



UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ
CENTRO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS
DEPARTAMENTO DE CIÊNCIAS DO SOLO
CURSO DE AGRONOMIA

INGRED DA COSTA LIRA

**DECOMPOSIÇÃO DE RESÍDUOS DE LEGUMINOSAS ARBÓREO-
ARBUSTIVAS E LIBERAÇÃO DE NUTRIENTES NO SOLO**

FORTALEZA

2021

INGRED DA COSTA LIRA

DECOMPOSIÇÃO DE RESÍDUOS DE LEGUMINOSAS ARBÓREO-
ARBUSTIVAS E LIBERAÇÃO DE NUTRIENTES NO SOLO

Monografia apresentada ao Curso de Agronomia do Centro de Ciências Agrárias da Universidade Federal do Ceará, como requisito parcial para obtenção do Título de Engenheiro Agrônomo.

Orientadora: Prof^ª. Dr^ª. Mirian Cristina Gomes Costa.

Coorientadora: Ma. Rafaela Batista Magalhães.

FORTALEZA

2021

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação
Universidade Federal do Ceará
Biblioteca Universitária
Gerada automaticamente pelo módulo Catalog, mediante os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

L745d Lira, Ingrid da Costa.
Decomposição de resíduos de leguminosas Arbóreo-Arbustivas e liberação de nutrientes no solo / Ingrid da Costa Lira. – 2021.
46 f. : il. color.

Trabalho de Conclusão de Curso (graduação) – Universidade Federal do Ceará, Centro de Ciências Agrárias, Curso de Agronomia, Fortaleza, 2021.

Orientação: Profa. Dra. Mirian Cristina Gomes Costa.

Coorientação: Profa. Ma. Rafaela Batista Magalhães.

1. Biomassa. 2. Adubação verde. 3. Leguminosas. I. Título.

CDD 630

INGRED DA COSTA LIRA

DECOMPOSIÇÃO DE LEGUMINOSAS ARBÓREO-ARBUSTIVAS E
LIBERAÇÃO DE NUTRIENTES NO SOLO

Monografia apresentada ao Curso de
Agronomia do Centro de Ciências Agrárias
da Universidade Federal do Ceará - UFC,
como requisito parcial para obtenção do
Título de Engenheira Agrônoma.

Aprovada em: 23/08/2021.

BANCA EXAMINADORA

Prof.^a Dra. Mirian Cristina Gomes Costa (Orientadora)
Universidade Federal do Ceará (UFC)

Ma. Rafaela Batista Magalhães (Coorientadora)
Universidade Federal do Ceará (UFC)

Engenheiro e M.e. em Fitotecnia Elizio Sampaio da Silva

Engenheira Agrônoma e Dr.^a em Ciências do Solo Carla Danielle
Vasconcelos do Nascimento

A Deus.

A minha mãe, Maria.

AGRADECIMENTOS

A Deus, fonte de força e luz da minha caminhada, pelo dom da vida e pela oportunidade de chegar até aqui.

A minha mãe, Maria, pelo seu amor imensurável e dedicação na minha formação.

A toda a minha família, por todo carinho e amor.

Ao Aloys pelo companheirismo e amizade ao longo de toda a graduação.

Aos meus amigos da UFERSA, Yonara, Erlen Kaline, Adriana Pereira, Fernando Caio, Maicon, Airton e Deyse Anne que me apoiaram durante os momentos críticos, incentivando e possibilitando momentos de alegria.

As minhas amigas Isabel Cristina, Andréia Marinho, Rosyane Castro, Gessica Fernandes, Debora Pereira, Léia Pereira, Fayruzy Paiva e Thayane Paiva, pelos conselhos, apoio, carinho e, principalmente pela amizade durante minha caminhada acadêmica.

Aos meus amigos da UFC, Maria de Fátima, Daniela Melo e Alexandra, pelos momentos de estudos e alegrias compartilhadas.

À Tia Graça pelos cafezinhos.

Agradeço à professora orientadora Dr^a. Mirian Cristina Gomes Costa pela excelente orientação, auxílio, paciência, dedicação, conhecimento, intervenção, apoio e exemplo de profissional comprometida com a formação de seus orientandos. Muito obrigada.

À coorientadora MSc. Rafaela Batista Magalhães pelo apoio, auxílio, paciência e ensinamentos passados. Muito obrigada.

À Brenda, Denyson, Andréia Mariana e a todos os bolsistas do Laboratório de Manejo do Solo, pelo apoio na realização das atividades e, principalmente pela amizade. Muito obrigada.

À funcionária do Departamento de Ciências do Solo, Deyse pela disponibilidade e apoio na realização das atividades. Muito obrigada.

À Universidade Federal do Ceará e ao Departamento de Ciências do Solo.

A todos que fizeram parte deste desafio.

“Grandes realizações são possíveis quando se dá importância aos pequenos começos”.

Lao Tsé – Filósofo chinês

RESUMO

A associação das leguminosas com bactérias fixadoras de nitrogênio é relevante para a adubação verde. Nessa forma de adubação, o fornecimento dos nutrientes ocorre a partir da decomposição da biomassa das leguminosas que deve ser estudada considerando os resíduos de diferentes espécies em condições edafoclimáticas distintas. O objetivo deste trabalho foi avaliar a perda de massa e de nutrientes ao longo do tempo dos resíduos de parte aérea de duas espécies de leguminosas em solo arenoso, bem como as alterações no solo. Um experimento foi conduzido em casa de vegetação do DCS/UFC (Fortaleza, CE), em delineamento inteiramente casualizado (DIC) em parcelas subdividas no tempo com dois fatores e quatro repetições, totalizando 32 unidades experimentais constituídas por vasos com capacidade para 15 kg de solo. Os fatores de tratamento foram folhas e galhos de duas leguminosas (*Gliricidia sepium* e *Mimosa caesalpiniaefolia*) e quatro épocas de avaliação (0, 30, 60 e 90 dias). Os vasos foram preenchidos com solo arenoso e em sua superfície foram depositados *litterbags* contendo 20 g dos resíduos frescos das leguminosas. Foi avaliada a perda de massa seca e de nutrientes nos resíduos em cada época de avaliação, bem como os atributos químicos do solo. Em 90 dias houve perda de 62,42% de massa seca da *G. sepium* e 29,18% da *M. caesalpiniaefolia*. Para as duas espécies a perda de biomassa foi mais acentuada nos 30 primeiros dias de avaliação, chegando a 53,0 % para a *G. sepium* e 19,0% e para *M. caesalpiniaefolia*. Os resíduos de *G. sepium* apresentaram maior teor de nutrientes ao final da avaliação, apresentando também maior taxa de decomposição e liberação dos nutrientes, com destaque para o Ca e o Mg que foram os elementos com menores valores de k e maiores tempos de meia-vida em comparação à *M. caesalpiniaefolia*. Os resíduos da *G. sepium* e da *M. caesalpiniaefolia* promoveram melhorias dos atributos químicos do solo, principalmente, do N, P, Ca, Mg, CTC, SB e V% no entanto, a contribuição de N pelas leguminosas foi mais evidente aos 30 dias. O pH do solo foi influenciado pela adição dos resíduos *M. caesalpiniaefolia* atingindo valor inferior a 4,6 aos 30 dias e superior a 5,0 aos 60 dias. Já a acidez potencial do solo foi influenciada por ambas as espécies, atingindo maiores valores aos 30 dias e menores valores aos 60 dias após adição dos resíduos orgânicos.

Palavras-Chave: biomassa, decomposição, adubação verde, leguminosas.

ABSTRACT

The association of legumes with nitrogen-fixing bacteria is relevant for green manure. In this form of fertilization, the supply of nutrients occurs from the decomposition of legume biomass, which must be studied considering the residues of different species under different edaphoclimatic conditions. In this work, the objective was to evaluate the loss of mass and nutrients over time of shoot residues of two legume species in sandy soil, as well as changes in the soil. An experiment was conducted in the greenhouse of the DCS/UFC (Fortaleza, CE), in completely random design in split plots over time with two factors and four replications, totaling 32 experimental units consisting of pots with a capacity of 15 kg of soil. The treatment factors were leaves and branches of two legumes (*Gliricidia sepium* e *Mimosa caesalpiniaefolia*) and four evaluation periods (0, 30, 60 and 90 days). The pots were filled with sandy soil and litterbags containing 20 g of fresh legume residues were deposited on its surface. The loss of dry mass and nutrients in the residues in each evaluation period was evaluated, as well as the chemical attributes of the soil. In 90 days, there was a loss of 62.42% of dry mass of *G. sepium* and 29.18% of *M. caesalpiniaefolia*. For both species, the loss of biomass was more accentuated in the first 30 days of evaluation, reaching 53.0% for *G. sepium* and 19.0% for *M. caesalpiniaefolia*. The residues of *G. sepium* showed higher nutrient content at the end of the evaluation, higher decomposition rate and nutrient release, especially for Ca and Mg, which were the elements with the lowest k values and the highest half-life values in relation to *M. caesalpiniaefolia*. The residues of *G. sepium* and *M. caesalpiniaefolia* promoted improvements in the chemical attributes of the soil, especially N, P, Ca, Mg, CTC, SB and V%, however, the contribution of N by legumes was more evident at 30 days. Soil pH was influenced by the addition of *M. caesalpiniaefolia* residues, reaching values below 4.6 at 30 days and above 5.0 at 60 days. The potential soil acidity was influenced by both species, reaching higher values at 30 days and lower values at 60 days after addition of residues compared to potential acidity in the soil before the application of residues on the soil in the experimental units.

Keywords: biomass, decomposition, green fertilization, legumes.

LISTA DE FIGURAS

- Figura 1-** Resíduos das leguminosas utilizados no estudo (A) e distribuição das bolsas de decomposição sobre o solo nas unidades experimentais (B)..... 19
- Figura 2-** Teores de carbono (C); nitrogênio (N) e relação carbono/nitrogênio (C/N) nos resíduos de duas leguminosas (Gliricídia e Sabiá) ao longo do tempo..... 22
- Figura 3-** Teores de cálcio (Ca), magnésio (Mg) e potássio (K) nos resíduos de duas leguminosas (Gliricídia e Sabiá) ao longo do tempo.....22
- Figura 4-** Quantidade de Fósforo nos resíduos ao longo das épocas de avaliação..... 24
- Figura 5-** Matéria seca remanescente nos resíduos em função das espécies de leguminosas e do tempo de decomposição.....25
- Figura 6-** Teores de carbono (C) e nitrogênio (N) no solo submetido à aplicação superficial dos resíduos das leguminosas gliricídia e sabiá..... 26
- Figura 7-** Atributos químicos do solo pH, Mg e CTC após a retirada dos resíduos ao longo das épocas de avaliação.....26
- Figura 8-** Teor de fósforo (P) e acidez potencial (H+AL) no solo em função do tempo após aplicação de resíduos de leguminosas em superfície. 30
- Figura 9-** Teores de sódio (Na), cálcio (Ca) e potássio (K) no solo em função do tempo após aplicação de resíduos de leguminosas em superfície.31
- Figura 10-** Soma das bases (SB) e saturação por bases (V%) no solo em função do tempo após aplicação de resíduos de leguminosas em superfície.32
- Figura 11-** Teores de sódio (Na), cálcio (Ca) e potássio (K) no solo em função do tempo após aplicação de resíduos de leguminosas em superfície..... 33
- Figura 12-** Soma das bases (SB) e saturação por bases (V%) no solo em função do tempo após aplicação de resíduos de leguminosas em superfície..... 34

LISTA DE TABELAS

- Tabela 1-** Caracterização química do solo proveniente da área de produção de coco, localizada no município de Itarema-CE, antes da aplicação dos resíduos orgânicos sobre o solo. 16
- Tabela 2 -** Composição química dos resíduos das leguminosas *G. sepium* e *M. caesalpiniaefolia* avaliados no estudo..... 17
- Tabela 3 -** Resumo da análise de variância (ANOVA) para teores de carbono, macronutrientes, sódio, relação carbono/nitrogênio e massa seca de resíduos (MS) de duas espécies de leguminosas em quatro tempos distintos a partir da deposição sobre o solo.....21
- Tabela 4 -** Parâmetros da equação $X = X_0 e^{-kt}$ ajustada aos valores médios de matéria seca e tempos de meia-vida para os resíduos aplicado ao solo durante 90 dias.....27
- Tabela 5 -** Parâmetros da equação $X = X_0 e^{-kt}$ ajustada aos valores médios de N, P, K, Ca e Mg e respectivos tempos de meia-vida para os resíduos aplicado ao solo durante 90 dias 10
Mimosa caesalpiniaefolia (Sabiá).....28
- Tabela 6-** Resumo da análise da variância (ANOVA) para atributos químicos do solo em resposta aos resíduos de duas espécies de leguminosas em quatro tempos distintos a partir da deposição sobre o solo..... 29

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	6
2	REVISÃO DE LITERATURA	8
2.1	Fixação biológica de nitrogênio e as leguminosas.....	8
2.2	Leguminosas como fonte de nutriente para a agricultura.....	9
2.2.1	<i>Gliricidia sepium</i> (Gliricídia).....	10
2.2.2	<i>Mimosa caesalpiniaefolia</i> (Sabiá).....	11
2.3	Decomposição de resíduos orgânicos e liberação de nutrientes.....	11
2.4	Avaliação da decomposição dos resíduos e a liberação de nutrientes.....	13
2.4.1	Avaliação da decomposição por <i>litterbag</i>	13
3	MATERIAL E MÉTODOS	15
3.1	Local de instalação do experimento e tipo de solo utilizado	15
3.2	Delineamento experimental e tratamentos	16
3.3	Instalação e condução do experimento.....	17
3.4	Avaliações	19
3.4.1	Avaliações nos resíduos de leguminosas	19
3.4.1.1	Análises químicas	19
3.4.1.2	Modelagem de decomposição	19
3.4.2	Avaliações no solo.....	19
3.5	Análise estatísticas.....	20
4	RESULTADOS E DISCUSSÃO	21
4.1	Teores de nutrientes nos resíduos de leguminosas ao longo das épocas de avaliação...21	
4.2	Decomposição e liberação dos nutrientes.....	26
4.3	Atributos químicos do solo após aplicação dos resíduos ao longo das épocas de avaliação.....	29
5	CONCLUSÃO	35
	REFERÊNCIAS	36

1 INTRODUÇÃO

Dentre as práticas conservacionistas edáficas, destaque é dado à adubação verde. Essa prática consiste na utilização de plantas em rotação ou consórcio com as culturas de interesse econômico, de modo que possam ser incorporadas ao solo ou roçadas e mantidas na superfície proporcionando melhorias ao solo, tanto do ponto de vista químico, quanto físico e biológico. Embora espécies de várias famílias botânicas possam ser cultivadas como adubos verdes, as espécies da família *Fabaceae* são mais utilizadas porque contêm altas porcentagens de fósforo, potássio, cálcio e, principalmente, nitrogênio (N) devido ao processo de fixação do N atmosférico a partir de bactérias diazotróficas.

Em relação ao fornecimento de nutrientes pela adubação verde no sistema produtivo, este ocorre através da decomposição da biomassa. O processo de decomposição dos resíduos orgânicos adicionados ao solo é dinâmico e complexo, sendo influenciado por vários fatores como a diversidade de organismos decompositores, as características químicas do material, tipo de solo, manejo e as condições climáticas da região. Assim, além do conhecimento das características químicas dos resíduos orgânicos, torna-se necessário estudos sobre a decomposição desses resíduos em condições edafoclimáticas distintas.

Para que os agricultores tenham êxito com a prática da adubação verde, é importante escolher a espécie a ser usada como adubo considerando as condições edafoclimáticas da região, o sistema agrícola adotado e a finalidade desta adubação. Pensando nisso, pode-se destacar as espécies Gliricídia (*Gliricídia sepium*) e Sabiá (*Mimosa caesalpiniiifolia*) que toleram as condições climáticas da região semiárida, apresentam excelente capacidade de rebrota, elevado teor de N em seus tecidos, além de produzirem grande quantidade de biomassa. Esses aspectos tornam as espécies mencionadas interessantes na adubação verde em condições de baixa disponibilidade hídrica.

Contudo, é preciso identificar qual leguminosa é mais promissora em termos de aporte de nutrientes ao solo nas condições edafoclimáticas do Nordeste brasileiro. Além disso, deve-se conhecer o padrão temporal de liberação dos nutrientes dos resíduos das leguminosas, de modo que haja sincronia entre os nutrientes liberados pelos resíduos e a demanda nutricional da cultura de interesse comercial.

Com base no exposto, este estudo parte das seguintes hipóteses: Os resíduos de *G. sepium*, por apresentar maior teor de nitrogênio em seus tecidos e, portanto, menor relação C/N, apresentarão taxa de decomposição maior e menor tempo de meia vida em relação aos

resíduos de *M. caesalpinifolia* (espécie nativa), liberando nutrientes no solo mais rapidamente nas condições edafoclimáticas do presente estudo. O objetivo geral do estudo foi avaliar a taxa de decomposição dos resíduos de *G. sepium* e da *M.caesalpinifolia* de forma a gerar informações que venham auxiliar no manejo da adubação verde, bem como nos atributos químicos do solo. Os objetivos específicos foram: a) determinar os atributos químicos dos resíduos orgânicos; b) avaliar a decomposição dos resíduos, bem como seus padrões de liberação dos nutrientes e o tempo de meia-vida (T1/2); c) avaliar as influências dos resíduos orgânicos aplicados sobre os atributos químicos do solo.

2 REVISÃO DE LITERATURA

2.1 Fixação biológica de nitrogênio e as leguminosas

O nitrogênio (N) é um elemento essencial aos organismos vivos e, frequentemente, limita a produção em ecossistemas aquáticos e terrestres (VIEIRA, 2017). O elemento é requerido em grandes quantidades, uma vez que é constituinte de proteínas, ácidos nucleicos e outros constituintes celulares (VIEIRA, 2017).

Embora o N seja um elemento abundante na atmosfera, compreendendo cerca de 78% da composição total dos gases presentes, é escasso para os seres vivos. Isso ocorre porque o N₂ presente na atmosfera não pode ser utilizado pela maioria dos organismos em decorrência da ligação tripla entre os átomos de nitrogênio (N≡N), o que torna a molécula quase inerte. Para quebrá-la são necessárias quantidades substanciais de energia (VIEIRA, 2017). Contudo, existem processos naturais e industriais capazes de converter o N₂ em formas mais reativas de nitrogênio (NH₃, NH₄⁺, NO₂⁻ e NO₃⁻), sendo denominados de fixação de N₂ (GALLOWAY *et al.*, 2004).

Segundo Horffmann (2007), a fixação biológica de nitrogênio é um processo que ocorre pela associação simbiótica entre algumas espécies de leguminosas com bactérias conhecidas como rizóbios que, ao interagirem com as raízes das plantas, formam estruturas especializadas denominadas de nódulos. Nos nódulos, o rizóbio fixa o N₂ atmosférico e o converte para uma forma combinada, a amônia, que pode ser utilizada pela planta hospedeira. Essa reação é do tipo endergônica e para que ela ocorra é necessário o fornecimento de energia na forma de ATP (HORFFMANN, 2007).

Estima-se que leguminosas produtoras de grãos fixam de 25 a 200 kg N ha⁻¹ por ciclo de crescimento e suprem de 40 a 100 % das necessidades de N da planta (VIEIRA, 2017).

A família *Fabaceae* é a terceira maior família botânica existente com cerca de 19.325 espécies de leguminosas. Está dividida em três subfamílias de acordo com suas características, a saber: Caesalpinioideae, Faboideae e Mimosoideae (GAMA *et al.*, 2013). É composta por espécies que apresentam características diversas quanto ao ciclo vegetativo, produção de fitomassa, porte e exigência em relação ao clima e ao solo (BARRETO; FERNANDES, 2001).

2.2 Leguminosas como fonte de nutriente para a agricultura

A adubação verde é uma técnica que consiste no plantio de espécies nativas ou introduzidas, cultivadas em rotação ou consórcio com culturas de interesse econômico. Essas espécies podem ser de ciclo anual, semiperene ou perene. Embora espécies de várias famílias botânicas sejam cultivadas como adubos verdes, as espécies da família *Fabaceae* merecem destaque em razão da capacidade que têm em formarem associação simbiótica com bactérias fixadoras de nitrogênio (ESPÍNDOLA *et al.*, 2004). Como resultado dessa simbiose, quantidades significativas de nitrogênio se tornam disponíveis após o corte e decomposição do material vegetal da leguminosa (SMYTH *et al.*, 1990).

Conforme Colozzi Filho *et al.* (2009), além do fornecimento de nitrogênio, a prática da adubação verde visa proteger o solo da erosão, reduzir a infestação de plantas espontâneas, aumentar a matéria orgânica e promover a reciclagem de nutrientes, com efeitos positivos sobre os atributos químicos, físicos e biológicos do solo e sobre a produtividade dos cultivos posteriores.

Pereira (2012), em trabalho de revisão, sugeriu a utilização de leguminosas como alternativa ou complemento aos fertilizantes minerais. Também ressaltou a necessidade de se definir critérios de maneira a indicar as melhores espécies sob determinados manejos para o atendimento da demanda de N pelas culturas comerciais de forma equilibrada, em razão da diversidade de desempenho das espécies que compõe a família *Fabaceae*.

Vários estudos têm utilizado as leguminosas como fonte de nutriente para as culturas comerciais. Oliveira *et al.* (2018), após a avaliação de três tipos de leguminosas arbóreas (*Mimosa caesalpinifolia*, *Mimosa hostilis* e *Gliricidia sepium*) como adubo verde para a nutrição da cultura do milho, obteve como conclusão que os resíduos influenciaram positivamente no crescimento das plantas e favoreceram o acúmulo de nitrogênio, fósforo e potássio na parte aérea das plantas.

Perin *et al.* (2009) investigaram o efeito da cobertura viva formada por leguminosas herbáceas perenes sobre a produção de bananeira. Os autores constataram que dentre as espécies avaliadas, as leguminosas Siratro (*Macroptilium atropurpureum* Urb) e Cudzu Tropical (*Pueraria phaseoloides* Benth.) promoveram condições adequadas ao desenvolvimento das bananeiras, acarretando ganhos de produtividade e eliminação da adubação nitrogenada no bananal.

Ao avaliarem o desenvolvimento de plantas de milho em solo degradado, sob adubação verde com três espécies de leguminosas, Aragão *et al.* (2015) constataram que a adubação verde feita com resíduos do Sabiá (*Mimosa caesalpiniaefolia*), da Catingueira (*Poincianella pyramidalis*) e da Jurema Preta (*Mimosa tenuiflora*) aumentaram a área foliar de milho, podendo ser uma opção para elevar a produção em áreas degradadas.

2.2.1 *Gliricidia sepium* (Gliricídia)

A *Gliricidia sepium* é uma planta arbórea da família *Fabaceae* (MATOS, 2005). É nativa do México, América Central e norte da América do Sul (CARVALHO FILHO, 1997). A espécie apresenta porte médio e a altura pode variar de 12 a 15 metros com diâmetro de até 30 cm (DRUMOND; CARVALHO FILHO, 1999).

É uma planta característica de regiões tropicais e se adapta às elevadas altitudes que vão desde o nível do mar até 1500 metros de altitude. No entanto, apresenta melhor desempenho em regiões de clima quente, com altitude de até 700 m, e é pouco exigente quanto à fertilidade do solo (MATOS, 2005).

A *G. sepium*, por seus múltiplos usos, é uma opção para pequenas propriedades rurais e pode ser utilizada como forragem, banco de proteínas, fonte de proteína para ruminantes em pastejo, adubo verde, formação de cercas vivas, alternativa energética e em sistemas agroflorestais com a finalidade de recuperação de áreas degradadas (SÁ *et al.*, 2012; DRUMOND; CARVALHO FILHO, 1999).

Barreto e Fernandes (2001), ao estudarem o efeito da adição da biomassa de *G. sepium* sobre propriedades químicas e físicas do solo observaram a melhoria desses atributos, principalmente em menores profundidades. Oliveira *et al.* (2018), ao trabalharem com resíduos de *G. sepium* incorporados ao solo, também observaram melhoria nos atributos químicos, com destaque para os teores de N-nitrato (N- NO_3^-), N-amônio (N- NH_4^+), nitrogênio inorgânico total (N- NO_3^-) + N- NH_4^+) e teores de potássio (K).

Queiroz *et al.* (2007), ao estudarem a influência de algumas leguminosas perenes sobre a produtividade do milho em dois ciclos de cultivo beneficiado no sistema de aléias, constataram que a *G. sepium* influenciou o número de espigas por planta, massa de mil grãos e a produtividade das plantas de milho no primeiro e no segundo ciclo de plantio. Em estudo realizado na Nigéria com algumas espécies de plantas (*Azadirachta indica*, *Moringa oleífera*, *Gliricidia sepium*, *Leucaena leucocephala*) utilizadas como adubo verde na cultura da

mandioca (*Manihot esculenta*), foi observado que a *G. sepium* melhorou as propriedades do solo e a produtividade da cultura, aumentando a massa fresca das raízes de mandioca em 53% e 85%, respectivamente, no primeiro e no segundo ano de estudo comparado ao controle (AGBEDE, 2018).

2.2.2 *Mimosa caesalpiniaefolia* (Sabiá)

A espécie *Mimosa caesalpiniaefolia* pertence à família Fabaceae e ocorre espontaneamente em áreas de caatinga semiúmidas em que a precipitação média anual varia de 600 a 1.000 mm. Ocorre também em áreas mais secas, onde as temperaturas médias estão entre 20 e 28° C e o déficit hídrico entre 200 e 1.000 mm. Apresentando, nesse caso, forma mais arbustiva, com tronco polifurcado (RIBASKI *et al.*, 2003). É uma das espécies de leguminosas arbóreas mais plantadas hoje no Brasil, tendo sido amplamente utilizada em cercas vivas, estabilização da paisagem e recuperação de áreas degradadas (CHAER *et al.*, 2011).

Ferreira *et al.* (2007), ao analisarem as frações folhas, galhos, flores, frutos e a miscelânea da serrapilheira de um bosque de *M. caesalpiniaefolia*, chegaram ao resultado de que as folhas são as principais contribuintes com o aporte de nutrientes, depositando quantidades significativas e com efeitos benéficos para a melhoria da fertilidade do solo.

Costa *et al.* (2014), ao estudarem o potencial de dois tipos de leguminosas *Acacia auriculiformis* e *M. caesalpiniaefolia* na recuperação de áreas degradadas com pastagens, concluíram que a *M. caesalpiniaefolia* apresentou maior taxa de decomposição e menor tempo médio de residência de nutrientes, proporcionando assim maior disponibilidade de nutrientes para as plantas.

Nunes *et al.* (2016) observaram que a *M. caesalpiniaefolia* mineralizou 216 Kg de N ha^{-1} o que foi adequado para atender ao requerimento de N de um sistema pecuária-floresta.

2.3 Decomposição de resíduos orgânicos e liberação de nutriente

O fornecimento de nutrientes por meio da adubação verde ocorre por meio da decomposição da biomassa (SILVA *et al.*, 2007). Diversos fatores estão relacionados com a decomposição e liberação de nutrientes dos resíduos vegetais como a atuação de macro e

microrganismos decompositores, as características químicas do material, o manejo e as condições edafoclimáticas da região (pH, nutrientes, temperatura e umidade do solo) (PERIN *et al.*, 2010).

Mantidas as condições de clima e solo, a taxa de decomposição e liberação de nutrientes é influenciada pelas características químicas do resíduo (PERIN *et al.*, 2010). Estudos têm comprovado a influência da composição química do resíduo sobre a liberação dos nutrientes por meio da decomposição dos seus resíduos (ROMILDO *et al.*, 2011; DUARTE *et al.*, 2013; LIMA *et al.*, 2012).

De maneira geral, as leguminosas, por apresentar mais N em sua composição, possuem menor relação C/N quando comparadas às plantas de outras famílias e se decompõem mais rapidamente (PERIN *et al.*, 2004). No entanto, ao considerar diferentes partes das plantas podem acontecer variações na taxa de decomposição (RESENDE *et al.*, 2013). Coelho *et al.* (2006) verificaram que os ramos da *G. sepium* tiveram pouca importância como fertilizante na nutrição do cafeeiro devido ao seu baixo conteúdo de nutrientes e sua baixa taxa de decomposição.

Gonçalves *et al.* (2011), em estudo sobre efeitos de fatores climáticos como temperatura, precipitação e evaporação sobre a dinâmica da decomposição em condições de campo em Londrina-PR, concluíram que as temperaturas, apesar de amenas, não constituíram impedimento à decomposição de resíduos de milho e soja. O fator que se mostrou mais importante na decomposição dos resíduos foi a quantidade diária de chuvas (precipitação) havendo tendência de maior decomposição com a ocorrência de mais chuva e vice-versa. Para Espindola *et al.* (2006), a taxa de precipitação é um dos fatores climáticos que mais influencia a decomposição.

Segundo Thönnissen *et al.* (2000), resíduos incorporados geralmente são decompostos mais rapidamente. Isso acontece porque no interior do solo ocorrem temperaturas mais amenas e maior umidade que favorece o rápido crescimento da população de microrganismos, acelerando os processos de decomposição. Freitas *et al.* (2012), ao avaliarem a influência da profundidade sobre a taxa de decomposição e liberação de nutrientes de dois tipos de esterco, constataram que a decomposição variou entre as profundidades de incorporação, havendo menor decomposição na camada mais superficial (0-10 cm).

A velocidade de decomposição dos resíduos orgânicos determinará seu tempo de permanência no solo e a liberação de nutrientes (LEITE *et al.*, 2010). No entanto, a

disponibilização desses nutrientes pode ser rápida e intensa ou lenta e gradual, conforme a interação entre os fatores climáticos e a quantidade e qualidade do resíduo vegetal (OLIVEIRA *et al.*, 2002). Quanto mais rápido for o processo de decomposição, maior será também a velocidade de liberação dos nutrientes (TEIXEIRA *et al.*, 2010).

2.4 Avaliação da decomposição dos resíduos e a liberação de nutrientes

2.4.1 Avaliação da decomposição por *litterbags*

Trata-se de um método de avaliação direta da taxa de decomposição ao longo de um intervalo de tempo. Nele, são usadas sacolas de decomposição (*litterbags*) para as avaliações (SCORIZA *et al.*, 2012). Em vários trabalhos é utilizada esta metodologia para avaliar a velocidade de decomposição dos resíduos orgânicos aportados ao solo pela adubação verde (PEREIRA *et al.*, 2008; Souza *et al.*, 2018; RAMOS *et al.*, 2018).

Em relação ao material vegetal utilizado na preparação dos *litterbags*, normalmente se usa a fração foliar. Para evitar interferência nas constantes de decomposição deve-se selecionar folhas que não apresentem sinais de decomposição ou, ao menos, sejam homogêneas quanto ao grau de fragmentação (PEREIRA *et al.*, 2008).

Para determinar a quantidade de material vegetal acondicionada nos *litterbags* deve-se considerar alguns aspectos, como: volume das sacolas de decomposição e tempo de avaliação, ou seja, o tempo em que estas permanecerão em campo (SCORIZA *et al.*, 2012). Para *litterbags* de 25 x 25 cm, com abertura de malha 2 mm e que permanecerão em campo por um período de 120 dias, recomenda-se a utilização de 10 g de massa seca de material foliar (SCORIZA *et al.*, 2012).

Nascimento, Matos e Mendonça (2016) utilizaram *litterbags* de 20 x 20 cm e 1 mm de abertura de malha nos quais acondicionaram 20 g de biomassa seca. Já Ramos *et al.* (2018) acondicionaram 200g de material fresco em *litterbags* confeccionados com tela plástica, medindo 25 x 25 cm, com abertura de malha de 4 mm.

Com relação ao número ideal de *litterbags* a ser utilizado nos estudos, isso irá depender dos objetivos, da exigência do estudo, do número de repetições utilizadas na área e do intervalo de tempo a ser avaliado (SCORIZA *et al.*, 2012).

Souza *et al.* (2018), avaliando a decomposição da fração foliar das espécies feijão de porco (*Canavalia ensiformis* (L.) DC.), gliricídia (*Gliricidia sepium* (Jacq.) Walp.),

guandú (*Cajanus cajan* L.) e leucena (*Leucaena leucocephala* (Lam.) de Wit.) durante 150 dias (com intervalo de 30 dias), ou seja, aos 30, 60, 90, 120 e 150 dias, com quatro repetições, utilizaram 18 sacolas por tratamento. Já Nascimento, Matos e Mendonça (2016), ao estudarem a dinâmica de decomposição ao longo de 90 dias (em intervalos de 30 dias entre as coletas, isto é, aos 30, 60, 90 dias), com três repetições, utilizaram 12 sacolas de decomposição por tratamento.

Em relação a colocação dos *litterbags* na área de estudo, eles deverão ser dispostos sobre a superfície do solo (NASCIMENTO; MATOS; MENDONÇA, 2016; RAMOS *et al.* 2018). Após a instalação (tempo zero), os *litterbags* deverão ser coletados em intervalos de tempo preferencialmente regulares (SCORIZA *et al.*, 2012).

Nas coletas, os *litterbags* também devem ser colocados em sacolas plásticas individuais. Adicionalmente, em campo ou em laboratório, as superfícies dos *litterbags* devem ser limpas para retirada de sujidades aderidas (SCORIZA *et al.*, 2012). No laboratório, os materiais remanescentes devem ser transferidos para sacolas de papel de massa conhecida (identificadas) e acondicionadas em estufa de circulação forçada de ar a 60 °C até atingir massa constante. Em seguida, deve-se pesá-los em balança semianalítica para obtenção da massa da matéria seca remanescente, a partir da qual a taxa de decomposição será estimada (SCORIZA *et al.*, 2012)

A quantificação da decomposição é feita por medidas de perda de massa a partir do material remanescente (descontando-se o peso do saco) em cada período de coleta, a partir do tempo zero (instalação) (SCORIZA *et al.*, 2012). A partir destes valores, a constante de decomposição (k) e a liberação de nutrientes é estimada segundo o modelo exponencial simples proposto por, (THOMAS e ASAKAWA, 1993) conforme a equação 1:

$$X_t = X_0 \cdot e^{-kt} \quad 1$$

Em que,

X_t é a quantidade de matéria seca ou nutriente remanescente após um período de tempo t, em dias; e X_0 é a quantidade de matéria seca inicial ou nutriente; e k é a constante de decomposição. Reorganizando os termos dessa equação, é possível calcular a constante de decomposição, ou valor k, conforme equação 2:

$$k = \ln(X/X_0)/t \quad 2$$

Segundo Scoriza *et al.* (2012), a partir do valor k pode-se estimar também o

tempo de meia-vida do material ($t_{1/2}$), isto é, o tempo necessário para que metade dos nutrientes sejam liberados ou que a massa seca contida no litterbag, a partir do tempo zero, se decomponha. De acordo com Rezende *et al.* (1999), é possível calcular o tempo de meia-vida a partir da equação 3:

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

3

Em que,

$t_{1/2}$ é o tempo de meia vida do material

k é a constante de decomposição.

Para Scoriza *et al.* (2012), a grande vantagem deste método é que a partir das medidas de massa remanescente, programas como o SIGMAPLOT podem fornecer além da constante k , gráficos com curvas de decomposição em função do tempo em detrimento da constante k . Adicionalmente, há a possibilidade de quantificar a liberação dos nutrientes em cada período de coleta dos litterbags.

Para a adubação verde, os testes de decomposição dos resíduos permitem melhor entendimento em relação ao fornecimento de nutrientes para as culturas de interesse econômico, bem como os padrões de liberação dos nutrientes contidos na biomassa dos adubos verdes.

A avaliação da decomposição dos resíduos pode ser feita tanto em campo, numa condição muito próxima àquela em que os resíduos vão se decompor, como mostra o estudo feito por Ramos *et al.* (2018), onde as avaliações da decomposição dos adubos verdes de *Crotalaria juncea*, *Cajanus cajan*, *Canavalia ensiformis*, *Mucuna aterrima* foram feitas em campo. A avaliação também pode ser feita em vaso, em casa de vegetação, como mostra o trabalho de Giongo *et al.* (2011) em que foi avaliada a taxa de decomposição da matéria seca (MS) de coquetéis vegetais em casa de vegetação, na qual as unidades experimentais eram constituídas por vasos.

3. MATERIAL E MÉTODOS

3.1 Local de instalação do experimento e tipo de solo utilizado

O trabalho foi conduzido em casa de vegetação do Departamento de Ciências do

Solo da Universidade Federal do Ceará – UFC, (Fortaleza- CE), nas coordenadas 3° 45' 47" S e 38° 37' 35" W (Figura 1), e tem como limites o oceano Atlântico a norte e nordeste, Rio Grande do Norte e Paraíba a leste e Piauí a oeste. O clima da região é predominantemente semiárido, com média anual de temperatura do ar em torno de 30,8 °C e a pluviosidade média anual é 1444,6mm (FUNCEME,2010). O solo utilizado foi classificado como NEOSSOLO QUARTZARÊNICO (Tabela 1) e foi coletado em área de produção de coco em Itarema (CE).

Tabela 1-Caracterização química do solo proveniente da área de produção de coco, localizada no município de Itarema-CE, antes da aplicação dos resíduos orgânicos sobre o solo.

	pH água	P	K	Ca	Mg	Na	Al	H+Al	SB	CTC	V	CE	COT	N	Ucc
0-10cm	1:2,5	mg dm ⁻³				cmol _c kg ⁻¹					%	ds/m	g kg ⁻¹		%
	4,9	2,12	0,07	0,17	0,04	0,03	0,11	1,63	0,31	1,94	15,98	0,08	2,90	0,07	70

Extraídos por Mehlich 1 e quantificados por colorimetria (P) e fotometria de chama (K e Na); Ca e Mg foram extraídos com solução de KCl a 1 mol L⁻¹ e determinados por absorção atômica; O Al foi extraído com KCl a 1 mol L⁻¹ e titulado com NaOH 0,025 mol L⁻¹; acidez potencial (H + AL) foi extraída com acetato de cálcio e titulada com hidróxido de sódio 0,025 mol L⁻¹ em presença de fenolftaleína como indicador; o carbono orgânico total (COT) foi extraído com solução de dicromato de potássio em meio sulfúrico e quantificado com solução de sulfato ferroso amoniacal; o (N) foi digerido com ácido sulfúrico, seguido por destilação a vapor (Kjeldahl) com hidróxido de sódio e titulação do coletado com indicador de ácido bórico e ácido clorídrico. Fonte: elaborada pela autora.

3.2 Delineamento experimental e tratamentos

Foi utilizado delineamento inteiramente casualizado (DIC) em parcelas subdividas no tempo com dois fatores e quatro repetições, totalizando 32 unidades experimentais constituídas por vasos com capacidade para 15 kg de solo. O primeiro fator de tratamento foi constituído por resíduos (folhas e galhos) de duas espécies de leguminosas (*Gliricidia sepium* e *Mimosa caesalpiniaefolia*), cuja caracterização está apresentada na Tabela 2. O segundo fator de tratamento foi constituído por quatro épocas de avaliação (0, 30, 60 e 90 dias).

Tabela 2- Composição química dos resíduos das leguminosas *G. sepium* e *M. caesalpiniaefolia* avaliados no estudo.

Leguminosas*	N	CO	P	K	Ca	Mg	Na	C/N
-----g kg ⁻¹ -----								
<i>G. sepium</i>	24,0	410,7	1,7	23,0	7,8	4,7	0,8	17,1
<i>M. caesalpiniaefolia</i>	12,9	347,8	1,2	11,8	7,3	5,2	0,8	27,0

*Teores dos elementos químicos com base na matéria seca dos materiais analisados Fonte: elaborada pela autora.

3.3 Instalação e condução do experimento

A instalação do experimento foi em outubro de 2019. Inicialmente, o solo foi passado em peneira com 2 mm de abertura de malha para retirada de resíduos vegetais mais grosseiros e, posteriormente, foi colocado em vasos com capacidade para 15 Kg. Para avaliação da decomposição dos resíduos optou-se por utilizar o material na forma fresca, pois o objetivo foi avaliar a decomposição dos resíduos em condições similares às condições de campo.

No laboratório, os resíduos (folhas e galhos finos) de *G. sepium* e *M.caesalpiniaefolia* foram separados e pesados em porções de 20 g correspondente a cada um dos tratamentos (Figura 1). Embora, a literatura mostre que a fração foliar é a que mais contribua para a nutrição das plantas, no presente estudo utilizou-se tanto a fração foliar quanto a fração galho, tendo em vista a dificuldade do produtor em realizar a separação das frações em campo, o que dificultaria a prática da adução verde elevando o custo com mão-de-obra.

Superestimando o valor do resíduo contido em cada bolsa em função da área dos *litterbags* achou-se o valor de 5 t/ ha. Na sequência o material pesado foi acondicionado em bolsas de náilon (*litterbags*) com abertura de malha de 1 mm² e dimensões de 0,2 x 0,2 m.

Em seguida, as bolsas foram levadas para a casa de vegetação e colocadas na parte central e superficial dos vasos contendo solo (Figura 2). Em relação a posição dos *litterbags* nos vasos decidiu-se colocar os mesmos na parte superficial, pois na área de onde os resíduos vieram, os mesmos não seriam incorporados ao solo e como o objetivo foi avaliar

a decomposição dos resíduos em condições próximas às condições de campo preferiu-se também não incorporar os resíduos orgânicos.

A irrigação foi feita diariamente, uma vez por dia, com o objetivo de manter a umidade do solo na capacidade de campo a 70%. No primeiro dia, utilizou-se o volume de 1,6 L de água destilada para cada vaso, nos dias seguintes os materiais foram irrigados com volume que variou de 300 a 400ml, valor corresponde a evaporação diária.

Figura 1 – Resíduos das leguminosas utilizados no estudo (A) e distribuição das bolsas de decomposição sobre o solo nas unidades experimentais (B).



Fonte: imagem cedida pelo laboratório de Manejo do Solo, da Universidade Federal do Ceará – UFC, do qual sou colaboradora, 2019.

As avaliações foram feitas em quatro épocas a partir da instalação do experimento (0, 30, 60 e 90 dias). Ao final de cada período foram retiradas quatro bolsas para cada espécie avaliada, totalizado oito *litterbags* por coleta. Além dos *litterbags*, ao final de cada período de avaliação foi retirada uma amostra de solo por vaso que continha o *litterbag* na camada de 0-10cm com auxílio de um trato holandês com o solo úmido. Os resíduos contidos em cada *litterbag* e as amostras de solo foram encaminhados ao Laboratório de Manejo do Solo (LMS) do Departamento de Ciência do Solo da UFC, para avaliação da decomposição e realização das análises químicas.

Os resíduos contidos nos *litterbags* foram limpos com o auxílio de pincel para retirada de partículas de solo. Após a limpeza, os resíduos foram pesados, submetidos à secagem em estufa de circulação de ar forçada a 65 °C até peso constante, sendo pesados novamente, triturados em moinho do tipo Willey e armazenadas em sacos de papel. As amostras de solo foram secas ao ar e acondicionadas em sacos plásticos até a realização das análises químicas.

3.4 Avaliações

3.4.1 Avaliações nos resíduos de leguminosas

3.4.1.1 Análises químicas

Além da pesagem dos resíduos orgânicos contidos nos *litterbags*, foram efetuadas análises químicas do material remanescente nos *litterbags* ao final dos 90 dias após a instalação do experimento.

A extração do potássio (K), cálcio (Ca), magnésio (Mg) e fósforo (P) foi feita com ácido nítrico e peróxido de hidrogênio (USEPA, 2015). O Carbono (CO) foi digerido através de oxidação por via úmida com dicromato de potássio em meio sulfúrico (SILVA, 2009). Enquanto as determinações de N total foram realizadas no extrato de digestão com ácido sulfúrico, segundo Tedesco *et al.* (1995).

O teor de K foi determinado por fotometria de chama; o P foi determinado por colorimetria; os teores Ca e Mg foram determinados por absorção atômica; o N total por destilação a vapor (método Kjeldahl) (TEDESCO *et al.*, 1995). O CO foi determinado a partir da titulação do excesso de dicromato com sulfato ferroso amoniacal (SILVA, 2009).

3.4.1.2 Modelagem de Decomposição

Foram elaboradas curvas referentes à perda de massa seca (MS) durante os 90 dias de condução do experimento. Também foram calculados os parâmetros de decomposição k e $t_{1/2}$ que correspondem ao coeficiente de decomposição e tempo de meia-vida. Com o valor de k , foi determinado o tempo de meia-vida ($t_{1/2}$) ou tempo necessário para que ocorra a liberação de 50% dos nutrientes da matéria seca, seguindo o modelo proposto por Thomas e Asakawa (1993).

3.4.2 Avaliações no solo

Em cada época de avaliação foram coletadas amostras deformadas de solo na

área de influência dos *litterbags* nos vasos com auxílio de um trado holandês na camada de 0-10cm correspondentes aos dois tratamentos com resíduos com o solo úmido. Foram coletadas quatro repetições de cada tratamento e acondicionadas em sacos plásticos identificados com cada tratamento, totalizando 8 amostras por época de avaliação. Após isso, foram levadas para o Laboratório de Manejo de Solo (LMS) onde foram realizadas análises para fins de avaliação da fertilidade do solo.

Os procedimentos analíticos para a determinação dos atributos químicos do solo para fins de avaliação da fertilidade foram realizados conforme métodos descritos no Manual de Métodos de Análise de Solo (TEIXEIRA *et al.*, 2017). A extração do (Ca) e do magnésio (Mg) foi feita com solução de KCl a 1 mol L⁻¹ e determinados por absorção atômica. O pH em água (1:2,5) foi medido com pHâmetro, o fósforo (P) foi extraído com Mehlich 1 e determinado por espectrofotometria, sódio (Na) e potássio (K) também foram extraídos com solução Mehlich 1 e determinados em espectrofotometria de chama.

O Al foi extraído com KCl a 1 mol L⁻¹ e titulado com NaOH 0,025 mol L⁻¹. A condutividade elétrica foi obtida no extrato da pasta saturada e determinada por condutivímetro. O carbono orgânico total (COT) foi extraído por meio da oxidação por via úmida com dicromato de potássio em meio sulfúrico e determinado na presença de sulfato ferroso amoniacal. O N foi extraído com ácido sulfúrico, seguido por destilação a vapor (Kjeldahl) com hidróxido de sódio e titulação do coletado com indicador de ácido bórico e ácido clorídrico.

Para determinação da capacidade de campo do solo foi utilizado método da proveta, segundo (UFJF,2018).

3.5 Análise estatísticas

Testes de normalidade foram realizados e, mediante constatação de distribuição normal, foram feitas a análise de variância e de regressão para o fator de tratamento quantitativo (tempo) utilizando o programa ASSISTAT. Para o fator de tratamento qualitativo (espécies) foi realizada a comparação de médias pelo teste de Tukey com nível de 5% de significância.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Teores de nutrientes nos resíduos de leguminosas ao longo das épocas de avaliação

Na análise de variância para os teores de nutrientes nos resíduos orgânicos observou-se que as interações entre os fatores de tratamento espécie e tempo foram significativas ($p < 0,01$), exceto para os atributos C que respondeu somente para o fator tempo e o Mg que respondeu isoladamente aos fatores tempo e espécies ($p < 0,01$), conforme apresentado na Tabela 3.

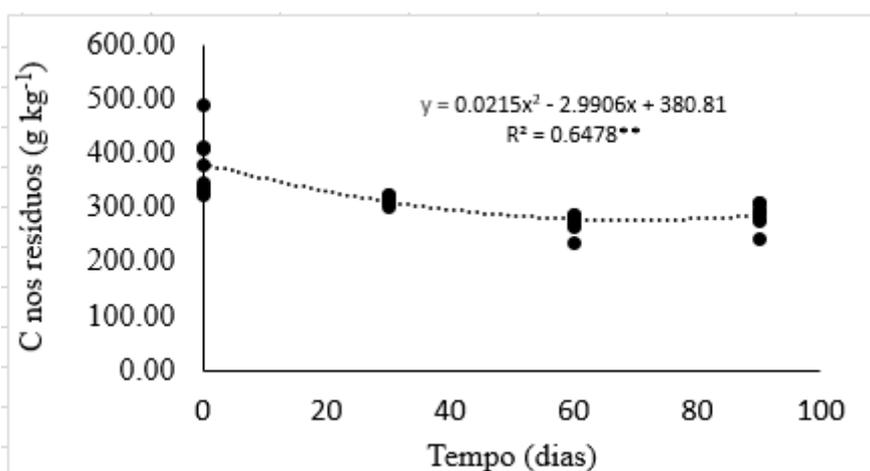
Tabela 3- Resumo da análise de variância (ANOVA) para teores de carbono, macronutrientes, sódio, relação carbono/nitrogênio e massa seca de resíduos (MS) de duas espécies de leguminosas em quatro tempos distintos a partir da deposição sobre o solo.

Fonte de variação	C	N	C/N	P	K	Ca	Mg	Na	MS
	-----Valor de F----- -----								
Espécies	0,85 ^{ns}	844,85 ^{**}	168,40 ^{**}	116,55 ^{**}	895,80 ^{**}	690,78 ^{**}	20,20 ^{**}	71,27 ^{**}	1290,22 ^{**}
Tempo	24,27 ^{**}	149,58 ^{**}	17,06 ^{**}	732,18 ^{**}	1938,01 ^{**}	348,20 ^{**}	1711,26 ^{**}	884,98 ^{**}	531,10 ^{**}
Espécies x Tempo	2,82 ^{ns}	52,01 ^{**}	5,86 ^{**}	50,61 ^{**}	299,06 ^{**}	47,00 ^{**}	0,37 ^{ns} _{vw}	16,71 ^{**}	77,37 ^{**}
CV% ¹	1,41	5,29	10,11	4,51	4,57	4,13	4,07	4,94	3,64

¹ CV = coeficiente de variação; ** significativo a 1% de probabilidade; * significativo a 5% de probabilidade; ^{ns} não significativo. Fonte: elaborada pela autora.

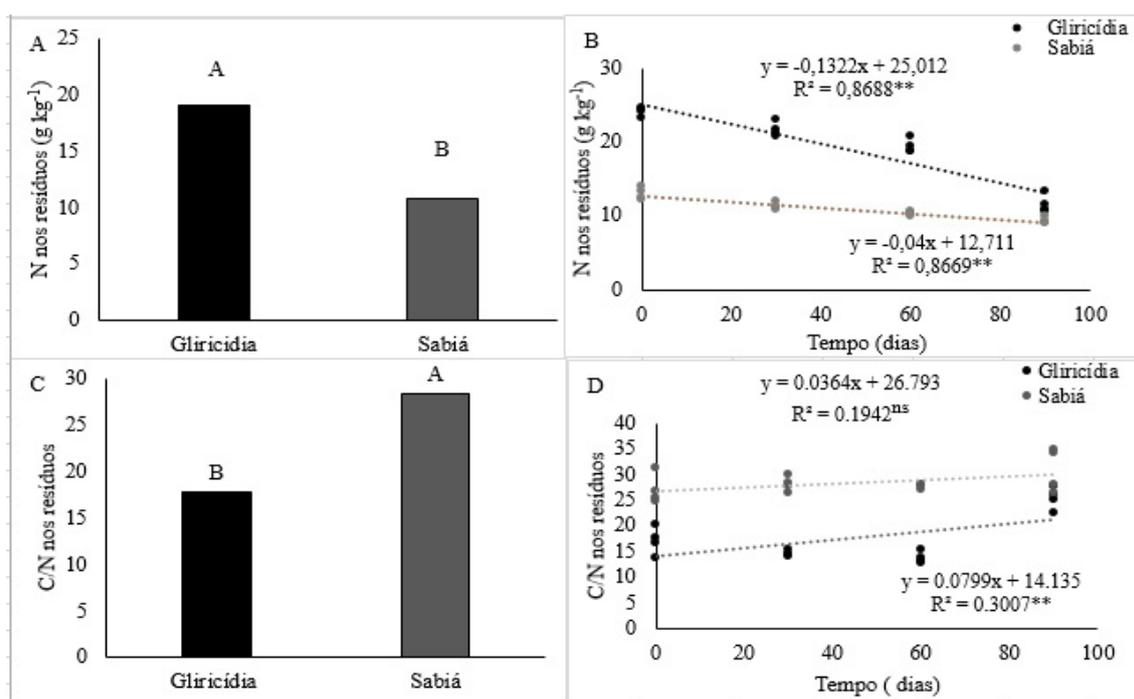
Para o Teor de Carbono nos resíduos não foram observadas diferenças de médias entre as espécies de leguminosas (Tabela 3). Como também não foi verificado interação entre os fatores de tratamento espécie e tempo, teve-se que realizar nova regressão na ANOVA, contudo, sem separar os dados do teor de C entre as espécies. Na regressão (figura 2) observa-se a diminuição dos teores de carbono nos resíduos das espécies *G. sepium* e *M. caesalpiniaefolia* ao longo do período de avaliação.

Figura – 2. Teor de carbono nos resíduos de duas leguminosas (*G. sepium* e *M. caesalpiniaefolia*) ao longo do tempo.



Fonte: elaborada pela autora.

Figura – 3. Teor de nitrogênio (N) e relação carbono/nitrogênio (C/N) nos resíduos de duas leguminosas (*G. sepium* e *M. caesalpiniaefolia*) ao longo do tempo.



Fonte: elaborada pela autora.

Na comparação de médias entre as leguminosas para o teor de nitrogênio nos resíduos a espécie *G. sepium* apresentou maior média em relação aos resíduos da espécie *M. caesalpiniaefolia*, conforme apresentando na Figura 3.

Com o tempo de incubação dos resíduos orgânicos houve redução nos teores de N em ambas as espécies, mas de forma mais acentuada para a *G. sepium* (Figura 3^b). A menor liberação de N dos resíduos da *M. caesalpiniaefolia* decorreu da menor quantidade do nutriente quando comparado ao teor encontrado nos resíduos *G. sepium* (Tabela 2), associada

à baixa taxa de decomposição da matéria seca (Tabela 4). A mineralização mais lenta do N nos resíduos da *M. caesalpiniaefolia* pode ser atestada pela análise da meia-vida deste nutriente (Tabela 5). A menor velocidade de liberação do N dos resíduos da *M. caesalpiniaefolia* indica potencial da espécie em promover a reciclagem e liberação gradativa de nutrientes (Boer *et al.*, 2007).

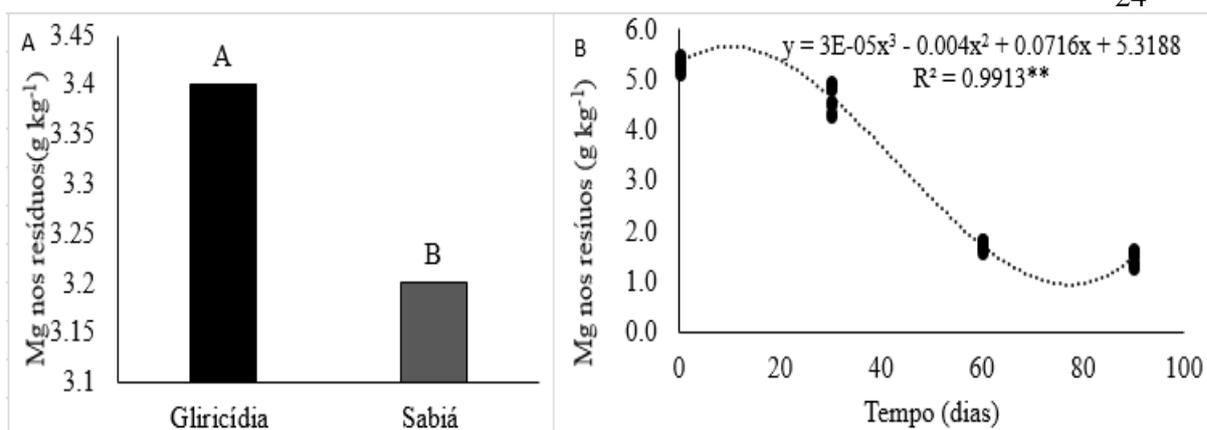
Resíduos de *G. sepium* apresentaram menores valores da relação C/N que do *M. caesalpiniaefolia* (Figuras 3^d), refletindo o que foi observado na caracterização dos resíduos (Tabela 2). Ao longo do tempo não houve variação da relação C/N para os resíduos da espécie *M. caesalpiniaefolia*, contudo para a espécie *G. sepium* houve aumento da C/N com o tempo (Figura 3^d). Os menores valores da relação C/N estão associados a maiores quantidades de N na fitomassa, sugerindo potencial para a rápida mineralização dos resíduos dessas espécies (RIBEIRO e RAMOS, 2006).

Quanto à variação observada na relação C/N ao longo das épocas de avaliação, ela pode ser explicada pelo fato que a relação não é constante ao longo do processo de decomposição. De acordo com Dubeux Jr *et al.* (2006), os compostos orgânicos menos recalcitrantes como açúcares solúveis e aminoácidos livres são rapidamente mineralizados no início da incubação, enquanto menor fração de N está ligada à fibra, sendo de difícil decomposição.

Durante o processo de decomposição dos resíduos, o nitrogênio é imobilizado pelos micro-organismos e a relação C/N decresce com o passar do tempo em função das frações mais solúveis de carbono se decomporem mais rapidamente, diminuindo assim essa relação (DUBEUX Jr *et al.*, 2006).

No presente estudo, como a relação C/N dos resíduos da espécie *G. sepium* aumentou com o passar do tempo, isso indica menor expressão das frações mais solúveis de carbono no material orgânico proveniente das duas leguminosas.

Figura - 4. Teor de magnésio (Mg) nos resíduos de duas leguminosas (*G. sepium* e *M. caesalpiniaefolia*) ao longo do tempo.

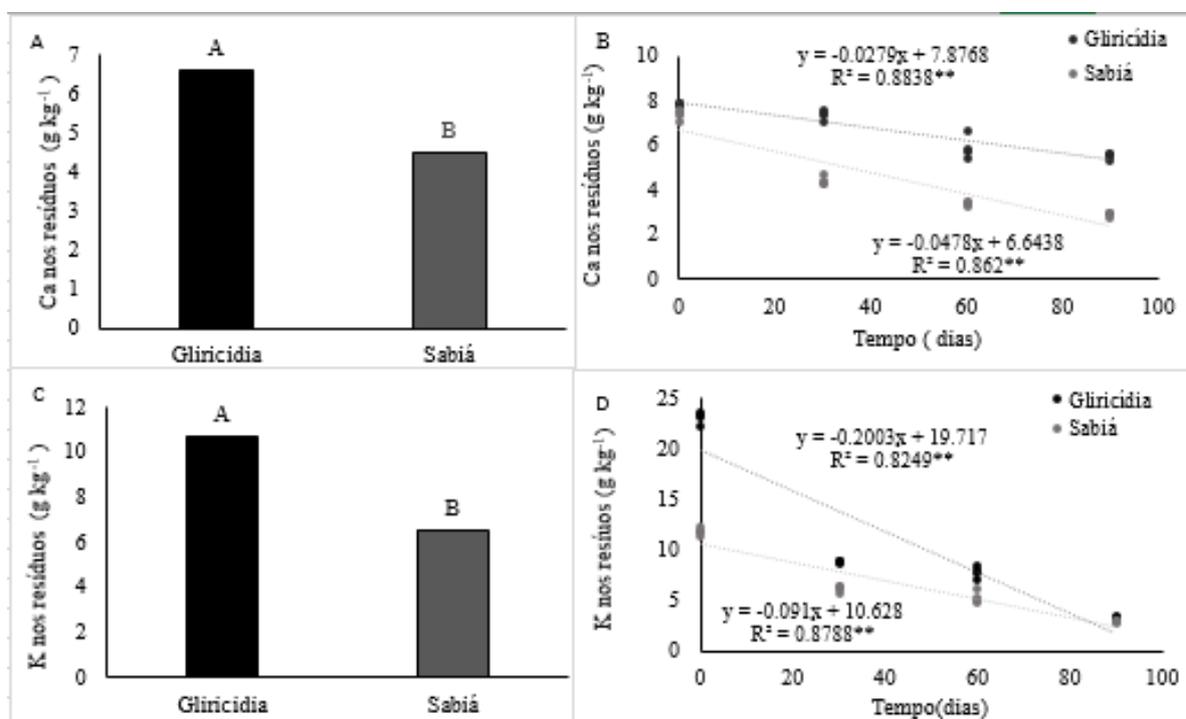


Fonte: elaborada pela autora.

Para o teor de magnésio (Mg) nos resíduos, a espécie *G. sepium* obteve maior média (Figura 4^a). Na regressão observa-se a diminuição dos teores de Mg com o tempo, sendo que essa redução foi mais expressiva aos 60 dias para as duas espécies (Figura 4^b).

Os teores de cálcio (Ca), para as duas espécies, foram próximos no tempo zero, o que está de acordo com o teor do elemento determinado na caracterização dos materiais (Tabela 2). Com o passar do tempo, os teores do nutriente reduziram nos resíduos de ambas as espécies, mas de forma mais expressiva para a *M. caesalpiniaefolia*. O período em que ocorreu maior liberação de cálcio para ambas as espécies foi aos 90 dias após a instalação do experimento (Figura 5^b).

Figura - 5. Teores de cálcio (Ca), potássio (K) nos resíduos de duas leguminosas (*G. sepium* e *M. caesalpiniaefolia*) ao longo do tempo.



Fonte: elaborada pela autora.

Para o potássio (K), maiores teores foram observados nos resíduos de *G. sepium* (Figura 5^c), com rápida liberação nos primeiros 30 dias para as duas leguminosas, contudo para a *G. sepium* a perda foi mais expressiva comparado aos resíduos da *M. caesalpiniaefolia* no mesmo período (Figura 5^d). Esse comportamento pode ser explicado pelo fato de o K não ser um elemento estrutural no tecido vegetal, sendo liberado facilmente. Esses resultados corroboram com aqueles obtidos por Costa *et al.* (2012) que verificaram rápida liberação de K logo nos primeiros dias de decomposição da espécie *Crotalaria juncea* L.

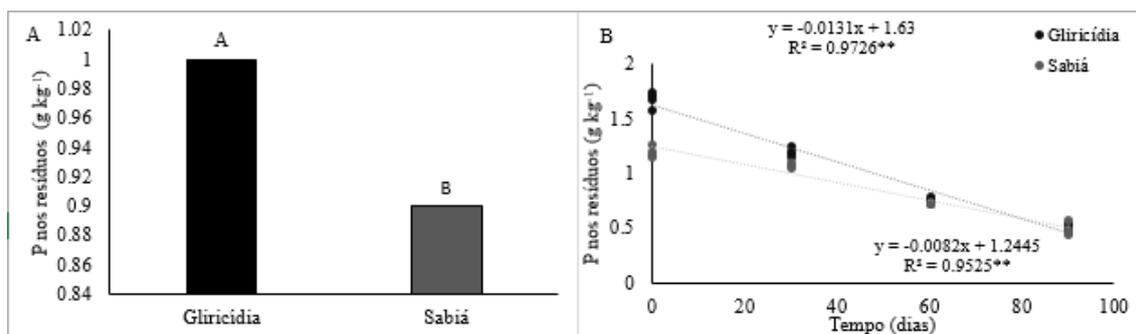
Para os teores de fósforo (P) nos resíduos das leguminosas, maiores valores foram observados para a espécie *G. sepium* (Figura 6^a). Quanto à liberação de fósforo ao longo dos períodos de avaliação, observa-se que o período que ocorreu maior liberação foi aos 90 dias para ambas as espécies (Figura 6^b).

Essa diminuição nos teores de P também pode ser evidenciada pela constante de decomposição *k* que foi 0,0125 e 0,0102 para resíduos de *G. sepium* e *M. caesalpiniaefolia*, respectivamente, e pelo tempo de meia vida de 56 e 71 dias (Tabela 5).

Segundo Costa *et al.* (2016), a rápida liberação de P no início da decomposição está relacionada à perda de P solúvel em água. Cabe destacar também que após 60 dias os

teores de P nos resíduos das leguminosas ficam muito próximos, de modo que a massa seca remanescente do *M. caesalpiniaefolia*, provavelmente não contribuirá mais com o aporte de P ao solo.

Figura - 6. Teor de fósforo (P) nos resíduos de duas leguminosas (da *G. sepium* e *M. caesalpiniaefolia*) ao longo do tempo.

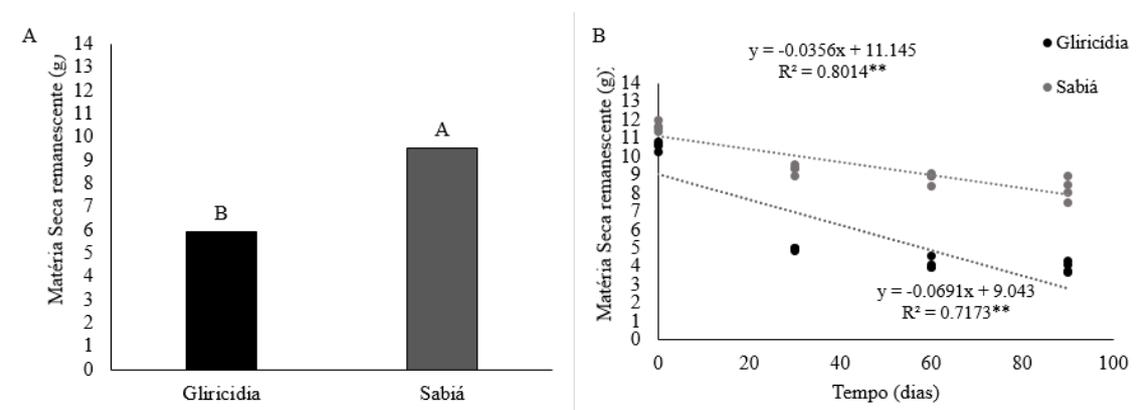


Fonte: elaborada pela autora.

4.2 Decomposição e liberação dos nutrientes

A biomassa da *G. sepium* apresentou maior taxa de decomposição do que o sabiá, com perda de 62,42% da massa seca em relação a matéria seca inicial durante os 90 dias de avaliação (Figura 7^b). Em contrapartida, a *M. caesalpiniaefolia* apresentou taxa de decomposição mais lenta, com perda de 29,18 % de sua massa ao longo dos 90 dias. Para as duas espécies a perda de biomassa foi mais acentuada durante os 30 primeiros dias, chegando a 53,0% para a *G. sepium* e 19,0% para o *M. caesalpiniaefolia*.

Figura – 7. Matéria seca remanescente nos resíduos em função das espécies de leguminosas e do tempo de decomposição.



Fonte: elaborada pela autora.

A decomposição mais acentuada da *G. sepium* pode ser explicada pelo fato da espécie apresentar maior teor de nitrogênio em seus tecidos, cerca de 50% a mais do que o observado na espécie *M. caesalpiniaefolia*, resultando em menor relação C/N (Tabela 2). De maneira geral, as leguminosas, por apresentar mais N em sua composição, possuem menor relação C/N e se decompõem mais rapidamente (PERIN *et al.*, 2004). Já a espécie *M. caesalpiniaefolia*, cujos resíduos apresentaram decomposição mais lenta, embora apresente cerca de 10 % a menos de carbono em seus tecidos, apresenta aproximadamente a metade do teor de nitrogênio em relação ao encontrado na *G. sepium* (Tabela 2). Isso implica em maior relação C/N e, portanto, maior resistência à decomposição (PERIN *et al.*, 2004).

Os resultados de massa remanescente dos resíduos nos *litterbags* estão em conformidade com os tempos de meia-vida ($T_{1/2}$) para os resíduos da *G. sepium* e do *M. caesalpiniaefolia* (Tabela 4).

Os valores da constante de decomposição (k) oscilaram de 0,0039 a 0,0108, sendo o menor valor encontrado para o *M. caesalpiniaefolia* e o maior valor para a *G. sepium*. O maior valor da constante de decomposição significa que o resíduo tem a decomposição e a liberação de nutrientes mais aceleradas, enquanto os menores valores significam que a decomposição e a liberação de nutrientes são mais lentas (PARROTA, 1999).

Tabela 4- Parâmetros da equação $X = X_0 e^{-kt}$ ajustada aos valores médios de matéria seca e tempos de meia-vida para os resíduos aplicado ao solo durante 90 dias.

Espécie	Constante de Decomposição	$T_{1/2}$
	k (dia ⁻¹)	(dia)
Gliricídia	0,0108	64
Sabiá	0,0039	185

Fonte: elaborada pela autora.

Os valores de $T_{1/2}$ da matéria seca variaram de 185 a 64 dias, sendo o menor valor encontrado para a *G. sepium* (Tabela 4). Isso confirma a maior velocidade de degradação da espécie, em relação ao *M. caesalpiniaefolia*. Conforme já mencionado na explicação para a perda de massa dos resíduos, a relação C/N do resíduo da *G. sepium* foi menor em relação ao *M. caesalpiniaefolia*. A baixa relação C/N favoreceu a decomposição do material (PERIN *et al.*, 2004). O mesmo não foi observado para os resíduos de *M. caesalpiniaefolia*, que

apresentaram maior relação C/N.

Resultados divergentes foram relatados por Silva *et al.* (2008) ao avaliar a decomposição de plantas visando o uso para adubação verde em Seropédica -RJ. Segundo os autores, a *G. sepium* apresentou $k=0,033$ e $t_{1/2} = 21$ dias. A diferença na decomposição das espécies em diferentes regiões vai além do fator tipo de solo, pois passa também pela qualidade do microambiente (interação entre fatores físico-químicos e a biota decompositora) ao qual o material foliar está exposto (GAMA-RODRIGUES *et al.*, 2003).

A velocidade de liberação do nitrogênio (N) dos resíduos variou de 84 a 202 dias (Tabela 5), com maior valor de k para a da *G. sepium* e menor valor para o *M. caesalpiniaefolia*.

Tabela 5. Parâmetros da equação $X = X_0 e^{-kt}$ ajustada aos valores médios de N, P, K, Ca e Mg e respectivos tempos de meia-vida para os resíduos aplicado ao solo durante 90 dias.

Espécies	Nutrientes	Constante de Decomposição	
		k (dia ⁻¹)	$T_{1/2}$ (dia ⁻¹)
<i>G. sepium</i>	N	0,0084	84
<i>M. caesalpiniaefolia</i> .	N	0,0037	202
<i>G. sepium</i>	P	0,0125	56
<i>M. caesalpiniaefolia</i> .	P	0,0102	71
<i>G. sepium</i>	K	0,0210	33
<i>M. caesalpiniaefolia</i> .	K	0,0148	47
<i>G. sepium</i>	Ca	0,0039	180
<i>M. caesalpiniaefolia</i> .	Ca	0,0099	70
<i>G. sepium</i>	Mg	0,0133	53
<i>M. caesalpiniaefolia</i> .	Mg	0,0148	47

Fonte: elaborada pela autora.

A liberação de fósforo (P) da da *G. sepium* foi superior ao observado para o *M. caesalpiniaefolia* (Tabela 5), com valores para os tempos de meia-vida que variam de 56 a 71 dias. Com relação ao potássio (K), foram observados tempos de meia-vida menores que 48 dias para os resíduos das duas espécies avaliadas, indicando rápida velocidade de liberação desse nutriente, independente da espécie. O comportamento observado para o K provavelmente está associado ao fato de tal nutriente ocorrer na forma iônica nas plantas, não participando, portanto, das estruturas orgânicas (ESPINDOLA *et al.*,2006).

Ao contrário do observado para o K, houve longos tempos de meia-vida para o cálcio (Ca), chegando a 180 dias nos resíduos da *G. sepium*. A lenta liberação desse nutriente está ligada ao fato de o Ca ser um dos constituintes da lamela média da parede celular (ESPINDOLA *et al.*,2006), formando um dos componentes mais recalcitrantes dos tecidos vegetais. Considerando a liberação de magnésio (Mg), houve maior valor de k para a *M. caesalpiniaefolia* e menor valor para a *G. sepium*, bem como menor tempo de meia-vida para a *M. caesalpiniaefolia* e maior tempo de meia-vida para a *G. sepium* (Tabela 5).

4.3 Atributos químicos do solo após aplicação dos resíduos de leguminosas ao longo das épocas de avaliação

Por meio do teste de F da análise da variância para os atributos químicos do solo em resposta a aplicação dos resíduos nas quatro épocas de avaliação, foi observada interação entre os fatores de tratamento espécie e tempo para os atributos pH, Mg e T (Tabela 6).

Tabela 6. Resumo da análise da variância (ANOVA) para atributos químicos do solo em resposta aos resíduos de duas espécies de leguminosas em quatro tempos distintos a partir da deposição sobre o solo.

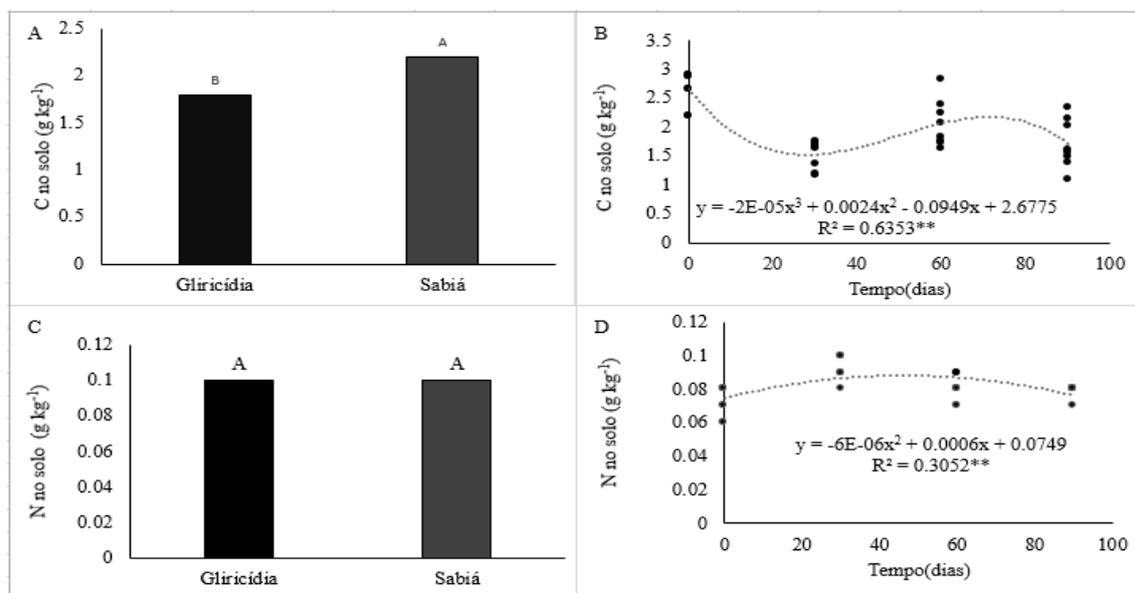
Fonte de variação	pH	C	N	P	K	Ca	Mg	Na	H+Al	SB	T	t	V%
-----Valor de F-----													
Espécies	0,02 ^{ns}	17,91 ^{**}	0,00 ^{**}	0,31 ^{ns}	0,56 ^{ns}	0,28 ^{ns}	5,36 [*]	0,81 ^{ns}	0,13 ^{ns}	2,77 ^{ns}	0,53 ^{ns}	0,05 ^{ns}	0,60 ^{ns}
Tempo	16,55 ^{**}	28,89 ^{**}	12,32 ^{**}	20,09 ^{**}	9,88 ^{**}	105,13 ^{**}	172,49 ^{**}	19,66 ^{**}	3,71 [*]	143,34 ^{**}	4,49 [*]	64,36 ^{**}	119,37 ^{**}
Espécies x Tempo	9,13 ^{**}	2,62 ^{ns}	1,12 ^{ns}	1,17 ^{ns}	1,05 ^{ns}	0,69 ^{ns}	3,58 [*]	0,22 ^{ns}	2,46 ^{ns}	2,35 ^{ns}	3,09 [*]	1,64 ^{ns}	0,40 ^{ns}
CV% ¹	1,46	13,27	8,88	12,19	9,75	8,72	10,63	30,76	6,96	6,60	6,01	7,86	6,28

¹ CV = coeficiente de variação; ** significativo a 1% de probabilidade; * significativo a 5% de probabilidade; ^{ns} não significativo. Fonte: elaborada pela autora.

O carbono (C) no solo variou ao longo dos períodos de avaliação (Figura 8^b), sendo que aos 30 e 90 dias após a instalação do experimento foi observado redução do teor deste elemento e aos 60 notou-se incremento do teor de C no solo. O teor de nitrogênio (N) também variou no decorrer do estudo (figura 8^d), porém a maior quantidade deste elemento foi constatada aos 30 dias após aplicação dos resíduos das leguminosas, com quantidades

equivalentes a $0,10 \text{ g kg}^{-1}$.

Figura – 8. Teores de carbono (C) e nitrogênio (N) no solo em função do tempo após aplicação de resíduos de leguminosas em superfície.



Fonte: elaborada pela autora.

Na Figura 9 estão apresentados os atributos químicos do solo em que houve interação entre os fatores de tratamento espécie e tempo. O pH do solo não foi alterado ao longo do tempo com a aplicação dos resíduos da *G. sepium*, porém para o solo que recebeu os resíduos da espécie *M. caesalpiniaefolia*, houve aumento dos valores do pH, de modo que, aos 60 dias atingiu valor superior a 5,0 (Figura 9^b). Ao final do experimento o solo que recebeu os resíduos das leguminosas apresentou valores de pH próximos ao observado na análise de caracterização (Tabela 1).

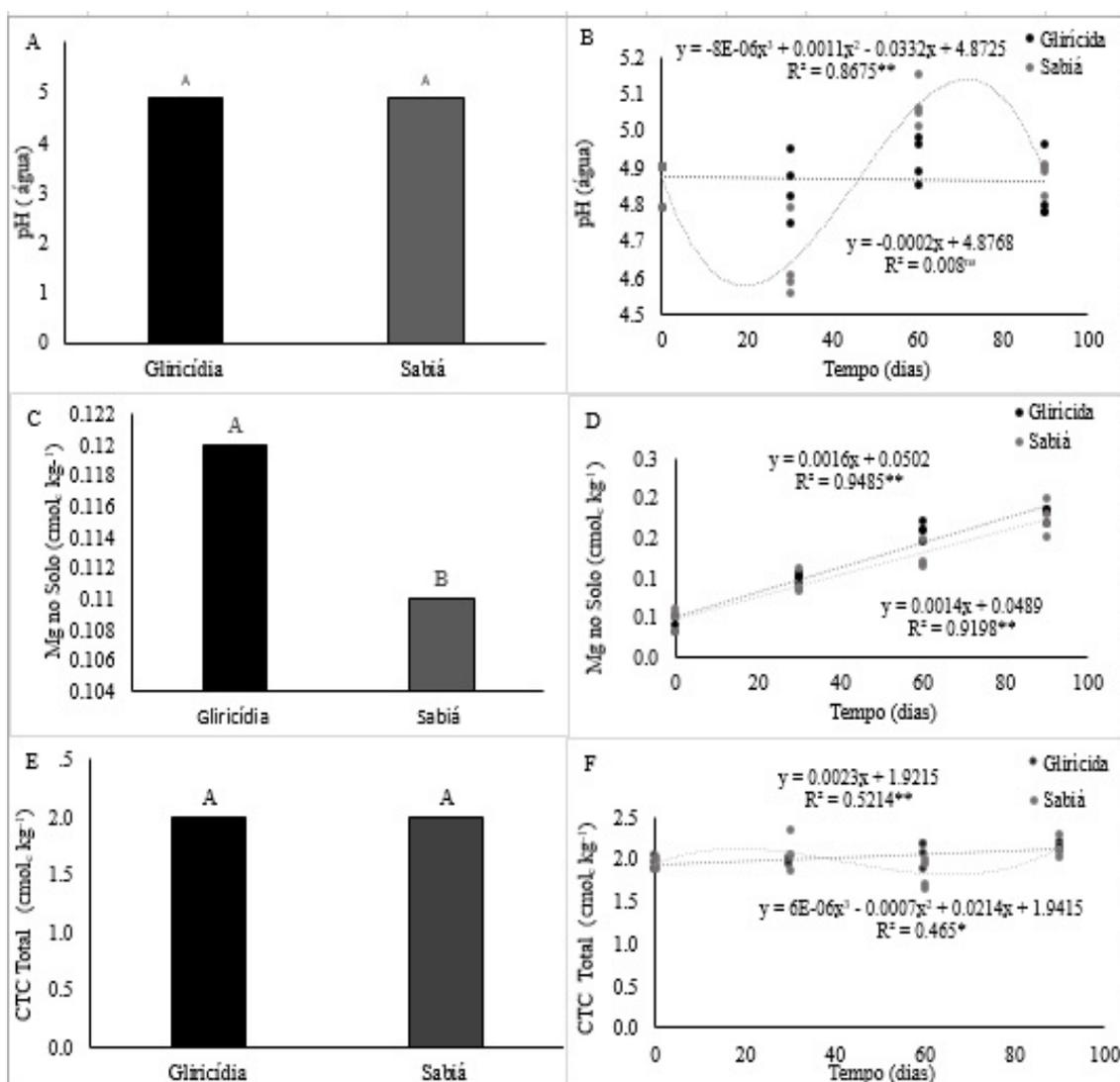
Para o magnésio (Mg), verifica-se que após a adição dos resíduos das leguminosas ao solo houve incremento nos teores do elemento no solo, variando inicialmente de $0,1 \text{ cmol}_c \text{ kg}^{-1}$ a valores superiores a $0,2 \text{ cmol}_c \text{ kg}^{-1}$ aos 90 dias (Figura 9^d).

Vale ressaltar que o pH do solo na análise de caracterização pode ser considerado ácido (Tabela 1), o que pode diminuir a disponibilidade das bases trocáveis na solução do solo. Oliveira *et al.* (2018) constataram que o conteúdo de Mg no solo foi afetado com a adição dos resíduos das leguminosas (*Mimosa caesalpinifolia*, *Mimosa hostilis* e *Gliricidia sepium*), havendo incremento do teor.

A CTC dos solos que receberam os resíduos da *G. sepium* variou ao longo das

épocas de avaliação atingindo valor superior a $2,0 \text{ cmol}_c \text{ kg}^{-1}$ aos 90 dias (9^f). Para os solos que receberam os resíduos da espécie *M. caesalpiniiifolia* foi observada oscilação nos valores da CTC com o tempo, de modo que aos 30 e 90 dias, notou-se aumento dos valores de CTC, atingindo valor superior a $2,0 \text{ cmol}_c \text{ kg}^{-1}$. Já aos 60 dias os valores do atributo ficaram abaixo de $2,0 \text{ cmol}_c \text{ kg}^{-1}$ (Figura 9^f).

Figura – 9. Atributos químicos do solo pH, Mg e CTC no solo em função do tempo após aplicação de resíduos de leguminosas em superfície.



Fonte: elaborada pela autora.

Para o teor de fósforo (P) no solo foi observado incremento com o tempo, com destaque para as épocas 30 e 60 dias após aplicação dos resíduos de leguminosas, atingindo teores em torno de 4 mg kg^{-1} (figura 10).

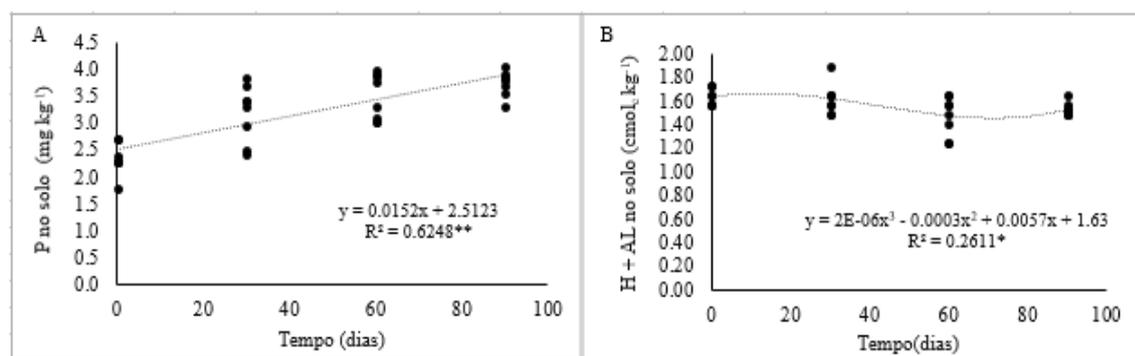
De acordo com Sobral *et al.* (2015) para solos com classe textural arenosa teores

de P na faixa de 0 a 10 mg dm⁻³ são considerados baixos. Resultados divergentes a estes foram encontrados por Oliveira *et al.* (2018), que ao estudarem o efeito da adição de resíduos de partes de leguminosas arbóreas (*Mimosa caesalpinifolia*, *Mimosa hostilis* e *Gliricidia sepium*) no crescimento e nutrição de plantas de milho, bem como nos atributos químicos de um solo degradado, 65 dias após a aplicação dos resíduos não observaram diferença significativa no teor de fósforo entre o solo que recebeu os resíduos das leguminosas e o controle sem leguminosas, contudo foi observado acúmulo de fósforo na parte aérea de plantas de milho em todos os tratamentos nos quais houve aplicações dos resíduos das leguminosas, indicando que o fósforo disponibilizado pelos resíduos, foi absorvido pelas plantas de milho.

Para a acidez potencial do solo (H+Al) foram observadas alterações ao longo das épocas de avaliação, sendo que aos 30 dias após aplicação dos resíduos houve aumento nos valores que chegaram a 1,80 cmol_c kg⁻¹, mas aos 60 dias a acidez potencial reduziu e o valor foi de 1,20 cmol_c kg⁻¹ (Figura 10).

O incremento da acidez potencial no solo aos 30 dias após a aplicação dos resíduos orgânicos corresponde ao período em que houve maior decomposição da matéria seca das leguminosas (Figura 7^b). De acordo com Silva e Mendonça (2007) a matéria orgânica diminuirá ou aumentará o pH do solo dependendo da predominância do processo que consome ou libera H⁺.

Figura - 10 Teor de fósforo (P) e acidez potencial (H+AL) no solo em função do tempo após aplicação de resíduos de leguminosas em superfície.



Fonte: elaborada pela autora.

Na análise dos teores de cálcio (Ca) no solo, nota-se que houve incremento com o tempo, atingindo valor superior 0,35 cmol_c.kg⁻¹ aos 90 dias (Figura 11^a). Esse fato pode ser explicado, pois as espécies apresentam alto conteúdo de cálcio e baixa relação C/N (Tabela 2), favorecendo a decomposição e mineralização deste cátion (OLIVEIRA *et al.*, 2018). Esse

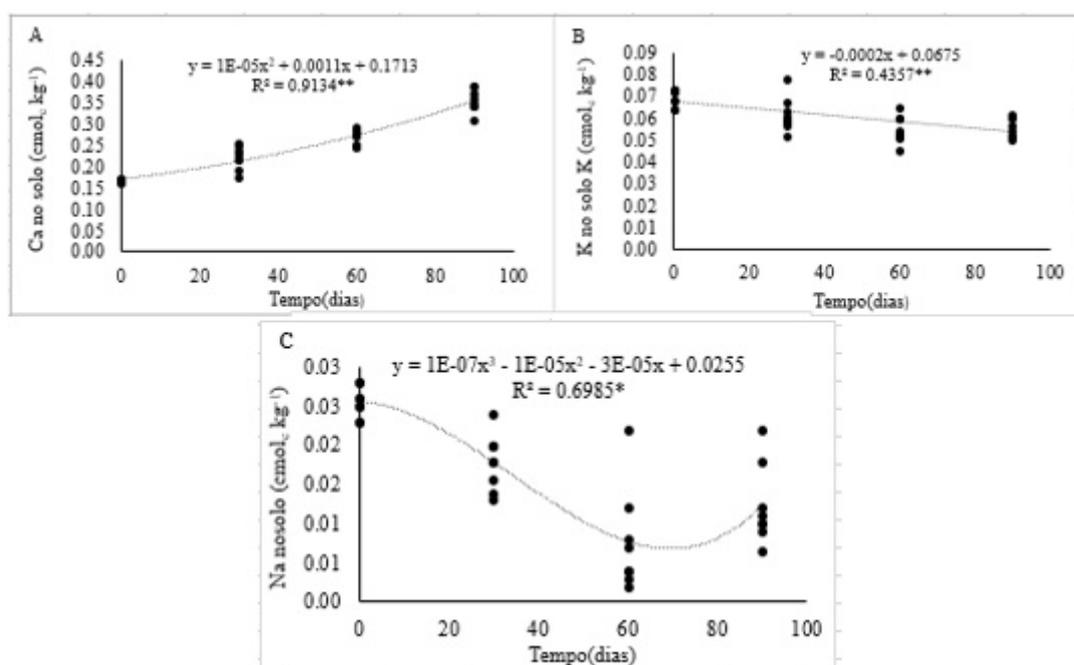
incremento do teor de cálcio no solo após a adição dos resíduos (folhas + galhos) da *G. sepium* e da *Mimosa caesalpinifolia* também foi reportado por (OLIVEIRA *et al.*, 2018).

O teor de potássio (K) no solo diminuiu com o tempo após a aplicação dos resíduos de leguminosas em superfície, de modo que os menores teores ocorreram aos 30 e 60 dias após a aplicação dos resíduos (Figura 11^b).

Resultado diferente foi encontrado em estudos em que houve incremento no teor de potássio do solo após adição dos resíduos de *G. sepium* e *Mimosa caesalpinifolia* (OLIVEIRA *et al.*, 2018). Isto pode ser explicado pela diferença entre as classes textural dos solos dos dois estudos, que no segundo caso, foi utilizado solo classificado como luvisolo, onde se caracteriza pela presença de horizonte B textural e que apresenta capacidade de retenção de cátions superior aos solos arenosos, indicando que a diferença encontrada entre os estudos pode estar relacionada a lixiviação do potássio.

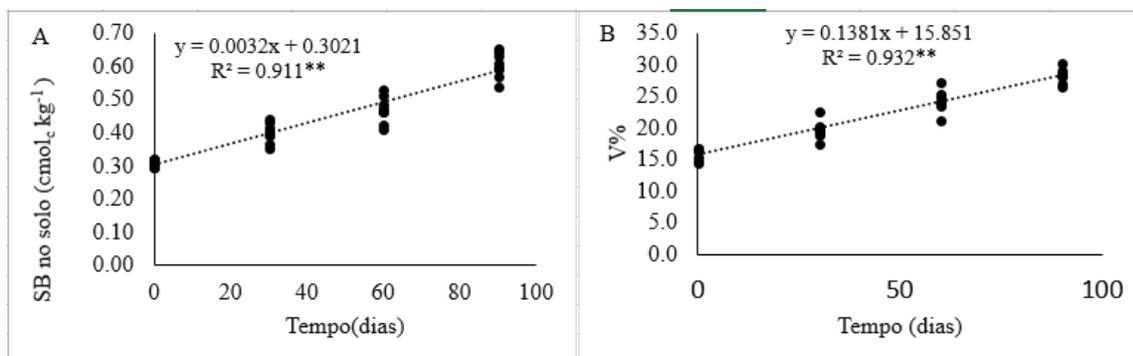
Quanto ao teor de sódio (Na) no solo diminuiu consideravelmente com o tempo, atingindo valores próximos de zero aos 60 dias (Figura 11^c).

Figura – 11. Teores de sódio (Na), cálcio (Ca) e potássio (K) no solo em função do tempo após aplicação de resíduos de leguminosas em superfície.



Fonte: elaborada pela autora.

Figura – 12. Soma das bases (SB) e saturação por bases (V%) no solo em função do tempo após aplicação de resíduos de leguminosas em superfície.



Fonte: elaborada pela autora.

A somas das bases (SB) no solo aumentou com o tempo, de modo que o valor inicial foi 0,30 cmol_c kg⁻¹, atingindo valor superior a 0,60 cmol_c kg⁻¹ aos 90 dias. O acréscimo na SB após aplicação dos resíduos é consistente com o aumento observado nos teores de Mg e Ca (Figura 9^d e Figura 11^a) que houve no decorrer do tempo.

Oliveira *et al.* (2018) também observaram incremento do valor da soma de bases e atribuíram esse acréscimo ao aumento nos teores de K, Ca e Mg no solo causado pela adição dos resíduos da *G. sepium*. Em relação a porcentagem de saturação por bases do solo, constatou-se aumento proporcional ao longo dos quatro períodos de avaliação, de modo que, o maior valor observado foi aos 90 dias, com V% próximo de 30 (figura12). Entretanto, este valor ainda é considerado baixo, indicando que o solo tem cargas ocupadas por componentes da acidez H ou Al e necessitam de correção (SOBRAL *et al.*, 2015).

5.CONCLUSÃO

Aceita-se a hipótese de que os resíduos de *Gliricídia sepium* se decompõem mais rapidamente que os resíduos de *Mimosa caesalpiniaefolia*. A maior decomposição dos resíduos de ambas as espécies ocorre nos primeiros 30 dias da aplicação sobre o solo.

A máxima liberação do K pelos resíduos das espécies *G. sepium* e *Mimosa caesalpiniaefolia* ocorre 30 dias após a aplicação na superfície do solo, contudo, a liberação do K foi mais acentuada pelos resíduos da *G. sepium*. Já para o N o pico de liberação pelos resíduos da *G. sepium* ocorreu após 90 dias, indicando ser o período em que há máxima liberação deste elemento no solo. A relação C/N nos resíduos da *Gliricídia* aumentou ao longo do tempo. E aos 60 e 90 dias ocorreu maior liberação dos nutrientes, respectivamente, Mg e P. Porém a liberação de Ca nos resíduos de *G. sepium* é menor.

Os adubos verdes promoveram melhorias dos atributos químicos do solo, principalmente do N, P, Ca e Mg. No entanto, a contribuição de N pelas leguminosas foi mais evidente após 30 dias.

O pH do solo foi influenciado pela adição dos resíduos de *M. caesalpiniaefolia* atingindo valor inferior a 4,6 aos 30 dias e superior a 5,0 aos 60 dias. Já a acidez potencial do solo foi influenciada por ambas as espécies, atingindo valores mais elevados aos 30 dias e valores menores 60 dias após a adição dos resíduos.

REFERÊNCIAS

- AGBEDE, T. M. Effect of Green Manure Application on Cassava (*Manihot esculenta* Crantz) Growth, Yield Quantity and Quality in Degraded Alfisols. **Pertanika Journal of Tropical Agricultural Science**, Ibandan, Nigeria, v.41, n.4, p. 1757-1777, 2018.
- AL-BATAINA, B. B.; YOUNG, T. M.; RANIERI, E. Effects of compost age on the release of nutrients. **Internacional Soil and Water Conservation Research**, v. 4, p. 230-236, 2016.
- ARAGÃO, M. F. *et al.* Cultivo de milho forrageiro adubado com resíduos de leguminosas da Caatinga em solo degradado. In: Congresso Nacional de Produção animal, 10., 2015, Teresina-Pi, **Anais...** Teresina: CNPC, 2015. p.1-3.
- BARRAL, M. T.; PARADELO, R.; DOMÍNGUEZ, M.; DÍAZ-FIERROS, F. Nutrient release dynamics in soils amended with municipal solid waste compost in laboratory incubations. **Compost Science and Utilization**, v. 19, p. 235-243, 2011.
- BARRETO, A.C; FERNANDES, M.F. Cultivo de *Gliricidia sepium* e *Leucaena leucocephala* em alamedas visando a melhoria dos solos dos tabuleiros costeiros. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília v. 36, p.1287-1293, 2001.
- BOER, C. A.; ASSIS, R.L.de; SILVA, G.P.; BRAZ, A.J.B.P.; BARROSO, A.L.de L.; CARGNELUTTI FILHO, A.; e PIRES, F.R. Ciclagem de nutrientes por plantas de cobertura na entressafra em um solo de cerrado. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.42, n.9, p.1269-1276, set.2007.
- CARVALHO FILHO, O.M. de; DRUMOND, M.A.; LANGUIDEY, P.H. *Gliricidia sepium* – leguminosa promissora para as regiões semi-áridas. Petrolina, PE: EMBRAPA-CPATSA, 1997. 17 p. (EMBRAPA-CPATSA. Circular Técnica, 35).
- CHAER, G. M. *et al.* Nitrogen-fixing legume tree species for the reclamation of severely degraded lands in Brazil. **Tree Physiology**, Oxford, v. 31, n. 2, p. 139-149, 2011.
- COELHO, R. A. *et al.* Efeito de leguminosa arbórea na nutrição nitrogenada do cafeeiro (*Coffea canephora* Pierre ex Froehn) consorciado com bananeira em sistema orgânico de produção. **Coffee Science**, Lavras, v. 1, n. 1, p. 21-27, 2006.
- COLOZZI FILHO, A. *et al.* Adubação verde com leguminosas: o potencial ainda pouco explorado pela FBN. Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2009. 2p. (Boletim Informativo).
- COSTA, C. H. M.; CRUSCIOL, C. A. C.; SORATTO, R. P.; NETO, J. F.; MORO, E. Nitrogen fertilization on palisadegrass: phytomass decomposition and nutrient release. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, v. 46, p. 159-168, 2016
- COSTA, C. H. M. *et al.* Persistência e liberação de macronutrientes e silício da fitomassa

de crotalária em função da fragmentação. **Bioscience journal**, v. 28, n. 3, p. 384-394, 2012.

COSTA, M.G. *et al.* Leguminosas arbóreas para recuperação de áreas degradadas com pastagem em Conceição de Macabu, Rio de Janeiro, Brasil. **Scientia Forestalis**, Piracicaba, v. 42, n. 101, p.101- 112,2014.

DRUMOND, M. A.; CARVALHO FILHO, O. M. de. Introdução e avaliação da *Gliricidia sepium* na região semi-árida do Nordeste Brasileiro..In: QUEIROZ, M. A.;GOERDET, C. O.; RAMOS, S. R.R. **Recursos Genéticos e Melhoramento de Plantas para o Nordeste Brasileiro**. Petrolina-PE:Embrapa Semi-Árido/ Brasília-DF:Embrapa Recursos Genéticos e Biotecnologia, 1999. p. 1-1060.

DUARTE,E.M.G *et al.* Resíduos de árvores da mata atlântica e seu potencial de ciclagem de nutrientes. In: Congresso Brasileiro de Agroecologia. 8.2013, Porto Alegre. **Anais...** Porto Alegre: Cadernos de Agroecologia,2013. p.1-5.

DUBEUX, J.C.B. Jr; SOLLENBERGER, L.E.; VENDRAMINI, J.M.B.; STEWART Jr, R.L.; INTERRANTE, S.M. litter mass, deposition rate, and chemical composition in Bahia grass pastures managed at different intensities. **Crop Science**.v.46, p.1299-1304. (2006)

ESPINDOLA, J. A. A.; ALMEIDA, D.L. de.; GUERRA, J.G. M. Estratégias para utilização de leguminosas para adubação verde em unidades de produção agroecológica. Seropédica: Embrapa Agrobiologia, 2004. 24 p. (Embrapa Agrobiologia. Documentos, 174).

ESPINDOLA, J. A. A. *et al.* Decomposição e liberação de nutrientes acumulados em leguminosas herbáceas perenes consorciadas com bananeira. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 30, p. 321-328, 2006.

FERREIRA, R. L. C. *et al.* Deposição e acúmulo de matéria seca e nutrientes em serapilheira em um bosque de sabiá (*Mimosa caesalpinifolia* benth.). **Revista Árvore**, v. 31, p. 7-12, 2007.

FREITAS, M. S. C.; ARAÚJO, C. A. S.; SILVA, D. J. Decomposição e liberação de nutrientes de esterco em função da profundidade e do tempo de incorporação. **Revista Semiárido de Visu**, v. 2, p. 150-161, 2012.

FUNCEME. Fundação Cearense de Meteorologia e Recursos Hídricos. Disponível em: www.funceme.br/app/calendario. Acesso em: 27 ago. 2021.

GALLOWAY, J.N. *et al.* J. Nitrogen cycles: past, present, and future. **Biogeochemistry**, v. 70, p. 153-226, 2004.

GAMA, R.C. *et al.*, Distribuição espacial da família Fabacea na Universidade Federal do Amapá. In: I CONICBIO/ II CONABIO/VI SIMCBIO, 1, 2013, Recife. **Anais...Recife:** Universidade Católica de Pernambuco, 2013, p. 902-913.

GAMA-RODRIGUES, A. C.; BARROS, N. F.; SANTOS, M. L. Decomposição e liberação de nutrientes do folheto de espécies florestais nativas em plantios puros e mistos no

sudeste da Bahia. **Revista Brasileira de Ciências Solo**, v.27, p.1021-1031, 2003.

GIONGO, vanderlise *et al.* Decomposição e liberação de nutrientes de coquetéis vegetais para utilização no Semiárido brasileiro. **Revista Ciência Agronômica.**, Fortaleza, vol.42, n.3, p. 611-618, 2011.

GONÇALVES, S. L.; SARAIVA, O. F.; TORRES, E. Influência de fatores climáticos na decomposição de resíduos culturais de milho e soja. Londrina: Embrapa Soja, 2011. 26 p. (Boletim de pesquisa e desenvolvimento, 6).

HOFFMANN, L. Biologia molecular da fixação biológica do nitrogênio. In: SILVEIRA, A. P. D.; FREITAS, S. S. (Ed.). **Microbiota do solo e qualidade ambiental**. Campinas: Instituto Agronômico de Campinas, 2007. p. 153-164.

LEITE, L. F. C. *et al.* Decomposição e liberação de nutrientes de resíduos vegetais depositados sobre Latossolo Amarelo no Cerrado Maranhense. **Revista Ciência Agronômica**, v. 41, n.1, p. 29-35, 2010.

LIMA, J.R; SAKAIA, R.K; ALDRIGUI, M. Produção de biomassa e composição química de adubos verdes cultivados no vale do ribeiro. **Bioscience Journal.**, Uberlândia, v. 28, n. 5, p. 709-717, 2012.

MATOS, L.V.; CAMPELLO, E.F.C; RESENDE, A.S.de. Plantio de Leguminosas Arbóreas para Produção de Moirões Vivos e Construção de Cercas Ecológicas. Seropédica: **Embrapa Agrobiologia**, 2005. 100 p. (Embrapa Agrobiologia. Sistemas de Produção, 3).

NASCIMENTO, A.F.do; MATTOS, J.L.S. de; MEDONÇA, E. de S. Decomposição da biomassa de adubos verdes no sudeste de Mato Grosso e sua estimativa pelo modelo NDICEA. **Revista Brasileira de Agroecologia**, v. 11, n. 4, p 319-327, 2016.

NUNES, D.A.D. et al. Carbon and nitrogen mineralization in soil of leguminous trees in a degraded pasture in northern Rio de Janeiro, Brazil. **J. For. Res.** (2016) 27(1):91–99

OLIVEIRA, F. R. A. de. *Et al.* Green fertilization with residues of leguminous trees for cultivating maize in degraded soil. **Revista Caatinga**, Mossoró, v. 31, n. 4, p. 798 – 807, 2018.

OLIVEIRA, T. K.; CARVALHO, G. J.; MORAES, R. N. S. Plantas de cobertura e seus efeitos sobre o feijoeiro em plantio direto. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 37, n. 08, p. 1079-1087, 2002.

PARROTA, J. A. Productivity, nutrient cycling, and succession in single-and-mixes-species plantations of *Casuarina equisetifolia*, *Eucalyptus robusta*, and *Leucaena leucocephala* in Puerto Rico. **Forest Ecology and Management**, v. 124, p. 45-77, 1999.

PEREIRA, M.G.; MENEZES, L.F.T.; SCHULTZ, N. Aporte e deposição da serrapilheira na floresta atlântica, Ilha da Marabaia, Mangaratiba, RJ. **Ciência Florestal**, v.18, n.4, p.443-454, 2008.

PEREIRA, T. A.; SOUTO, L. S.; SÁ, F. V. S.; DUTRA FILHO, J. A.; SOUZA, T. M. A.; PAIVA, E. P. Growth and production of dwarf coconut in saline-sodic soil under doses of 62 potassium sulfate. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 21, p. 454- 458, 2017.

PEREIRA, N.S.; SOARES, I. PEREIRA, E.S.S. Uso de leguminosas como alternativa de N nos agroecossistemas. **Revista verde**, Mossoro-RN, v.7, n.5, p.36-40, 2012.

PERIN, A. *et al.* Acúmulo e liberação de P, K, Ca e Mg em crotalária e milho solteiros e consorciados. **Revista Ceres**, Viçosa, v. 57, n. 2, p. 274-28, 2010.

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**, Brasília, v. 39, n. 1, p. 35-40, 2004.

PERIN, A. *et al.* Desempenho de bananeiras consorciadas com leguminosas herbáceas perenes. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 33, n. 6, p. 1511-1517, 2009.

QUEIROZ, L.R.; COELHO, F.C.; BARROSO, D.G. Cultivo de milho no sistema de aléias com leguminosas perenes. **Ciênc. agrotec.**, Lavras, v. 31, n. 5, p. 1303-1309, 2007.

RAMOS, D. D. *et al.* Decomposição em diferentes espécies de leguminosas (Fabaceae). **Cadernos de agroecologia**, v.13, n.2, p. 1-8, 2018.

RENGASAMY, P. World salinization with emphasis on Australia. **Journal of Experimental Botany**, v. 57, p. 1017-1023, 2006.

RESENDE, A.S. *et al.* Artrópodes do solo durante o processo de decomposição da matéria orgânica. **Agronomía Colombiana**, v. 31, n. 1, p. 89-94, 2013.

REZENDE, C.P. *et al.* Litter deposition and disappearance in Brachiaria pastures in the Atlantic Forest region of the south of Bahia, Brazil. **Nutrient Cycling in Agroecosystems**, v. 54, p. 99-112, 1999.

RIBASKI, J. *et al.* Sabiá (*Mimosa caesalpiniiifolia*): árvore de múltiplo uso no Brasil. Colombo: Embrapa Florestas, 2003. 4p. (Embrapa Florestas. Comunicado Técnico, 104).

RIBEIRO Jr., W.Q. & RAMOS, M.L.G. Fixação biológica de nitrogênio em espécies para adubação verde. Caracterização das espécies de adubo verde. In: CARVALHO, A.M.; AMABILE, R.F., ORG. **Cerrado: adubação verde. Planaltina**, DF: Embrapa Cerrados, 2006. 369p. il. color.

ROMILDO, N. A. *et al.* Relação entre qualidade e liberação de N por plantas do semiárido usadas como adubo verde. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.15, n.11, p.1107–1114, 2011.

SÁ, C. O de.; SÁ, J. L de.; RANGEL, J. H de. A.; MUNIZ, E. N. Glirícidia formas de plantio e cultivo. Aracaju, SE. Embrapa Tabuleito Costeiros, 2012. 2p.

- SANTONJA, M.; FERNANDEZ, C.; GAUQUELIN, T.; BALDY, V. Climate change effects on litter decomposition: intensive drought leads to a Strong decrease of litter mixture interactions. **Plant Soil**, v. 393, p. 69-82, 2015.
- SANTOS, A. F. et al. Efeito residual da adubação orgânica sobre a produtividade de milho em sistema agroflorestal. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 14, n. 12, p. 1267-1272, 2010.
- SCORIZA, RAFAEL NOGUEIRA et al. Métodos para coleta e análise de serrapilheira aplicados à ciclagem de nutrientes. **Floresta e Ambiente**, Rio de Janeiro, v.2, n.2, p. 01 - 18, 2012.
- SILVA, G.T.A. *et al.* Correlação entre a composição química e a velocidade de decomposição de plantas para adubação verde visando a elaboração de uma base de dados. Seropédica: Embrapa agrobiologia, 2007. 51p. (Boletim de pesquisa e desenvolvimento, Embrapa Agrobiologia, ISSN 1676-6709;21).
- SILVA, G. T. A.; MATOS, L. V.; NÓBREGA, P. de O.; CAMPELLO, E. F. C.; RESENDE, A. S. de. Chemical composition and decomposition rate of plants used as green manure. **Scientia Agrícola**, v.65, n.3, p.298-305, 2008.
- SILVA, I. R.; MENDONÇA, E. S. Matéria orgânica do solo. In: NOVAIS, R. F. et al. (Eds.). Fertilidade do solo. Viçosa: **Sociedade Brasileira de Ciência do Solo**, 2007, cap. 6, p. 275-374.
- SILVA, F. C. D. **manual de análises químicas de solos, plantas e fertilizantes**. 2.ed. Brasília, DF : Embrapa Informação Tecnológica, 2009. 627 p.
- SMYTH, T. J; CRAVO, M.S; MELGAR,. R. J. Nitrogen supplied to corn by legumes in a Central Amazon Oxisol. **Tropical Agriculture**, Trinidad, v. 68 n. 4, 1990.
- SOBRAL, F.L. Guia Prático para Interpretação de Resultados de Análises de Solo. 1. ed. Aracaju: Embrapa Tabuleiros Costeiros, 2015.
- SOUTO, P. C.; SOUTO, J. S.; NASCIMENTO, J. A. M. Liberação de nutrientes de esterco em Luvissolo no semiárido paraibano. **Revista Caatinga**, v. 26, p. 69-78, 2013.
- SOUZA, I. R. L. *et.al.* Decomposição de espécies utilizadas como adubação verde em sistemas agroflorestal experimental, Santarém, Pará. **Agroecossistemas**, Pará, v. 10, n. 2, p. 50– 63, 2018.
- TEDESCO, M. J.; GIANELLO, C.; BISSANI, C.A.; BOHNEN, H. & VOLKWEISS, S.J. Análise de solo, plantas e outros materiais. 2.ed. Porto Alegre, Departamento de Solos da Universidade Federal do Rio Grande do Sul. 1995. 174p.
- TEIXEIRA, C. M. *et al.* Liberação de macronutrientes das palhadas de milheto solteiro e consorciado com feijão-de-porco sob cultivo de feijão. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 34, p. 497-505, 2010.

TEIXEIRA, P.C; DONAGEMMA, G. K; FONTANA, D.; TEIXEIRA, W.G. Manual de métodos de análise de solos.3. ed. **Revista Brasília**: Embrapa Solos,2017.574p.

THOMAS, R.J; ASAKAWA, N.M. Decomposition of leaf litter from tropical forage grasses and legumes. **Soil Biology and Biochemistry**, Cali, Colombia, v. 25, n. 10, p. 1351-1361, 1993.

THÖNNISSEN, C.; MIDMORE, D.J.; LADHA, J.K.; OLK, D. C.; SCHMIDHALTER, U. Legume decomposition and nitrogen release when applied as green manures to tropical vegetable production systems. **Agronomy Journal**, v. 92, p. 253-260, 2000.

UFJF. Universidade Federal de Juiz de Fora. Disponível em: <https://www.ufjf.br/fisiologiavegetal/files/2018/07/6_1-Determina%C3%A7%C3%A3o-Capacidade-de-Campo.pdf>. Acesso em: 27 de ago. 2021.

USEPA. United States Environmental Protection Agency. Disponível em:<www.epa.gov/sites/default/files/2015-12/documents/3052.pdf>. Acesso em: 27 de ago. 2021.

VIEIRA, R.F. **Ciclo do nitrogênio em sistemas agrícolas**. 1.ed. Brasília, DF: Ed. EMBRAPA, 2017. 163p.