

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE ALAGOAS
CAMPUS DE ENGENHARIAS E CIÊNCIAS AGRÁRIAS
CURSO DE AGRONOMIA**

CLEITON DE ANDRADE PATRÍCIO

**CRESCIMENTO E ACÚMULO DE NUTRIENTES PELAS *CROTALÁRIAS JUNCEA*
*E SPECTABILIS***

RIO LARGO-AL

2023

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE ALAGOAS
CAMPUS DE ENGENHARIAS E CIÊNCIAS AGRÁRIAS
CURSO DE AGRONOMIA**

CLEITON DE ANDRADE PATRÍCIO

**CRESCIMENTO E ACÚMULO DE NUTRIENTES PELAS CROTALÁRIAS *JUNCEA*
*E SPECTABILIS***

Trabalho de Conclusão de Curso
apresentado ao Campus de
Engenharias e Ciências Agrárias
como parte dos requisitos para
obtenção do título de Engenheiro
Agrônomo. Sendo defendido no
dia 03/08/2023.

Prof. Orientador Dr. Mauro Wagner de Oliveira

**RIO LARGO-AL
2023**

Catálogo na fonte
Universidade Federal de Alagoas
Biblioteca do Campus de Engenharias e Ciências Agrárias
Bibliotecária Responsável: Myrtes Vieira do Nascimento

P314c Patrício, Cleiton de Andrade

Crescimento e acúmulo de nutrientes pelas crotálarias *juncea* e *spectabilis*. / Cleiton de Andrade Patrício – 2023.
31f.; il.

Monografia de Graduação em Agronomia (Trabalho de Conclusão de Curso) – Universidade Federal de Alagoas, Campus de Engenharias e Ciências Agrárias. Rio Largo, 2023.

Orientação: Dr. Mauro Wagner de Oliveira

Inclui bibliografia

1. Agricultura. 2. Sustentabilidade. 3. Sistemas de produção.
I. Título

CDU: 631

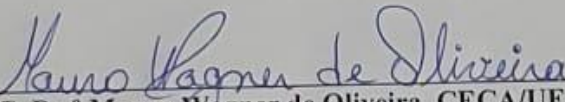
FOLHA DE APROVAÇÃO

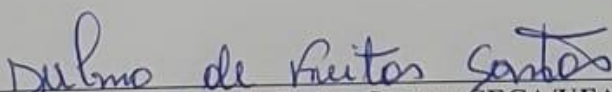
CLEITON DE ANDRADE PATRÍCIO

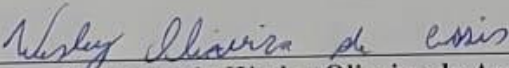
CRESCIMENTO E ACÚMULO DE NUTRIENTES PELAS CROTALÁRIAS
JUNCEA E SPECTABILIS

Trabalho de Conclusão de
Curso, apresentado à
Coordenação do Curso de
Graduação em Agronomia,
da Universidade Federal de
Alagoas, para obtenção do
Título de Engenheiro
Agrônomo. Sendo aprovado
dia 03/08/2023.

Banca Examinadora:


Prof.º Dr.º Mauro Wagner de Oliveira, CECA/UFAL (orientador)


Mestrando Dalmo de Freitas Santos, CECA/UFAL


Doutorando Wesley Oliveira de Assis, CECA/UFAL

Dedico esse trabalho a Deus e à minha família.

AGRADECIMENTOS

Ao longo desses anos Deus esteve sempre presente em minha vida e fez coisas incríveis por mim, me capacitou, deu força, ânimo e coragem para lutar por esse sonho. A Ele devo toda minha gratidão.

À UFAL Campus CECA e toda sua direção pelos recursos e o apoio que recebi ao longo do curso.

Me emociono ao mencionar a importância de minha mãe nessa etapa da minha vida. Sou grato por suas orações, conselhos e pelo apoio que me levantaram por diversas vezes, obrigado Marinalva!

Reconheço o esforço e dedicação do meu orientador Prof. Dr. Mauro Wagner de Oliveira, agradeço profundamente pelo conhecimento transmitido, pela paciência e dedicação ao ensino, serei eternamente grato.

À toda minha família e amigos deixo meu agradecimento pela força e torcida para que eu chegasse até aqui.

Em especial ao meu Pai, Cícero por sempre acreditar e confiar em mim.

Ao longo dos anos de graduação conheci pessoas maravilhosas, fiz amizades que levarei para a vida, em especial, Raul Passos, Ayrton Lima, Jair Quintela, Vitor Almeida, Amanda Ferreira, Ana Caroline, Nathaly Oliveira, João Lamenha. Foram 5 anos de muitos desafios e muita descontração, por isso para sempre serão especiais e nunca esquecidos.

Aos meus irmãos de coração, Dalmo Freitas e Marcos Cesar os devo gratidão eterna, pois foi com vocês dois que sonhei a realização desse grande sonho, de um dia ser Eng. Agrônomo, e aqui estamos prestes a finalizar essa etapa. Obrigado por tudo!

Às pessoas que de alguma forma me ajudaram a conquistar esse título, deixo aqui meu reconhecimento e gratidão!

RESUMO

As crotalárias *juncea* e *spectabilis* tem sido muito utilizadas na adubação verde, devido, principalmente, ao fato de incorporarem grandes quantidades de N ao solo, por meio de fixação biológica do N₂ atmosférico e, também, por apresentarem sistema radicular vigoroso e ramificado, características que auxiliam na reciclagem de nutrientes das camadas mais profundas do solo. O presente trabalho foi conduzido no município de Mercês, zona da Mata Mineira. Avaliaram-se a taxa de crescimento e o acúmulo de nutrientes na parte aérea das crotalárias *juncea* e *spectabilis*, cultivadas em solo com boa disponibilidade de nutrientes. Em agosto foram analisados solos das áreas de cultivos na próxima primavera, escolhendo-se aquela área de maior fertilidade e sem alumínio trocável na camada de 0 a 20 cm. A área escolhida foi subsolada, arada, e gradeado, instalando-se a seguir o estudo, conduzido em delineamento experimental em blocos casualizados com cinco repetições. As parcelas foram constituídas de seis sulcos de cinco metros de comprimentos com 0,50 metro de espaçamento. A semeadura foi realizada no início de outubro, logo após as primeiras chuvas. As avaliações do acúmulo de matéria seca e da altura de planta, foram realizadas nos quatro sulcos centrais das parcelas, aos 30; 45; 60; 75; 90 e 105 dias após a emergência (D.A.E.), sendo a área amostral de 1,0 m de sulco (0,5 m²). Na biomassa coletada aos 105 D.A.E, estágio fenológico de enchimento de grãos, foi determinado os teores de nitrogênio, fósforo, potássio, cálcio, magnésio e enxofre, com o objetivo de quantificar os acúmulos desses elementos na parte aérea das crotalárias. Os resultados obtidos nesse ambiente edafoclimático permitiram concluir que a crotalária *juncea* teve desenvolvimento vegetativo mais rápido que a crotalária *spectabilis*, sendo, portanto, uma planta de maior potencial de proteção do solo contra o impacto das gotas da chuva que a crotalária *spectabilis*. Embora tenha velocidade de crescimento muito diferentes, tanto para a crotalária *juncea* quanto para a crotalária *spectabilis*, as maiores taxas de crescimento e de acúmulo de matéria seca na parte aérea ocorreram nos períodos de 45 a 60 D.A.E., com valores médios, respectivamente de 406,7 e 140,0 kg por hectare por dia. O acúmulo de matéria seca na parte aérea, em função da idade das plantas, pode ser descrito pela equação quadrática, $y = 0,0024 x^2 + 0,5267x - 11,8086$ ($R^2 = 0,9888$), para a crotalária *juncea*, e $y = 0,0008 x^2 + 0,2003x - 4,4657$ ($R^2 = 0,9928$), para a crotalária *spectabilis*. Para o sistema de produção adotado, e neste ambiente climático, a crotalária *juncea* foi uma planta melhor reciclada/fixadora que crotalária *spectabilis*, assim, a adubação verde com crotalária *juncea* é mais vantajosa que com a crotalária *spectabilis*.

Palavra-chave: Sistemas de produção, nitrogênio, agricultura familiar, sustentabilidade.

ABSTRACT

Crotalaria juncea and *spectabilis* have been widely used in green manuring, mainly due to the fact that they incorporate large amounts of N into the soil, through biological fixation of atmospheric N₂, and also because they have a vigorous and branched root system, characteristics that help to recycle nutrients from the deeper layers of the soil. The present work was carried out in the municipality of Mercês, in the Mata Mineira area. The growth rate and the accumulation of nutrients in the aerial part of sunn hemp and *spectabilis*, cultivated in soil with good availability of nutrients, were evaluated. In August, soils from the areas to be cultivated in the next spring were analyzed, choosing the area with the highest fertility and without exchangeable aluminum in the layer from 0 to 20 cm. The chosen area was subsoiled, plowed, and harrowed, and then the study was installed, conducted in an experimental design in randomized blocks with five replications. The plots consisted of six furrows of five meters in length with 0.50 meters of spacing. Sowing was carried out in early October, right after the first rains. Evaluations of dry matter accumulation and plant height were carried out in the four central furrows of the plots, at 30; 45; 60; 75; 90 and 105 days after emergence (D.A.E.), with a sample area of 1.0 m of furrow (0.5 m²). In the biomass collected at 105 D.A.E, phenological stage of grain filling, the contents of nitrogen, phosphorus, potassium, calcium, magnesium and sulfur were determined, with the objective of quantifying the accumulation of these elements in the aerial part of sunn hemp. The results obtained in this edaphoclimatic environment led to the conclusion that sunn hemp *juncea* had faster vegetative development than sunn hemp *spectabilis*, therefore, a plant with greater soil protection potential against the impact of raindrops than sunn hemp *spectabilis*. Although they have very different growth rates, both for sunn hemp and sunn hemp, the highest rates of growth and dry matter accumulation in the shoots occurred in the periods from 45 to 60 D.A.E., with mean values, respectively, of 406, 7 and 140.0 kg per hectare per day. The accumulation of dry matter in the aerial part, as a function of the age of the plants, can be described by the quadratic equation, $y = 0.0024 x^2 + 0.5267x - 11.8086$ ($R^2 = 0.9888$), for sunn hemp, and $y = 0.0008 x^2 + 0.2003x - 4.4657$ ($R^2 = 0.9928$), for sunn hemp *spectabilis*. For the adopted production system, and in this climatic environment, sunn hemp was a better recycled/fixing plant than sunn hemp *spectabilis*, thus, green manuring with sunn hemp was more advantageous than with sunn hemp *spectabilis*.

Keywords: Production systems, nitrogen, family farming, sustainability.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1- Alguns dos benefícios das plantas de cobertura do solo e recicladoras de nutrientes.....	13
Figura 2 - Localização do município de Mercês – MG.....	18
Figura 3 e 4 – Acúmulo e taxas de acúmulo de matéria seca na parte aérea da crotalária <i>juncea</i> e da crotalária <i>spectabilis</i> , dos 30 aos 105 dias após a emergência, no estudo de análise do crescimento.....	20
Figura 5 - Valores médios do acúmulo (Ac.) de nutrientes na parte área da crotalária <i>juncea</i> e da crotalária <i>spectabilis</i> , no estudo de análise do crescimento.....	25

LISTA DE TABELAS

Tabela 1- Análise química do solo nas camadas de 0 a 20, e de 20 a 40 cm, da área de implantação das crotalárias <i>juncea</i> e <i>spectabilis</i>	18
Tabela 2 - Quadrados médios da análise de variância para concentração (Conc.) e para o acúmulo (Ac.) de nutrientes na parte área da crotalária <i>juncea</i> e da crotalária <i>spectabilis</i> , no estudo de análise do crescimento.....	22
Tabela 3 - Valores médios da concentração (Conc.) e do o acúmulo (Ac.) de nutrientes na parte área da crotalária <i>juncea</i> e da crotalária <i>spectabilis</i> , no estudo de análise do crescimento.....	23

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	11
2. REVISÃO DE LITERATURA	13
2.1 Escolha da espécie vegetal para uso como planta de cobertura do solo e recicladora de nutrientes	14
2.2 Características da <i>Crotalaria juncea</i> e da <i>Crotalaria spectabilis</i>	15
2.3 Fertilidade do Solo, Toxidez do Alumínio e Crescimento das Crotalárias	16
3. MATERIAL E MÉTODOS	18
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO	20
4.1 – Taxas de acúmulo de matéria seca na parte aérea da crotalária <i>juncea</i> e da crotalária <i>spectabilis</i>	20
4.2 Concentração e acúmulo de nutrientes na parte área da crotalária <i>juncea</i> e da crotalária <i>spectabilis</i>	22
5. CONSIDERAÇÕES FINAIS	27

1. INTRODUÇÃO

As leguminosas e as gramíneas, especialmente as braquiárias, tem sido muito utilizadas como plantas de cobertura de solo e recicladoras de nutrientes, e após atingirem seu pleno desenvolvimento vegetativo são cortadas ou acamadas, sendo sua massa vegetal deixada sobre a superfície ou incorporada ao solo, com a finalidade de manter ou aumentar o conteúdo de matéria orgânica do terreno, visando melhorar suas condições físicas, químicas e biológicas, favorecendo o crescimento e o rendimento das culturas econômicas em sucessão (ALVARENGA et al., 2001; TEODORO et al., 2011; OLIVEIRA et al., 2021a; OLIVEIRA et al., 2022).

As crotalárias *juncea* e *spectabilis* tem sido muito utilizadas na adubação verde devido, principalmente, ao fato de incorporarem grandes quantidades de N ao solo, por meio de fixação biológica do N₂ atmosférico e, também, por apresentarem sistema radicular vigoroso e ramificado, características que auxiliam na reciclagem de nutrientes das camadas mais profundas do solo (LEAL, 2006; OLIVEIRA et al., 2018; OLIVEIRA et al., 2021a).

Na cultura da cana-de-açúcar por exemplo, adota-se com muita frequência a prática da adubação verde, sobretudo com leguminosas, por ocasião da reforma do canavial, após o quinto ou sexto corte e antes do plantio da cana de ano e meio. A crotalária *juncea* é uma das plantas mais usadas como adubo verde em áreas de reforma de canavial, principalmente devido ao seu rápido crescimento e grande acúmulo de matéria seca e nitrogênio (CÁCERES & ALCARDE, 1995; DUARTE JÚNIOR & COELHO, 2008; OLIVEIRA et al., 2022a; WUTKE et al., 2023).

A quantidade de biomassa acumulada na parte aérea das crotalárias é dependente de vários fatores, mas, de um modo geral, os que mais interferem são as condições climáticas como nictoperíodo (comprimento da noite), disponibilidade hídrica, radiação solar, temperaturas diurnas e noturnas; época de semeadura (inverno, primavera ou verão); práticas culturais e fertilidade do solo (LIMA et al., 2010; OLIVEIRA et al., 2016). As crotalárias são plantas de crescimento determinado, muito sensíveis ao comprimento da noite (nictoperíodo), com florescimento precoce sob noites longas crescentes e, conseqüentemente, há interrupção do crescimento, diminuindo o acúmulo de matéria seca e a ciclagem de nutrientes, especialmente de nitrogênio. Considerando apenas a fisiologia da planta, os acúmulos de matéria seca das crotalária depende do tempo que essas plantas vegetaram antes de entrarem em florescimento (AMABILE et al., 2000; SANTOS & CAMPELO JÚNIOR, 2003; OLIVEIRA et al., 2021a).

Nos estudos de avaliação do potencial produtivo das plantas tem sido realizadas amostragens dos acúmulos de matéria seca ao longo do ciclo das culturas, visando conhecer mais detalhadamente os períodos de maior acúmulo de matéria seca pelos adubos verdes, bem

como a fase a partir da qual não há mais aumento na biomassa aérea das plantas (PEREIRA, 2007; OLIVEIRA et al., 2011a; LIMA et al., 2012; PADOVAN et al., 2014; BARBOSA et al., 2020).

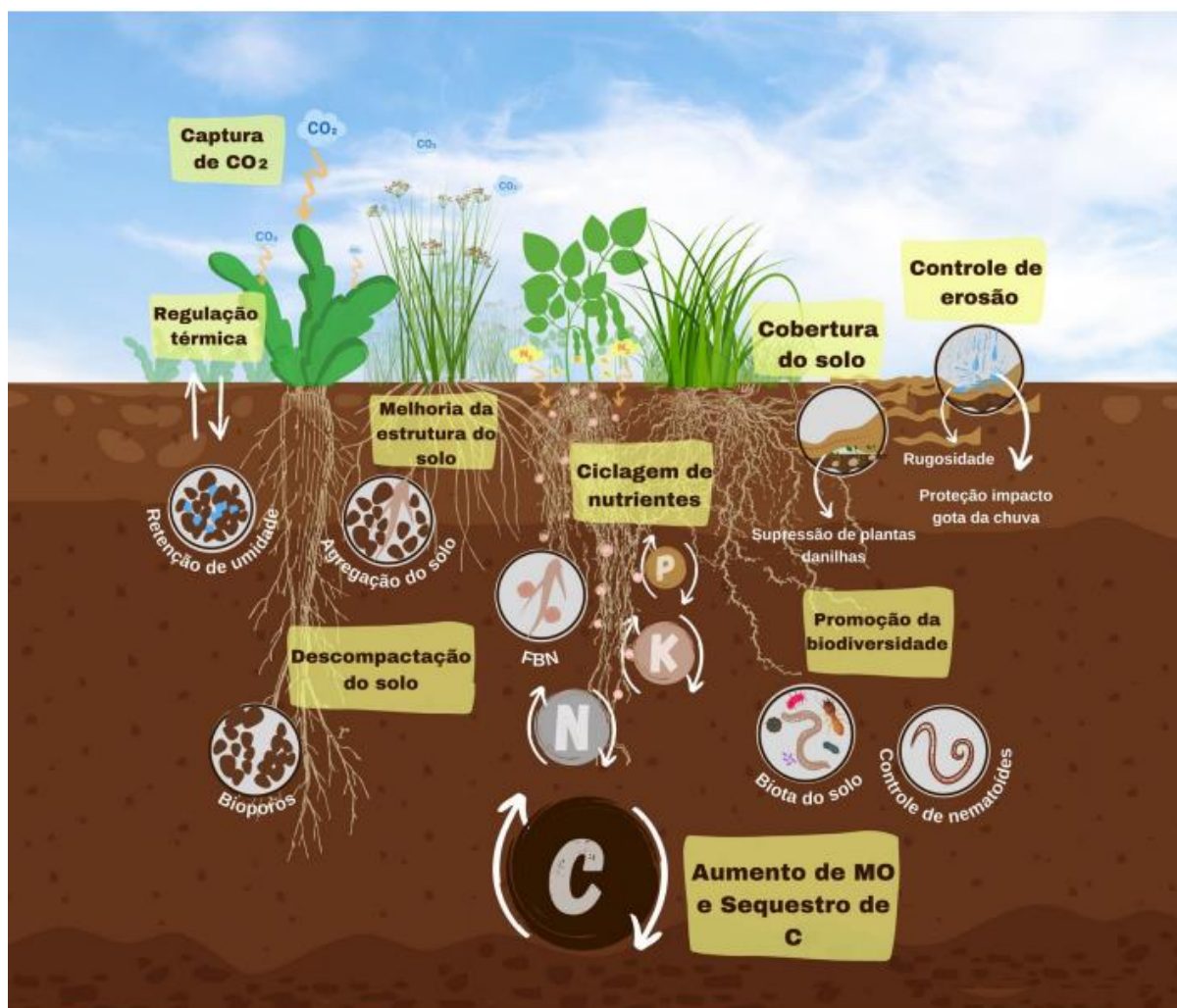
Dentre as principais características desejáveis de uma planta a ser utilizada como adubo verde podem-se destacar: possibilidade de mecanização desde a semeadura até a colheita de sementes; capacidade de se associar às bactérias fixadoras do nitrogênio do ar atmosférico; crescimento rápido para controlar plantas daninhas; possuir mecanismos, ou sintetizar compostos, que auxiliem no controle de pragas como, por exemplo, nematoides e doenças; ausência de sementes dormentes; sistema radicular vigoroso e profundo que auxilie na reciclagem de nutrientes das camadas mais profundas e na descompactação dos solos, pois o uso intensivo do solo com práticas convencionais, como a excessiva mecanização, tem reduzido a matéria orgânica e causado compactação desses solos. A crotalária *juncea* tem todas as características descritas acima e por este motivo tem sido o adubo verde preferencialmente utilizado nas áreas de implantação ou de reforma de canavial, proporcionando excelentes resultados agrônômicos e financeiros (MASCARENHAS et al., 1994; OLIVEIRA et al., 2007; OLIVEIRA et al., 2019; OLIVEIRA et al., 2021a; WUTKE et al., 2023).

Ante ao exposto, no presente estudo avaliaram-se a taxa de crescimento e o acúmulo de nutrientes na parte aérea das crotalárias *juncea* e *spectabilis*, cultivadas em solo com boa disponibilidade de nutrientes

2. REVISÃO DE LITERATURA

Nas últimas décadas tem-se intensificado os estudos relacionados as plantas de cobertura do solo e recicladoras de nutrientes, visando melhoria das propriedades físico-químicas do terreno, aumento da produtividade das culturas, redução do custo de produção, maior retenção de carbono no solo, associado a preservação do meio ambiente. O sucesso e a sustentabilidade dos agroecossistemas de produção agrícola empresarial, familiar ou agroecológica, dependem, entre outros fatores, da presença de resíduos culturais no solo, com ênfase daqueles oriundos das espécies de plantas de cobertura de solos e recicladoras de nutrientes (ALVARENGA et al., 2001; LIMA et al., 2012; OLIVEIRA et al., 2021a). Na figura abaixo, é mostrado alguns dos benefícios das plantas de cobertura do solo e recicladoras de nutrientes.

Figura 1- Alguns dos benefícios das plantas de cobertura do solo e recicladoras de nutrientes.



Fonte: Crédito: Bruna Emanuele Schiebelbein.

A manutenção da camada de material orgânico sobre o solo contribui para o desenvolvimento de um ambiente favorável ao crescimento das plantas, além de auxiliar no

controle natural de pragas e doenças, e em algumas situações até no controle de plantas daninhas. Atualmente, no Brasil, em pequenas, médias e grandes áreas a semeadura das culturas anuais, ou o plantio de algumas culturas semi-perenes, é realizado sem o revolvimento do solo. Neste sistema, a cobertura do solo, por material vegetal, é um dos fatores responsáveis pelo sucesso na implantação das lavouras. A manutenção deste material sobre o solo e sua posterior decomposição é uma variável importante na ciclagem de nutrientes. Os resíduos vegetais contêm macro e micronutrientes em formas orgânicas lábeis, que podem se tornar disponíveis para a cultura subsequente, mediante a mineralização (PITTELKOW et al., 2012; OLIVEIRA et al., 2019). A cobertura morta atua como reguladora da temperatura do solo, diminui a erosão e o selamento da camada superficial do terreno, aumentando a infiltração da água da chuva e a disponibilidade hídrica, facilitando, desta forma, a emergência das plântulas, resultando em lavouras mais uniformes e de maior potencial produtivo (REDIN et al., 2016; OLIVEIRA et al., 2022, SANTOS, 2022).

2.1 Escolha da espécie vegetal para uso como planta de cobertura do solo e recicladora de nutrientes

Diversas plantas têm sido utilizadas como cobertura de solo e recicladores de nutrientes, sobressaindo as gramíneas quanto a produtividade de biomassa, enquanto as leguminosas se destacam quanto a fixação biológica do nitrogênio do ar atmosférico (AMABILE et al., 2000; LEAL, 2006; BARBOSA et al., 2020; OLIVEIRA et al., 2021a). Entre as gramíneas usadas como plantas de cobertura morta do solo, as mais comuns têm sido as braquiárias, o milheto, o capim Mombaça e o sorgo forrageiro (PITTELKOW et al., 2012; PACHECO et al., 2013; OLIVEIRA et al., 2021b, SANTOS et al., 2022). Essas gramíneas são plantas C4 com alta eficiência fotossintética, adaptadas às temperaturas elevadas e à alta radiação solar. Outra característica dessas plantas é o sistema radicular muito vigoroso, que recicla nutrientes de camadas mais profundas do solo (PACHECO et al., 2008; PITTELKOW et al., 2012; OLIVEIRA et al., 2021c).

As leguminosas mais usadas na adubação verde são as crotalárias (*juncea* e *spectabilis*), o feijão de porco, o feijão guandu, a mucuna cinza e a mucuna preta (DUARTE JÚNIOR; COELHO, 2008; PADOVAN et al., 2014; WUTKE et al., 2023). O crescimento destas plantas depende de fatores edafoclimáticos e, dentre os fatores climáticos, o comprimento da noite exerce grande influência, pois quando a semeadura ocorre sob noites longas crescentes há redução na fase vegetativa, conseqüentemente ocorre menor acúmulo de matéria seca e de

nutrientes (SANTOS & CAMPELO JÚNIOR, 2003; LIMA et al., 2010; OLIVEIRA et al., 2021a). No centro-sul do Brasil o período de semeadura das leguminosas, especialmente nas áreas de reforma do canavial, ocorre sob noites longas decrescentes e, nestas condições têm-se observado grande acúmulo de matéria seca e de nutrientes na biomassa da parte aérea das leguminosas, destacando-se a crotalária *juncea* como a mais produtiva (SANTOS & CAPELLO-JÚNIOR, 2003; PERIN et al. 2004; PEREIRA, 2007; LIMA et al., 2010; OLIVEIRA et al., 2011a; OLIVEIRA et al., 2021a).

Há uma conceituação generalizada que as leguminosas são plantas de decomposição mais rápida do que as gramíneas, contudo, Oliveira et al. (2021a) relata estudos conduzido por pesquisadores da EMBRAPA-CPAC, em 2015, nos quais observou-se que o tempo médio de decomposição da braquiária *ruziziensis* foi de 123 dias, sendo considerada uma planta de decomposição rápida, assemelhando-se ao feijão bravo (*Canavalia brasiliensis*) do Ceará e ao milheto. Por outro lado, a crotalária *juncea* foi a planta de decomposição mais lenta (238 dias), seguida do feijão guandu e do sorgo granífero, que tiveram tempo médio de decomposição de 175 dias. Com base nesse estudo de longa duração (5 anos), os autores recomendaram o uso de braquiária *ruziziensis*, feijão-bravo-do-ceará, crotalária-*juncea* e milheto (*Pennisetum glaucum*) na entressafra de milho para sistema de semeadura direta no Cerrado.

2.2 Características da *Crotalaria juncea* e da *Crotalaria spectabilis*

A crotalária *juncea* é de ciclo anual, tem caule ereto semi-lenhoso, ramificado na parte superior. É uma planta de clima tropical e subtropical, arbustiva, cujo porte varia de 2 m a 3 m de altura, é de rápido crescimento inicial, o que lhe confere maior competitividade com as invasoras, apresentando também um expressivo efeito supressor por sombreamento e alelopático, por produção de compostos químicos, especialmente taninos e flavonóides (OLIVEIRA et al., 2011a; WUTKE et al., 2023). É muito sensível ao comprimento da noite (nictoperíodo), florescendo precocemente quando semeada sob noites crescentes. Seu rápido crescimento inicial possibilita tombamento ou incorporação ao solo muito precocemente, em torno de 70 a 90 dias após o plantio. Tem apresentado bom comportamento nos solos argilosos e arenosos, sendo muito responsiva a melhoria da fertilidade do solo, especialmente a saturação por bases e ao fósforo. Pode ser utilizada para silagem. Produz grande quantidade de sementes, o que compensa grandemente a perda ocasionada pelo ataque da lagarta-das-vagens (BARRETTO; FERNANDES, 2001; PERIN et al., 2004; OLIVEIRA et al., 2011b; OLIVEIRA et al., 2021b).

A crotalária *spectabilis* também é uma leguminosa anual, mais de crescimento inicialmente muito lento quando comparado a crotalária *juncea*. Possui raiz pivotante profunda, podendo romper camadas compactadas. É uma planta subarborescente, de porte mediano, com altura variando de 0,60 m a 1,50 m, e comparativamente a crotalária *juncea* têm mais ramos secundários. É de clima tropical e subtropical, apresentando bom comportamento nos diferentes tipos de textura de solo, inclusive nos solos relativamente pobres em fósforo. É bastante efetiva no impedimento da multiplicação das populações de nematóides. É a espécie mais tóxica de crotalária, se ingerida pelos animais na falta de outras forrageiras. Possui a substância monocrotalina, de efeito hepatotóxico. Apresenta limitações na produção de sementes devido ao ataque de lagarta-das-vagens e à reduzida taxa de polinização cruzada (BARRETTO; FERNANDES, 2001; OLIVEIRA et al., 2011b, WUTKE et al., 2023).

2.3 Fertilidade do Solo, Toxidez do Alumínio e Crescimento das Crotalárias

Nos estudos de sensibilidade das crotalárias *juncea* e *spectabilis* ao alumínio trocável e fertilidade do solo tem-se observado que a crotalária *spectabilis* é uma planta moderadamente tolerante a toxidez do alumínio, contrastando bastante com a crotalária *juncea*, muito sensível à toxidez do alumínio, mas por outro lado muito responsiva a melhoria das propriedades físicas e químicas do solo. Deve-se ter em mente que todas as ações implementadas para melhorar a fertilidade do solo e a nutrição dos adubos verdes irão influenciar positivamente no crescimento da cultura subsequente, geralmente a cultura de interesse comercial (ERNANI et al., 2001; MEDA, 2003; OLIVEIRA et al., 2021b).

Normalmente, avaliam-se a disponibilidade de nutrientes e a presença de elementos em níveis tóxicos no solo pela análise química da camada arável e da subsuperfície, sendo também de grande valia o histórico da área, sobretudo as adubações realizadas e, se houve ou não, ocorrência de sintomas de deficiência ou de toxidez nos cultivos anteriores (RAIJ, 2011; OLIVEIRA et al., 2019). Usualmente coletam-se amostras de solo das camadas de 0 a 20 e de 20 a 40 cm de profundidade (RAIJ, 2011; OLIVEIRA et al., 2018). Os resultados da análise da camada de 0 a 20 cm têm sido utilizados para calcular a adubação e a calagem e, os da camada de 20 a 40 cm, para os cálculos da necessidade de gessagem.

Tem-se recomendado elevar a saturação por bases da camada de 0 a 20 cm, para 60%. O uso de gesso é recomendado quando, na camada de 20 a 40 cm, a saturação por alumínio for maior que 20% ou o teor de cálcio trocável for menor que 0,40 cmolc dm⁻³ (RAIJ, 2008; OLIVEIRA et al., 2018). Dependendo da disponibilidade financeira do agricultor, a dose de

gesso pode variar de 30 a 100% da dose de calcário. Por exemplo: a dose de calcário a ser aplicada será de 5,0 t por hectare, então, se houve aplicação de gesso, a dose de gesso pode variar de 1,5 a 5,0 t por hectare. O método de análise de solo que utiliza o acetato de cálcio para a determinação do $H^+ + Al^{+3}$ é muito usado no Brasil. Esse extrator subestima demasiadamente a quantidade de $H^+ + Al^{+3}$, resultando em subestimativa da capacidade de troca catiônica a pH 7,0 e, conseqüentemente, da dose de calcário a ser aplicada (OLIVEIRA et al., 2018). Por esses motivos, Oliveira et al. (2021a) têm recomendado elevar de 1,5 a 2,0 vezes a quantidade de calcário a ser aplicado, predita analiticamente.

Em solos ácidos, a deficiência de fósforo e de cátions básicos, associada aos altos teores de alumínio, têm sido prejudiciais ao crescimento do sistema radicular e, conseqüentemente, de toda a planta (MEDA, 2003; OLIVEIRA et al. 2019). Em concentrações micromolares, monômeros e complexos do alumínio presentes na solução do solo (Al^{+3} , $Al(OH)^{2+}$ e $Al(OH)_2^+$) podem causar distúrbios na fisiologia das plantas (OLIVEIRA et al., 2021a). Vários estudos têm mostrado os efeitos maléficos do alumínio na disponibilidade de nutrientes no solo, na expansão celular (raiz e parte aérea), na cinética de absorção de nutrientes, na peroxidação dos lipídeos da membrana plasmática e das endomembranas, na translocação de nutrientes, na respiração e na fotossíntese (ERNANI et al., 2001; MEDA, 2003; OLIVEIRA et al., 2021a).

Em relação ao tipo de calcário, recomenda-se o dolomítico quando o teor de magnésio na camada de 0 a 20 cm for inferior a $0,40 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$ de solo (RAIJ, 2011; OLIVEIRA et al., 2018). No entanto, se o teor de magnésio na camada de 0 a 20 cm for maior que $0,40 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$ de solo, a orientação é para utilizar aquele corretivo que tenha o menor preço por tonelada de poder relativo de neutralização total (PRNT) na lavoura. Dessa forma, inclui-se um fator econômico na tomada de decisão quanto ao tipo de calcário a ser empregado.

3. MATERIAL E MÉTODOS

O estudo foi conduzido em uma propriedade de agricultura familiar localizada no município de Mercês (Latitude 21°11'39"S e Longitude 43°20'29"W), Zona da Mata de Minas Gerais, Brasil (Figura 1). O clima da área de estudo é conforme a classificação de Koppen, tropical de altitude com chuvas durante o verão e temperatura média anual de 18 °C, com variações entre 24 °C (média das máximas) e 13,8 °C (média das mínimas). A precipitação média anual é cerca de 1.200 mm, com um excedente hídrico de outubro a abril. O relevo varia de plano a suavemente ondulado. O solo utilizado foi classificado como Latossolo Vermelho Amarelo distrófico, de textura média.

Figura 2 - Localização do município de Mercês - MG.



Fonte: Autor, 2023.

A crotalaria *juncea* é uma planta de alto potencial produtivo, mas exigente em fertilidade do solo e muito sensível a toxidez do alumínio (MEDA,2003; PADOVAN et al., 2014; OLIVEIRA et al., 2021b). Por este motivo, em agosto foram analisados solos das áreas de cultivos na próxima primavera, escolhendo-se aquela área de maior fertilidade e sem alumínio trocável na camada de 0 a 20 cm. Os resultados da análise química da área escolhida estão apresentados na tabela 1.

Tabela 1- Análise química do solo nas camadas de 0 a 20, e de 20 a 40 cm, da área de implantação das crotalárias *juncea* e *spectabilis*.

Camada	pH em H ₂ O	P mg dm ⁻³	K mg dm ⁻³	Ca cmol _c dm ⁻³	Mg cmol _c dm ⁻³	Al ³⁺ cmol _c dm ⁻³	H + Al cmol _c dm ⁻³	SB cmol _c dm ⁻³	CTC (t) cmol _c dm ⁻³	CTC (T) cmol _c dm ⁻³	V %	m %
0 a 20 cm	5,6	15	73	3,42	1,34	0,00	2,51	4,95	4,95	7,46	66,34	0,00
20 a 40 cm	5,1	8	32	2,17	0,85	0,12	3,07	3,10	3,22	6,17	50,26	3,72

pH em água: relação 1:2,5. Ca²⁺, Mg²⁺ e Al³⁺ : extrator KCl 1 mol L⁻¹. P, K e Na: extrator Mehlich 1. H⁺ + Al³⁺: Extrator Acetato de cálcio 0,5 mol L⁻¹, a pH 7,0.

Fonte: Autor, 2023.

A área escolhida foi subsolada, arada, e gradeada instalando-se a seguir o estudo, conduzido em delineamento experimental em blocos casualizados com cinco repetições. As parcelas foram constituídas de seis sulcos de seis metros de comprimentos com 0,50 metro de espaçamento. A semeadura das crotalárias foi realizada no início de outubro, logo após as primeiras chuvas. A densidade de semeadura foi de 25 kg de sementes por hectare para crotalária *junceae*, e de 15 kg ha⁻¹ para a crotalária *spectabilis*, o que resultou em densidades populacionais, por hectare, de cerca de 500 mil plantas para crotalária *junceae* e 600 mil plantas para a crotalária *spectabilis*. As sementes não foram inoculadas com rizóbium, uma vez que em estudos anteriores (CHADA & DE-POLLI, 1988; BARRETTO & FERNANDES; 2001; OLIVEIRA et al., 2011b; OLIVEIRA et al., 2021a) constataram-se ausência de efeito de inoculação sobre o acúmulo de matéria seca e nutrientes. Durante o crescimento das crotalárias foi realizado apenas o controle químico de formigas cortadeiras.

As avaliações do acúmulo de matéria seca e da altura de planta, foram realizadas nos quatro sulcos centrais das parcelas, aos 30; 45; 60; 75; 90 e 105 dias após a emergência (D.A.E.), sendo a área amostral de 2,0 m de sulco (1,0 m²). As crotalárias foram cortadas rente ao solo, pesadas, tendo-se passado subamostras destas plantas em picadeira de forrageira. Na sequência, estas subamostras foram pesadas, secas em estufa de ventilação forçada a 65 °C até massa constante e novamente pesadas, para determinar a massa de matéria seca nas subamostras.

Na biomassa coletada aos 105 D.A.E, estágio fenológico de enchimento de grãos, foram determinados os teores de nitrogênio, fósforo, potássio, cálcio, magnésio e enxofre, com o objetivo de quantificar os acúmulos desses elementos na parte aérea das crotalárias. Subamostras do material vegetal seco foram moídas e submetidas às digestões sulfúricas e nitroperclóricas, seguindo método descrito por Malavolta et al. (1997) e Silva e Queiroz (2006). A partir dos valores de concentração de nutrientes e de acúmulo de matéria seca, foi calculado o acúmulo de nutrientes na matéria seca na parte aérea das crotalárias.

Os valores médios da altura das plantas e dos acúmulos de matéria seca nas diferentes datas de amostragens, bem como as concentrações e os acúmulos de nutrientes foram submetidos à análise de variância. Havendo diferença significativa, foram obtidas equações de regressão, para relacionar as datas de amostragens com os acúmulos de matéria seca. As concentrações e os acúmulos de nutrientes na amostragem realizada aos 105 D.A.E. foram comparados pelo teste t a 5% de probabilidade (FERREIRA, 2011).

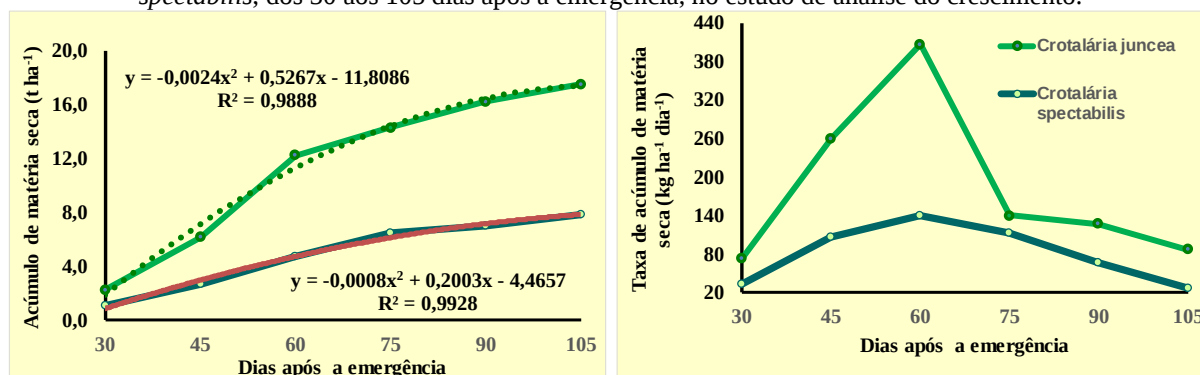
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Inicialmente serão apresentadas as taxas de acúmulo de matéria seca e posteriormente os resultados referentes a concentração e acúmulo de nutrientes na parte aérea da crotalária *juncea* e da crotalária *spectabilis*.

4.1 – Taxas de acúmulo de matéria seca na parte aérea da crotalária *juncea* e da crotalária *spectabilis*.

Nas figuras 3 e 4 estão apresentados os acúmulos e as taxas de acúmulo de matéria seca na parte aérea da crotalária *juncea* e da crotalária *spectabilis*, no estudo conduzido na primavera-verão. Para todas as épocas analisadas houve efeito significativo a 0,1% de espécie de crotalária sobre o acúmulo de matéria seca: as taxas de acúmulo de matéria seca da crotalária *juncea* superaram as da crotalária *spectabilis* em todas as amostragens.

Figura 3 e 4 – Acúmulo e taxas de acúmulo de matéria seca na parte aérea da crotalária *juncea* e da crotalária *spectabilis*, dos 30 aos 105 dias após a emergência, no estudo de análise do crescimento.



Fonte: Autor, 2023.

Para a crotalária *juncea*, as menores taxas de acúmulo de matéria seca na parte aérea ocorreram nos períodos compreendido entre a emergência das plantas aos 30 dias após a emergência (D.A.E.), e dos 90 aos 105 D.A.E., com valores médios respectivamente de 73,3 e 86,7 kg de matéria seca por hectare por dia. Nesses períodos também foram verificados os menores acúmulos de matéria seca na crotalária *spectabilis*, com valores médios respectivamente de 33,3 e 26,7 kg de matéria seca por hectare por dia. Por outro lado, tanto para a crotalária *juncea* quanto para a crotalária *spectabilis*, as maiores taxas de acúmulo de matéria seca na parte aérea ocorreram nos períodos de 45 a 60 D.A.E., com valores médios, respectivamente de 406,7 e 140,0 kg por hectare por dia.

Houve um excelente ajuste dos resultados do acúmulo de matéria seca na parte aérea com a equação quadrática, sendo $y = 0,0024 x^2 + 0,5267x - 11,8086$ ($R^2 = 0,9888$), para a crotalária *juncea*, e $y = 0,0008 x^2 + 0,2003x - 4,4657$ ($R^2 = 0,9928$), para a crotalária *spectabilis*.

Pereira (2007), em estudos conduzidos com cinco espécies de crotalárias, em solo de mediana fertilidade, nos municípios de Seropédica e Paty do Alferes, ambos no Rio de Janeiro, também observou-se maior potencial produtivo da crotalária *juncea* comparada a crotalária *spectabilis*. O acúmulo médio de matéria seca na parte aérea da crotalária *juncea* foi de aproximadamente 18,0 t por hectare, praticamente o dobro da crotalária *spectabilis*, resultados bem próximos ao do presente estudo. Pereira (2007) também obteve bom ajuste de polinômio de segundo grau aos resultados do acúmulo de matéria. Leal et al. (2012), em estudo conduzido em Seropédica, também relata acúmulo de matéria seca na parte aérea da crotalária *juncea* da ordem de 15,0 t por hectare, aos 120 dias após a semeadura. No estudo conduzido por Barbosa et al. (2020), em Dourados - MS, observou que crotalária *juncea* teve o dobro do potencial produtivo da crotalária *spectabilis*, sendo os valores médios de acúmulo de matéria seca, respectivamente de 14,20 e 7,14 t de matéria seca por hectare.

Conforme citado anteriormente, a taxa de crescimento e o acúmulo de matéria seca na parte aérea das plantas dos adubos verdes são influenciados por diversos fatores, destacando-se a disponibilidade hídrica e de nutrientes no solo, temperatura, nictoperíodo, intensidade luminosa, potencial produtivo da planta e período considerado da semeadura ao corte (ERNANI et al., 2001; MEDA, 2003; OLIVEIRA et al., 2021a). Oliveira et al. (2022), em estudo também conduzido em Mercês - MG, avaliou o potencial produtivo e da ciclagem de nutrientes por plantas de cobertura de solo, em sistema intensivo de produção de silagem de milho, e relata que a crotalária *juncea* teve acúmulo de matéria seca de 18,0 t por hectare, praticamente o dobro do acúmulo verificado para a mucuna preta e o feijão de porco.

Quando semeada no início da primavera, a crotalária *juncea* acumula matéria seca na parte aérea, variando de 14 a 23 t por hectare (MASCARENHAS et al., 1994; LIMA et al., 2010; TEODORO et al., 2011; PEREIRA et al., 2017; OLIVEIRA et al., 2021a). Entretanto, a crotalária *juncea* é uma planta muito sensível ao nictoperíodo (SANTOS & CAMPELLLO JÚNIOR, 2003; OLIVEIRA et al., 2021a), ao alumínio tóxico do solo, sendo exigente em fertilidade do solo, devendo-se corrigir a acidez do solo antes do seu cultivo (ERNANI et al., 2001; MEDA, 2003; OLIVEIRA et al., 2021a).

Nas avaliações realizadas por Oliveira et al. (2021a), compararam-se o acúmulo de matéria seca e de nutrientes na crotalária *juncea* cultivada em solos com mediana fertilidade com os de baixa fertilidade do solo. O valor médio de acúmulo de matéria seca na parte aérea da crotalária *juncea*, nas parcelas com solo de mediana fertilidade, foi de 14,5 t por hectare, sendo de apenas 5,7 t por hectare nas parcelas com solo de baixa fertilidade. Assim, no solo de mediana fertilidade, o acúmulo de matéria seca na parte aérea da crotalária *juncea*

equivaleu-se a 254% do obtido no solo de baixa fertilidade. Nos solos de mediana fertilidade, tanto a ausência de alumínio trocável quanto a disponibilidade de fósforo e de cátions básicos contribuíram para o maior acúmulo de matéria seca na parte aérea da crotalária *juncea*, reforçando as citações de Ernani et al. (2001) e Meda et al. (2003) que classificaram a crotalária *juncea* como uma das leguminosas mais sensíveis ao alumínio trocável.

4.2 Concentração e acúmulo de nutrientes na parte área da crotalária *juncea* e da crotalária *spectabilis*

Na tabela 2 estão apresentados os valores dos quadrados médios para a concentração e o acúmulo de nutrientes na parte área da crotalária *juncea* e da crotalária *spectabilis*. Observou-se, à exceção do acúmulo de cálcio, efeito altamente significativo para as todas as variáveis analisadas. Excluindo-se a concentração de magnésio, e os acúmulos de fósforo e de enxofre, os coeficientes de variação foram inferiores a 10%, denotando pequena variabilidade no estudo.

Tabela 2 - Quadrados médios da análise de variância para concentração (Conc.) e para o acúmulo (Ac.) de nutrientes na parte área da crotalária *juncea* e da crotalária *spectabilis*, no estudo de análise do crescimento.

Fonte de Variação	G L	Quadrados médios					
		Conc. N	Conc. P	Conc. K	Conc. Ca	Conc. Mg	Conc. S
Crotalária	1	32,761***	1,398***	119,301***	38,289***	8,482***	2,061***
Bloco	4	1,484 ^{ns}	0,016 ^{ns}	1,625 ^{ns}	0,154 ^{ns}	0,070 ^{ns}	0,004 ^{ns}
Resíduo	4	1,116	0,009	0,871	0,091	0,111	0,008
Média geral		19,45	1,59	16,60	4,96	3,13	1,78
C.V.(%)		5,43	6,26	5,62	6,17	10,64	5,08

Fonte de Variação	G L	Quadrados médios					
		Ac. N	Ac. P	Ac. K	Ac. Ca	Ac. Mg	Ac. S
Crotalária	1	50.410,00***	84,10***	13.322,50***	4,90 ^{ns}	115,60**	84,10**
Bloco	4	382,40 ^{ns}	2,00 ^{ns}	145,35 ^{ns}	15,35 ^{ns}	2,90 ^{ns}	2,15 ^{ns}
Resíduo	4	408,00	3,60	218,25	19,15	8,60	5,35
Média geral		237,20	18,50	193,10	53,10	35,20	20,30
C.V.(%)		8,52	10,26	7,65	8,24	8,33	11,39

***, ns, respectivamente, significativo a 0,1% de probabilidade, ou não significativo pelo teste F.

Fonte: Autor, 2023.

Na tabela 3 estão apresentados os valores médios da concentração e do acúmulo de nutrientes na parte área da crotalária *juncea* e da crotalária *spectabilis*. A determinação do teor de nutrientes na biomassa das plantas de cobertura de solo é necessária para se calcular a quantidade de nutrientes acumulada nas plantas, mas para a fertilidade do solo, microbiota do solo, e nutrição da cultura que irá suceder as plantas de cobertura, o importante é massa de matéria seca e a quantidade de nutrientes que foi reciclada, ou no caso do nitrogênio, quanto foi fixado pela associação simbiótica (VUKICEVICH1 et al., 2016; CASTELLANO-

HINOJOSA & STRAUSS, 2020; OLIVEIRA et al., 2022). O acúmulo de matéria seca e de nutrientes na crotalária *spectabilis* foi muito inferior ao verificado para a crotalária *juncea*. Para o acúmulo de matéria seca na parte aérea das crotalárias, o efeito também foi altamente significativo, com a crotalária *juncea* tendo acumulado 123% a mais que a crotalária *spectabilis*, respectivamente: 17,46 e 7,82 t de matéria seca por hectare. O grande potencial produtivo da crotalária *juncea* tem sido relatado por diversos pesquisadores, dentre eles Alvarenga et al. (1995), Amabile et al. (2000), Lima et al. (2010), Padovan et al. (2014); Barbosa et al. (2020); Oliveira et al. (2021a), e Oliveira et al. (2022). Embora a concentração de nutrientes na crotalária *spectabilis* tem sido maior para todos os elementos, o maior acúmulo de matéria seca pela crotalária *juncea* resultou em maior acúmulo de nutrientes na biomassa aérea deste adubo verde, comparativamente à crotalária *spectabilis*.

Tabela 3 - Valores médios da concentração (Conc.) e do o acúmulo (Ac.) de nutrientes na parte área da crotalária *juncea* e da crotalária *spectabilis*, no estudo de análise do crescimento.

Crotalária	Conc. N	Conc. P	Conc. K	Conc. Ca	Conc. Mg	Conc. S
	g kg ⁻¹					
Crotalaria juncea	17,64 a	1,22 a	13,15 a	3,00 a	2,22 a	1,34 a
Crotalaria spectabilis	21,26 b	1,97 b	20,06 b	6,91 b	4,06 b	2,23 b
Crotalária	Ac. N	Ac. P	Ac. K	Ac. Ca	Ac. Mg	Ac.S
	kg ha ⁻¹					
Crotalaria spectabilis	166 a	16 a	157 a	54 a	32 a	17 a
Crotalaria juncea	308 b	21 b	223 b	52 a	39 b	23 b

Médias seguidas de mesma letra na coluna não diferem estatisticamente entre si, pelo teste t a 5% de probabilidade. Fonte: Autor, 2023.

A crotalária *juncea* é muito produtiva quando cultivada em solo com boa disponibilidade de nutrientes no solo, mas muito sensível aos baixos teores de cálcio e magnésio no solo e a alta saturação por alumínio. Oliveira et al. (2021b) relatam estudo em campo, num Latossolo vermelho amarelo, anteriormente utilizado para pesquisas com adubação da cana-de-açúcar. Nesse estudo, foram analisados os solos na camada de 0 a 20 cm e, nas parcelas sem uso de adubação e de corretivos de acidez nas rebrotas (Testemunha), verificaram valores médios de 18,1% para saturação por bases; 0,96 cmol_c dm⁻³ para o Al³⁺; saturação por alumínio de 56,4%, fósforo e potássio, respectivamente de 1,3 e 14 mg dm⁻³. Nas parcelas com uso de adubação potássica, fosfatada e de corretivos de acidez nas rebrotas, verificaram valores médios de 55,8% para saturação por bases; ausência de alumínio, fósforo e potássio, respectivamente de 8,0 e 52 mg dm⁻³. A crotalária *juncea* foi semeada no início de outubro e colhida quando as sementes estavam na fase de grãos farináceos duros. O acúmulo de matéria seca nas parcelas

testemunhas foi em média de 5,6 t por hectare, por outro lado nas parcelas com uso de adubação potássica, fosfatada e de corretivos de acidez nas rebrotas verificou-se valor médio de 14,2 t por hectare.

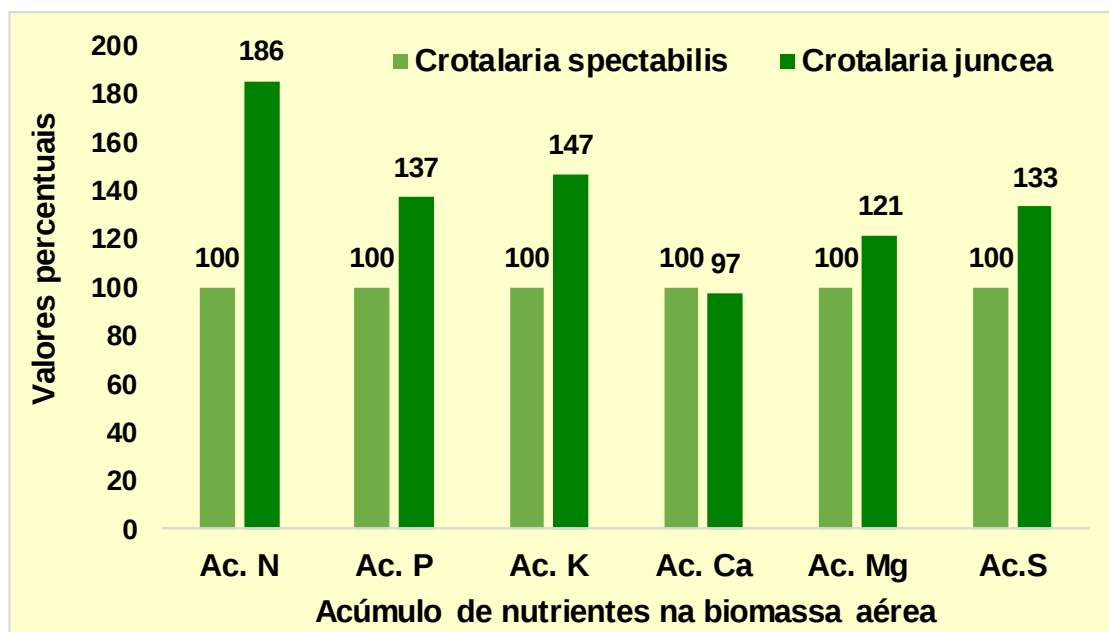
A alta sensibilidade da crotalária *juncea* a toxidez do alumínio também foi citada por Ernani et al. (2001) e Meda (2003). Ernani et al. (2001) conduziram estudo em casa de vegetação, usando um Latossolo bruno, com saturação por alumínio de 38,8% e saturação por bases de 24,5%. No tratamento que recebeu a aplicação de calcário em dose equivalente a 5,0 t por hectare, a saturação por bases elevou-se para 57%, neutralizando totalmente o alumínio. Comparativamente à testemunha, o acúmulo de matéria seca da crotalária *juncea* no tratamento que recebeu calcário aumentou em cerca de 150%. Meda (2003) avaliou a tolerância de leguminosas ao alumínio e classificou o lab-lab, as mucunas preta, cinza e anã como muito tolerantes e o feijão guandu foi considerado como planta tolerante. Como plantas moderadamente intermediária são citadas as crotalárias mucronata, *spectabilis* e ochroleuca. As crotalárias *juncea* e breviflora foram as mais sensíveis à toxidez do alumínio. Assim, pensando tanto na produtividade da crotalária *juncea* quanto na cultura sucessora, geralmente a cana-de-açúcar, devem ser aplicadas doses de calcário para a elevação da saturação por bases para 60%, o que repercutirá em completa neutralização do alumínio trocável (ERNANI & ALMEIDA, 1986; OLIVEIRA et al., 2007; RAIJ, 2011a; OLIVEIRA et al., 2019).

A crotalária *juncea* tem sido uma das plantas mais usadas na adubação verde, tanto em pequenas quanto em médias e em grandes propriedades rurais, devido principalmente à esta sua característica de alta taxa de acúmulo de matéria seca e à ciclagem de nutrientes. Quando semeada em solos sem alumínio trocável e sob noites longas decrescentes a crotalária se destaca em relação aos adubos verdes, sendo comum relatos de acúmulo de matéria seca variando de 14 a 23 t por hectare (AMABILE et al., 2000; ALVARENGA et al., 2001; DUARTE JÚNIOR & COELHO, 2008; OLIVEIRA et al., 2021c). Entretanto, como é uma planta de crescimento determinado e muito sensível ao comprimento da noite, seu potencial produtivo diminuiu muito quando semeada sob noites longas crescentes, sendo bastante citados valores médios de acúmulo de matéria seca oscilando em torno de 5,0 t por hectare, quando semeada sob noites longas crescentes (BARRETO & FERNANDES, 2001; SANTOS & CAMPELO, 2003; OLIVEIRA et al., 2016).

Para o acúmulo de nutrientes na biomassa aérea, a maior diferença entre a crotalária *juncea* e a crotalária *spectabilis* foi constatada para o nitrogênio: 142 kg por hectare. Na figura 4 é mostrado os acúmulos de nutrientes na biomassa aérea, tomando-se a crotalária *spectabilis* como referência e atribuindo aos valores desta crotalária o índice de 100%. Diversas pesquisas

tem mostrado que do total do nitrogênio acumulado na biomassa da parte aérea das crotalárias, cerca de 60% a 70% originaram-se das associações simbióticas das raízes da leguminosa com as bactérias fixadoras de N_2 do ar atmosférico, resultando em aporte de quantidades expressivas deste nutriente ao sistema solo-planta (AMABILE et al., 2000; PERIN et al., 2004; RIBEIRO JÚNIOR & RAMOS, 2006), dessa forma, contribuindo para maior sustentabilidade da cultura subsequente (OLIVEIRA et al., 1998; LIMA et al., 2010; VUKICEVICH et al., 2016; OLIVEIRA et al., 2021a). Para efeito comparativo, cita-se o sulfato de amônio, um dos fertilizantes nitrogenados mais utilizados: em 100 kg desse fertilizante tem-se 20 kg de N, assim, para se obter 308 kg de N haveria necessidade de utilizar-se 1.540 kg de sulfato de amônio. Para a ureia, seriam necessários 685 kg.

Figura 5 - Valores médios do acúmulo (Ac.) de nutrientes na parte área da crotalária *juncea* e da crotalária *spectabilis*, no estudo de análise do crescimento.



Fonte: Autor, 2023.

A quantidade de nitrogênio acumulado pela crotalária *juncea* é dependente de vários fatores, mas de um modo geral os que mais interferem são as condições climáticas como nictoperíodo, disponibilidade hídrica, radiação solar, temperaturas diurnas e noturnas, época de semeadura (inverno, primavera ou verão), práticas culturais e fertilidade do solo (OLIVEIRA et al., 2021a). Contudo, a maioria dos pesquisadores tem relatado altos valores de acúmulo de nitrogênio na biomassa aérea da crotalária *juncea*, variando de 230 kg de N ha^{-1} (MASCARENHAS et al., 1994; LEAL, 2006) a 514 kg de N por hectare (TEODORO et al., 2011), sendo mais comum valores da ordem de 320 kg de nitrogênio (OLIVEIRA et al., 2021a;

PERIN et al., 2004; WUTKE & ARÉVALO, 2006; DUARTE JÚNIOR & COELHO, 2008; OLIVEIRA et al., 2011b; BARBOSA et al., 2020).

O potássio foi o segundo elemento mais acumulado na parte aérea da crotalária *juncea*, com valores médios de 223 kg por hectare, excedendo em apenas 66 kg ao acúmulo de K observado para a crotalária *spectabilis*. Embora estatisticamente a crotalária *juncea* também superado a crotalária *spectabilis* para os acúmulos de fósforo e de enxofre, na prática esse efeito não é tão significativo. Para o magnésio e enxofre, a ciclagem foi semelhante para os dois adubos verdes. Resultantes semelhantes aos acúmulos de nutrientes na parte aérea, observados no presente, são relatados por Amabile et al. (2000), Alvarenga et al. (2001), Duarte Júnior e Coelho (2008), Teodoro et al. (2011) e Oliveira et al. (2011), nos quais constatou-se superioridade para a crotalária *juncea*, tanto como planta recobridoras de solo quanto recicladora de nutrientes.

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os resultados obtidos nesse ambiente edafoclimático permitiram concluir que a crotalária *juncea* tem desenvolvimento vegetativo mais rápido que a crotalária *spectabilis*. Assim, a crotalária *juncea* é uma planta de maior potencial de proteção do solo contra o impacto das gotas da chuva que a crotalária *spectabilis*. Embora tenha velocidade de crescimento muito diferentes, tanto para a crotalária *juncea* quanto para a crotalária *spectabilis*, as maiores taxas de crescimento e de acúmulo de matéria seca na parte aérea ocorreram nos períodos de 45 a 60 D.A.E., com valores médios, respectivamente de 406,7 e 140,0 kg por hectare por dia.

Quanto a ciclagem de nutrientes no sistema solo-planta-atmosfera, a maior concentração de nitrogênio na biomassa aérea da crotalária *juncea* não compensou o menor acúmulo de matéria seca neste adubo, e a crotalária *juncea* excedeu em muito a quantidade de nitrogênio ciclada/fixada pela crotalária *spectabilis*.

Para os demais macronutrientes de ciclagem interna (solo-planta), houve grande diferença apenas para o potássio, sendo o acumulado pela crotalária *juncea* (223 kg por hectare), 43% maior que a crotalária *spectabilis*.

Desconsiderando-se eventuais efeitos da composição química da crotalária *spectabilis* sobre a microbiota e a microfauna do solo, a adubação verde com crotalária *juncea* é mais vantajosa que com a crotalária *spectabilis*.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALVARENGA, R. C. et al. Plantas de cobertura de solo para sistema de plantio direto. **Informe Agropecuário**, Belo Horizonte, v. 22, n. 208, p. 25-36, 2001.
- AMABILE, R. F.; FANCELLI, A. L.; CARVALHO, A. M. Comportamento de espécies de adubos verdes em diferentes épocas de semeadura e espaçamentos na região dos cerrados. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.35, p. 47-54, 2000.
- BARBOSA et al. Dry matter production and nitrogen, phosphorus and potassium uptake in *Crotalaria juncea* and *Crotalaria spectabilis*. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, v.50, e61011, 2020
- BARRETTO, A.C.; FERNANDES, M.F. **Recomendações técnicas para uso da adubação verde em solos de Tabuleiros Costeiros**. Aracaju: EMBRAPA Tabuleiros Costeiros, 2001. 24p.
- CÁCERES, N. T.; ALCARDE, J. C. Adubação verde com leguminosas em rotação com cana-de-açúcar (*Saccharum* spp). **STAB–Açúcar, Álcool e Subprodutos**, v.13, n.5, p.16-20, 1995.
- CASTELLANO-HINOJOSA, A.; STRAUSS, SARAH L. Impact of Cover Crops on the Soil Microbiome of Tree Crops. **Microorganisms**, v. 8., n. 328 p.1-17, 2020.
- CHADA S.S, DE-POLLI, H. Nodulação de leguminosas tropicais promissoras para a adubação verde em solo deficiente em fósforo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.23, p.1197-1202. 1988.
- DUARTE JÚNIOR, J. B.; COELHO, F. C. Adubos verdes e seus efeitos no rendimento da cana-de-açúcar em sistema de plantio direto. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.67, p. 723-732, 2008.
- ERNANI, P.R.; BAYER, C.; FONTOURA, S. M. V. Influência da calagem no rendimento de matéria seca de plantas de cobertura e adubação verde, m casa de vegetação. **R. Bras. Ci. Solo**, v. 25, p.897-904, 2001.
- FERREIRA, D. F. Sisvar: a computer statistical analysis system. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 35, n. 6, p. 1039–1042, 2011.
- LEAL, M. A. A. **Produção eficiência agrônômica de compostos obtidos com a palhada de gramíneas e leguminosas para o cultivo de hortaliças orgânicas**. Tese – Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro. 2006. 113 p.
- LIMA, J. D. et al. Arranjo espacial, densidade e época de semeadura no acúmulo de matéria seca e nutrientes de três adubos verdes. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, v.40, n. 4, p. 531-540. 2010.
- LIMA, J. D. et al. Produção de biomassa e composição química de adubos verdes cultivados no vale do Ribeira. **Bioscience Journal**, v.28, n. 5, p. 709-717, 2012.

MALAVOLTA, E.; VITTI, G. C. & OLIVEIRA, S. A. **Avaliação do estado nutricional das plantas: princípios e aplicações**. Piracicaba: Associação Brasileira para Pesquisa da Potassa e do Fosfato, 1997. 211p.

MASCARENHAS, H. A. A. et al. Efeito residual de leguminosa sobre rendimento físico e econômico da cana-planta, **Instituto Agrônomo de Campinas**. Boletim Técnico n.32. Campinas, 1994. 15 p.

MAUD, M. et al. Dry matter production and nutrient accumulation in *Crotalaria spectabilis* shoots. **Journal of Nutrition**. <https://doi.org/10.1080/01904167.2019.1567779>. 2019

MEDA, A. R. **Tolerância à toxidez do alumínio por leguminosas tropicais utilizadas em adubação verde**. Dissertação (Mestrado) – Instituto de Biologia, Universidade Estadual de Campinas. Campinas. 2003. 109 p.

OLIVEIRA, M.W. et al. Taxa de crescimento, acúmulo de nutrientes e atividade alelopática da crotalária *juncea*. In: **III Simpósio Brasileiro de Agricultura Sustentável. 2011**. Viçosa. Anais do... III Simpósio Brasileiro de Agricultura Sustentável. 2011a. CD ROM.

OLIVEIRA, M.W. et al. Acúmulo de matéria seca de nitrogênio por crotalária *juncea*, crotalária *spectabilis* e feijão de porco, inoculados com rhizobium. In: **XXI Congresso Brasileiro de Zootecnia**. 2011. Maceió. Anais do... XXI Congresso Brasileiro de Zootecnia. 2011b. CD ROM.

OLIVEIRA, M. W. et al. Época de semeadura altera o crescimento e a produção de biomassa da crotalária *juncea*. **I Congresso Internacional das Ciências Agrárias – COINTER**. Recife – PE. Anais do I Congresso. 2016. CD.

OLIVEIRA M.W. et al. **Mineral nutrition and fertilization of sugarcane**. In: Sugarcane – Technology and Research. 1ed. Londres: INTECH - Open Science, 2018. Disponível em: <https://www.intechopen.com/books/sugarcane-technology-and-research/mineral-nutrition-and-fertilization-of-sugarcane>. 2018.

OLIVEIRA, M. W. et al. Sugarcane Production Systems in Small Rural Properties. In: **Multifunctionality and Impacts of Organic and Conventional Agriculture** 1ed. Londres: INTECH - Open Science, 2019. Disponível em: <https://www.intechopen.com/books/multifunctionality-and-impacts-of-organic-and-conventional-agriculture/sugarcane-production-systems-in-small-rural-properties>

OLIVEIRA, M. W. et al. Adubação verde com crotalária *juncea* em áreas de implantação ou reforma de canaviais, em pequenas propriedades rurais. In: **Extensão Rural: práticas e pesquisas para o fortalecimento da agricultura familiar**. v.2. Editora Científica Digital.Guarujá - SP. Disponível em: <https://downloads.editoracientifica.org/articles/201102246.pdf>. 2021a.

OLIVEIRA, M. W. et al. Fertilidade do solo e acúmulo de nutrientes na crotalária *juncea*. **VI Congresso Internacional das Ciências Agrárias – COINTER**. Recife – PE. Anais do VI Congresso. 2021b.

OLIVEIRA, M.W. et al. Análise do crescimento da braquiária brizantha, usada como planta de cobertura do solo e recicladora de nutrientes. IN: **Congresso Internacional das Ciências Agrárias (COINTER PDVAgro 2021)**. 2021c.

OLIVEIRA, M. W. et al. Dry matter and nutrient cycling by soil cover plants in an intensive corn silage production system. **Research, Society and Development**, v.11, p. 1-15, 2022.

PACHECO, L. P. et al. Ciclagem de nutrientes por plantas de cobertura e produtividade de soja e arroz em plantio direto. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.48, n.9, p.1228-1236, 2013.

PACHECO, L. P. et al. Desempenho de plantas de cobertura em sobressemeadura na cultura da soja. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.43, p.815-823, 2008. <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-204X2008000700005>

PADOVAN, M.P. et al. Dinâmica do acúmulo de massa e de nutrientes pela *Crotalaria juncea* para fins de adubação verde e o estágio adequado para seu manejo. *Cadernos de Agroecologia*, v.9, n.4. p. 1-12., 2014.

PEREIRA, A. J. Caracterização agrônômica de espécies de *Crotalaria* L. em diferentes condições climáticas e contribuição da adubação verde com *C. juncea* no cultivo orgânico de brássicas em sistema de plantio direto. Tese. Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, 2007. 72 p.

PERIN, A. et al. Produção de fitomassa, acúmulo de nutrientes e fixação biológica de nitrogênio por adubos verdes em cultivo isolado e consorciado. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**. v.39, p. 35-40, 2004.

PITTELKOW, F. K. et al. Produção de biomassa e acúmulo de nutrientes em plantas de cobertura sob diferentes sistemas de preparo do solo. **Revista Agrarian**, v.5, n.17, p.212 -222, 2012.

RAIJ, B. **Fertilidade do solo e manejo de nutrientes**. Piracicaba: International Plant Nutrition Institute, 2011. 420p.

RAIJ, B. **Gesso na agricultura**. Campinas: Instituto Agronômico de Campinas, 2008. 233p.

REDIN, M. et al. Plantas de cobertura de solo e a agricultura sustentável: espécies, matéria orgânica e ciclagem de carbono e nitrogênio. p 7-22. In TIECHER, T. et al. Org. **Manejo e conservação do solo e da água em pequenas propriedades rurais no sul do Brasil: práticas alternativas de manejo visando a conservação do solo e da água**. 2016.

RIBEIRO JÚNIOR, W. Q, RAMOS M.L.G. Fixação biológica de nitrogênio em espécies para adubação verde. IN: **Cerrado: Adubação verde**. CARVALHO, A. M; AMABILE, R., EMBRAPA Cerrados, p. 171-209, 2006.

SANTOS, D. F. **Crescimento e acúmulo de matéria seca e de potássio pela braquiária decumbens, utilizada como planta de cobertura de solo**. Trabalho de conclusão de curso. Campus de Engenharias e Ciências Agrárias. Universidade Federal de Alagoas. 2022. 36 p.

SANTOS, V. S.; CAMPELO JÚNIOR, J. H. Influência dos elementos meteorológicos na produção de adubos verdes, em diferentes épocas de semeadura. **Revista Brasileira de**

Engenharia Agrícola e Ambiental, v.7, n.1, p. 91-98. 2003.

SILVA, D. J.; QUEIROZ, A. C. **Análise de alimentos**: métodos químicos e biológicos. 3 ed. Viçosa: UFV. 2006. p.235.

TEODORO, R. B. et al. Aspectos agronômicos de leguminosas para adubação verde no cerrado do Alto do Vale do Jequitinhonha. **Rev. Bras. Ci. Solo**, v. 35, p.635-643, 2011.

VUKICEVICH¹, E.; LOWERY, T.; BOWEN, P.; ÚRBEZ-TORRES, P. R.; MIRANDA, H. Cover crops to increase soil microbial diversity and mitigate decline in perennial agriculture. A review. **Agron. Sustain. Dev.**, v. 36, n.48, p. 1-14, 2016.

WUTKE, E. B. et al. Espécies de adubos verdes e plantas de cobertura, e recomendação para uso. In: **Adubação verde e plantas de cobertura no Brasil. Fundamentos e prática**. v.1, 2 edição, p. 59-200, 2023.