (RCGS)**, 21(2): 806-815. <http://dx.doi.org/10.35701/rcgs.v21n2.533>.

Ferreira, D. F. (2019). SISVAR: a computer analysis system to fixed effects split plot type designs. **Brazilian Journal of Biometrics**, 37(4): 529-535. <https://doi.org/10.28951/rbb.v37i4.450>.

IBGE (Brasil). IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. In: IBGE: Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. 2023. Disponível em: <https://cidades.ibge.gov.br/brasil/ma/bacabal/panorama>. Acesso em: 20 jul. 2025.

Joshna, A.; Bokado, K., & Barkha. (2024). Green Manure for Sustainable Crop Production: A Review.

International Journal of Environment and Climate Change, 14(5): 147-156. <https://doi.org/10.9734/ijecc/2024/v14i54177>.

Lima, J. P. P.; Silva, E. E. da, & Pereira, A. (2021). **Análise quantitativa de crescimento em leguminosas para adubação verde na savana de Roraima**. - Portal Embrapa. 1. Disponível em: <http://www.alice.cnptia.embrapa.br/alice/handle/doc/1133373>. Acesso em: 25 jun. 2025.

Marafon, A. C. (2012). **Análise quantitativa de crescimento em cana-de-açúcar: uma introdução ao procedimento prático**. Aracaju: Embrapa Tabuleiros Costeiros, 29 p. (Documentos / Embrapa Tabuleiros Costeiros, ISSN 1678-1953; 168). Disponível em http://www.cpatc.embrapa.br/publicacoes_2012/doc_168.pdf Acesso em: 20 jun 2025.

Martin, T. N., Fipke, G. M., Winck, J. E. M., & Márchese, J. A. (2020). Software ImageJ como metodo alternativo para estimar area foliar en avena. **Acta Agronomica**, 69(3), 162-170. <http://dx.doi.org/10.15446/acag.v69n3.69401>.

Oliveira, M. W.; Nascif, C.; Oliveira, T. B. A.; Rodrigues, T. C.; Assis, W. O.; Santos, D. D. F., & Moura, S. C. D. S. (2021). Adubação verde com crotalaria juncea em áreas de implantação ou reforma de canaviais, em pequenas propriedades rurais. **Extensão Rural: práticas e pesquisas para o fortalecimento da agricultura familiar**, 2; 45-66. <https://doi.org/10.37885/201102246>.

Peixoto, C. P. & Peixoto, M. F. S. P. (2009). Dinâmica do crescimento vegetal: princípios básicos. **Tópicos em ciências agrárias**, 38. Disponível em https://www.ispsn.org/sites/default/files/documentos-virtuais/pdf/topicos_em_ciencias_agrarias.pdf#page=39. Acesso em: 25 jun 2025.

Pereira, N. S., Soares, I., & de Miranda, F. R. (2016). Biomass and nutrient accumulation of leguminous green manure species in the Jaguaribe-Apodi region, Ceará, Brazil. **Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável**, 11(2), 11-14. <http://dx.doi.org/10.18378/rvads.v11i2.3945>.

Pfüller, E. E.; Santos, D. B.; Aries, R. F., & Samaniego, M. D. P. G. (2019). Aspectos fenológicos

- e produtividade de espécies de verão para cobertura de solo em Vacaria, RS. **Investigación Agraria**, 21(1): 23-30. <http://dx.doi.org/10.18004/investig.agrar.2019.junio.23-30>.
- Rego, A. K. C. & Kato, O. R. (2017). Agricultura de corte e queima e alternativas agroecológicas na Amazônia. **Novos Cadernos NAEA**, 20(3): 203-224. <http://dx.doi.org/10.5801/ncn.v20i3.3482>.
- Santos, I. P.; Carneiro, M.S.; Mattos, J.S. & Furtado, C.U. (2020). Agricultura Familiar no Maranhão: Uma breve análise do censo agropecuário 2017. **Revista Econômica do Nordeste**, 51 (Suplemento Especial): 55-70. <https://doi.org/10.61673/ren.2020.1262>.
- Silva, M. O.; Santos, M.P.; Sousa, A.C.P.; Silva, R.L.V.; Moura, I.A.; Silva, R.S. & Costa, K.D.S. (2021). Qualidade do solo: indicadores biológicos para um manejo sustentável. **Brazilian Journal of Development**, 7(1): 6853-6875. <https://doi.org/10.34117/bjdv7n1-463>.
- Sousa, D. P. De (2017). **Análise de crescimento de milho em função de diferentes arranjos populacionais no baixo Parnaíba Maranhense** (Dissertação de mestrado). Chapadinha: Universidade Federal do Maranhão. Disponível em: <https://monografias.ufma.br/jspui/handle/123456789/1374>. Acesso em: 14 jun 2025.
- Vidigal, S. M.; Puiatti, M. & Sedyama, M. A. N. (2021). Análise de crescimento e partição de fotoassimilados em plantas de abóbora híbrida Tetsukabuto submetidas a doses de nitrogênio. **Científica**, 49(1): 42-50. <https://doi.org/10.15361/1984-5529.2021v49n1p42-50>.