



UNIVERSIDADE FEDERAL DE ALAGOAS
CAMPUS ARAPIRACA
AGRONOMIA - BACHARELADO

JOHN KENNEDY DOS SANTOS

**DINÂMICA DE DECOMPOSIÇÃO E LIBERAÇÃO DE NUTRIENTES EM
PLANTAS DE COBERTURA NO AGRESTE ALAGOANO**

ARAPIRACA

2023

John Kennedy dos Santos

Dinâmica de decomposição e liberação de nutrientes em plantas de cobertura no agreste
Alagoano

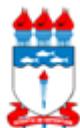
Trabalho de Conclusão de Curso (TCC)
apresentado ao curso de Agronomia da
Universidade Federal de Alagoas – UFAL, *Campus*
de Arapiraca, para obtenção do título de Engenheiro
Agrônomo.

Orientador: Prof. Dr. Valdevan Rosendo dos Santos

Coorientador: Me. Sivaldo Soares Paulino

Arapiraca

2023



Universidade Federal de Alagoas – UFAL
Campus Arapiraca
Biblioteca *Campus* Arapiraca - BCA

S237d Santos, John Kennedy dos
Dinâmica de decomposição e liberação de nutrientes em plantas de cobertura
no agreste Alagoano / John Kennedy dos Santos. – Arapiraca, 2023.
35 f.: il.

Orientador: Prof. Dr. Valdevan Rosendo dos Santos.
Coorientador: Me. Sivaldo Soares Paulino.
Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Agronomia.) - Universidade
Federal de Alagoas, *Campus* Arapiraca, Arapiraca, 2023.
Disponível em: Universidade Digital (UD) – UFAL (*Campus* Arapiraca).
Referências: f. 32-35.

1. Adubação verde 2. Resíduo de planta 3. Ciclagem de nutriente 4. Cinética
de perda de massa 5. Plantas de cobertura I. Santos, Valdevan Rosendo dos II.
Paulino, Sivaldo Soares III. Título.

CDU 63

John Kennedy dos Santos

Dinâmica de decomposição e liberação de nutrientes em plantas de cobertura no agreste
Alagoano

Trabalho de Conclusão de Curso (TCC)
apresentado ao curso de Agronomia da
Universidade Federal de Alagoas – UFAL,
Campus de Arapiraca, para obtenção do título de
Engenheiro Agrônomo.

Aprovado em: 24 de janeiro de 2023

Banca examinadora

Documento assinado digitalmente
 VALDEVAN ROSENDO DOS SANTOS
Data: 24/01/2023 21:53:53-0300
verifique em <https://verificador.itl.br>

Prof. Dr. Valdevan Rosendo dos Santos
Universidade Federal de Alagoas - UFAL Campus de Arapiraca
(Orientador)

Documento assinado digitalmente
 SIVALDO SOARES PAULINO
Data: 25/01/2023 11:49:28-0300
Verifique em <https://verificador.itl.br>

Mestre Sivaldo Soares Paulino
Universidade Federal de Alagoas - UFAL Campus de Arapiraca
(Coorientador)

Documento assinado digitalmente
 JOAO HENRIQUE SILVA DA LUZ
Data: 25/01/2023 10:51:07-0300
Verifique em <https://verificador.itl.br>

Mestrando João Henrique Silva da Luz
Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz” – ESALQ/USP
(Examinador 1)

Documento assinado digitalmente
 LUANA DO NASCIMENTO SILVA BARBOSA
Data: 25/01/2023 09:22:29-0300
Verifique em <https://verificador.itl.br>

Mestranda Luana do Nascimento Silva Barbosa
Universidade Federal de Alagoas - UFAL
(Examinador 2)

Agradeço a minha família pelo apoio incondicional ao longo da minha jornada acadêmica. Este trabalho é dedicado a eles.

Tudo o que fizerem, façam de todo o coração, como para o Senhor, e não para os homens.

Colossenses 3:23-24

AGRADECIMENTOS

Ao bom Deus Pai criador, ao Deus Filho salvador e ao Divino Espírito Santo santificador. O Senhor, que permitiu enfrentar os desafios rotineiros e realizar meus objetivos durante toda a graduação.

A minha família, em especial meus pais Luiz Carlos dos Santos e Veriana Madalena dos Santos, pelo apoio e conforto para que eu pudesse me concentrar apenas em meus estudos. Aos meus irmãos John Lennon dos Santos e Layze Victória dos Santos, que sempre estiveram do meu lado.

Aos meus cooperados, Alfredo Manoel, Arthur Félix, José Santana, José Wilker e Matheus Batista da Silva que estiveram sempre ao meu lado e demonstraram sua ajuda durante todo o curso.

Aos meus queridos colegas de curso, Amanda, Anderson, Ellyton, Everaldo, Fábio, Jandiel, Jeronimo, Júlio, Kelyva, Matheus Bezerra, Thaíse, Vitória e Wallyson, pela troca de conhecimento e experiência de vida.

Ao professor Dr. Valdevan Rosendo dos Santos, pela confiança, orientação científica e conhecimentos adquiridos na universidade, que levarei comigo por toda a vida.

Ao meu coorientador Me. Sivaldo Soares Paulino, pela sua paciência, conselhos e assistência profissional, sem os quais eu não teria conseguido.

Aos demais professores do curso de Agronomia, pelas aulas que permitiram dar o meu melhor no desenvolvimento profissional ao longo da graduação.

Ao Grupo de Pesquisa Solo Agreste (GPESA), mediante aos meus colegas Bruno, Igor, Jane, Jordana, Leonardo, Luana, Lucas, Matheus Barbosa (Ellyton II), Nelson, Ricardo, Richard, Thalwanys, Thiago, Raquel, Vinícius e Viviane.

Aos colegas de curso que hoje são amigos, Damiana, Deyse, Larissa, Mariana e Rhuan.

União da República Federativa do Brasil pelo incentivo disponibilizado durante a graduação.

E a todos que de alguma forma contribuíram para que esse projeto se tornasse realidade.

RESUMO

A reciclagem de resíduos de plantas é fundamental para a manutenção da fertilidade do solo e o rendimento das culturas. Compreender as taxas de decomposição e liberação de nutrientes de resíduos da parte aérea de *Fabaceae* é crucial para o manejo da adubação verde, especialmente na região de Alagoas, onde tais informações são escassas. Teve como objetivo avaliar em condições de campo a taxa de decomposição e liberação de nutrientes de resíduos da parte aérea com potencial de uso como adubação verde na região Agreste de Alagoas. O delineamento foi em blocos casualizados no esquema de parcelas subdivididas, com quatro repetições, no qual a parcela principal foi constituída por sete espécies de leguminosas e as subparcelas pelas épocas avaliadas. A extração do nitrogênio (N) foi determinada pelo método de Kjeldahl (1883); O fósforo (P), potássio (K), cálcio (Ca) e magnésio (Mg) foram extraídos pela digestão nitroperclórica. Por espectrofotometria foram quantificados o Ca e Mg por absorção atômica, o K por chama e o P por ultravioleta na região do visível pelo método com metavanadato no comprimento de onda 470 nm. A perda de massa e nutrientes dos resíduos foi rápida até aos 60 dias, associada às frações solúveis, seguida de uma fase mais lenta, associada com frações mais recalcitrantes dos resíduos para todas as espécies até aos 150 dias. A liberação de 50% (meia vida - $t_{1/2}$) do K ocorreu entre 14 e 22 dias enquanto para o Ca, nutriente de maior persistência nos resíduos variou de 108 a 283 dias. Os $t_{1/2}$ do N, P e Mg variaram de 1,5 a 4 meses. O guandu anão (*Cajanus cajan forrageiro*), guandu arbóreo (*Cajanus cajan arbóreo*) e a mucuna preta (*Mucuna aterrima*) devem ser utilizadas em áreas que exijam maior persistência dos resíduos no solo, pois apresentaram maior resistência para a decomposição dos resíduos e liberação de nutrientes. As espécies de plantas de cobertura avaliadas apresentaram potencial para o uso como adubação verde na região Agreste de Alagoas. A *Crotalaria juncea* (*Crotalaria juncea*), crotalária espectabilis (*Crotalaria spectabilis*), labe labe (*Dolichos lablab*) e feijão de porco (*Canavalia ensiformis*) mostraram maiores taxas de decomposição e liberação de nutrientes e se apresentam como as mais promissoras para uso como adubação verde, especialmente para hortaliças de ciclo curto.

Palavras-chave: adubação verde; resíduo de planta; ciclagem de nutriente; cinética de perda de massa; plantas de cobertura.

ABSTRACT

The recycling of plant waste is essential for maintaining soil fertility and crop yield. Understanding the rates of decomposition and nutrient release of residues from the aerial part of *Fabaceae* is crucial for the management of green fertilization, especially in the region of Alagoas, where such information is scarce. The objective of this study was to evaluate under field conditions the rate of decomposition and release of nutrients from aerial waste with potential use as green fertilization in the Agreste region of Alagoas. The design was randomized blocks in a split-plot scheme, with four replications, with the main plot consisting of seven leguminous species and the subplots by the evaluation times. Nitrogen (N) extraction was determined by the Kjeldahl method (1883); phosphorus (P), potassium (K), calcium (Ca) and magnesium (Mg) were extracted by nitro-perchloric digestion. By spectrophotometry were quantified Ca and Mg by atomic absorption, K by flame and P by ultraviolet in the visible region by the method with metavanadate at wavelength 470 nm. The loss of mass and nutrients of the residues was fast up to 60 days, associated with the soluble fractions, followed by a slower phase, associated with more recalcitrant fractions of the residues for all species up to 150 days. The release of 50% (half-life – $t_{1/2}$) of K occurred between 14 and 22 days while for Ca, nutrient of greater persistence in residues ranged from 108 to 283 days. The $t_{1/2}$ of N, P and Mg ranged from 1,5 to 4 months. The pigeon pea forage (*C. cajan* forager), pigeon pea arboreal (*C. cajan* arboreal) and mucuna (*M. aterrima*) should be used in areas that require greater persistence of residues in the soil, as they have greater resistance to the decomposition of residues and the release of nutrients. The evaluated cover crop species showed potential for use as green manure in the Agreste region of Alagoas. Sunn hemp (*Crotalaria juncea*), spectabilis (*Crotalaria spectabilis*), lab lab (*Dolichos lablab*) and jack bean (*Canavalia ensiformis*) showed higher rates of decomposition and release of nutrients and are the most promising for use as green fertilization, especially for short-cycle vegetables.

Keywords: Green manuring; Plant residue; Nutrient cycling; Kinetics of loss of mass; Cover crops.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Área experimental.....	18
Figura 2 - Precipitação, temperatura máxima (Tmax), média (Tmed) e mínima (Tmin) decendial para o período de maio de 2011 a fevereiro de 2012, Arapiraca, Alagoas.....	19
Figura 3 - Massa remanescente de resíduos da parte aérea das plantas de cobertura incorporadas ao solo na região Agreste de Alagoas.....	22
Figura 4 - Nitrogênio remanescente de resíduos das plantas de cobertura incorporadas ao solo para decomposição na região Agreste de Alagoas.....	25
Figura 5 - Fósforo remanescente de resíduos das plantas de cobertura incorporadas ao solo para decomposição na região Agreste de Alagoas.....	26
Figura 6 - Potássio remanescente de resíduos das plantas de cobertura incorporadas ao solo para decomposição na região Agreste de Alagoas.....	27
Figura 7 - Cálcio remanescente de resíduos das plantas de cobertura incorporadas ao solo para decomposição na região Agreste de Alagoas.....	28
Figura 8 - Magnésio remanescente de resíduos das plantas de cobertura incorporadas ao solo para decomposição na região Agreste de Alagoas.....	29

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

C	Carbono
N	Nitrogênio
P	Fósforo
K	Potássio
Ca	Cálcio
Mg	Magnésio
DAI	dias após incorporação
DAF	Dias até a floração
CJ	<i>Crotalaria Juncea</i>
CS	<i>Crotalaria spectabilis</i>
GF	<i>Cajanus cajan</i> forrageiro
GA	<i>Cajanus cajan</i> arbóreo
LL	<i>Dolichos lablab</i>
FP	<i>Canavalia ensiformis</i>
MP	<i>Mucuna aterrima</i>
GPESA	Grupo de Pesquisa Solo Agreste
MV	massa verde
MS	massa seca
max	máxima
med	média
min	mínima
C/N	razão carbono/nitrogênio
SPD	Sistema Plantio Direto
T	temperatura

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	11
2 REVISÃO DE LITERATURA	12
2.1 Uso de leguminosas como adubo verde	12
2.1.1 Crotalaria juncea (CJ)	13
2.1.2 Crotalaria spectabilis (CS)	14
2.1.3 Guandu anão (GF)	14
2.1.4 Guandu arbóreo (GA)	14
2.1.5 Labe-labe (LL)	15
2.1.6 Feijão de porco (FP)	15
2.1.7 Mucuna preta (MP)	15
2.2 Dinâmica de decomposição e liberação de nutrientes	16
3 MATERIAL E MÉTODOS	18
3.1 Caracterização da área experimental	18
3.2 Delineamento experimental e tratamentos	19
3.3 Extração de nutrientes	20
3.4 Percentagem de massa seca remanescente (MR)	20
3.5 Decomposição e liberação de nutrientes	21
3.6 Tempo de meia-vida	21
3.7 Procedimentos estatístico	21
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO	22
5 CONCLUSÕES	31
REFERÊNCIAS	32

1 INTRODUÇÃO

A reciclagem dos resíduos culturais é essencial para a ciclagem de nutrientes nas áreas agrícolas que visam a manutenção da matéria orgânica do solo e a contínua liberação de nutrientes para as culturas em sucessão. A permanência dos resíduos vegetais e o fluxo de liberação de nutriente no solo dependem da velocidade de decomposição da matéria seca, a qual varia com as condições e processos biológicos do solo, condições climáticas, espécie cultivada, época de corte, manejo adotado e pelas características químicas e bioquímicas do material (WANG et al., 2004; CALEGARI et al., 2008; DINIZ et al., 2017).

A predição das taxas de decomposição e o tempo de liberação dos nutrientes dependem dos conhecimentos adquiridos a partir de experimentações e são importantes para ajustar o aproveitamento dos nutrientes dessas plantas pelos cultivos em sequência, buscando fazer a sincronização entre a liberação dos nutrientes e a exigência das culturas comercialmente cultivadas na região (XAVIER; OLIVEIRA; SILVA, 2017).

A região Nordeste do Brasil se distingue por padrões pluviométricos irregulares com alta variabilidade espacial e temporal, bem como ciclos de estiagens, secas e enchentes que ocorrem em intervalos regulares de anos a décadas (XAVIER; DORNELLAS, 2005; LACERDA et al., 2009).

A cobertura vegetal é uma prática extremamente útil para a agricultura na região Nordeste brasileira (PAIVA et al., 2014). Ela permite que a água da chuva seja retida no solo, diminuindo o escoamento superficial e o risco de erosão, além de aumentar a eficiência da irrigação, tornando o ambiente mais adequado para o cultivo.

É importante obter informações a partir de experimentos de campo com as principais espécies utilizadas na adubação verde a fim de se conhecer a velocidade de decomposição e liberação dos nutrientes dessas plantas (MORADI et al., 2014), uma vez que não existe informação disponível sobre decomposição e liberação de nutrientes para *Fabaceae* com potencial de para uso como adubação verde na região Agreste de Alagoas.

Com o presente trabalho, teve como objetivo avaliar em condições de campo a decomposição e a liberação de nutrientes de resíduos da parte aérea de *Fabaceae* com potencial de uso como adubação verde na região Agreste de Alagoas.

2 REVISÃO DE LITERATURA

2.1 Uso de leguminosas como adubo verde

O cultivo de leguminosas traz inúmeros benefícios para o solo, auxiliando no desenvolvimento e, conseqüentemente, na produtividade da cultura de interesse econômico devido, principalmente, a fixação de N através da associação com microrganismos (CALEGARI, 2019; CHERUBIN et al., 2022).

Ferreira et al. (2018) e Rigon et al. (2020) enfatizam que a escolha da planta de cobertura deve estar associada a alta capacidade de produção de biomassa e persistência de resíduos na camada superficial do solo, de modo a protegê-lo fisicamente em períodos de excesso ou deficiência de água, bem como manter ou melhorar as frações C/N e a agregação do solo.

Além do importante papel já mencionado, o ciclo vegetativo e a subsequente decomposição dos resíduos culturais regulam a ciclagem de nutrientes e aumentam a disponibilidade de N, P, K, Ca e Mg e outros macro e micronutrientes para as culturas seguintes (CHERUBIN et al., 2022).

De modo geral, as plantas de cobertura da família das leguminosas (*Fabaceae*) tem baixa relação C/N quando comparado às espécies da família das gramíneas (*Poaceae*), porém essa característica das leguminosas também reduz a taxa de decomposição e ajuda a preservar a matéria orgânica do solo, isto é, os resíduos provenientes da biomassa tendem a persistir por mais tempo nas camadas superficiais do solo (MAZETTO JUNIOR et al., 2019).

Marcelo; Corá; Fernandes (2012) reiteram que uma baixa taxa de decomposição e liberação lenta de nutrientes para resíduos vegetais com baixa relação C/N está associada a menores concentrações de N e P e alto teor de substâncias recalcitrantes como lignina e polifenóis.

Os adubos verdes atuam não só na cobertura do solo, mas também no aporte de nutrientes, sendo crucial para o desenvolvimento de sistemas agroecológicos em estágio inicial, tornando-se uma alternativa sustentável que pode substituir a adubação química, reduzir o uso de produtos sintéticos e criar condições ambientais propícias ao cultivo (NASCIMENTO et al., 2022).

A adubação verde é uma prática utilizada pelos produtores de hortaliças para aumentar a produtividade e, ao mesmo tempo, reduzir o impacto ambiental e os custos de produção. O fornecimento de nutrientes, principalmente o N, e a produção significativa de biomassa das

espécies utilizadas para esse fim melhoram a integridade estrutural do solo, favorecendo o estabelecimento de novas culturas (LINHARES et al., 2022).

Devido ao aumento acentuado da decomposição e liberação de nutrientes dos resíduos culturais em um período de tempo mais curto, o uso de leguminosas capazes de formar simbioses microbianas com organismos fúngicos arbusculares e bactérias, mostrou-se uma estratégia eficaz para acelerar a recuperação de solos degradados (CHAER et al., 2011).

A quantidade de adubação mineral utilizada pode ser reduzida em 50% sem afetar a produtividade da lavoura de hortaliças através do uso de leguminosas em cobertura (TORRES et al., 2021).

Góes et al. (2011), Linhares et al. (2022) e Lino et al. (2022) afirmam que a utilização de leguminosas e espécies espontâneas como adubo verde na produção de hortícolas no semiárido brasileiro mostrou-se uma prática eficaz devido ao alto valor nutritivo proporcionado pela mistura de adubo proveniente dos resíduos da biomassa, sendo capaz de atender as necessidades das culturas de forma eficiente, especialmente quando expostas à alta densidade populacional. Além disso, Lino et al. (2022) reitera que os adubos verdes possibilitam uma ciclagem de nutrientes mais aceleradas, conduzindo nutrientes mais profundos para a superfície do solo.

Ragozo; Leonel; Crocci (2006) presumem que após vários anos de uso de adubos verdes, os valores de produtividade possam aumentar devido a uma alteração na composição da matéria orgânica no solo, sendo mais rica em nutrientes e, no caso das leguminosas, a capacidade de aproveitamento do N atmosférico, contribui no incremento da disponibilidade deste elemento para as culturas.

2.1.1 *Crotalaria juncea* (CJ)

A CJ é comumente designada para adubação verde no Brasil, devido ao seu alto potencial de produção de biomassa em um curto período de tempo, garantindo suprimento eficiente de nitrogênio ao solo e reciclagem de nutrientes. Além de auxiliar no combate aos processos erosivos e no controle de plantas espontâneas pelo efeito alelopático. A decomposição de sua palhada fornece em média 350 kg/ha de N, 35 kg/ha de P, 200 kg/ha de K, 60 kg/ha de Ca e 30 kg/ha de Mg ao solo. Esta espécie tem um padrão de crescimento arbustivo e pode atingir uma altura de 3,5 metros. Suas flores são de cor âmbar e se destacam bastante por conterem propriedades repelentes de moscas e mosquitos (CALEGARI, 2019; CHERUBIN et al., 2022).

2.1.2 *Crotalaria spectabilis* (CS)

A CS é comumente conhecida como guizo-de-cascavel e chocalho-de-cascavel. Entre as leguminosas, destaca-se pela eficácia na redução das populações de nematoides, principalmente de galhas, cistos e lesões radiculares. Possui excelente capacidade de fixação biológica de nitrogênio, possibilitando uma rápida liberação no solo. A decomposição da palhada fornece em média 220 kg/ha de N, 24 kg/ha de P, 220 kg/ha de K, 65 kg/ha de Ca e 28 kg/ha de Mg ao solo. Por possuir porte médio, pode ser utilizada nas entrelinhas de culturas perenes, de modo que, não irá prejudicar o trânsito de máquinas ou pessoas (CALEGARI, 2019; CHERUBIN et al., 2022).

2.1.3 Guandu anão (GF)

O GF é conhecido como "zebu" por causa de sua rusticidade. Desta forma, adapta-se bem às regiões tropicais e subtropicais, possuindo alto valor proteico e sendo utilizado na alimentação animal e humana. Porém, é especialmente indicada para recuperação de solos, pois produz massa verde com baixa relação C/N para uso como adubação verde, possui alta capacidade de nodulação e fixação de nitrogênio, além de ser um ótimo reciclador de nutrientes. O GF pode disponibilizar para o solo 29 kg/ha de P, 74 kg/ha de K, 209 kg/ha de Ca e 4,50 kg/ha de Mg (CALEGARI, 2019; CHERUBIN et al., 2022).

2.1.4 Guandu arbóreo (GA)

O GA é uma planta de grande porte que se destaca pela rusticidade, permitindo boa adaptabilidade em regiões tropicais e subtropicais, além de possuir alto valor proteico e ser utilizada na alimentação humana e animal. Semelhante ao Guandu anão, esta espécie é recomendada para recuperação de solos por produzir massa verde com baixa relação C/N para uso como adubação verde, possui alta capacidade de nodulação e fixação de nitrogênio, além de ser um ótimo reciclador de nutrientes. A cultura pode disponibilizar para o solo 275 kg/ha de N, 25 kg/ha de P, 81 kg/ha de K, 159,72 kg/ha de Ca e 30 kg/ha de Mg (CHERUBIN et al., 2022).

2.1.5 Labe-labe (LL)

A LL é uma planta anual de hábito trepador que pode chegar a 3 metros de largura e é resistente. Dessa forma, a área se estabelece rapidamente e se torna uma vegetal que auxilia na preservação da umidade do solo. É frequentemente usado nas zonas de transição entre culturas perenes e é uma boa escolha para uso em padrões de rotação com milho. Além de ser utilizada como adubação verde, também pode ser plantada como planta forrageira em associação com grãos forrageiros, capineiras, feno e silagem. O LL acumula em sua fitomassa seca cerca de 60 kg/ha de N, 20 kg/ha de P, 177,8 kg/ha de K, 164,3 kg/ha de Ca e 41,3 kg/ha de Mg (CHERUBIN et al., 2022).

2.1.6 Feijão de porco (FP)

O FP pode ser utilizado em troca com culturas perenes ou sazonais, misturado com grãos como milho, e em rotação, antes ou depois da cultura de valor econômico. Uma das principais finalidades de seu uso é a produção de matéria verde e seca para adubação verde. Também atua no controle de plantas invasoras, especialmente da tiririca (*Cyperus rotundus*), através de efeito alelopático. Disponibiliza 57 e 190 kg/ha de N podem ser fixados por ano, e são disponibilizados pela leguminosa 287 kg/ha de N, 19 kg/ha de P, 105 kg/ha de K, 64 kg/ha de Ca e 20 kg/ha de P para o solo (CHERUBIN et al., 2022).

2.1.7 Mucuna preta (MP)

As características da MP incluem ser uma leguminosa rústica e agressiva com alto rendimento de matéria seca e boa capacidade de ciclagem de nutrientes. Devido ao seu alto potencial de fixação de N e capacidade de suprimir populações de nematoides, é recomendado para uso em áreas com solos degradados como adubo verde. A literatura não recomenda o plantio de MP em sistemas de consórcio devido à sua capacidade de expansão e agressividade. Por ser uma planta hospedeira de outras espécies de nematoides, a MP só deve ser cultivada duas ou três vezes seguidas. Esta leguminosa pode fornecer em média para o solo 185 kg/ha N, 14 kg/ha de P, 125 kg/ha de K, 39 kg/ha de Ca e 10 kg/ha de Mg (CHERUBIN et al., 2022).

2.2 Dinâmica de decomposição e liberação de nutrientes

Compreender a decomposição e mineralização dos nutrientes dos diversos resíduos culturais é essencial para que estes sejam efetivamente introduzidos em sistemas de produção no futuro, promovendo a proteção do solo por meio da persistência de resíduos na área e proporcionando nutrientes para culturas sucessivas através do ciclo biogeoquímico (MALUF et al., 2015; MARCELO; CORÁ; FERNANDES, 2012).

De acordo com Weiler et al. (2022), a decomposição dos resíduos culturais é dividida em uma fase rápida (fração solúvel), seguida por uma fase lenta como resultado da presença de celulose e hemicelulose, que possuem taxas de decomposição intermediárias e são mais significativas nessa fase. Em contraste, a lignina tem maior resistência à decomposição e regula as taxas de degradação dos resíduos culturais em estágios posteriores de decomposição.

Além da qualidade dos resíduos, as condições edafoclimáticas afetam a taxa de decomposição e liberação de nutrientes para o solo (MARCELO; CORÁ; FERNANDES, 2012). Segundo Pacheco et al. (2011), a precipitação, a temperatura e o tipo de material usado para criar as sacolas de decomposição, nas quais a biomassa é armazenada antes de ser incorporada ao solo, podem causar variações na taxa de liberação de nutrientes.

De acordo com Pereira; Soares; Miranda (2016), mesmo para espécies com baixas relações C/N, como as leguminosas, a decomposição dos resíduos pode ser muito lenta quando há ausência de precipitação durante o período de decomposição. Além das chuvas, a composição química dos resíduos é um componente chave para entender a dinâmica da decomposição (SILVA et al., 2015).

Para evitar que os microrganismos decompositores explorem o N do solo, é necessário que a relação folha/caule do material vegetal no qual será utilizado como adubo verde esteja no ponto de equilíbrio, sendo que essa condição, onde a mineralização é aproximadamente equivalente à imobilização, ocorre quando a relação C/N do resíduo está entre 20 a 30 (LINHARES et al., 2022). Segundo Góes et al. (2011), a relação C/N do adubo verde de 19/1 foi um fator significativo para melhorar o crescimento das hortaliças folhosas no semiárido brasileiro.

A velocidade com que os resíduos orgânicos se decompõem condicionam o tempo que as plantas de cobertura mortas permanecem na superfície do solo e a liberação de nutrientes (TORRES, et al., 2005; LEITE et al., 2015).

Existem plantas que podem influenciar o ambiente a seu favor, isto é, a decomposição regular de uma planta pode fornecer uma ferramenta para influenciar positivamente o meio no qual está inserida, não apenas através da deposição de matéria orgânica, mas também pelos controles sucessivos de liberação de nutrientes (LUZ et al., 2020)

O aproveitamento dos nutrientes pela cultura de interesse econômico pode ser reduzido devido ao sistema de manejo utilizado, que tem o potencial de alterar a taxa de decomposição e promover a dessincronização entre a quantidade de nutrientes deixados pelo cultivo anterior e os liberados dos resíduos vegetais das plantas de cobertura (COSTA et al., 2016).

3 MATERIAL E MÉTODOS

3.1 Caracterização da área experimental

O experimento foi conduzido em condições de campo na área experimental da Universidade Federal de Alagoas, *Campus Arapiraca* sob as coordenadas geográficas 9°41'57"S, 36°41'10"W e altitude de 321 m acima do nível médio do mar (Figura 1).

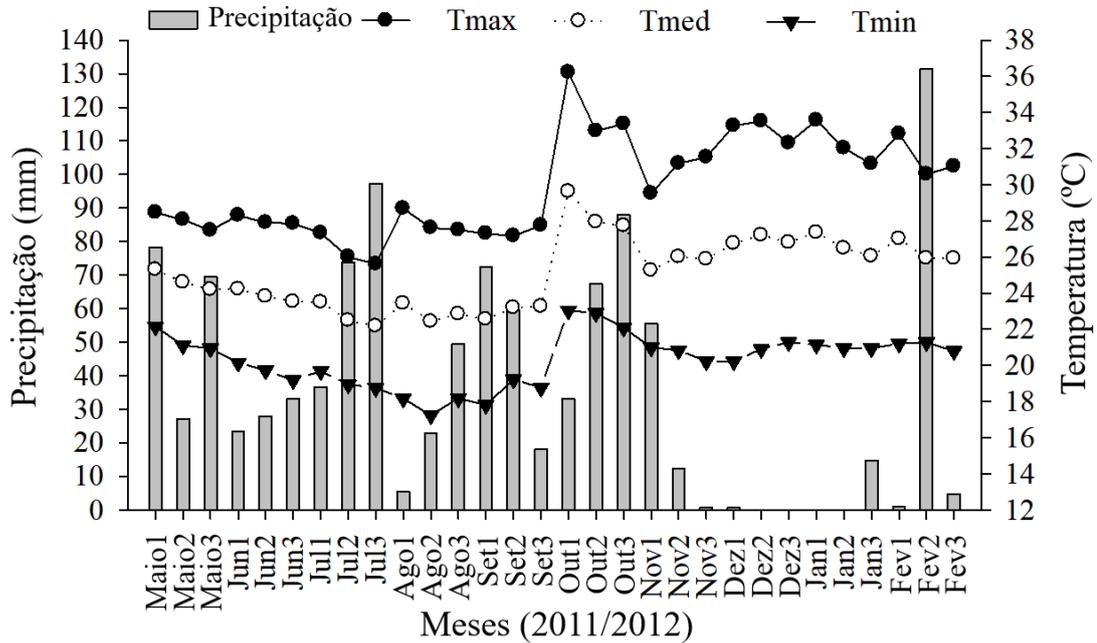
Figura 1 - Área experimental



Fonte: Autor (2022).

A área experimental localiza-se na região do Agreste, área de transição entre a Zona da Mata e o Sertão Alagoano, com precipitação anual variando entre 750 e 1000 mm. O clima classificado pelo critério de Köppen (1948) como tipo 'As', no qual existem chuvas de inverno (abril - setembro) e seca de verão (outubro - março). Os dados de precipitação e temperatura durante o período experimental estão fornecidos na Figura 2.

Figura 2 - Precipitação, temperatura máxima (Tmax), média (Tmed) e mínima (Tmin) decendial para o período de maio de 2011 a fevereiro de 2012, Arapiraca, Alagoas.



Fonte: Autor (2022).

O solo da área experimental é classificado como ARGISSOLO VERMELHO-AMARELO Distrófico (SANTOS et al., 2018).

Tabela 1 - Resultado da análise química do solo antes da implantação do experimento em Arapiraca, Alagoas, no ano de 2011.

pH	M.O	P	K	Ca	Mg	Al	H+Al	T	V	Fe	Cu	Zn	Mn
(H ₂ O)	(g dm ⁻³)	(mg dm ⁻³)	-----	-----	(cmolc dm ⁻³)	-----	-----	-----	%	-----	(mg dm ⁻³)	-----	-----
5,7	15	13	0,2	1,4	1,4	0,2	4	5,67	54	44,5	0,86	2,4	32

Fonte: Autor (2022).

3.2 Delineamento experimental e tratamentos

O delineamento foi em blocos casualizados no esquema de parcelas subdivididas, com quatro repetições. A parcela principal foi constituída por sete espécies de leguminosas: *Crotalaria juncea* - CJ, *Crotalaria spectabilis* - CS, *Cajanus cajan* forrageiro - GF, *Cajanus cajan* arbóreo - GA, *Dolichos lablab* - LL, *Canavalia ensiformis* - FP e *Mucuna aterrima* - MP e as subparcelas por seis épocas de avaliação: 0, 30, 60, 90, 120 e 150 dias após a incorporação (DAI) dos resíduos ao solo. Cada parcela foi constituída de duas bolsas de decomposição, totalizando 12 bolsas para cada espécie.

Para confecção das bolsas de decomposição foi utilizado tecido tule. Foram colocadas 20 gramas de biomassa seca em bolsas de decomposição, as quais foram cobertas com solo (incorporadas) na camada de 0-20 cm. O monitoramento da taxa de decomposição foi realizado por meio de coletas periódicas nas respectivas épocas de avaliação.

Os resíduos vegetais contidos nas bolsas de decomposição em cada época de amostragem foram separados de impurezas e colocados para secar em estufa de circulação de ar a 60° C até massa constante, definida como massa seca. Em seguida o material foi moído e acondicionado em recipientes fechados para posterior digestão e determinação das concentrações dos nutrientes.

3.3 Extração de nutrientes

A determinação de nitrogênio pelo método de arraste de vapor Kjeldahl (MALAVOLTA; VITTI; OLIVEIRA, 1997). Para determinação cálcio (Ca), magnésio (Mg), fósforo (P) e potássio (K) as amostras foram digeridas na extração nitro-perclórica, e quantificadas por espectrofotometria, Ca e Mg foram determinadas por de absorção atômica, K por espectrofotometria de chama e o P pelo ultra violeta na região do visível com metavanadato no comprimento de onda 470 nm (MALAVOLTA; VITTI; OLIVEIRA, 1997).

3.4 Percentagem de massa seca remanescente (MR)

As quantidades de nutrientes remanescentes nas bolsas de decomposição em cada época de amostragem foram determinadas multiplicando-se a massa seca pela concentração do nutriente na amostra. A percentagem de massa seca e de nutrientes remanescentes foi calculada utilizando a seguinte equação:

$$MR (\%) = \frac{Mt}{M_0} \times 100 \quad (1)$$

em que:

MR = percentagem de massa seca ou nutriente remanescente; Mt = quantidade de massa seca ou nutriente remanescente em cada época de amostragem e; M₀ = quantidade inicial de massa ou nutriente.

3.5 Decomposição e liberação de nutrientes

As taxas de decomposição dos resíduos e de liberação de nutrientes foram obtidas por meio do modelo exponencial de decaimento (WIEDER; LANG, 1982):

$$Y = X_0 e^{(-kt)} \quad (2)$$

em que:

Y = quantidade de massa seca ou nutriente remanescente após um período de tempo t, em dias;

X₀ = quantidade de massa seca ou nutriente inicial; k = constante de decomposição do resíduo;

t = tempo em dias.

3.6 Tempo de meia-vida

O tempo de meia-vida, que expressa o período de tempo necessário para a metade do resíduo se decompor foi calculado pela equação:

$$t_{1/2} = \ln(2)/k \quad (3)$$

em que:

t_{1/2} = tempo de meia-vida da massa seca (em dias); ln(2) = valor constante; k = constante de decomposição.

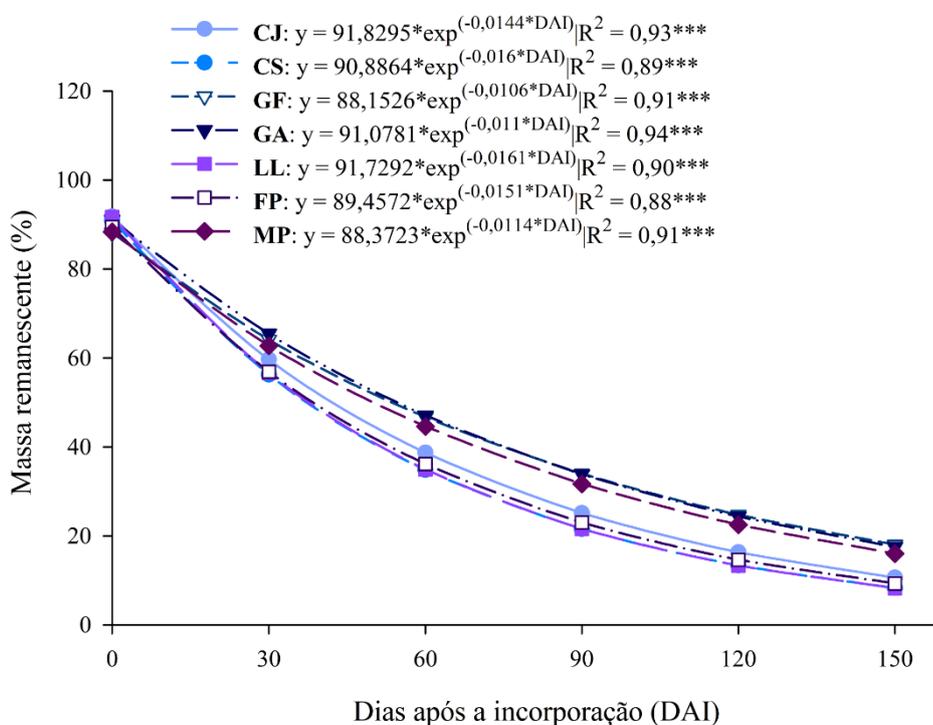
3.7 Procedimentos estatístico

Os dados obtidos foram submetidos à análise de variância pelo teste de F (p < 0,05), sendo em seguida geradas as equações de decomposição da biomassa e liberação dos nutrientes. Os procedimentos gráficos foram realizados com o auxílio do software SigmaPlot, versão 15.0.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

A perda de massa dos resíduos da parte aérea das leguminosas apresentou uma fase de decomposição rápida até os 60 dias após a incorporação (DAI) dos resíduos ao solo, seguida por um período de decomposição mais lenta para todas as espécies até os 150 dias (Figura 3), ocasião em que a massa remanescente não decomposta ficou entre 8 e 18%. As espécies GF, GA e MP apresentaram maior resistência a decomposição a partir dos 30 DAI. Isso está confirmado pelos menores valores das constantes de decomposição (k) e pelo maior tempo necessário para que metade do resíduo fosse decomposta (Tabela 2 e 3).

Figura 3 - Massa remanescente de resíduos da parte aérea de plantas de cobertura incorporadas ao solo para decomposição na região Agreste de Alagoas.



Fonte: Autor (2022).

Dinâmica de decomposição com uma fase inicial rápida até os 23 dias, seguida de uma fase lenta também foi observado por Xavier; Oliveira e Silva (2017), para os quais na fase lenta, os resíduos têm uma maior biodisponibilidade de nutrientes e carbono solúvel que são atacados pelos microrganismos e acelera o processo de decomposição. Resultados compatíveis com os obtidos neste estudo foram observados por Guo et al. (2018), que observaram uma fase de decomposição rápida indo até os 28 dias seguida de um período de liberação lenta até os 84 dias quando cerca de 60 a 70% do material havia sido decomposto.

A fase de rápida decomposição está associada com os componentes solúveis e de relativamente fácil degradação como açúcares, aminoácidos, proteínas e ácidos orgânicos (WANG et al., 2004; MORADI et al., 2014). Esses componentes dos resíduos orgânicos são rapidamente utilizados pelos microrganismos decompositores (ANEJA et al., 2006). Frações mais recalcitrantes tais como ácidos graxos, ceras, taninos, celulose e ligninas serão perdidas em taxas relativamente menores e compõem a fase de lenta decomposição (WIEDER; LANG, 1982; CATTANIO; KUEHNE; VLEK, 2008; ANGST et al., 2019).

Em outras palavras, a taxa na qual os nutrientes são liberados é determinada pelo nível de decomposição dos resíduos. Por exemplo, a decomposição de resíduos mais complexos pode ser mais lenta, o que afetará a velocidade com que os nutrientes serão liberados. Essa percepção destaca a importância de se considerar a proporção de componentes solúveis na parte aérea do resíduo antes de escolher as plantas de cobertura para esse propósito (WEILER, et al., 2019).

Tabela 2 - Constante de decomposição e liberação de nutriente (k) da massa seca (MS) e de nutrientes de resíduos da parte aérea de plantas de cobertura

Espécie	k					
	MS	N	P	K	Ca	Mg
	----- mg g ⁻¹ dia ⁻¹ -----					
CJ	14,4	11,6	7,35	38,1	4,46	8,27
CS	16	9,68	7,94	47,9	5,1	8,1
GF	10,6	10,2	10,4	42,3	3,46	6,5
GA	11	7,85	8,41	31,8	2,45	6,58
LL	16,1	10,1	5,62	45,3	6,4	10,1
FP	15,1	14,7	7,71	49,4	4,75	13
MP	11,4	6,52	12,2	37	2,82	4,03

Fonte: Autor (2022).

Estimativas a partir das equações de regressão apresentadas na figura 3, indicaram que aos 30 DAI a massa remanescente foi de cerca de 57% para a CJ, CS, LL e FP e de 63, 64 e 66% para a MP, GF e GA, respectivamente. Esses percentuais são similares aos obtidos por Xavier; Oliveira e Silva (2017) e Guo et al. (2018).

As constantes de decomposição variaram de 10,6 mg g⁻¹ dia⁻¹ para o GF a 16,1 mg g⁻¹ dia⁻¹ para o LL. Quanto maior o valor da constante de decomposição menor será o tempo necessário para o resíduo se decompor. A constante de decomposição influencia diretamente no tempo de permanência dos resíduos vegetais no solo, interferindo na proteção e conservação do solo e na liberação de nutrientes dos resíduos vegetais para os cultivos subsequentes, ou seja,

quanto mais rápido a decomposição, maior será a velocidade liberação de nutrientes (KLIEMANN et al., 2006).

O tempo em dias necessário para que metade da massa do resíduo fosse decomposta variou de 43 a 65 dias para o LL e GF, respectivamente.

Tabela 3 - Tempo de meia-vida ($t_{1/2}$) da massa seca (MS) e de nutrientes de resíduos da parte aérea de plantas de cobertura

Espécie	$t_{1/2}$					
	MS	N	P	K	Ca	Mg
	----- dia -----					
CJ	48	60	94	18	156	84
CS	44	72	87	14	136	86
GF	65	68	67	16	200	107
GA	63	88	82	22	283	105
LL	43	69	123	15	108	69
FP	46	47	90	14	146	53
MP	61	106	57	19	246	172

Fonte: Autor (2022).

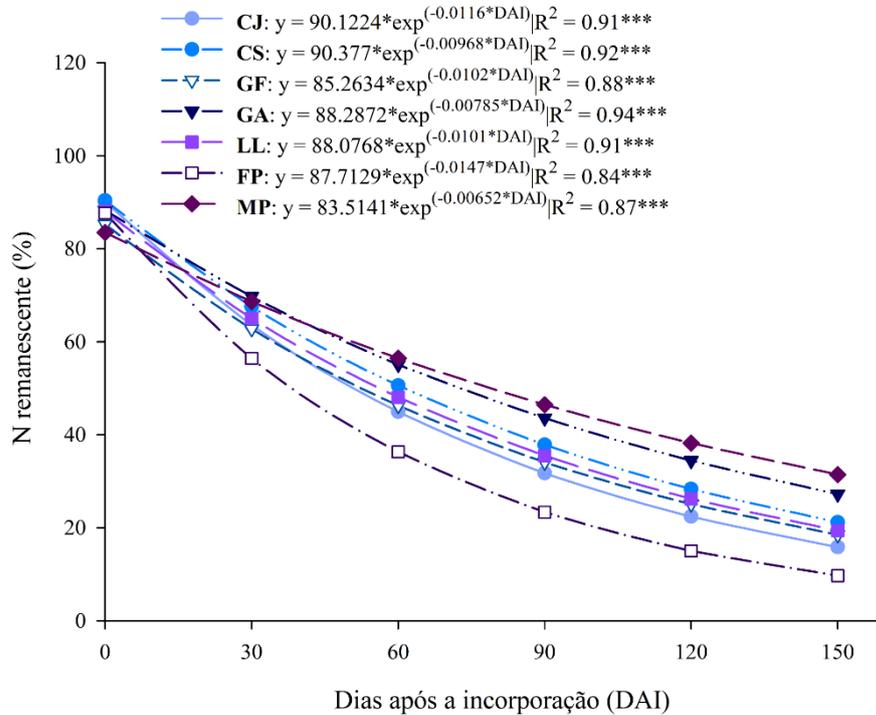
Com base nos resultados apresentados na tabela 2 e 3 é possível enquadrar as espécies de leguminosas estudadas em dois grupos: i) decomposição mais rápida, formado pela CJ, CS, LL e FP e ii) decomposição mais lenta, formado pelo GF, GA e pela MP. O grupo de decomposição mais rápida levou cerca de 1 mês e meio, enquanto que o grupo de decomposição mais lenta levou cerca de 2 meses para atingir o ciclo de meia vida ($t_{1/2}$).

Aos 60 DAI a menor quantidade de N remanescente foi de 36% para o FP, atingindo um tempo de meia vida de 47 dias. Weiler et al. (2019) observaram resultados semelhantes no primeiro ano de avaliação para o FP, onde o N remanescente dos resíduos permaneceu na faixa de 36% nos primeiros 35 dias.

Os resultados mostram que o FP é uma excelente escolha para adubação verde de curto prazo, pois apresentou uma liberação de N mais rápida do que as outras espécies de leguminosas avaliadas. Além disso, o FP pode ser mais eficiente na utilização do N, o que leva a uma maior liberação. O aumento na quantidade de água e temperaturas mais altas também aceleram a mineralização do N, pois essas condições aumentam a atividade biológica dos organismos responsáveis pela decomposição dos resíduos (WEILER et al., 2019). Portanto, o uso de plantas de cobertura para melhorar a qualidade do solo e aumentar a disponibilidade de nutrientes para as culturas subsequentes pode ser mais efetivo em regiões de climas quentes e úmidos.

Somente as espécies CS, GA e MP apresentaram N remanescente superior a 50% aos 60 DAI (Figura 4), com tempos de meia vida de 72, 88 e 106, respectivamente (Tabela 3).

Figura 4 – Nitrogênio remanescente de resíduos de leguminosas incorporadas ao solo para decomposição na região Agreste de Alagoas.



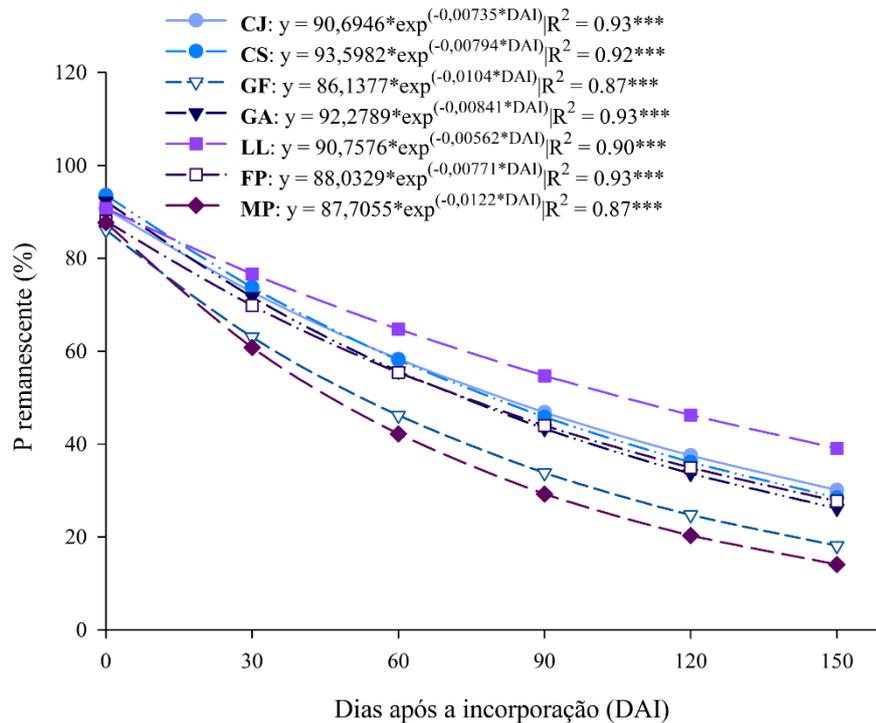
Fonte: Autor (2022).

Entre 40 e 65% do P permaneceu nos resíduos aos 60 DAI (Figura 5) enquanto o tempo de meia-vida variou de dois a quatro meses, sendo ligeiramente mais lento do que o N para ser liberado (Tabela 3).

As plantas armazenam a maior parte do P principalmente na forma de fosfato, que é solúvel em água. Segundo Giacomini et al. (2003), a liberação mais acentuada de P no início da decomposição está relacionado à perda dessas frações solúveis em água. Em geral, a quantidade de P liberada também é determinada pela capacidade da planta de cobertura em absorver o mineral. É importante ter em mente que o P liberado na decomposição pode ser perdido. Estudos mostram que a perda desses nutrientes solúveis em água é significativa, portanto, deve ser considerada ao avaliar a decomposição de resíduos culturais.

A velocidade de liberação dos nutrientes teve comportamento similar ao decaimento da biomassa e variou com a espécie de leguminosa, apresentando uma fase de liberação rápida até os 60 DAI, exceto para o K, que aos 30 DAI cerca de 70 a 80% já havia sido liberado (Figura 6).

Figura 5 – Fósforo remanescente de resíduos de leguminosas incorporadas ao solo para decomposição na região Agreste de Alagoas

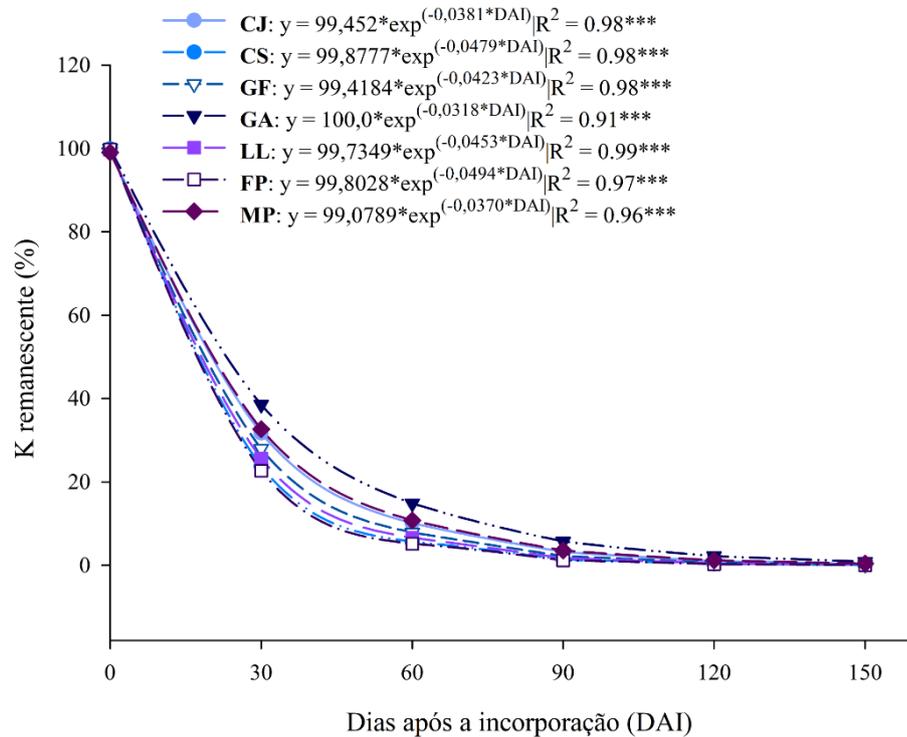


Fonte: Autor (2022).

O K foi o nutriente liberado mais rapidamente dos resíduos de todas as leguminosas (Figura 6), variando de 14 dias na CS, FP a 22 dias para o GA liberarem para o solo 50% de todo o K do resíduo (Tabela 2). Giacomini et al. (2003) observaram que cerca de 70% do K do tecido vegetal de plantas de cobertura foi solúvel em água e com a ocorrência de chuvas após o manejo das espécies, a maior parte desse elemento foi liberada dos resíduos culturais para o solo. Isso deve estar associado ao fato do K ser um nutriente que não está associado com nenhum componente estrutural do tecido da planta, permanecendo como um íon livre dentro da mesma (CARPIM et al., 2008).

O K é liberado durante a decomposição dos resíduos das plantas, principalmente via o processo de lixiviação, além de ser menos afetado pela atividade da microbiota do solo e pela qualidade do resíduo (MORADI et al., 2014). Em função da dinâmica de liberação rápida do K a estratégia de manejo de redução do prazo de implantação das culturas em sucessão seria mais importante para maximizar o aproveitamento dos cultivos e minimizar as perdas por lixiviação (GIACOMINI et al., 2003).

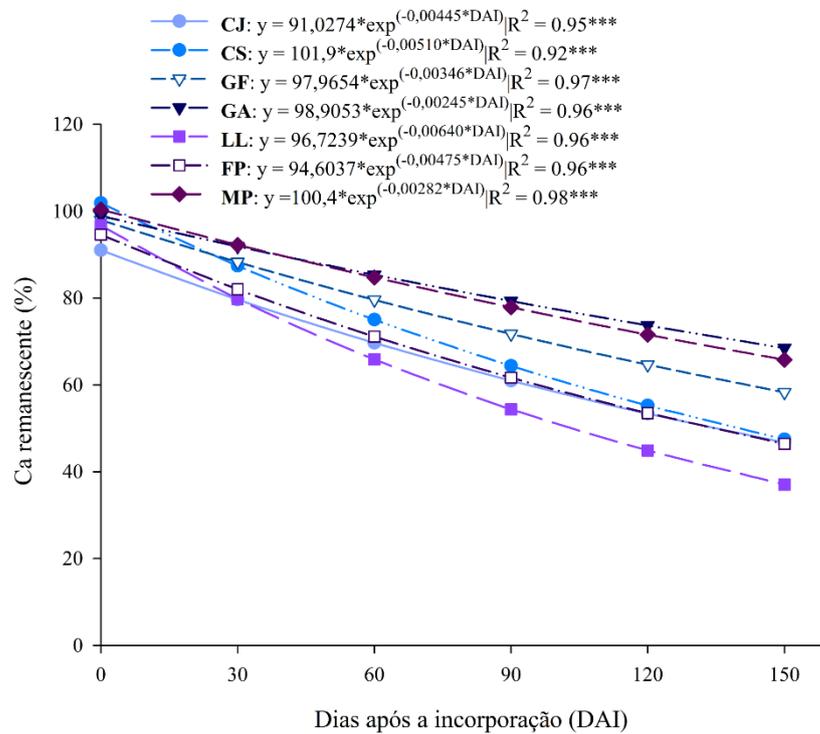
Figura 6 – Potássio remanescente dos resíduos de leguminosas incorporadas ao solo para decomposição na região Agreste de Alagoas



Fonte: Autor (2022).

O Ca foi o nutriente de mais lenta liberação dos resíduos. Entre 65 e 85% do Ca permaneceu nos resíduos aos 60 DAI (Figura 7). A maior persistência do Ca nos resíduos se reflete no maior tempo de meia vida, o qual variou de 136 a 283 dias para a CS e o GA, respectivamente (Tabela 3). A literatura relata a maior persistência do Ca nos resíduos de plantas em função deste ser componente estrutural das lamelas e parede celular dos vegetais, levando de três a seis meses para liberar cerca de 50% das quantidades encontradas nos resíduos (MORADI et al., 2014; PEREIRA; SOARES; MIRANDA, 2016).

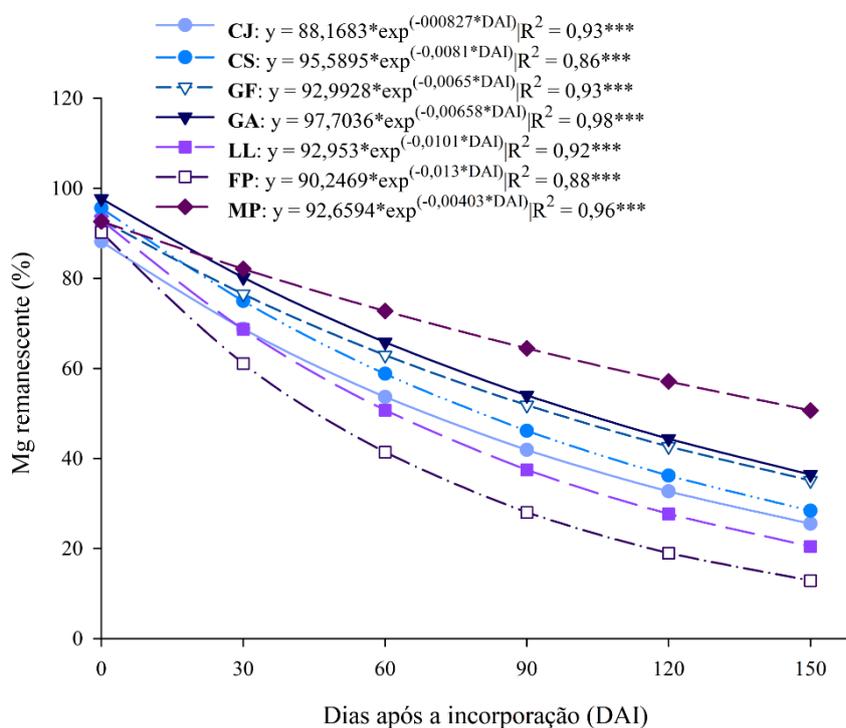
Figura 7 - Cálculo remanescente dos resíduos de leguminosas incorporadas ao solo para decomposição na região Agreste de Alagoas



Fonte: Autor (2022).

O Mg apresentou cinética de liberação similar à do P (Figura 8). O P apresentou maiores valores da constante de decomposição (k) para o GF e MP enquanto para o Mg, os maiores k foram observados para LL e FP. Os resultados apresentados por Gama-Rodrigues et al. (2007) demonstram que a liberação de Mg, N, P e Ca foi maior no FP do que nas demais coberturas avaliadas em seu trabalho. Isto se deve ao fato de que o FP apresenta boa produção de biomassa total, possui folhas grossas e densas, proporcionando maior retenção de nutrientes e, conseqüentemente, maior liberação de nutrientes para o solo. Além disso, também constatou que os níveis de Mg, P e Ca estavam correlacionados entre si, o que sugere que a liberação de cada um deles pode estar relacionada à estrutura dos tecidos vegetais.

Figura 8 - Magnésio remanescente dos resíduos de leguminosas incorporadas ao solo para decomposição na região Agreste de Alagoas



Fonte: Autor (2022).

Quanto maior o k menor o tempo de liberação do nutriente conforme pode ser observado pelo tempo de meia vida que foi para o P de 67 e 57 dias, para o GF e MP e para o Mg de 69 e 53 dias, para LL e FP, respectivamente (Tabela 3).

De forma geral, o GF, GA e MP apresentaram maior resistência para a decomposição dos resíduos e liberação de nutrientes, exceto para o P. Resíduos de plantas tais como leguminosas utilizadas como adubação verde são importantes fontes de matéria orgânica e de nutrientes que são liberados durante a decomposição dos resíduos. Isto representa importante reserva nutricional disponibilizada para a cultura em sucessão, diminuindo possíveis perdas e quantidade de fertilizantes aplicados (CARPIM et al., 2008).

As espécies estudadas nesta pesquisa mostraram-se inicialmente promissoras para uso na adubação verde de culturas de ciclo curto e ciclo intermediário devido à sua rápida decomposição. Para recomendar uma espécie específica, a dinâmica de liberação de nutrientes deve ser observada durante os períodos de avaliação. Essa observação é fundamental para alinhar o período de maior disponibilidade de nutrientes com o período de maior demanda de nutrientes pela cultura econômica (KRAINOVIC, 2008).

Consociar o plantio de milho com leguminosas é uma alternativa interessante, visto que esse manejo, especialmente nos sistemas de plantio direto, resulta em um equilíbrio relativo

entre manter a cobertura do solo e fornecer nutrientes às plantas, devido ao aumento da disponibilidade de N para a cultura de interesse econômico (SOUZA et al., 2022).

Embora os resíduos culturais sejam insumos necessários para a manutenção da fertilidade do solo, rotacionar culturas de cereais com leguminosas também contribui no aumento da produção de grãos, a partir dos quais os resíduos podem ser convertidos em ração animal e energia, ou seja, aumentar a biomassa das plantas de cobertura é uma prática necessária para atender a essas demandas concorrentes (AGEGNEHU; AMEDE, 2017).

5 CONCLUSÕES

O Ca foi nutriente de menor liberação dos resíduos.

O K apresentou maior liberação dos resíduos para todas as leguminosas.

A CJ, CS, LL e FP mostraram maiores taxas de decomposição e liberação de nutrientes e se apresentam como as mais promissoras para uso como adubação verde, especialmente para hortaliças de ciclo curto.

O GF, GA e a MP devem ser utilizadas em áreas que exijam maior persistência dos resíduos no solo.

REFERÊNCIAS

- AGEGNEHU, G.; AMEDE, T. Integrated soil fertility and plant nutrient management in tropical agro-ecosystems: A review. **Pedosphere**, v.27, n.4, p.662-680, 2017.
- ANGST, Š. et al. Tree species identity alters decomposition of understory litter and associated microbial communities: a case study. **Biology and Fertility of Soils**, v.55, n.5, p. 525–538, 2019.
- ANEJA, M.K. et al. Microbial colonization of beech and spruce litter - influence of decomposition site and plant litter species on the diversity of microbial community. **Microbial Ecology**, v.52, n.1, p.127-135, 2006.
- CALEGARI, A. Plantas de cobertura e rotação de culturas no sistema de plantio direto. **Informações Agronômicas**, Londrina, n.122, p.18-21, 2008.
- CALEGARI, A. Guia Técnico de Plantas de Cobertura. Solo Vivo. Manejo Integrado de Solos. Uberaba, MG: **Araunah Agro**, 2019. 40 p.
- CARPIM, L.K. et al. Liberação de nutrientes pela palhada de milho em diferentes estádios fenológicos. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.32, p.2813-2819, 2008.
- CATTANIO, J.H.; KUEHNE, R.; VLEK, P.L.G. Organic material decomposition and nutrient dynamics in a mulch system enriched with leguminous trees in the Amazon. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.32, n.3, p.1073-1086, 2008.
- CHERUBIN, M. R.; CARVALHO, M. L.; VANOLLI, B. S.; SCHIEBELBEIN, B. E.; BORBA, D. A.; LUZ, F. B; CARDOSO, G. M.; BORTOLO, L. S.; MAROSTICA, M. E. M.; SOUZA, V. S. Guia prático de plantas de cobertura: aspectos fitotécnicos e impactos sobre a saúde do solo. 1. ed. Piracicaba: **ESALQ/USP**, 2022. 126p.
- COSTA, C.H.M da.; CRUSCIOL, C.A.C.; SORATTO, R.P.; NETO, J.F.; MORO, E. Nitrogen fertilization on palisadegrass: phytomass decomposition and nutrients release. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, v. 46, n. 2, p. 159-168, 2016.
- DINIZ, E.R. et al. Levels of crotalaria juncea on growth, production, recovery and efficiency of the use of N in broccoli. **Horticultura Brasileira**, v.35, n.3, p.395-401, 2017.
- FERREIRA, A.C. de B.; BORIN, A.L.D.C.; BOGIANI, J.C.; LAMAS, F.M. Suppressive effects on weeds and dry matter yields of cover crops. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.53, p.566-574, 2018.
- GAMA-RODRIGUES, A.C.; GAMA-RODRIGUES, E.F.; BRITO, E.C. Decomposição e liberação de nutrientes de resíduos culturais de plantas de cobertura em argissolo vermelho-amarelo na região noroeste fluminense (RJ). **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.31:1421-1428, 2007.
- GIACOMINI, S.J. et al. Liberação de fósforo e potássio durante a decomposição de resíduos culturais em plantio direto. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.38, n.9, p.1097-1104, 2003.

GÓES, S.B.D.; BEZERRA NETO, F.; LINHARES, P.C.F.; GÓES, G.B.D.; MOREIRA, J.N. Productive performance of lettuce at different amounts and times of decomposition of dry scarlet starglory. **Revista Ciência Agrônômica**, v.42, n.4, p.1036-1042, 2011.

GUO, T. et al. Nitrogen enrichment regulates straw decomposition and its associated microbial community in a double-rice cropping system. **Scientific Reports**, v.8, p.1-12, 2018.

KLIEMANN, H. J.; BRAZ, A. J. P. B.; SILVEIRA, P. M. Taxa de decomposição de resíduos de espécies de cobertura em LATOSSOLO VERMELHO Distroférico. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, v.36, n.1, p.21-28, 2006.

KRAINOVIC, P. M. **Taxa de decomposição de quatro espécies utilizadas para adubação verde em sistema agroflorestais**. Trabalho de Conclusão de Curso (graduação em engenharia florestal) Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica, 2008. 39p.

KÖPPEN, W. Climatologia: Com un estudio de los climas de la tierra. **Fondo de Cultura Económica**, México, 479 p. 1948.

LACERDA, F. F., DIAS, H. S., ASSAD, E. D., ASSIS, J. M. O, MOURA, M. S. B. Extremos e variabilidade climática no Nordeste brasileiro e em Pernambuco. In: Josiclêda Domiciano Galvêncio. (Org.). Mudanças Climáticas e Impactos Ambientais. Recife: **Ed. Universitária da UFPE**, p. 01-23, 2009.

LEITE, L.F.C.; FREITAS, R. de C. A. de.; SAGRILO, E.; GALVÃO, R. da S. Decomposição e liberação de nutrientes de resíduos vegetais depositados sobre Latossolo Amarelo no Cerrado Maranhense. **Revista Ciência Agrônômica**, v. 41, n. 1, p. 29-35, 2010.

LINHARES, P.C.F.; MARACAJÁ, P.B.; SOUSA, R.P.; ASSIS, J.P. Adubação verde com flor-de-seda {*Calotropis procera* (Aiton) W.T. Aiton} em culturas olerícolas na região semiárida. Nova Xavantina, MT: **Pantanal Editora**, 2022. 91p.

LINO, F.K.K.S.; BEZERRA NETO, F.; LIMA, J.S.S.; SANTOS, E.C.; LINO, V.A.S.; GUERRA, N.M.; DESRAVINES, R.P.; SILVA, E.A.; SILVA, J.P.P. Agroeconomic benefits in radish-lettuce intercropping under optimized green manuring and planting density. **Horticultura Brasileira**, v.40, n.3, p.1-9, 2022.

MALAVOLTA, E.; VITTI, G.C.; OLIVEIRA, S.A. Avaliação do estado nutricional de plantas: princípios e aplicações. 2.ed. Piracicaba: **POTAFOS**, 1997. 319p.

MALUF, H.J.G.M.; SOARES, E.M.B.; SILVA, I.R. da.; NEVES, J.C.L.; SILVA, L. de O.G. Decomposição de Resíduos de Culturas e Mineralização de Nutrientes em Solo com Diferentes Texturas. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.39, n.6, 2015.

MARCELO, A.V.; CORÁ, J.E.; FERNANDES, C. Sequências de culturas em sistema de semeadura Direta. II - decomposição e liberação de Nutrientes na entressafra. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 36:1568-1582, 2012.

MAZETTO JÚNIOR, J.C.; TORRES, J.L.R.; COSTA, D.D. DE A.; SILVA, V.R.; SOUZA, Z.M. DE; LEMES, E.M. Produção e decomposição de resíduos de plantas de cobertura e

associações com frações orgânicas do solo. **Journal of Agricultural Science**, v.11, p.58-69. 2019.

MORADI, A. et al. Decomposition and nutrient release temporal pattern of oil palm residues. **Annals of Applied Biology**, v.164, n.2, p.208-219, 2014.

NASCIMENTO, J.S.; VIEIRA, M. do C.; ZÁRATE, N.A.H.; GOELZER, A.; SILVA, O. B. da.; SANTOS, C.C. Growth of *Campomanesia adamantium* (Cambess.) O. Berg, native to Brazilian Cerrado, with green manure in agroecological system contributes to the preservation of the species. **Revista Brasileira de Fruticultura**, v.44, n.5, e084, p.1-19, 2022.

PACHECO, L.P.; LEANDRO, W.M.; MACHADO, P.L.O. de A.; ASSIS, R.L. de.; COBUCCI, T.; MADARI, B.E.; PETTER, F.A. Produção de fitomassa e acúmulo e liberação de nutrientes por plantas de cobertura na safrinha. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.46, n.1, p.17-25, 2011.

PACHECO, L.P.; MIGUEL, A.S.D.C.S.; SILVA, R.G. DA; SOUZA, E.D. DE; PETTER, F.A.; KAPPES, C. Rendimento de Biomassa em sistemas de produção de soja semeada em sucessão a culturas anuais e plantas de cobertura. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.52, p.582-591, 2017.

PAIVA, H. L. et al. Adubação verde com espécies leguminosas nas entrelinhas de coqueiros cultivados na região dos Tabuleiros Costeiros de Alagoas. In: Embrapa Tabuleiros Costeiros Artigo em anais de congresso (ALICE). In: SEMINÁRIO DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA E PÓS-GRADUAÇÃO DA EMBRAPA TABULEIROS COSTEIROS, 4., 2014, Aracaju. **Anais[...]**. Brasília, DF: Embrapa, 2014., 2014.

PEREIRA, N.S.; SOARES, I.; MIRANDA, F.R. de. Decomposition and nutrient release of leguminous green manure species in the Jaguaribe-Apodi region, Ceará, Brazil. **Ciência Rural**, v.46, n.6, p.970-975, 2016.

RAGOZO, C.R.A.; LEONEL, S.; CROCCI, A.J. Adubação verde em pomar cítrico. **Revista Brasileira de Fruticultura**, v. 28, n. 1, p. 69-72, 2006.

RIGON, J.P.G.; FRANZLUEBBERS, A.J.; CALONEGA, J.C. Agregação do solo e potencial mineralização de carbono e nitrogênio com plantas de cobertura sob plantio direto tropical. **Journal of Soil and Water Conservation**, v.75, p.601-609, 2020.

SANTOS, H. G.; JACOMINE, P. K. T.; ANJOS, L. H. C.; OLIVEIRA, V. A.; LUMBRERAS, J. F.; COELHO, M.R.; ALMEIDA, J. A.; ARAUJO FILHO, J. C.; OLIVEIRA, J. B.; CUNHA, T. J. F. Embrapa: Sistema brasileiro de classificação de solos. 5. ed. Brasília: **EMBRAPA**, 2018.

SOUZA, S.S de.; COUTO JÚNIOR, P.A.; FLÔRES, J. de A.; COELHO, A.P.; LEMOS, L.B. Do the intercropping with *Crotalaria spectabilis* and *Urochloa ruziziensis* reduce the maize agronomic performance?. **Agricultural Research in the Tropics**, v. 52, e70513, p.1-8, 2022.

TORRES, J.L.R.; PEREIRA, M.G.; ANDRIOLI, I.; POLIDORO, J.C.; FABIAN, A.J. Decomposição e liberação de nitrogênio de resíduos culturais de plantas de cobertura em um solo de cerrado. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 29, p. 609-618, 2005.

TORRES, J.L.R.; GOMES, F.R. e C.; BARRETO, A.C.; ORIOLI JÚNIOR, V.; FRANÇA, D.G.; LEMES, E.M. Ciclagem de nutrientes de diferentes resíduos vegetais e doses de fertilizantes no cultivo de brócolis. **Horticultura Brasileira**, v.38, p.11-10, 2021.

WANG, W.J. et al. Decomposition dynamics of plant materials in relation to nitrogen availability and biochemistry determined by NMR and wet-chemical analysis. **Soil Biology & Biochemistry**, v.36, p.2045–2058, 2004.

WEILER, D.A.; GIACOMINI, S.J.; AITA, C.; SCHMATZ, R.; PILECCO, G.E.; CHAVES, B.; BASTOS, L.M. Summer Cover Crops Shoot Decomposition and Nitrogen Release in a No-Tilled Sandy Soil. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.43:e0190027, 2019.

WEILER, D.A.; BASTOS, L.M.; SCHIRMANN, J. AITA, C.; GIACOMINI, S.J. Changes in chemical composition of cover crops residue during decomposition. **Ciência Rural**, v.52:e20210357, n.4, p.1-4, 2022.

WIEDER, R.K, LANG, G.E. A critique of the analytical methods used in examining decomposition data obtained from litter bags. **Ecology**, v.63, n.6, p.1636-1642, 1982.

XAVIER, F. A. S.; OLIVEIRA, J. I. A.; SILVA, M.R. Decomposition and nutrient release dynamics of shoot phytomass of cover crops in the Recôncavo Baiano. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.41:e0160103, 2017.

XAVIER, R. A.; DORNELLAS, P. C. Análise do comportamento das chuvas no município de Arapiraca, Região Agreste de Alagoas. **Geografia: Revista do Departamento de Geociências da UEL**, v.14, n.2, 2005.