

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

Engenharia Agrônoma

DECOMPOSIÇÃO DE RESÍDUOS VEGETAIS E MINERALIZAÇÃO DE NUTRIENTES EM ÁREA CULTIVADA COM CACAU

Jéssica Aparecida dos Reis Nunes



Jéssica Aparecida dos Reis Nunes

**DECOMPOSIÇÃO DE RESÍDUOS VEGETAIS E MINERALIZAÇÃO DE
NUTRIENTES EM ÁREA CULTIVADA COM CACAU**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado
ao Instituto de Ciências Agrárias da
Universidade Federal de Minas Gerais, como
requisito parcial, para a obtenção do título de
Bacharel em Engenharia Agrônômica.

Orientador: Prof.^a Rodnei Facco Pegoraro

Coorientador (a): Maria Nilfa Almeida Neta

Jéssica Aparecida dos Reis Nunes. DECOMPOSIÇÃO DE RESÍDUOS VEGETAIS E MINERALIZAÇÃO DE NUTRIENTES EM ÁREA CULTIVADA COM CACAU

Aprovado pela banca examinadora constituída pelos professores:

Prof. Luiz Arnaldo Fernandes
ICA/UFMG

Maria Nilfa Almeida Neta
Pós-doutorando-ICA/UFMG

Verônica Aparecida Santos Ferreira Soares
Doutoranda-ICA/UFMG

Prof. Rodinei Facco Pegoraro
Orientador - ICA/UFMG

Montes Claros, ____ de _____ de 20__

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus pela sabedoria e por sempre me conduzir em seus caminhos;

Ao Instituto de Ciências Agrárias da Universidade Federal de Minas Gerais (ICA-UFMG) pela oportunidade, infraestrutura e auxílio;

Aos órgãos de fomento FAPEMIG, Capes e CNPq pelo auxílio financeiro na forma de concessão de bolsas de pesquisa e aquisição de materiais para execução do projeto;

Ao Prof. Rodinei Facco Pegoraro, pela orientação e ensinamentos, que contribuíram com o meu crescimento acadêmico. Agradeço também aos professores que compuseram a banca pela disponibilidade e contribuição;

A Maria Nilfa pela disponibilidade, colaboração, incentivo e amizade;

A Carol Batista pelas trocas e companheirismo, pela contribuição, apoio, conselhos e amizade;

Ao grupo GENURA (Grupo de estudos em nutrição de plantas e uso de resíduos na agricultura) pelas trocas de experiências e colaboração;

Aos Funcionários do Instituto de Ciências Agrárias, pelos serviços prestados;

Aos laboratoristas Luís Henrique, Márcio Neves e Sérgio Duarte pela colaboração;

Aos colegas da turma XX pela parceria e todos momentos vividos ao longo desse processo;

Aos amigos de longa data e aos que adquiri ao longo desses anos;

Ao Alex pelo companheirismo e incentivo;

Aos meus pais, Dilceu e Tânia e ao meu irmão Jonatan pelo apoio, incentivo e por sempre estarem ao meu lado.

A todos que de alguma forma contribuíram direta e indiretamente, para que esse sonho fosse realizado.

Muito obrigada!

“A Persistência é o caminho do êxito”(Charles Chaplin)

RESUMO

Conhecimento da decomposição e cinética de mineralização de nutrientes de resíduos culturais é fundamental para o manejo dos sistemas agrícolas futuros. Nesse sentido, objetivou-se avaliar a taxa de mineralização dos resíduos de braquiária, cacau e grão-de-bico em região de clima tropical. O estudo foi conduzido em blocos casualizados, com quatro repetições, em esquema fatorial 3 x 7. Sendo três resíduos vegetais: braquiária, cacau e grão-de-bico e sete tempos de avaliação: 0, 20, 40, 60, 80, 100 e 120 dias após a aplicação do resíduo no solo. Os resíduos foram alocados em litter bags e distribuídos nas entre linhas do cacauzeiro, para avaliação da massa remanescente, tempo de meia vida e taxa de mineralização. Menores taxas de decomposição foram obtidas nos resíduos de braquiária e cacau com massa seca remanescente de 65% e 78%, em comparação aos de grão-de-bico, com 46% de massa seca remanescente. Assim, a taxa de mineralização dos resíduos em ordem decrescente foi: grão-de-bico>braquiária>cacau. A taxa de mineralização de nutrientes dos resíduos teve a seguinte ordem decrescente: K>S>Mg>C>P>N>Ca, correspondendo a 71, 52, 47, 42, 40, 39 e 37%, respectivamente. O grão-de-bico teve maior potencial de liberação de nutrientes de N, P, K e S, correspondendo a 25, 7, 16 e 2 kg t⁻¹ de matéria seca, respectivamente. Sendo a maior parte desses nutrientes mineralizada nos primeiros 20 dias após a aplicação do resíduo, o que indica seu potencial de utilização como fonte de nutrientes para os cultivos agrícolas.

Palavras chaves: Taxa de mineralização. Braquiária. Cacau. Grão-de-bico. Clima tropical.

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	7
2 REFERENCIAL TEÓRICO	8
2.1. Uso de resíduos vegetais como condicionadores do solo	8
2.2. Características gerais das culturas	10
2.2.1 Cacau	10
2.2.2 Braquiária	11
2.2.3 Grão-de-bico	12
3 MATERIAL E MÉTODOS	13
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO	16
5 CONCLUSÃO.....	26
REFERÊNCIAS	27
ANEXOS	34

1 INTRODUÇÃO

A manutenção de resíduos vegetais na superfície do solo, é uma alternativa que favorece a sustentabilidade dos sistemas produtivos. Pois auxilia na proteção de processos erosivos e aumenta a retenção dos nutrientes mineralizados e fornecê-los gradativamente para as culturas subsequentes, durante o processo de decomposição.

O processo de mineralização dos resíduos orgânicos é mediado pelos microrganismos nele presente (GRZYB *et al.*, 2020; SEMENOV *et al.*, 2019). Alguns fatores edáficos como a temperatura e umidade do solo, assim como a composição bioquímica do resíduo influenciam diretamente essa decomposição e qualidade do resíduo vegetal. As altas temperaturas acarretam maior ativação enzimática, o que resulta na decomposição acelerada dos resíduos vegetais pelos microrganismos, como ocorre em regiões de clima tropical.

Os cultivos de cacau produzem um aporte significativo de fitomassa na superfície do solo, nas regiões de clima tropical (FONTES *et al.*, 2014). Em sua maioria, os cultivos de cacau permitem que o manejo da fertilidade do solo seja assegurado pela manutenção da reciclagem de nutrientes, devido ao acúmulo do material vegetal originado pela poda e decomposição da serapilheira (DAWOE *et al.*, 2012).

O consórcio com plantas de cacau e outras culturas nas entrelinhas é indicado, principalmente as culturas leguminosas. Nesse sentido, o grão-de-bico (*Cicer arietinum* L.) pode ser uma boa opção para esse fim. O grão-de-bico é a terceira leguminosa mais cultivada no mundo (FAOSTAT, 2020) possui poucas áreas de cultivo no Brasil, mas uma boa adaptação de rendimento de grãos na região do cerrado brasileiro, devido a sua rusticidade (ALMEIDA NETA *et al.*, 2021; ARTIAGA *et al.*, 2015; AVELAR *et al.*, 2017; PEGORARO *et al.*, 2018). Por ser uma cultura que possui maior quantidade de N na composição sua relação C/N é baixa, disponibilizando em menor tempo os nutrientes para a solução do solo. No entanto, são escassas pesquisas que demonstrem como ocorre a cinética de decomposição dos resíduos advindos do grão-de-bico em regiões tropicais.

As gramíneas também podem ser usadas como opções de cultura para consórcio e cobertura do solo no cultivo de cacau, além de favorecer a proteção e disponibilização dos nutrientes. As braquiárias (*Urochloa* sp.) são plantas de ciclo fotossintético C4, com maior quantidade de fitomassa produzida, comparada a uma planta de ciclo fotossintético C3. São caracterizadas por uma elevada relação C/N (LYNCH *et al.*, 2016), o que influencia diretamente na velocidade de decomposição dos resíduos. O uso de gramíneas C4, cultivadas nas entrelinhas

do cacaueiro pode ser uma opção para aumentar a quantidade de resíduos vegetais, assim como a sua qualidade.

Dessa forma, estudos para avaliar a cinética de decomposição de diferentes resíduos vegetais são necessários, para melhor implementação de manejos sustentáveis em sistemas agrícolas. Nesse sentido, o objetivo foi avaliar a taxa de mineralização dos resíduos de cacau, grão-de-bico e braquiária em área cultivada com cacaueiro em condições tropicais no norte de Minas Gerais.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1. Uso de resíduos vegetais como condicionadores do solo

A utilização de práticas sustentáveis nos sistemas agrícolas tem sido indispensável. O manejo de resíduos vegetais contribui com a implementação de rotinas sustentáveis, capaz de promover melhorias na estabilidade estrutural do solo, fertilidade e maior biodiversidade (LAL, 2015a). Desse modo, sistemas de plantio que priorizem a manutenção de resíduos vegetais na superfície do perfil do solo, permite melhor aproveitamento dos recursos naturais e neutraliza impactos negativos ao ambiente.

Estudos descrevem a importância dos resíduos vegetais, nas propriedades físicas do solo, incluindo maior retenção de água no solo (LAMPURLANÉS *et al.*, 2016; PAGE *et al.*, 2019), redução da erosão (ZHANG *et al.*, 2018) e melhor índice de estabilidade de agregado (TORRES *et al.*, 2015). Li *et al.* (2019) confirmaram os benefícios promovidos pela retenção de resíduos e o cultivo mínimo na melhora do ambiente físico do solo em lavouras, com efeitos positivos na densidade do solo, tamanho e estabilidade do agregado, propriedades hidráulicas e pH do solo. Resultados semelhantes também foram descritos por Page *et al.* (2019), que concluíram que o uso do plantio direto aumentou a estabilidade dos agregados em solo úmido, reduziu a densidade aparente e aumentou a condutividade térmica e infiltração de água no solo.

De acordo com Grzyb *et al.* (2020) a utilização de resíduos vegetais como condicionadores do solo é uma estratégia eficiente na reciclagem de nutrientes nos perfis do solo, pois estes influenciam os ciclos de carbono e nitrogênio nos sistemas solo-planta. Com isso, a diminuição da saúde do solo é agravada pelo esgotamento de carbono orgânico e fertilidade do solo, isso afeta diretamente a qualidade química do solo. O aumento dos teores de carbono orgânico (STEINER *et al.*, 2011), elevação da capacidade de troca de cátions (PACHECO *et al.*, 2017), complexação de elementos tóxicos do solo, pH e ciclagem de nutrientes (PAGE *et al.*, 2019), são atributos químicos beneficiados pelo aporte de resíduos vegetais na superfície do solo. Segundo Butterly *et al.* (2013), os resíduos advindos das

colheitas são importantes para a redistribuição da alcalinidade nos solos. Em suas avaliações Butterly *et al.* (2013) constataram que os resíduos de canola e grão-de-bico promoveram a alcalinidade nas camadas de 10-20 cm do solo. Esse resultado é atribuído a imobilização do nitrato e à decomposição de ânions orgânicos pelos microrganismos presentes no solo. Pandiaraj *et al.* (2015) em seus estudos, relataram a contribuição da adição e incorporação de leguminosas na produtividade do trigo, com aumento no rendimento de grãos de 1,89 vezes e o rendimento de palha 2,05, em relação ao controle, após a incorporação da grama verde.

O processo de decomposição de resíduos vegetais favorece a circulação de nutrientes no solo e é mediado pela macro e microfauna do solo, que transformam compostos orgânicos em inorgânicos, disponíveis para as culturas. O conhecimento da dinâmica de mineralização de diferentes resíduos culturais é fundamental, para que este manejo futuramente, venha ser introduzido nos sistemas de produção de forma eficiente (TEIXEIRA *et al.*, 2012). Alguns autores relataram, que a taxa de mineralização é influenciada pela composição bioquímica dos resíduos, condições climáticas e fertilidade do solo (ABASSI *et al.*, 2015; CARVALHO *et al.*, 2015; HASSAN *et al.*, 2014; WALLENSTEIN *et al.*, 2010), os quais podem indicar a velocidade de decomposição do material vegetal. O tempo de meia vida é outro fator importante em estudos com decomposição de resíduos. Ele consiste no tempo necessário para decompor 50% da massa do resíduo vegetal, essa informação faz-se necessária para indicar o tempo de permanência dos resíduos sobre o solo.

A decomposição de resíduos vegetais é estimada a partir da perda de sua massa (método dos “litter bags”), o que permite determinar a fração de matéria decomposta e a correspondente constante do processo de decomposição (SEMENOV *et al.*, 2019), obtido com a análise da matéria seca remanescente, material não decomposto. Para que ocorra a degradação extracelular do material vegetal é necessário que tenha a combinação apropriada de enzimas e microorganismos e condições ambientais favoráveis a catálise (BURNS *et al.*, 2013; SEMENOV *et al.*, 2019). A taxa de decomposição de resíduos vegetais em nível global e regional é controlada pela temperatura e pela umidade.

As taxas de decomposição de resíduos vegetais em condições tropicais são aceleradas. Isso, porque a temperatura é um dos principais controles das atividades enzimáticas (WALLENSTEIN *et al.*, 2010). As altas temperaturas potencializam a atividade enzimática, aumentando a taxa de reações catalisadas enzimaticamente, o que provoca maior degradação do material vegetal pelos microrganismos (BURNS *et al.*, 2013). De acordo com Burns *et al.* (2013), em solos com baixa umidade as atividades de enzimas extracelulares *in-situ* também são baixas. Assim, ambientes que mantêm a umidades do solo, seja por precipitação natural ou

irrigação, são favoráveis ao aumento das atividades de enzimas extracelulares (EE) (HENRY, 2013) e resulta em maior decomposição dos resíduos vegetais.

A matéria orgânica constitui a fração biológica do solo, compondo um dos indicadores de qualidade, que têm maior relevância, devido à sua importância na formação e manutenção das funções do solo (SALOMÃO *et al.*, 2020). Embora, seja um atributo biológico exerce influência direta nas demais propriedades do solo, e garante ambiente adequado ao estabelecimento e à atividade da microbiota do solo (FIGUEIREDO *et al.*, 2008). Conforme Rusnak (2017) demonstra em seus estudos, 75 a 80% dos resíduos das colheitas são mineralizados em nutrientes disponíveis para as plantas, enquanto os 20 a 25% restantes sofrem humificação, o que resulta na formação de húmus no solo.

Pesquisas realizadas por Rashid *et al.* (2016), avaliaram a contribuição de bactérias e fungos para a biodisponibilidade de nutrientes e formação de agregados em solos degradados. Verificaram que os inóculos bacterianos e fúngicos apresentaram potencial para restabelecer a fertilidade de terras degradadas, aumentaram a biodisponibilidade de nutrientes através da fixação de nitrogênio e mobilização de nutrientes essenciais, para as culturas enquanto fortalece a estrutura do solo melhorando sua agregação e estabilidade. Os autores destacaram ainda, que o uso combinado desses microrganismos com fertilizantes orgânicos é um avanço promissor, para recuperar solos degradados e reduzir o uso extensivo de fertilizantes químicos.

2.2. Características gerais das culturas

2.2.1 Cacau

O cacau (*Theobroma cacao* L) é uma frutífera pertencente à família das Malvacea, nativo das florestas tropicais das bacias dos rios Amazonas (TALLEDO *et al.*, 2019). O seu cultivo encontra-se estabelecidos nos trópicos do Continente Americano, bem como na África ocidental e Ásia tropical. O Brasil ocupa a sétima posição na produção mundial, sendo o Pará o Estado com maior produção de cacau (APEXBRASIL, 2023). Embora, o Pará seja o maior produtor do cacau foi no sul da Bahia, que a cultura encontrou melhores condições de solo e clima que propiciou a sua expansão e fez com que o Estado passasse a ser considerado a Região Cacaueira pelo IBGE em 1968.

O cacau é um fruto de valor cultural, social e econômico em muitos países tropicais (HARTEMINK, 2005). Suas sementes ou amêndoas é a principal matéria-prima para a fabricação de chocolates e derivados, e destacam por ser fonte de flavonoides e de substâncias antioxidantes que são benéficas a saúde (BARIŠIĆ *et al.*, 2023). Após o declínio do cacaueiro

pela ocorrência da “vassoura de bruxa”, pesquisas são realizadas para obter variedades cada vez mais resistentes e adaptável as diferentes condições climáticas.

Pesquisas realizadas na África, avaliando a mineralização de resíduos de cacau e de culturas consorciadas em especial leguminosas tem apresentado resultados promissores, quanto a fertilidade do cacauero. Estudos realizados em Gana por Kaba *et al.* (2021), a fim de determinar a taxa decomposição e fornecimento de nutrientes ao solo, com uma amostra tradicional de resíduos de cacau e outra inovadora constituída de 60% de resíduos de cacau e 40% de resíduos de gliricídia, observaram que a taxa de decomposição e liberação de nutrientes da amostra inovadora de resíduos mistos foi significativamente maior em comparação com a amostra tradicional apenas com resíduos de cacau. Dessa forma, há um efeito aditivo da biomassa mista com o resíduo de cacau, o que resulta em taxas de decomposição e liberação de nutrientes aumentadas em relação às esperadas com base nas taxas obtidas apenas de resíduos de cacau.

Pereira *et al.* (2023) estudaram a decomposição da serapilheira e liberação de nutrientes em diferentes sistemas de uso da terra no semiárido brasileiro. O trabalho avaliou a dinâmica de decomposição do carbono orgânico e liberação de nutrientes pelos sistemas de manejo do solo. Os autores observaram que o sistema nativo e o milho favoreceram a manutenção do C orgânico no solo, devido a maior relação C/N nesses resíduos, quanto a maior mineralização de macronutrientes, aumento do carbono orgânico e maior liberação de nutrientes no solo a partir da serapilheira de sistema cultivado com cacau.

2.2.2 Braquiária

As braquiárias (*Urochloa* sp.) são gramíneas, pertencente à família das Poaceae e são os capins mais cultivados no Brasil, devido à diversidade de espécies e de suas diferenças morfofisiológicas (SILVA *et al.*, 2016). Há relatos, que a braquiária foi introduzida nos sistemas agrícolas com o surgimento e desenvolvimento do sistema de plantio direto (ALCANTARA, 1986).

As gramíneas destacam-se pelo alto potencial de acúmulo de fitomassa e nutrientes no solo (SILVA *et al.*, 2016), sistema radicular bem desenvolvido, favorecendo a atividade de microrganismos no solo (BARRADAS, 2010), adaptação a solos com baixa e média fertilidade e elevada capacidade de suportar estresse hídrico e altas temperaturas (PACHECO *et al.*, 2013). As braquiárias são caracterizadas por uma elevada relação C/N (BORKERT *et al.*, 2003). Essa característica propicia a permanência da palha na superfície do solo por maiores períodos, assim auxilia na conservação do solo, e na manutenção da umidade, além de favorecer a ciclagem de nutrientes (CALVO *et al.*, 2010; FLAVIO NETO *et al.*, 2015).

Dias *et al.* (2020) avaliando a produção de biomassa e nutrientes totais em *Brachiaria* spp. e *Panicum máximo*, gramíneas forrageiras utilizadas como cobertura morta e produtividade da soja em sistema de integração lavoura-pecuária e sistema de sucessão de milho safrinha, observaram maior ciclagem de nutrientes, indicando os benefícios dessas gramíneas para uso como cobertura morta em sistemas integrados de produção.

Almeida *et al.* (2021) pesquisando a decomposição de resíduos vegetais de gramíneas e a mineralização de macronutrientes em condições tropicais, obtiveram menores taxas de decomposição nos resíduos de sorgo e milho, com matéria seca remanescente (MSR) de 40% e 31% respectivamente, em comparação aos de aveia e pousio com 17% de MSR. Os autores atribuíram a maior taxa de decomposição dos resíduos de aveia e ao pousio a menor relação C:N e maior teor de N presentes no pousio e menor relação C/P no resíduo de aveia em comparação aos de sorgo e milho.

Estudos demonstram os benefícios do uso de gramíneas como plantas de cobertura em climas tropicais, garantindo ao solo proteção contra processos erosivos, mantendo a sustentabilidade dos sistemas agrícolas. Desse modo, são necessárias pesquisas que avaliem a dinâmica de mineralização desses resíduos em clima tropical, o que permite o melhor manejo desses resíduos nessas condições climáticas.

2.2.3 Grão-de-bico

O grão-de-bico (*Cicer arietinum* L.) é uma leguminosa de origem asiática, que se destaca pelo seu alto poder proteico e alta digestibilidade. Possuem quantidades significativas de aminoácidos essenciais, especialmente o triptofano que, dentre outras funções, é precursor bioquímico da melatonina e da serotonina (FILHO 2019). É a terceira leguminosa mais cultivada no mundo e segunda mais consumida. A produção do grão-de-bico tem se tornado realidade no cerrado brasileiro, notadamente nos estados de Goiás e Mato Grosso, graças as condições edafoclimáticas favoráveis (ARTIAGA *et al.*, 2015).

Pesquisas realizadas por Almeida Neta *et al.* (2021) e Pegoraro *et al.* (2018) com o objetivo de avaliar o desempenho do grão-de-bico e possíveis manejos dessa cultura no semiárido mineiro tem tido resultados promissores, indicando o potencial produtivo do grão-de-bico nessa região. Esses estudos reforçam a necessidade de pesquisas incluindo os resíduos do grão-de-bico, para melhor entendimento da contribuição desses resíduos.

As leguminosas são plantas que se destacam por fornecer nutrientes ao solo em curto espaço de tempo, isso porque são plantas que apresentam uma baixa relação C/N (TEIXEIRA *et al.*, 2012). Outra característica dessa espécie, que faz com que essas plantas sejam amplamente utilizadas em cobertura ou incorporadas ao solo é a capacidade de fixar N

atmosférico, em função da relação simbiótica com bactérias nitrificantes, o que resulta na redução de adubos minerais nitrogenados (SOUMARE *et al.*, 2020). Meena *et al.* (2018) relataram que o uso de leguminosas como adubo verde melhorou o estoque de carbono orgânico do solo, a disponibilidade de nutrientes, as propriedades físico-químicas e biológicas do solo e a produtividade das culturas. Segundo Virk *et al.* (2022) a fixação biológica de nitrogênio por leguminosas contribui cerca de 50-70 kg ha⁻¹ com impacto direto no sequestro de carbono.

Bashan *et al.* (2013) ressaltaram a importância das leguminosas na melhoria da fertilidade das terras agrícolas, relatando sobre a restauração do solo erodido no deserto de Sonora.

Herrera *et al.* (2020) em seus estudos, avaliando a decomposição de folhas senescentes de capim-braquiária e leguminosas arbóreas em sistemas silvipastoris, observaram que a gliricídia apresentou maior taxa de mineralização em comparação as demais culturas utilizadas. A gliricídia favoreceu com maior taxa de liberação de N em comparação com sabiá e capim-braquiária, disponibilizando 23, 4 e 6 mg N g MS⁻¹ para gliricídia, sabiá e capim-braquiária, respectivamente. Os autores concluíram que, a gliricídia contribuiu para aumentar a ciclagem de nutrientes por meio de uma decomposição mais rápida, otimizando os serviços ecossistêmicos. Bray *et al.* (2012) ; Kohmann *et al.* (2019) explicam que a maior concentração de N e a menor relação C:N da gliricídia contribuem para aumentar a atividade e a diversidade dos microrganismos, aumentando a taxa de decomposição.

Embora a contribuição das leguminosas como fonte de nitrogênio para as culturas agrícolas seja constatada na literatura científica, ainda há poucos estudos que demonstrem a dinâmica de decomposição do grão-de-bico no fornecimento de nutrientes a culturas subsequentes. Sendo necessário pesquisas que especifique como ocorre tal processo e suas contribuições ao sistema solo-planta.

3 MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi realizado em área experimental cultivada com a cultura do cacau, no Instituto de Ciências Agrárias -ICA da Universidade Federal de Minas Gerais - UFMG, no município de Montes Claros –MG, com latitude 16°40' Sul, longitude 43°50' Oeste e altitude média de 650 m. O clima da região é classificado, segundo Köppen, como Aw, com inverno seco e verão chuvoso (ALVARES *et al.*, 2013). Os dados de temperatura e precipitação estão dispostos na Figura 1.

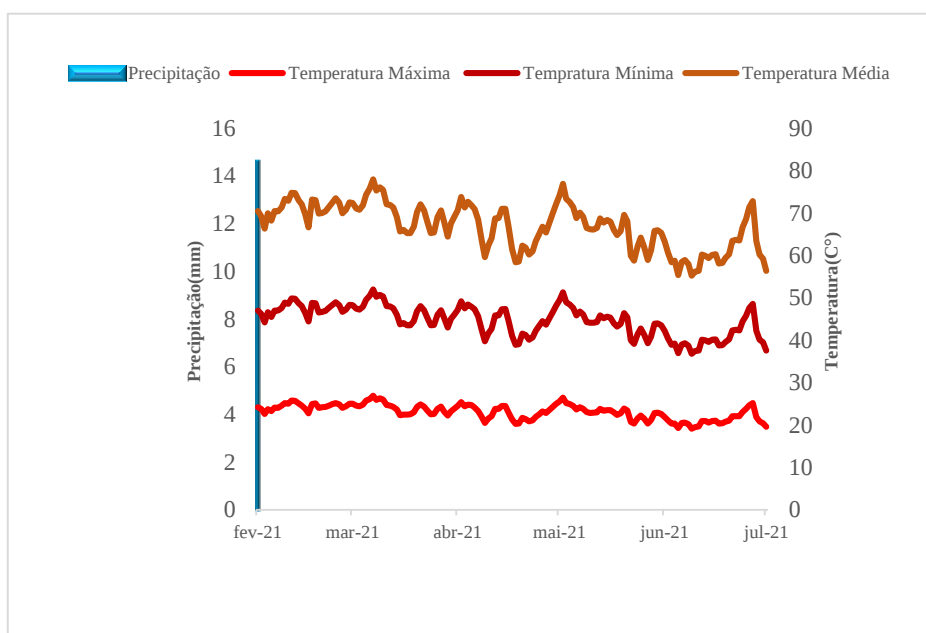


Figura 1: Precipitação e temperatura observadas durante o período de condução do estudo (meses de fevereiro a julho de 2021).

O delineamento experimental foi em blocos casualizados, com quatro repetições, em esquema fatorial 3 x 7. O primeiro fator consistiu de três resíduos vegetais: cacau (*Theobroma cacao* L.), grão-de-bico (*Cicer arietinum* L.) e braquiária (*Urochloa decumbens*). E o segundo fator de sete tempos de coleta e avaliação: 0, 20, 40, 60, 80, 100 e 120 dias após a aplicação do resíduo no solo (DAM). O solo da área foi classificado como Cambissolo Háplico de textura média (SANTOS *et al.*, 2018).

As plantas utilizadas como resíduos culturais foram cultivadas em sistema convencional, com adubação química conforme indicação na literatura para cada cultura e controle de plantas daninhas, quando necessário até o período de florescimento.

Após o florescimento, os resíduos foram fragmentados manualmente com auxílio de uma tesoura em partículas de 0,01 a 0,02 m. Após a padronização do tamanho de partículas, foi pesado aproximadamente 10 g da fitomassa de cada resíduo e alocados em bags de decomposição confeccionadas com tule ("litter bags"), nas dimensões de 0,15x 0,12m e distribuídos em superfície na entre linha do cacaueiro. A caracterização química inicial de cada resíduo foi realizada após secagem em estufa a 65°C até atingirem peso constante (Tabela 1). Os resíduos vegetais foram caracterizados, quanto a sua composição química pelo método de fibra em detergente ácido (FDA) (VAN SOEST 1991) e lignina pelo método de Klasson.

Tabela 1. Características, quantidade aportada (MS) e relações nutricionais dos resíduos de braquiária, cacau e grão-de-bico utilizadas no estudo.

Resíduo	Lignin	C	N	P	K	Ca	Mg	S
	%				dag kg ⁻¹			
Braquiária	23,07	35,28	0,79	0,49	0,36	0,40	0,06	0,18
Cacau	43,81	35,04	1,78	0,45	0,30	1,46	0,23	0,12
Grão-de-bico	32,93	27,03	2,23	0,80	0,88	1,31	0,11	0,15
	C/N	C/P	C/S	Lignin/C	Lignin /N	Lignin/S	MS (t ha ⁻¹)	
Braquiária	45,29	71,50	198,24	0,65	29,33	127,97	3,80	
Cacau	19,76	78,04	295,52	1,25	24,64	363,45	4,47	
Grão-de-bico	12,51	33,87	182,56	1,22	14,75	219,26	2,65	

Os resíduos foram umedecidos durante os 120 dias por meio do sistema de irrigação do cacaueiro em turno de rega alternado. Com isso, a umidade do solo foi mantida para garantir condições favoráveis ao processo de decomposição dos resíduos. As coletas dos bags de decomposição foram realizadas a cada vinte dias. Após a coleta as bags foram secas em estufa de circulação de ar forçada a 65 °C por 72 horas para obtenção da massa remanescente dos resíduos vegetais, do tempo de meia vida e da massa seca mineralizada durante o período de avaliação.

Posteriormente o material foi moído, em moinho do tipo Willey com malha de 1 mm. Foi determinado o teor de C-orgânico pelo método Tedesco *et al.* (1995). O N foi determinado após digestão sulfúrica. E fósforo (P), potássio (K), cálcio (Ca), magnésio (Mg) e enxofre (S) após digestão nitroperclórica, na proporção 2:1, de acordo com método descrito pela Embrapa (2009). Com base nos teores de cada nutriente e na massa seca remanescente (MSR), obteve-se o conteúdo dos nutrientes remanescentes (CNR) nos resíduos culturais pela equação 1.

$$\text{CNR (t/ha)} = [(\text{TN} \times \text{MSR}) / 100] \quad \text{Equação (1)}$$

Em que, TN é o teor do nutriente (dag kg⁻¹); MSR é a massa seca remanescente do resíduo (t ha⁻¹), dividido por 100, para N, P, K, Ca, Mg e S. As taxas de decomposição e mineralização dos nutrientes nos resíduos foram estimadas ajustando-se modelos de regressão aos valores observados, testando os modelos de Wiedner e Lang (1982), pelas

$$\hat{y} = A^{-\text{kat}} + (100 - A)^{-\text{kbt}} \quad \text{Equação (3)}$$

$$\hat{y} = A (1 - e^{-\text{kat}}) \quad \text{Equação (4)}$$

Em que, $\hat{y}$ é a quantidade estimada de massa seca (MSR) ou de conteúdo do nutriente remanescente (CNR), por cada modelo, no tempo (t) em dias; k_a e k_b são parâmetros de decomposição da massa seca ou de mineralização dos nutrientes, A é o parâmetro do compartimento facilmente decomponível e $(100 - A)$, parâmetro do compartimento mais recalcitrante.

A escolha do modelo decorreu com base no menor valor da soma dos quadrados do erro, na significância dos parâmetros da equação ($p < 0,05$) e no maior valor do coeficiente de determinação (R^2) ajustado. A meia-vida ($t_{1/2}$) dos resíduos será calculada por:

$$t_{1/2} = -\ln(0,5)/k = 0,693/k \quad \text{Equação (5)}$$

Em que $t_{1/2}$ é o tempo necessário para decomposição de 50 % da massa seca do resíduo. Com base no CNR, foram calculadas a quantidade mineralizada (QM) e a porcentagem mineralizada (PM) de cada resíduo pelas equações 6 e 7.

$$QM = CI - CF \quad \text{Equação (6)}$$

$$PM = (CF \times 100) / CI \quad \text{Equação (7)}$$

Sendo:

CI é o conteúdo inicial do nutriente ($t \text{ ha}^{-1}$); CF o conteúdo final do nutriente ($t \text{ ha}^{-1}$) remanescente no resíduo cultural após 120 DAM.

Os dados foram submetidos à análise da variância, e as médias foram comparadas pelo teste Tukey, a 5 % de probabilidade ($p \leq 0,05$), por meio do programa computacional R Studio-3.2.2.

Foi verificado diferenças entre os tratamentos, aplicando a análise discriminante canônica (CDA). Com o teste Lambda de Wilks, avaliou a significância dos efeitos multivariados. As análises dos gráficos, dos coeficientes canônicos padronizados (SCC) e dos coeficientes de correlação (r), bem como dos dois coeficientes relacionados à taxa de discriminação paralela (PDRC = $SCC \times r$) (Baretta et al., 2005), forneceram informações para determinar a contribuição dos nutrientes mineralizados para discriminação entre os tratamentos.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

A utilização dos distintos resíduos culturais e o tempo de deposição dos resíduos no solo influenciaram ($p > 0,05$) a taxa de decomposição e liberação de nutrientes, o que indica que há distintas composições bioquímicas e taxas de mineralização de nutrientes nos materiais vegetais.

Os resíduos vegetais de grão-de-bico apresentaram maior taxa de decomposição, quando comparado aos de cacau e braquiária (Tabela 3). Isso ocorreu devido a menor relação C/N, menor relação C/P, menor relação lignina/N e maior quantidade de N em seus tecidos (Tabela 1). Maiores taxas de decomposição de espécies leguminosas em relação a outras espécies, como *Theobroma cacao* foram relatadas em outros estudos (BAI *et al.*, 2022; ROJAS *et al.*, 2017). A composição química dos resíduos vegetais influencia na rápida ou lenta decomposição do resíduo no solo (ALMEIDA *et al.*, 2022). No caso do grão-de-bico, é uma leguminosa que quando usada como cultura de cobertura fornece N orgânico para o solo que contribui para a mineralização, com menor relação C/N e consequentemente maior atividade microbiana no solo (SLOOT *et al.*, 2022).

Tabela 3: Conteúdos médios iniciais (CI) e final (CF), quantidade mineralizada (QM) até 120 dias após aplicação do resíduo no solo, conteúdo mineralizado no tempo 120 (CM) e porcentagem mineralizada (PM) de carbono, nitrogênio, fósforo, potássio, cálcio, magnésio e enxofre, como modelo ajustado ao conteúdo do nutriente remanescente, seguido dos tempos de meia vida lábil ($t_L^{1/2}$) e recalcitrante ($t_R^{1/2}$) e coeficiente de determinação (R^2).

Resíduo	CI	CF	QM	CM	PM	EQUAÇÃO	$t_L^{1/2}$	$t_R^{1/2}$	R^2
	t há ⁻¹			kg t ⁻¹	%		Dias		
	Carbono								
Cacau	2,117	1,572	0,545	399,34 b	26	$f=38,1685 \cdot \exp(0,0921 \cdot x) + 61,8723 \cdot \exp(-0,0003 \cdot x)$	7,52	ns	0,97
Braquiaria	2,164	1,353	0,811	539,55 b	37	$f=37,6263 \cdot \exp(0,0804 \cdot x) + 62,3402 \cdot \exp(-0,0025 \cdot x)$	8,62	277,20	0,99
Grão-de-bico	2,140	0,775	1,365	811,87 a	64	$f=61,4164 \cdot \exp(-2,2875 \cdot x) + 38,5836 \cdot \exp(-0,0071 \cdot x)$	0,30	97,61	0,99
	Nitrogênio								
Cacau	0,098	0,079	0,019	5,250 b	19	$f=13,8393 \cdot \exp(-0,0830 \cdot x) + 86,2861 \cdot \exp(-0,0016 \cdot x)$	8,35	433,13	0,89
Braquiaria	0,045	0,030	0,015	3,570 b	34	$f=31,1395 \cdot \exp(-0,0957 \cdot x) + 68,8353 \cdot \exp(-0,0020 \cdot x)$	7,24	346,50	0,99
Grão-de-bico	0,178	0,064	0,114	25,110 a	64	$f=70,6842 \cdot \exp(-0,0770 \cdot x) + 29,3662 \cdot \exp(-0,0040 \cdot x)$	9,00	173,25	0,99
	Fosfóro								
Cacau	0,026	0,020	0,006	2,050 b	23	$f=13,1758 \cdot \exp(-4,2434 \cdot x) + 86,8242 \cdot \exp(-0,0027 \cdot x)$	0,16	256,67	0,90
Braquiaria	0,030	0,019	0,011	2,387 b	38	$f=45,1000 \cdot \exp(-0,0678 \cdot x) + 54,7220 \cdot \exp(-7,7E-12 \cdot x)$	10,22	ns	0,96
Grão-de-bico	0,053	0,022	0,032	7,162 a	59	$f=43,7601 \cdot \exp(-0,1497 \cdot x) + 56,2460 \cdot \exp(-0,0065 \cdot x)$	4,63	106,62	0,99
	Potássio								
Cacau	0,055	0,015	0,040	8,585 b	72	$f=62,8368 \cdot \exp(-1,5452 \cdot x) + 37,1632 \cdot \exp(-0,0149 \cdot x)$	0,45	46,51	0,99
Braquiaria	0,049	0,015	0,034	6,597 b	69	$f=80,6368 \cdot \exp(-1,4202 \cdot x) + 19,3632 \cdot \exp(-0,0001 \cdot x)$	0,49	6930,0	0,97
Grão-de-bico	0,104	0,029	0,076	15,74 a	73	$f=78,2137 \cdot \exp(-25,4322 \cdot x) + 21,7863 \cdot \exp(-0,0049 \cdot x)$	0,03	141,43	0,99
	Cálcio								
Cacau	0,087	0,065	0,022	4,905 ab	25	$f=29,6963 \cdot \exp(-0,0697 \cdot x) + 70,9536 \cdot \exp(-2,4293 \cdot x)$	9,94	ns	0,79
Braquiaria	0,024	0,015	0,009	0,922 b	38	$f=34,9409 \cdot \exp(-0,1154 \cdot x) + 65,1269 \cdot \exp(-1,89E-11 \cdot x)$	6,01	ns	0,88

Grão-de-bico	0,062	0,033	0,029	6,385 a	47	$f=57,2177*\exp(-0,0583*x)+42,9895*\exp(-1,04E-11*x)$	11,89	ns	0,94
Magnésio									
Cacau	0,016	0,010	0,005	1,395 a	34	$f=47,0492*\exp(-0,0269*x)+53,8932*\exp(-0,0011*x)$	25,76	ns	0,91
Braquiaria	0,004	0,002	0,002	0,385 b	41	$f=50,0666*\exp(-0,0736*x)+50,2416*\exp(-6,67E-05*x)$	9,42	ns	0,88
Grão-de-bico	0,010	0,003	0,007	1,442 a	67	$f=81,2003*\exp(-0,0822*x)+18,9648*\exp(-3,24E-11*x)$	8,43	ns	0,99
Enxofre									
Cacau	0,009	0,005	0,004	0,865 b	42	$f=44,1088*\exp(-17,8648*x)+55,8912*\exp(-0,0011*x)$	0,04	630,0	0,91
Braquiaria	0,013	0,007	0,006	1,455 ab	47	$f=36,9140*\exp(-0,1970*x)+63,0852*\exp(-0,0046*x)$	3,52	150,65	0,97
Grão-de-bico	0,012	0,004	0,008	1,700 a	66	$f=68,4740*\exp(-35299,7697*x)+31,5260*\exp(-0,0043*x)$	ns	ns	0,99

Os resíduos de planta de grão-de-bico obtiveram perda de massa equivalente de 54%, após 120 DAM. Tal resultado corroborou com os observados por Rojas *et al.* (2017) com perda de massa da serapilheira de 55% para *Gliricidia sepium* e 40% para *T. cacao* após quatro meses de incubação, em região tropical. Bai *et al.* (2022) observaram que resíduos de plantas leguminosas (*Gliricidia sepium*), apresentaram maiores taxas de decomposição e liberação de N e P, quando comparados aos resíduos de cacau.

Os resíduos de cacau e braquiária apresentaram menores taxas de mineralização, provavelmente devido à composição bioquímica do tecido vegetal e suas relações nutricionais. Nesses materiais vegetais obteve-se maiores teores de lignina e relações C/N, C/P, C/S (Tabela 1), fatores que dificultam a mineralização microbiana dos compostos orgânicos. Essas características reduzem a velocidade de decomposição desses resíduos e, consequentemente a taxa de mineralização (CARVALHO *et al.*, 2015).

O resíduo vegetal de braquiária apresentou taxa de decomposição intermediária em comparação aos demais resíduos (Tabela 3). Esse efeito pode ser explicado pelas menores concentrações de lignina e menor relação lignina/N dos resíduos, quando comparados com os resíduos de cacau. Isso indica que a decomposição dos resíduos de braquiária oferece proteção ao solo por maiores períodos e liberação de nutrientes a longo prazo para a solução do solo.

Ao final dos 120 DAM, a massa seca remanescente nos resíduos de cacau, braquiária e grão-de-bico corresponderam a 78,65, e 46%, respectivamente. As taxas de decomposição dos resíduos estudados foram consideradas elevadas, provavelmente em virtude do método adotado para condução do estudo e condições climáticas locais. A elevada temperatura média atmosférica no período de condução do estudo (Figura 1), intensificou a atividade de microrganismos e a taxa de mineralização da matéria orgânica do solo.

A temperatura é um fator chave que controla a taxa de decomposição de resíduos vegetais como evidenciado por Grzyb *et al.* (2020) e Hu *et al.* (2014). Dessa forma, as taxas de mineralização em climas tropicais tendem a ser mais rápida do que em clima temperado, devido a maior ativação enzimática, o que resulta na maior deterioração dos resíduos vegetais pelos microrganismos (DUNGAIT *et al.*, 2012). Almeida *et al.* (2022) observaram resultados semelhantes com rápida taxa de decomposição de resíduos vegetais de sorgo, milho, aveia na mesma região do estudo.

A umidade do solo é outro fator que acelera a decomposição dos resíduos no solo. Logo, a manutenção de umidade constante do solo via irrigação no ambiente experimental, favoreceu tal processo. Vários autores observaram a relação entre o teor de água no solo e a velocidade

de decomposição, pois a maior disponibilidade de água no solo via irrigação ou pela precipitação aumenta paralelamente à taxa de decomposição de resíduos vegetais em comparação a períodos secos no ano (COLLIER *et al.*, 2018; MAZETTO JÚNIOR *et al.*, 2019; PAUL, 2016; PACHECO *et al.*, 2017).

A decomposição de nutrientes relacionada à taxa remanescente de C, N, P, Ca, Mg e S ocorreu em duas etapas (Tabela 2). Essas etapas foram definidas em modelos exponenciais por compartimento lábil, de rápida decomposição e compartimento recalcitrante, relacionado a compostos orgânicos de maior complexidade e de difícil mineralização (MALUF *et al.* 2015). Desta maneira, o modelo exponencial duplo (Eq. 3) de Wieder and Lang (1982) foi considerado o mais adequado para descrever o processo de decomposição.

Os resíduos de grão-de-bico apresentaram maior porcentagem de mineralização de carbono e nutrientes comparados aos de cacau e braquiária, sendo o compartimento lábil mais decomponível (Tabela 3). A maior porcentagem de mineralização de nutrientes nos resíduos do grão-de-bico, deve-se a qualidade do material. Já que leguminosas possuem maior teor de N em seus tecidos, menor relação C/N e maior fração lábil como ácidos orgânicos, aminoácidos, açúcares e outros compostos menos estáveis (SARKER *et al.*, 2019; SEMENOV *et al.*, 2019).

Os resíduos de cacau e braquiária obtiveram menor porcentagem de mineralização do C, o que indica a contribuição e liberação de nutrientes a longo prazo. Esses resíduos obtiveram maior relação C/P fator que retarda a taxa de mineralização. Altos valores C/P estão associados a imobilização do P, o que limita a mineralização desse e de outros nutrientes em solos intemperizados de clima tropical (BAI *et al.*, 2022; MALUF *et al.*, 2015b). No entanto, esse fator possibilita a permanência dos resíduos por maior tempo na superfície do solo e o protege da exposição climática. Pereira *et al.* (2022) avaliaram a decomposição da serapilheira e liberação de nutrientes em três sistemas de uso da terra (mata nativa, milho e cacau) no semiárido brasileiro, observaram aumento do C no solo. Os sistemas NF (mata nativa) e CO (cacau) apresentaram elevado teor de carbono orgânico do solo de 9,56 e 5,3%, respectivamente. Tal resultado, demonstra a importância de sistemas que promovem maior acúmulo da serapilheira no sequestro de carbono.

O grão-de-bico se destacou pelo maior potencial de mineralização de N, com taxa equivalente a 64%, que corresponde a liberação 25 kg t⁻¹ de matéria seca (Tabela 3). Chaves *et al.* (2022) encontraram resultados semelhantes para a mineralização de resíduos de leguminosa (*Gliricidia sepium*) obtendo 66,87 kg t⁻¹ de N, provavelmente a quantidade de N fornecido pelas podas da gliricídia foi suficiente para suprir a demanda de N das plantas de laranja, na fase de

formação. A rizodeposição de leguminosas favorecem a liberação de compostos na solução do solo e é uma fonte de N para as culturas subsequentes (ZHANG *et al.*, 2022).

O K apresentou rápida disponibilidade nos três resíduos estudados, com tempo de meia vida para o compartimento lábil variando entre 0,02 e 0,5 dias. Aos 120 DAM 70% do K foi liberado dos resíduos vegetais (Tabela 3), na seguinte ordem decrescente: grão-de-bico > cacau > braquiária. Diferentemente dos outros nutrientes a mineralização do K não depende da relação com o carbono, uma vez que esse elemento não se encontra incorporado às cadeias carbônicas da matéria orgânica resíduos vegetais, estando presente sob formas solúveis (TAIZ *et al.*, 2017). Resultados semelhantes foram descritos por Pereira *et al.* (2022) em seus estudos de decomposição da serapilheira e liberação de nutrientes em diferentes sistemas de uso da terra no semiárido brasileiro.

Os nutrientes Ca, Mg e S apresentaram resposta exponencial e variações na cinética de mineralização entre resíduos (Tabela 3 e Figura 2). O Ca obteve menor incremento, dentre os macronutrientes, especialmente nos resíduos de cacau e braquiária onde a mineralização correspondeu a 38% e 25%, respectivamente aos 120 DAM. Almeida *et al.* (2022) também relataram menores taxas de mineralização do Ca em resíduos de gramíneas e relacionou esse resultado a maior proporção de tecidos complexos para decomposição microbiana de estruturas ligadas ao Ca nos resíduos.

O Mg e o S obtiveram mineralização nos resíduos vegetais de 34 a 67%, respectivamente. Com menor mineralização nos resíduos de braquiária e cacau, e maiores nos resíduos de grão-de-bico (Tabela 3 e Figura 2). Quanto ao conteúdo mineralizado (CM), a quantidade de Mg não diferiu estatisticamente nos resíduos de cacau e grão-de-bico (Tabela 2). Essa resposta, pode ser explicada pela maior fração de mineralização desses nutrientes estar relacionada ao compartimento lábil e principalmente pela função do Mg nas plantas. Isso porque o Mg é solúvel e facilmente liberado na solução do solo, além de fazer parte de componentes estruturais das plantas (CAKMAK; EPSTEIN, 2010; MARSCHNER, 2012).

O S assim como o K, apresentou rápida mineralização em todos os resíduos vegetais (Tabela 3 e Figura 2). O S é um macronutriente estrutural, fundamental nos processos metabólicos das plantas, participando da síntese de aminoácidos (TAIZ *et al.*, 2017) e é responsável por funções vitais para os vegetais como controle hormonal e a diferenciação celular. As substâncias sintetizadas pelo S são facilmente decompostas pelos microrganismos do solo e fazem parte do compartimento lábil presente nos resíduos vegetais (ALMEIDA *et al.*, 2022).

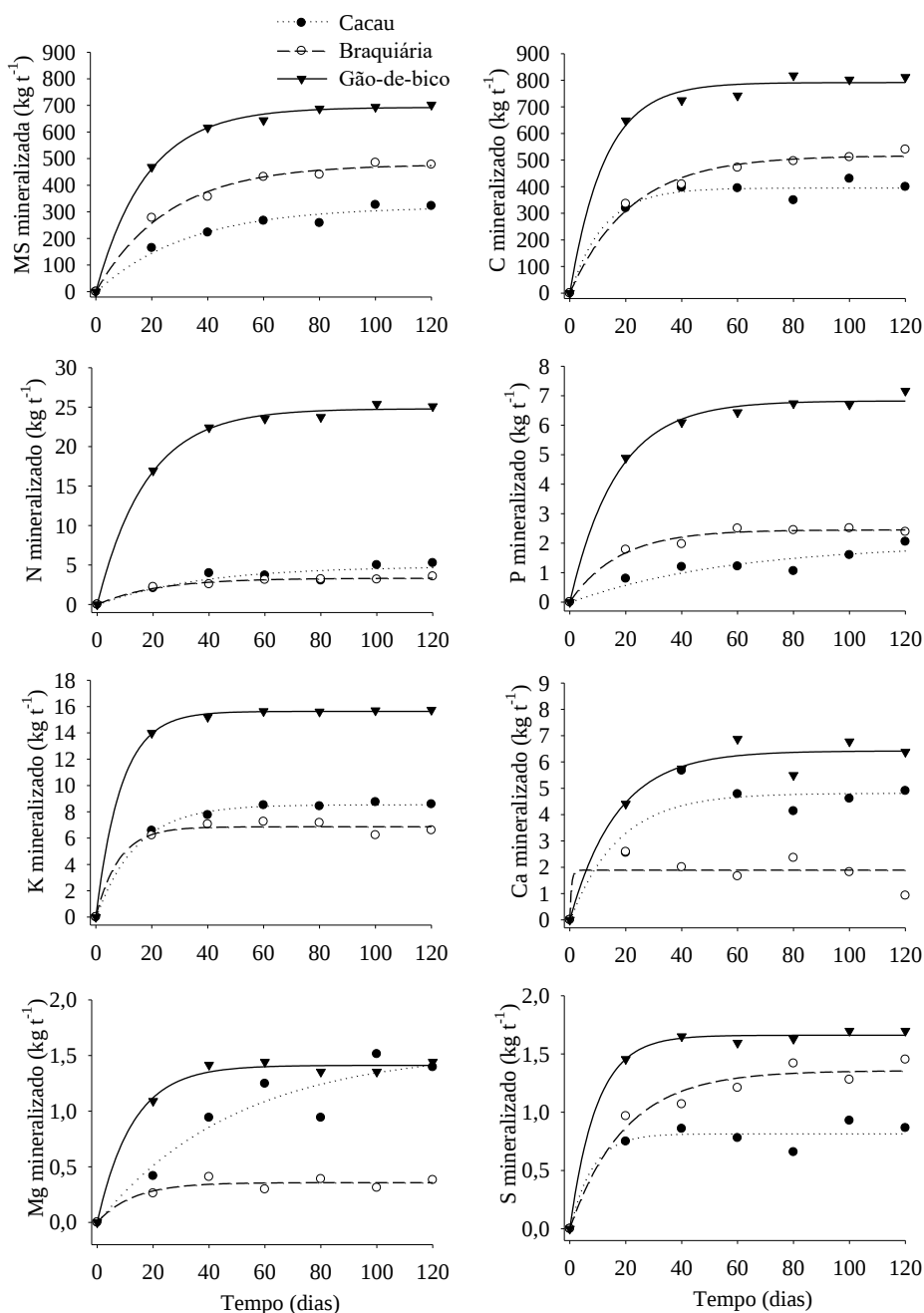


Figura 2: Massa de matéria seca e macronutrientes mineralizados dos resíduos vegetais de cacau, braquiária e grão-de-bico obtidos durante 120 dias de avaliação.

Com a análise de correspondência canônica foi possível observar a influência dos resíduos de grão-de-bico nos nutrientes mineralizados, como o N, K, P, S, Ca, Mg e C (Figura 3). Observa-se também que houve maior interação dos resíduos de grão-de-bico e cacau, duas culturas de metabolismo C3, e menor interação com os resíduos de braquiária, que é uma planta de metabolismo C4. O que reforça que essas plantas podem fornecer nutrientes com

quantidades, qualidades e tempo de decomposição diferentes. É de se esperar que a mineralização nos resíduos de espécies dicotiledôneas seja mais rápido do que espécies monocotiledôneas, que chega a ser 1,6 vezes maior (SEMENOV *et al.*, 2019). Isso indica a importância de usar culturas com características diferentes que irão agregar a matéria orgânica, ação dos organismos e enzimas do solo de maneira distinta.

A relação C/N apresentou pouca interação com os resíduos vegetais de grão-de-bico, cacau e braquiária, e consequentemente com a liberação de nutrientes. Comportamento parecido pode ser observado pelos compostos lignina e celulose que não são influenciados pelos resíduos vegetais estudados.

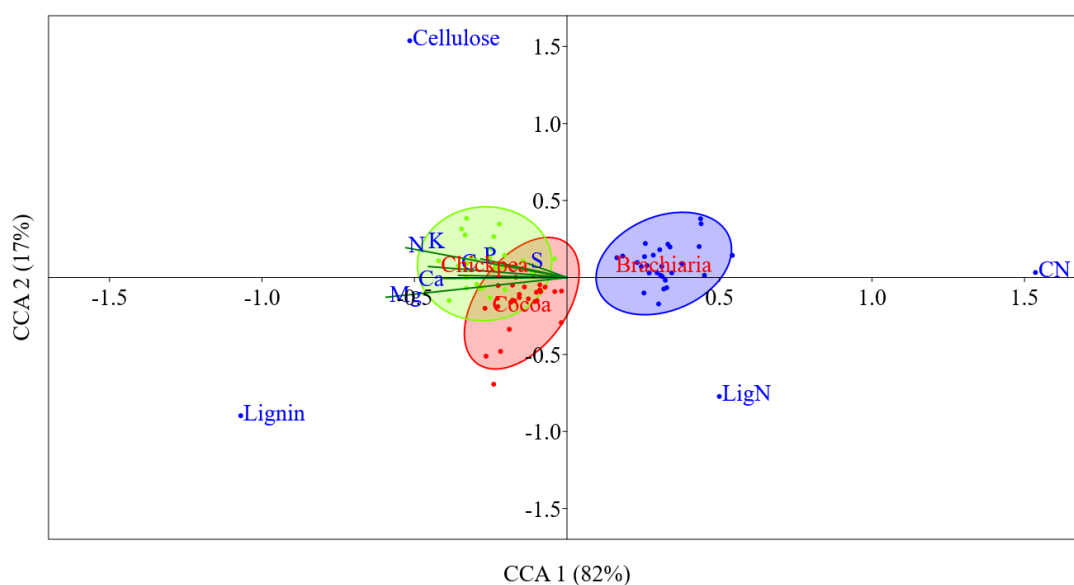


Figura 3: Análise de correspondência canônica (CCA). Relações entre quantidade de nutrientes mineralizadas, kg t^{-1} (C, N, P, K, Ca, Mg e S) e qualidade dos resíduos vegetais (teor de Lignin, Cellulose, relações LigN e C/N) de resíduos vegetais de braquiária, cacau e grão-de-bico.

O componente inicial de lignina dos resíduos e os nutrientes Ca e Mg apresentaram uma relação positiva forte (Figura 4. A). Provavelmente os resíduos com maior teor de lignina liberam em maiores quantidades Ca e Mg durante a decomposição. Já a relação C/N inicial correlacionou-se negativamente com os nutrientes C, N, P, K, Ca e Mg aos finais do 120 DAM (Figura 4.B). O que indica que esses nutrientes presentes nos resíduos foram mineralizados em maior quantidade o que diminuiu a relação C/N dos resíduos vegetais. A rápida mineralização e consequente diminuição da relação C/N é ocasionada pela ação das fontes de biomassa de microrganismo, que decompõe o material de acordo com as condições edafoclimáticas e das concentrações de lignina e polifenóis (SEMNOV *et al.*, 2019).

A relação entre C/P e C/S correlacionou-se positivamente com a massa seca remanescente dos resíduos (Figura 4. C). Logo maior proporção de C com P ou S diminui a mineralização do resíduo e consequentemente aumenta a quantidade de massa seca do resíduo ao final da decomposição. Isso porque o S é constituinte de aminoácidos e coenzimas e vitaminas não fica ligado a outros constituintes, que são rapidamente decompostos e faz parte do S lábil (ALMEIDA *et al.*, 2022).

A proporção de lignina/C correlacionou-se positivamente com o Mg e Ca (Figura 4. E). Já a lignina/N correlacionou-se positivamente com a massa seca remanescente e C dos resíduos (Figura 4. F), indicando que o maior teor de lignina/N influência na maior quantidade de material a ser decomposto e com maior teor de C.

De maneira geral, os resíduos de grão-de-bico quando dispostos nas entre linhas de cacau promoveram rápida disponibilidade de nutrientes para o solo, o que faz dessa cultura uma opção para ser usada em consórcio nos primeiros anos de cultivo do cacauzeiro. Os resíduos de cacau apresentam uma decomposição mais lenta que o grão-de-bico, mas que é importante, pois, podem disponibilizar os nutrientes por maior período na solução do solo. Já a braquiária promoveu maior deposição de massa seca ao solo, e consequentemente maior proteção dos minerais e maior tempo para decomposição do material vegetal.

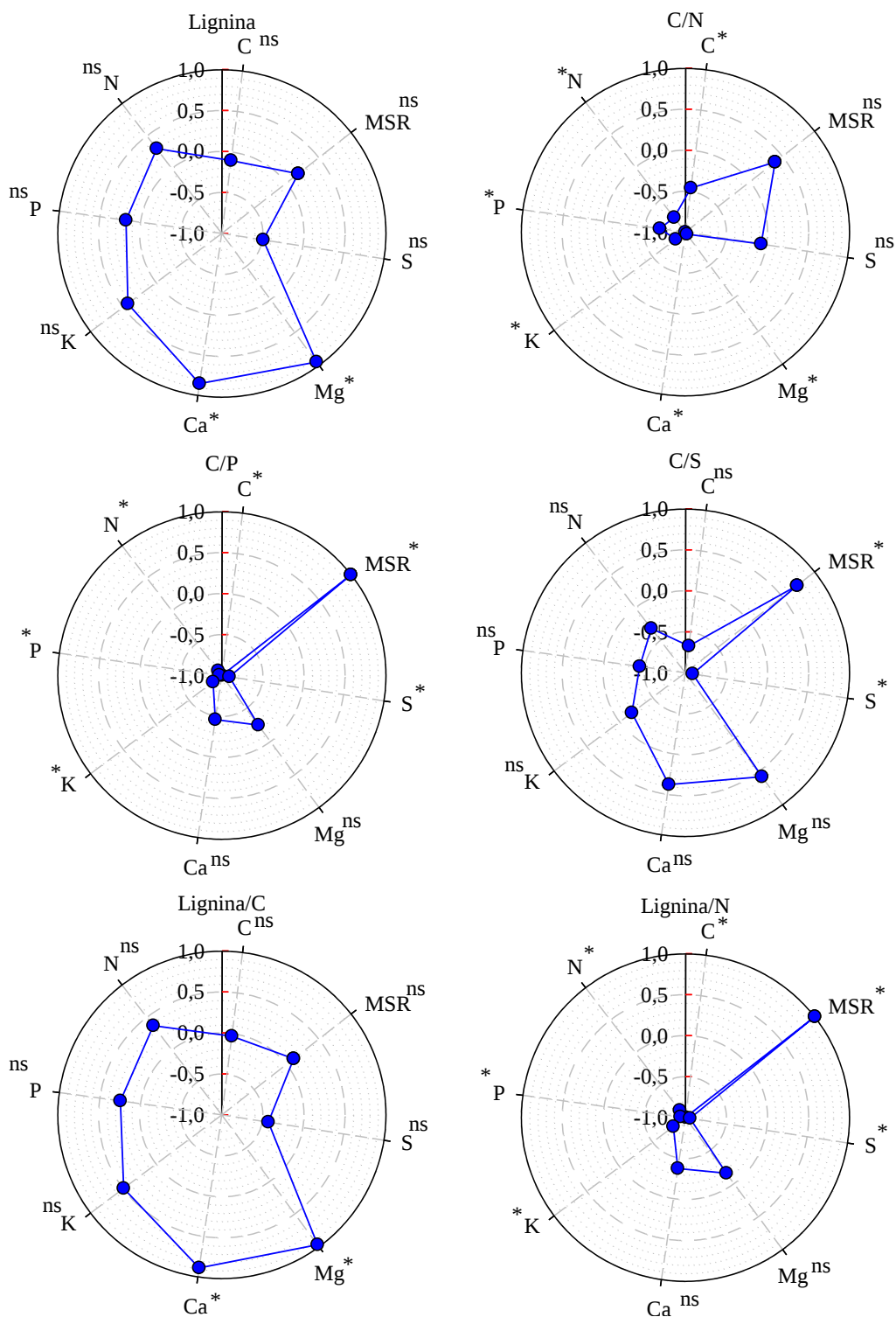


Figura 4: Análise de correlação de Pearson entre a composição bioquímica inicial dos resíduos (lignina; Celulose, C/N, C/P, C/S, Lignina/C e Lignina/N), matéria seca remanescente (MSR) e os teores de nutrientes (N, P, K, Ca, Mg e S) liberados ao final de 120 dias.

5 CONCLUSÃO

Os resíduos de grão-de-bico possuem rápida decomposição da matéria seca e maior liberação de nutrientes.

Os resíduos de braquiária e cacau possuem massa seca remanescente de 65% e 78%, respectivamente aos 120 dias.

Os resíduos de grão-de-bico apresentam maior incremento liberando respectivamente 25, 7, 16 e 2 kg t⁻¹ de N, P, K e S.

REFERÊNCIAS

- ABBASI, M.K.; TAHIR, M.M.; SABIR, N.; KHURSHID, M. Impact of the addition of different plant residues on nitrogen mineralization–immobilization turnover and carbon content of a soil incubated under laboratory conditions. **Solid Earth.**, 6, 197–205, 2015.
- ALCANTARA, P.B. Origem das braquiárias e suas características morfológicas de interesse forrageiro. In: ENCONTRO SOBRE CAPINS DO GÊNERO BRACHIARIA, 1986, Nova Odessa, SP. **Anais[...]** Nova Odessa: Instituto de Zootecnia, p.1-18, 1987.
- ALMEIDA, G. F. de.; NETA, M.N. de.; FERNANDES, L. A.; SAMPAIO, R.A.; TEIXEIRA, G.L.; PEGORARO, R.F. Decomposition and Nutrient Release from Grass Residue in Tropical Conditions, **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, 2022.
- ALVARES, C. A., J. L. STAPE, P. C. SENTELHAS, G. de MORAES, J. LEONARDO, and G. SPAROVEK. Köppen's climate classification map for Brazil. **Meteorologische Zeitschrift** 22 (6):711-728, 2013.
- ARTIAGA, O. P.; SPEHAR, C. R.; BOITEUX, L. S.; NASCIMENTO, W. M. Avaliação de genótipos de grão de bico em cultivo de sequeiro nas condições de Cerrado. *Revista Brasileira Ciências Agrárias*.10(1):102-109, 2015.
- ASARE, R. Agrofloresta de cacau na África Ocidental. **Documento de Trabalho sobre Florestas e Paisagens N8 6**. Centro Dinamarquês para Florestas, Paisagens e Planeamento KVL. p. 89, 2005.
- AVELAR, R. I. S.; COSTA, C. A. da.; BRANDÃO JÚNIOR, D. da S.; PARAÍSO, H. A., & NASCIMENTO, W. M. Production and quality of chickpea seeds in different sowing and harvest periods. **Journal of Seed Science**, 40(2):155-164, 2018.
- BAI, H.S.; GALLART, M.; SINGH, K.; HANNET, G.; YINIL, D.; FIELD, D. n J.; MUQADDAS, B. WALLACE, H. M. Leaf litter species affects decomposition rate and nutrient release in a cocoa plantation. **Agriculture, Ecosystems & Environment.** v 324.2022.
- BARETTA, D.; SANTOS, J.C.P.; FIGUEIREDO, S.R., and KLAUBERG-FILHO, O. Efeito do monocultivo de pinus e da queima do campo nativo em atributos biológicos do solo no Planalto Sul Catarinense. **Revista Brasileira de Ciência do Solo** 29 (5):715-724, 2005.
- BARIŠIĆ, V.; ICYER, N. C.; AKYIL, S.; TOKER, O. S.; FLANJAK, I. Đurđica Ačkar, Cocoa based beverages – Composition, nutritional value, processing, quality problems and new perspectives. **Trends in Food Science & Technology**, v.132, p. 65-75, 2023.

BARKER, A.V.; PILBEAM, D.J. Hand book of plant nutrition. Boca Raton, FL: CRC press **Taylor & Francis Group**. 2015.

BARRADAS, C. A. A. Adubação verde. **Manual Técnico**, 25. Niterói - RJ, p. 10, 2010.

BASHAN, Y.; KAMNEV, A.A. & de-BASHAN, L.E. Tricalcium phosphate is inappropriate as a universal selection factor for isolating and testing phosphate-solubilizing bacteria that enhance plant growth: a proposal for an alternative procedure. **Biol Fertil Soils** 49, 465–479, 2013.

BORKERT, C.M.; GAUDÊNCIO, C.A.; PEREIRA, J.E. Nutrientes minerais na biomassa da parte aérea em culturas de cobertura do solo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, 38: 143-153, 2003.

BRAY, S.R.; KITAJIMA, K.; MACK, M.C. Temporal dynamics of microbial communities on decomposing leaf litter of 10 plant species in relation to decomposition rate. **Soil Biol Biochem**. 49:30–37. 2012.

BURNS, R. G.; FOREST, J. L. de.; MARXSEN, J.; SINSABAUGH, R. L.; STROMBERGER, M. E.; WALLENSTEIN, M. D.; WEINTRAUB, M. N.; ZOPPINI, A. Soil enzymes in a changing environment: Current knowledge and future directions, BUTTERLY, C.R.; BALDOCK, J.A.; TANG, C. The contribution of crop residues to changes in soil pH under field conditions. **Plant Soil** .366, 185–198, 2013.

CAKMAK, I.; YAZICI, A. M. Magnesium: a forgotten element in crop production. **Better Crops With Plant Food**, v. 94, n. 2, p. 23-25, 2010.

CALVO, C.L.; FOLONI, J.S.S. & BRANCALIÃO, S.R. Produtividade de fitomassa e relação c/n de monocultivos e consórcios de guandu-anão, milho e sorgo em três épocas de corte. **Bragantia**, 69:77-86, 2010.

CARVALHO, A.M. de.; COSER, T.R.; REIN, T.A.; DANTAS, R. A.; SILVA, R. R.; SOUZA, K.W. Management of cover crops at flowering and physiological maturity and its effect on maize yield. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, 50(7), 551-561, 2015.

CHAVES, J. da S.; SILVA, L. S. da.; MATOS, S. M. de.; PEREIRA, H. R.; SILVA, A. F.; ALVES, R. N.; & OLIVEIRA, C. P. de. Produção de biomassa vegetal de *Gliricídia sepium* em sistema consorciado com fruteiras. **Conjecturas**, 22(16), 287–298, 2022.

COLLIER, L. S.; ARRUDA, E. M.; CAMPOS, L. F. C.; and NUNES, J. N. V. Soil chemical attributes and corn productivity grown on legume stubble in agroforestry systems. **Caatinga** 31 (2):279-289, 2018.

COTRUFO, M.F.; SOONG, J. L.; HORTON, A. J.; CAMPBELL, E. E.; HADDIX, M. L.; PAREDE, D.H.; PARTON, W. J. Formation of soil organic matter via biochemical and physical pathways of litter mass loss. **Nature. Geoscience**, 8, 776–779. 2015.

DAWOE, E.K.; ISAAC, M.E & QUASHIE-SAM, J. Litterfall and litter nutrient dynamics under cocoa ecosystems in lowland humid Ghana. **Plant Soil** 330, 55–64 ,2010.

DAWOE, E.K.; ISAAC, M.E. & QUASHIE-SAM, J. Litterfall and litter nutrient dynamics under cocoa ecosystems in lowland humid Ghana. **Plant Soil** 330, 55–64, 2010.

DIAS, M.; COSTA, K.; SEVERIANO, E.; BILEGO, U.; NETO, A.; ALMEIDA, D.; VILELA, L. Brachiaria e Panicum maximum em sistema de integração lavoura-pecuária e milho safrinha em sucessão à soja. **The Journal of Agricultural Science**, 158 (3), 206-217. 2020.

DUNGAIT, J. A.; HOPKINS, D. W.; GREGORY, A. S. and WHITMORE, A. P. Soil organic matter turnover is governed by accessibility not recalcitrance. **Global Change Biology** 18 (6):1781-1796, 2012.

EPSTEIN, E.; BLOOM, A. J. **Mineral nutrition of plants: principles and perspectives**. 2nd. ed. Sunderland: Sinauer Associates, 400 p, 2005.

EXPORTAÇÕES de chocolate brasileiro cresceram 12,7% em um ano, chegando a US\$ 142 milhões. 2023. Disponível em:https://apexbrasil.com.br/br/pt/conteudo/noticias/exportacoes_chocolate_brasileiro_cresceram_12_7_em_um_ano.html. Acesso em: 07 ago. 2023.

FIGUEIREDO, C.C.; RAMOS, M. L.G.; TOSTES, R. Propriedades físicas e matéria orgânica de um latossolo vermelho sob sistemas de manejo e cerrado nativo. **Bioscience. Journal**, Uberlândia, v. 24, n. 3, p. 24-30, Jul/Sep, 2008.

FILHO, O.F. de. L. Pulses e o grão-de-bico: importante mercado mundial para o Brasil, **Embrapa**. 2019.

FLÁVIO NETO, J.; SEVERIANO, E. da C.; COSTA, K. A. de P.; JUNNYOR, W. S. G.; GONÇALVES, W. G.; & ANDRADE, R. Biological soil loosening by grasses from genus Brachiaria in crop-livestock integration. **Acta Scientiarum. Agronomy**, 37(3), 375–383. 2015.

FONTES, A. G.; GAMA-RODRIGUES, A. C.; GAMA-RODRIGUES, E. F.; VENDAS, M.V.S.; COSTA, M. G. and MACHADO. Nutrient stocks in litterfall and litter in cocoa agroforests in Brazil. **Plant Soil** 383, 313–335. 2014.

GRZYB, A.; WOLNA-MARUWKA, A.; NIEWIADOMSKA, A. Environmental Factors Affecting the Mineralization of Crop Residues. **Agronomy**, 10, 1951, 2020.

HARTEMINK, A.E. Nutrient stocks, nutrient cycling, and soil changes in cocoa ecosystems: a review. **Advances Agronomy** 86:227–253, 2005.

HASSAN, W.; DAVID, J.; ABBAS, F. Effect of type and quality of two contrasting plant residues on CO₂ emission potential of Ultisol soil: Implications for indirect influence of temperature and moisture. **Cantena**, 114, 90–96, 2014.

HENRY, H.A.L. Reprint of “Soil extracellular enzyme dynamics in a changing climate”. **Soil Biology and Biochemistry**. v. 56, p. 53-59, 2013.

HERRERA, A.M., de.; MELLO, A.C.L.; APOLINÁRIO, V.X.O. JÚNIOR, J, C. B. D; SILVA, V. J da.; SANTOS, M. V. F dos & CUNHA, M.V da. Decomposition of senescent leaves of signalgrass (*Urochloa decumbens* Stapf. R. Webster) and arboreal legumes in silvopastoral systems. **Agroforest Syst** 94, 2213–2224, 2020.

HU, R.; WANG, X.; PAN, Y.; ZHANG, Y.; ZHANG, H. The response mechanisms of soil N mineralization under biological soil crusts to temperature and moisture in temperate desert regions. **European Journal of Soil Biology**, 62, 66–73, 2014.

KABA, J. S.; YAMOAHA, F. A.; & ACQUAYE, A. Towards sustainable agroforestry management: Harnessing the nutritional soil value through cocoa mix waste. **Waste Management**, 124, 264–272, 2021.

KABA, J.S.; ABUNYEWA, A.A. New aboveground biomass and nitrogen yield in different ages of gliricidia (*Gliricidia sepium* Jacq.) trees under different pruning intensities in moist semi-deciduous forest zone of Ghana. **Agroforest Syst** 95, 835–842, 2021.

KOHMANN, M.M.; SOLLENBERGER, L.E.; DUBEUX, J.C.B Jr.; SILVEIRA, M.L.; MORENO, L.S.B. Legume proportion in grassland litter affects decomposition dynamics and nutrient mineralization. **Agronomy Journal** 111:1079–1089. 2019.

LAL, R. World crop residues production and implications of its use as a biofuel. **Environment International** 31, 575–584. 2005.

LAMPURLANÉS, J.; PLAZA-BONILLA, D.; ÁLVARO-FUENTES, J.; CANTERO-MARTÍNEZ, C. Long-term analysis of soil water conservation and crop yield under different tillage systems in Mediterranean rainfed conditions. **Field Crops Research**. 189, 59–67, 2016.

LI, Y.; LI, Z.; CUI, S.; JAGADAMMA, S.; ZHANG, Q. Residue retention and minimum tillage improve physical environment of the soil in croplands: A global meta-analysis, **Soil and Tillage Research**, v.194, 104292, 2019.

LUO, G.; Li, Ling.; FRIMAN, V.P.; GUO, J.; GUO, S.; SHEN, Q.; LING N. Organic amendments increase crop yields by improving microbe-mediated soil functioning of agroecosystems: A meta-analysis, **Soil Biology and Biochemistry**, v.124, p.105–115, 2018.

LYNCH, M. J.; MULVANEY, M. J.; HODGES, S.C.; THOMPSON, T.L.; THOMASON, W.E. Decomposition, nitrogen and carbon mineralization from food and cover crop residues in the central plateau of Haiti. **Springer Plus**, 5, 973, 2016.

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 a.

MALUF, H.J.G.M.; SOARES, E. M. B.; SILVA, I. R. da.; NEVES, J. C. L.; & SILVA, M. F de O. Disponibilidade e recuperação de nutrientes de resíduos culturais em solo com diferentes texturas. **Revista brasileira de ciência do solo**, v. 39, n. 6, p. 1690–1702, 2015 b.

- MARSCHNER, P. **Marschner's mineral nutrition of higher plants**. 3. ed. Amsterdã, Holanda. Academic press. v.89, p. 649. 2012.
- MAZETTO JÚNIOR, J. C.; TORRES, J. L. R.; COSTA, D. D. A.; SILVA, V. R.; SOUZA, Z. M. and LEMES, E. M. Production and decomposition of cover crop residues and associations with soil organic fractions. **Journal of Agricultural Science**, 11 (5):58-69,2019.
- MEENA, B.L. et al. Legume Green Manuring: An Option for Soil Sustainability. In: Meena, R., Das, A., Yadav, G., Lal, R. (eds) Legumes for Soil Health and Sustainable Management. **Springer, Singapore**. 2018.
- NETA, M. N. A.; ALMEIDA, E. S. de.; COSTA, C. A. da.; NUNES, J. A. R.; FERNANDES, L. A.; PEGORARO, R.F. Inoculation of *Bacillus* spp. and nitrogen levels increase chickpea production. **Ciência E Agrotecnologia**, 45, e 015421. 2021.
- PACHECO, L. P.; LEANDRO, W. M.; MACHADO, P. L. O. de A.; ASSIS, R. L. de.; COBUCCI, T.; MADARI, B. E.; & PETTER, F. A. Biomass production and nutrient accumulation and release by cover crops in the off-season. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 46, n. 1, p. 17-25, 2011 a.
- PACHECO, L. P.; MIGUEL, A. S. D. C. S.; SILVA, R. G.; SOUZA, E. D.; PETTER, F. A. and KAPPES.C. Biomass yield in production systems of soybean sown in succession to annual crops and cover crops. **Pesquisa Agropecuária Brasileira** 52 (8):582-591, 2017.
- PAGE, K. L.; YASH, P.; DANG.; RAM, C.; DALAL.; STEVEN REEVES.; GREG THOMAS.; WEIJIN WANG.; JOHN P.; THOMPSON. Changes in soil water storage with no-tillage and crop residue retention on a Vertisol: Impact on productivity and profitability over a 50 year period, **Soil and Tillage Research**, v.194,2019.
- PANDIARAJ, T.; SELVARAJ, S.; RAMU, N. Effects of crop residue management and nitrogen fertilizer on soil nitrogen and carbon content and productivity of wheat (*Triticum aestivum* L.) in two cropping systems. **Journal of Agriculture Science and Technology**. 17, 249–260, 2018.
- PAUL, E. A. The nature and dynamics of soil organic matter: Plant inputs, microbial transformations, and organic matter stabilization. **Soil Biology and Biochemistry**, Oxford, v.98, n.1, p.109-126, jul. 2016.
- PEGORARO, R. F.; ALMEIDA NETA, M. N.; COSTA, C. A.; SAMPAIO, R. A; FERNANDES, L. A; RODRIGUES, M. N. Chickpea production and soil chemical attributes after phosphorus and molybdenum fertilization. **Ciência e Agrotecnologia**.42(5):474-483, 2018.
- PEREIRA, D. G. C.; PORTUGAL, A.F.; GIUSTOLIN, T. A.; MAIA, V. M.; MEGDA M. X. V.; KONDO, M. K. Litter decomposition and nutrient release in different land use systems in the Brazilian semi-arid region, **Catena**, v. 231, 107345, 2023.
- RASHID, M. I.; MUJAWAR, L. H.; SHAHZAD, T.; ALMEELBI, T.; ISMAIL, I.M.I.; OVESM, O. Bacteria and fungi can contribute to nutrients bioavailability and aggregate formation in degraded soils, **Microbiological Research**, v.183, p.26-41, 2016.

ROJAS, M. J.; CAICEDO, V.; JAIMES, Y. Biomass decomposition dynamic in agroforestry systems with *Theobroma cacao* L. in Rionegro, Santander (Colombia). **Agronomy Colombiana**, 35 p. 182 – 189, 2017.

RUSNAK, J. **How to Improve Soil Fertility?** Agricultural Advisory Center: Karniowice, Poland, 2017.

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

SALOMÃO, P. E. A.; KRIEBEL, W.; SANTOS, A. A. dos.; MARTINS, A. C. E. A importância do sistema de plantio direto na palha para reestruturação do solo e restauração da matéria orgânica. **Research, Society and Development**, [S. l.], v. 9, n. 1, p. 154911870, 2020.

SARKER, J. R., B. P.; SINGH, Y. FANG, A. L.; COWIE, W. J.; DOUGHERTY, D. COLLINS, R. C.; DALAL, and SINGH, B. K. Tillage history and crop residue input enhanced native carbon mineralisation and nutrient supply in contrasting soils under long-term farming systems. **Soil and Tillage Research** 193 71-84, 2019.

SCHOLLES, D.; LISBOA, B. B.; SÃO JOSÉ, J. F. B.; VARGAS, L. K. Atividade microbiana e permanência de resíduos vegetais em função de sua composição e disposição no solo. **Pesquisa Agropecuária Gaúcha**, v. 27, n. 1, p. 3-13, 26 jan. 2021.

SEMENOV, V.M.; PAUTOVA, N.B.; LEBEDEVA, T.N.; KHROMYCHKINA D.P.; SEMENOVA, N. A & LOPES de GENERYU, V.O. Plant Residues Decomposition and Formation of Active Organic Matter in the Soil of the Incubation Experiments. **Eurasian Soil Sc.** 52, 1183–1194, 2019.

SILVA, D. J and QUEIROZ, A. C. de. **Análise de Alimentos**. 3. ed. Viçosa: Editora UFV, 2006. p.235.

SILVA, J. de L.; RIBEIRO, K. G.; HERCULANO, B. N.; PEREIRA, O. G.; PEREIRA, R. C.; & SOARES, L. F. P. Massa de forragem e características estruturais e bromatológicas de cultivares de brachiaria e Panicum. **Ciência Animal Brasileira**, 17(3), 342–348. 2016.

SLOOT, M. Van der.; KLEIJN, D.; DEYN, G. B. De.; LIMPENS, J. Carbon to nitrogen ratio and quantity of organic amendment interactively affect crop growth and soil mineral N retention, **Crop and Environment**, v.1, n.3, p.161-167, 2022.

SOUMARE, A.; DIEDHIOU, A.G.; THUITA, M.; HAFIDI, M.; OUHDOUCH, Y.; GOPALAKRISHNAN, S.; KOUISNI, L. Exploiting Biological Nitrogen Fixation: A Route Towards a Sustainable Agriculture. **Plants**, 9, 1011. 2020.

STEINER, F.; PIVETTAL, A.; CASTOLDI, G.; COSTA, M. S. S. de M.; COSTA, L. A. de M. Carbono orgânico e carbono residual do solo em sistema de plantio direto, submetido a diferentes manejos. **Revista Brasileira De Ciência Agrária**, Recife, v.6, n.3, p.401-408. 2011.

TAIZ, L.; ZEIGER, E. I.; MØLLER, M. and MURPHY, A. Fisiologia e desenvolvimento vegetal. Porto Alegre, RS: **Artmed Editora**, 2017.

TALLEDO, B. G.; ZAMBRANO, A. B.; CRUZATTY, L. G.; & GAVILANES, F. Z. Morphology, viability, and longevity of pollen of National Type and Trinitarian (CCN-51) clones of cocoa (*Theobroma cacao* L.) on the Coast of Ecuador. **Brazil Jounal Bot** 42, 441–448 .2019.

TEDESCO, J. M.; GIANELO, C.; BISSANI, C. A. et al. **Análises de solo, plantas e outros materiais**. Porto Alegre: Departamento de Solos da UFRGS. 1995. 174 p. (Boletim técnico, 5).

TEIXEIRA, M. B.; LOSS, A.; PEREIRA, M.G.; PIMENTEL, C. Decomposição e ciclagem de nutrientes dos resíduos de quatro plantas de cobertura do solo. **Idesia**, Arica, v.30, n.1, p. 55-64, abr. 2012.

TEIXEIRA, M. B.; LOSS, A.; PEREIRA, M. G.; PIMENTEL, C. Decomposição e ciclagem de nutrientes dos resíduos de quatro plantas de cobertura do solo. **IDESIA (Chile)**, v. 30, n. 1,2012.

TORRES, J. L. R.; PEREIRA, M. G.; ASSIS, R. L. de., & SOUZA, Z. M. de. Atributos físicos de um latossolo vermelho cultivado com plantas de cobertura, em semeadura direta. **Revista Brasileira De Ciência Do Solo**, 39(2), 428–437, 2015.

VAN SOEST, P. J.; ROBERTSON, J. B.; LEWIS, B. A Methods for dietary fiber, neutral detergent fiber, and nonstarch polysaccharides in relation to animal nutrition. **Journal of Dairy Science**, Champaign, v. 74, n. 10, p. 3583-3597, 1991.

VIRK, A. L.; LIN, B-J.; KAN, Z-R.; QI, J-Y.; DANG, Y. P.; LAL, R.; ZHAO, X.; ZHANG, H-Li. Chapter Two - Simultaneous effects of legume cultivation on carbon and nitrogen accumulation in soil, Editor (s): Donald L. Sparks, **Advances in Agronomy, Academic Press**, v. 171, p.75-110. 2022.

WALLENSTEIN, M.; ALLISON, S.D.; ERNAKOVICH, J.; STEINWEG, J.M.; SINSABAUGH, R. Controls on the temperature sensitivity of soil enzymes: A Key Driver of In Situ Enzyme Activity Rates. **In Soil Enzymology**; Shukla, G., Varma, A., Eds.; Springer: Berlin/Heidelberg, Germany, v.22, p. 245–258.2010.

WIEDER, R.K and LANG, G.E. A critique of the analytical methods useding examining decomposition data obtained from litter bags. **Ecology** **63** (6):1636-1642, 1982.

ZHANG, T.; LUO, Y.; HAN, Y.H.; CHEN, H. R. Responses of litter decomposition and nutrient release to N addition: A meta-analysis of terrestrial ecosystems, **Applied Soil Ecology**, v.128, p. 35-42. 2018.

ANEXOS

Tabela 2: Análise de variância parcial representada pelo quadrado médio (QM) e médias por tempo de observação de Massa seca remanescente (MSR), carbono, nitrogênio, fósforo, potássio, cálcio, magnésio e enxofre.

FV	GL	Quadrado Médio							
		MSR	C	N	P	K	Ca	Mg	S
		kg t-1							
Bloco	3	4787,79ns	22223,34ns	10,1 ns	51,16*	54,85*	13,78ns	0,11ns	0,55*
Resíduo(R)	6	734204,17*	811239,08*	2595,17*	146,32*	439,55*	86,63*	5,59*	3,42*
Tempo (T)	6	381810,75*	518814,37*	191,09*	21,00*	175,58*	31,11*	1,77*	2,65*
R versus T	12	22028,77*	26357,61*	79,16*	4,46ns	12,84ns	5,07 ns	0,29*	0,13ns
Erro	83	2368,06*	8478,22	6,19	4,94	9,52	7,78	0,09	0,14
CV(%)		13,03	20,14	29,34	78,46	35,89	79,53	38,85	36,74

^{ns} não significativo e * significativo pelo teste Tukey a 5% de probabilidade