

**UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DE PERNAMBUCO  
DEPARTAMENTO DE CIÊNCIA FLORESTAL  
CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA FLORESTAL**

**RENATA VITÓRIA DO NASCIMENTO BARBOSA**

**DECOMPOSIÇÃO DA SERAPILHEIRA EM ÁREAS DE GRAMÍNEAS  
NA UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DE PERNAMBUCO**

**RECIFE-PE  
2023**

**RENATA VITÓRIA DO NASCIMENTO BARBOSA**

**DECOMPOSIÇÃO DA SERAPILHEIRA EM ÁREAS DE GRAMÍNEAS  
NA UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DE PERNAMBUCO**

Trabalho de Conclusão de Curso  
apresentado ao Curso de Engenharia  
Florestal da Universidade Federal Rural  
de Pernambuco, como parte das  
exigências para obtenção do título de  
Bacharel em Engenharia Florestal.

Orientadora: Dra. Eliane Cristina Sampaio de Freitas

**RECIFE-PE  
2023**

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação  
Universidade Federal Rural de Pernambuco  
Sistema Integrado de Bibliotecas  
Gerada automaticamente, mediante os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

---

B238d Barbosa, Renata Vitória do Nascimento  
DECOMPOSIÇÃO DA SERAPILHEIRA EM ÁREAS DE GRAMÍNEAS NA UNIVERSIDADE FEDERAL  
RURAL DE PERNAMBUCO / Renata Vitória do Nascimento Barbosa. - 2023.  
48 f. : il.

Orientadora: Eliane Cristina Sampaio de Freitas.  
Inclui referências.

Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) - Universidade Federal Rural de Pernambuco, Bacharelado em  
Engenharia Florestal, Recife, 2023.

1. Biodegradação. 2. tea bag. 3. litter bag. I. Freitas, Eliane Cristina Sampaio de, orient. II. Título

CDD 634.9

---

**RENATA VITÓRIA DO NASCIMENTO BARBOSA**

**DECOMPOSIÇÃO DA SERAPILHEIRA EM ÁREAS DE GRAMÍNEAS  
NA UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DE PERNAMBUCO**

Aprovado em: 26 de abril de 2023.

BANCA EXAMINADORA

---

Prof. Dra. Ana Paula Donicht Fernandes  
Avaliadora - Universidade Federal Rural de Pernambuco

---

Prof. Dr. Richeliel Albert Rodrigues Silva  
Avaliador - Universidade Federal Rural de Pernambuco

---

Prof. Dra. Eliane Cristina Sampaio de Freitas  
Orientadora - Universidade Federal Rural de Pernambuco

**RECIFE-PE  
2023**

## AGRADECIMENTO

A Deus, por ser meu fôlego de vida, meu fundamento e por sustentar todos os meus passos. Por ter entregue seu Filho Jesus por amor e misericórdia de mim. Porque a sua graça me basta!

Aos meus pais por todo esforço em me criarem, por todo o amor que me dão e por tantas vezes terem se esforçado e abdicaram de tantas coisas para que eu hoje pudesse alcançar aquilo que eles não conseguiram.

*In memoriam* à dona Vilma Maria da Silva (ou como eu a chamava) minha “voinha”, por ter acreditado e investido em mim. Por ter sido minha primeira professora da Engenharia Florestal, mesmo que empiricamente e sem o conhecimento técnico.

Ao meu esposo, Eudes Roger da Silva, por ser meu braço forte quando penso que não consigo. Por ser a luz da minha vida e a certeza mais certa que tenho no meu coração.

Aos meus amigos da graduação, em especial aos meus compadres Lorena e Jonatas. Deus colocou vocês na minha vida e sou grata em levar nossa amizade para toda a vida.

À minha sobrinha Maria Júlia, que embora por diversas noites que me privou do sono, me serviu de força motriz para não desistir.

Às minhas amigas Hanna e Manoelle, por esses tantos anos de amizade, minhas irmãs de Pv 17:17.

À minha orientadora Eliane, pelo esforço, investimento, críticas e correções para que eu pudesse extrair o melhor de mim, mas principalmente, pela paciência e profissionalismo que teve comigo durante esse tempo de orientação, muito obrigada!

Aos meus professores que muito contribuíram para minha formação.

## RESUMO

A serapilheira é responsável por inúmeras funções para o equilíbrio e dinâmica dos ecossistemas, podendo promover a melhoria das características edáficas. Sua taxa de decomposição pode atuar como um bioindicador da qualidade do solo, entretanto, é preciso padronizar as metodologias para sua obtenção. O objetivo deste trabalho foi obter e comparar as taxas de decomposição de serapilheira obtidas pelos métodos de *litter bags* e *tea bags* em duas áreas com gramíneas na Universidade Federal Rural de Pernambuco, Recife - PE (Viveiro Florestal e Ceagri II). Foram instalados aleatoriamente em cada área do estudo: 24 *litter bag*, 10 *tea bag* contendo chá verde, 10 *tea bag* contendo chá *rooibos* e 10 *tea bag* contendo chá de sene. Foram ajustados modelos exponenciais para obtenção da taxa de decomposição e estimado o tempo de meia vida para os métodos de *litter bag* e *tea bag*, e comparada a perda de massa do chá *rooibos* e do chá de sene. As taxas de decomposição pelo método de *litter bags* e *tea bags* foram maiores para área do Viveiro Florestal da UFRPE quando comparada ao CEAGRI II, área com maior umidade, pH e densidade do solo. A taxa de decomposição pelo método *tea bag* foi diferente da obtida pelo método *litter bag*. O chá de sene possui perda de massa ao longo do tempo semelhante ao chá *rooibos*, assim não se descarta a possibilidade do seu uso no lugar do chá de *rooibos*, usado na metodologia *tea bag*, mas difícil de ser encontrado no mercado brasileiro. O uso método padronizado *tea bag*, mesmo que potencial, necessita de mais estudos, considerando as diferenças das condições ambientais e composição dos chás, o que influencia a fração hidrolisável e, conseqüentemente, a decomposição da serapilheira.

**PALAVRAS-CHAVE:** Biodegradação, *tea bag*, *litter bag*.

## ABSTRACT

The litter is responsible for numerous functions for the balance and dynamics of ecosystems, and may promote the improvement of edaphic characteristics. Its decomposition rate can act as a bioindicator of soil quality, however, it is necessary to standardize the methodologies for obtaining it. The objective of this work was to obtain and compare litter decomposition rates obtained by litter bag and tea bag methods in two areas with grasses at the Federal Rural University of Pernambuco, Recife - PE (Viveiro Florestal and Ceagri II). The following were randomly installed in each study area: 24 litter bags, 10 tea bags containing green tea, 10 tea bags containing rooibos tea and 10 tea bags containing senna tea. Exponential models were adjusted to obtain the rate of decomposition and the half-life estimated for the litter bag and tea bag methods, and the mass loss of rooibos tea and senna tea was compared. The decomposition rates by the litter bag and tea bag method were higher for the UFRPE Forest Nursery area when compared to CEAGRI II, an area with higher humidity, pH and soil density. The decomposition rate by the tea bag method was different from that obtained by the litter bag method. Senna tea has a loss of mass over time similar to rooibos tea, so the possibility of its use in place of rooibos tea, used in the tea bag methodology, but difficult to find in the Brazilian market, cannot be ruled out. The use of a standardized tea bag method, even if potential, requires further studies, considering the differences in environmental conditions and composition of teas, which influence the hydrolyzable fraction and, consequently, litter decomposition.

**KEYWORDS:** Biodegradation, *tea bag*, *litter bag*.

## LISTA DE FIGURAS

**Figura 1.** Precipitação pluviométrica, temperaturas mínimas e máximas para os meses de 2022 em Recife - PE.

**Figura 2.** Localização das áreas de estudo na Universidade Federal Rural de Pernambuco (UFRPE).

**Figura 3.** Exemplar de saquinho de chá (TBI) confeccionado manualmente desenterrado após 90 dias.

**Figura 4.** A) Distribuição e implantação de *Tea bags* a 10 cm de profundidade B) Distribuição de Litter bags sobre a superfície do solo nas áreas de estudo.

**Figura 5.** Massa remanescente da serapilheira ao longo dos 90 dias para as áreas de CEAGRI II e Viveiro Florestal obtidas pelo método de *litter bags*.

**Figura 6.** Boxplot da massa remanescente para os chás verde, *rooibos* e sene usados na metodologia de *tea bag* para área de CEAGRI II.

**Figura 7.** Boxplot da massa remanescente para os chás verde, *rooibos* e sene usados na metodologia de *tea bags* para área do Viveiro Florestal da UFRPE.



## LISTA DE TABELAS

**Tabela 1.** Taxa de decomposição ( $k$ ) e tempo de meia-vida ( $t_{1/2}$ ) pelo método de *litter bags*, considerando avaliações quinzenais até 90 dias para áreas de CEAGRI II e Viveiro Florestal na Universidade Federal Rural de Pernambuco.

**Tabela 2.** Atributos físicos (densidade e umidade do solo) e pH das áreas de instalação do experimento.

**Tabela 3.** Taxa de decomposição ( $k$ ), tempo de meia-vida ( $t_{1/2}$ ) e estabilização ( $S$ ) e pelo método de *tea bag* para os chás de sene e *rooibos*.

## SUMÁRIO

<b>1. INTRODUÇÃO</b> .....	<b>10</b>
<b>2. OBJETIVOS</b> .....	<b>14</b>
2.1 Objetivo Geral .....	14
2.2 Objetivos específicos .....	14
<b>3. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA</b> .....	<b>15</b>
3.1 Indicadores da qualidade dos solos .....	15
3.1.1 Características edáficas .....	15
3.1.1.1 Densidade do solo .....	15
3.1.1.2 Umidade do solo .....	16
3.1.1.3 pH .....	17
3.1.1.4 Taxa de decomposição de serapilheira .....	18
3.1.2 Métodos para obtenção da taxa de decomposição de serapilheira .....	18
3.1.2.1 <i>Litter Bags</i> .....	19
3.1.2.2 <i>Tea Bags</i> .....	19
<b>4. MATERIAIS E MÉTODOS</b> .....	<b>21</b>
4.1 Área de estudo .....	21
4.2 Instalação e delineamento do experimento .....	22
4.3 Análise dos dados - <i>Litter Bags</i> .....	24
4.4 Análise dos dados - <i>Tea Bags</i> .....	25
4.5 Coleta e Análise do solo .....	27
<b>5. RESULTADOS E DISCUSSÃO</b> .....	<b>28</b>
5.1 Decomposição de serapilheira pelo método de <i>Litter Bags</i> .....	28
5.2 Decomposição de serapilheira pelo método de <i>Tea Bags</i> .....	31
<b>6. CONCLUSÃO</b> .....	<b>36</b>
<b>REFERÊNCIAS</b> .....	<b>37</b>

## 1. INTRODUÇÃO

A degradação acelerada que vem acontecendo nos ecossistemas florestais do Brasil deve-se, majoritariamente, às atividades antrópicas de desmatamento para liberação de áreas para o agronegócio e atividades de pecuária (RIBASKI et al., 2005; ALVES et al., 2009). A economia brasileira ainda é bastante dependente das atividades relacionadas à exploração de recursos naturais renováveis e não renováveis como agropecuária e a mineração que, embora contribuam para o aumento do Produto Interno Bruto (PIB) do país (ANGELO et al., 2019; IBRAM, 2020; IPEA, 2020), também são responsáveis pela supressão da vegetação remanescente. Essa exploração causa impactos e distúrbios ecológicos, em sua maioria, associados diretamente aos ciclos biogeoquímicos, podendo gerar consequências associadas às mudanças climáticas (GUILHOTO et al., 2002; FOSTER et al., 2016). Em decorrência do exposto, surge a necessidade de se desenvolver programas voltados à conservação e recuperação dos ecossistemas florestais (BENEDEK; FERTÖ, 2020).

A serapilheira é um dos elementos essenciais para a manutenção e funcionamento dos ecossistemas florestais a partir da deposição de material orgânico como folhas, galhos, flores e estruturas de reprodução/propagação (frutos e sementes), além de materiais orgânicos de origem não vegetal (estercos da fauna presente no ecossistema e restos de animais) (CALVI et al., 2009). A serapilheira é um dos principais meios de entrada de nutrientes no solo, que, por sua vez, decompõe-se e disponibiliza os nutrientes passíveis de reabsorção pelo sistema radicular das plantas (HAAG, 1985), e atua como um importante agente para proteção dos solos relacionados aos processos de erosão (EWELL, 1976; MORAES, 2002).

A produção de biomassa, bem como o conteúdo de nutrientes de aporte e estoque na serapilheira, podem ser diretamente influenciados por fatores bióticos e abióticos, tais como: clima, fertilidade do solo, composição da vegetação e sua estrutura, estágio sucessional da floresta, perturbações antrópicas e em seu entorno, precipitação pluviométrica e radiação solar, que possuem relações com a produção de biomassa e a diversidade florística, bem como a concentração de oxigênio, temperatura e umidade edáfica, temperatura e umidade relativa do ar (VITOUSEK & SANFORD, 1986; SONGWE et al., 1988; SCHLITTLER et al., 1993; DELITTI, 1995; NAIMAN; DECAMPS; MCCLAIN, 2005; GARCÍA-PALÁCIOS et al., 2013; BONANOMI et al., 2016; RANI et al., 2016; CARVALHO et al., 2019; GUO et al., 2019; QUEIROZ et al., 2019).

A matéria orgânica no solo confere-lhe manutenção ou melhoria das características físicas, químicas e biológicas (COSTA et al., 2013), potencializando um processo natural

muito importante, a ciclagem de nutrientes, via decomposição da serapilheira depositada no solo, que torna os nutrientes disponíveis durante o desenvolvimento da vegetação (COSTA et al., 2010). A ciclagem de nutrientes é de extrema importância para os solos brasileiros devido à sua alta taxa de intemperismo, e a consequente perda dos nutrientes pela erosão e lixiviação (TOLEDO et al., 2003). De acordo com Fontes (2012), o tipo de solo predominante no território brasileiro são os Latossolos, com abrangência de 32 a 46% do país, solos esses que sofrem muito com o intemperismo e com altas taxas de lixiviação, sendo assim solos ácidos, profundos e pobres nutricionalmente.

O processo de decomposição da serapilheira pode ser retratado em duas etapas, sendo a primeira etapa caracterizada pela degradação mais acelerada dos compostos lábeis; e a segunda etapa representada pela degradação lenta dos compostos recalcitrantes (como tecidos lignificados) (POLUNIN, 1984; BERG, 2014). Na primeira fase, a degradação de substâncias de origem holocelulósicas e dos tecidos não lignificados, realizada pela fauna edáfica, é fomentada pela alta concentração de nitrogênio, ocasionando a lixiviação das substâncias solúveis extraídas da serapilheira (POLUNIN, 1984; KEUSKAMP et al., 2013; BERG, 2014; BONANOMI et al., 2016). Isso pode ser explicado por que o nitrogênio atua como um componente limitante quando se trata da fase de decomposição de tecidos lignificados, pois ele limita a síntese de enzimas ligninolíticas (BERG, 2014; BONANOMI et al., 2016).

A velocidade com que os nutrientes retornam para o solo e podem ser absorvidos pelas plantas influencia diretamente a produtividade da vegetação (SOUTO et al., 2009). Sabendo que os ecossistemas variam de acordo com suas peculiaridades e domínios morfoclimáticos, alguns autores afirmam que a velocidade de retorno de nutrientes para o solo é condicionada às condições climáticas, condições edáficas, tipo de vegetação, densidade populacional, da constituição da serapilheira (KOEHLER, 1989; SCHUMACHER, 1992; NEVES et al., 2001; SCHUMACHER et al., 2004). A presença de serapilheira e sua decomposição são importantes não apenas para restituição de nutrientes, mas também para restauração das propriedades do solo, atuando como indicador da qualidade ambiental do solo (POGGIANI et al., 1998; ARATO et al., 2003; MOREIRA & SILVA, 2004; GAMA-RODRIGUES et al., 2008; MACHADO et al., 2008).

A taxa de decomposição da serapilheira pode ser um bioindicador da qualidade através da atividade biológica do solo e a capacidade do solo em reter nutrientes e água (JAT et al., 2019). De acordo com Lal (2007), solos com alta qualidade geralmente apresentam uma maior taxa de decomposição, consequentemente, a matéria orgânica pode ser decomposta mais rapidamente, isto ocorre porque esses solos geralmente têm uma maior

diversidade de microrganismos e uma maior quantidade de matéria orgânica disponível para decomposição. Segundo o mesmo autor (*ibidem*), essa atividade biológica também pode indicar uma maior disponibilidade de nutrientes para as plantas. O manejo do solo, de maneira geral, ocasiona a alteração dos ciclos geoquímicos devido a alteração das características do solo. Sendo assim, a taxa de decomposição pode funcionar como um indicador de reações, pois responde às alterações do meio (ASSIS et al., 2003). Para isso, surge a necessidade da utilização de metodologias padronizadas.

O método de *litter bags* é o mais utilizado para fins de quantificação da taxa de decomposição da serapilheira no Brasil (BALIEIRO et al., 2004; PARIZ et al., 2008; COSTA et al., 2014; SILVA et al., 2014; RAMOS et al., 2018). Entretanto, por ser um método com ampla variação de metodologias, pode gerar resultados não comparáveis (SOARES; FROUFE, 2015). Scoriza et al. (2012) realizaram uma revisão bibliográfica de métodos para coleta e análise da decomposição da serapilheira e destacou que a escolha das dimensões, da abertura da malha e formatos dos sacos de decomposição (*litter bags*), bem como a quantidade e composição do material usado ficam a critério de cada pesquisador. Assim, devido a variação do método de *litter bags* utilizado nas pesquisas, pode haver sub ou superestimação da taxa de decomposição, comprometendo as comparações dos resultados obtidos. De acordo com Anderson; Ingran (1993), a falta de uma metodologia padronizada pode trazer problemas relacionados à inadequação da amostragem em relação à heterogeneidade do local, à uma amostragem insuficiente, e à falta de padronização da fração lábil da serapilheira. Nesse sentido, alguns autores constataram a necessidade de uma metodologia que padroniza os métodos de coleta e análise da decomposição da serapilheira, a fim de minimizar os erros dos dados e maximizar a possibilidade de comparação dos resultados obtidos, mesmo que em diferentes ecossistemas (ANDERSON; INGRAN, 2003; SCORIZA et al., 2012).

O método *tea bag* (ou *Tea Bag Index* - TBI) é recente, desenvolvido por pesquisadores da Universidade de Utrecht, Umea, do Instituto de Ecologia da Holanda. O método foi criado com o objetivo de reunir dados sobre a taxa de decomposição em diferentes ecossistemas globais para posterior elaboração de um mapa de solo com um modelo climático mundial que prevê o curso dos estoques de carbono por todo o mundo (KEUSKAMP et al., 2013). Este método se destaca por ser padronizado e não precisar de realizar coletas em diferentes tempos, além de ser de fácil aquisição, baixos custos e praticidade operacional. O *tea bag* utiliza pares de sacos de chá (chá verde e *rooibos*) de

diferente degradação para obter, com apenas uma medida no tempo (90 dias), a taxa de decomposição.

*Aspalathus linearis* (ou *Rooibos*) é uma espécie arbustiva, da família Fabaceae, nativa das Montanhas Cedarberg, na região de Western Cape, na África do Sul (JOHNSON et al., 2018), onde é extensivamente cultivada para uso comercial como infusão de ervas ou tisana (MCKAY; BLUMBERG, 2007). No exterior, essa espécie é bastante utilizada para confecção de chás da marca Lipton® Unilever devido sua composição ser rica em compostos fenólicos e flavonoides, principalmente pela aspalatina (HEERDEN et al., 2003; SASAKI; NISHIDA; SHIMADA, 2018). A composição deste chá é caracterizada por um material com maior teor de lignina, consequentemente é um material mais recalcitrante, tendo assim uma taxa de decomposição mais lenta.

No entanto, encontrar o chá *Rooibos* no mercado brasileiro é mais difícil, sendo necessário pensar em uma alternativa a ele, como o chá de sene. O gênero *Senna* pertence à família Fabaceae e apresenta aproximadamente 350 espécies amplamente distribuídas em zonas tropicais e subtropicais (KHALAF et al., 2018). Este gênero é conhecido por ser rico em metabólitos secundários, entre eles a lignina, responsável pelo enrijecimento dos vasos do sistema vascular (AZEVEDO; CONCEIÇÃO, 2017; LÁZARO, s.d.).

Apesar da potencialidade do método padronizado *tea bag*, no Brasil existe uma carência de informação na literatura desse método para obtenção da taxa de decomposição da serapilheira, e suas respectivas respostas com relação ao tipo de cobertura do solo, bem como as condições ambientais desses locais. A maioria dos trabalhos publicados nos últimos anos, examinando a dinâmica e velocidade de decomposição de serapilheira, utilizaram o método de *litter bags*. Diante do exposto, o presente trabalho direciona-se para realizar a análise da taxa de decomposição de serapilheira utilizando os métodos de *litter bags* e *tea bags* em duas áreas com cobertura de gramíneas na Universidade Federal Rural de Pernambuco - PE e sua relação com características edáficas. As hipóteses assumidas foram: 1) A taxa de decomposição da serapilheira padronizada (método *tea bags*) é similar à taxa de decomposição do método convencional (*litter bags*) 2) O chá composto por *Senna alexandrina* Mill. (sene) pode ser uma alternativa para o chá *Aspalathus linearis* (Burm.f.) R.Dahlgren (*Rooibos*).

## 2. OBJETIVOS

### 2.1 Geral

Comparar as taxas de decomposição de serapilheira obtidas pelos métodos de *litter bags* e *tea bags* em duas áreas com gramíneas na Universidade Federal Rural de Pernambuco – PE;

### 2.2 Específicos

- i. Obter a taxa de decomposição de serapilheira, pelos métodos de *litter bags* e *tea bags*;
- ii. Relacionar a taxa de decomposição com as características edáficas para os dois métodos utilizados (*litter bags* e *tea bags*).
- iii. Comparar a massa remanescente do chá de *Senna alexandrina* Mill. (sene) e do chá *Aspalathus linearis* (Burm.f.) R.Dahlgren (*Rooibos*).

### **3. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA**

#### **3.1 Indicadores da qualidade dos solos**

Um dos principais fatores do sucesso de qualquer plantio, seja de povoamentos florestais e/ou cultivos agrícolas, está atrelado às características físico-químicas do solo, e sendo o solo um recurso natural, o uso de indicadores de sua qualidade é de extrema importância (GARCÍA-PALÁCIOS et al., 2013). Conforme Doran (1994), a qualidade do solo está relacionada com a capacidade do solo em fornecer, inserido nos limites do ecossistema natural ou manejado, os atributos necessários para potencializar a produtividade biológica, manter ou otimizar a qualidade hídrica e do ar atmosférico do local, promovendo, portanto, a saúde humana e animal. De acordo com Tólot; Chaer (2002), um parâmetro para ser considerado um indicador de qualidade solo pode se apresentar como uma variável mensurável (temperatura do solo), um processo (taxa de mineralização de N), ou um índice em que se incluem várias medidas de solo como densidade, porosidade, quantidade de matéria orgânica, dentre outros.

A qualidade física de um solo está atrelada à sua composição ou das características intrínsecas deste, como: mineralogia; textura; profundidade efetiva; porosidade; capacidade de troca de cátions (CTC) total e/ou efetiva; entre outras, bem como propriedades que podem variar ao longo do tempo (TORMENA, SILVA; LIBARDI, 2018). Os atributos físicos são direta e indiretamente influenciados por fatores como água, temperatura, oxigênio e resistência mecânica, que, por sua vez, estão associados à emergência de plântulas, crescimento radicular, crescimento e desenvolvimento das plantas (BRADY; WEIL, 2016).

Os sistemas de manejo e uso do solo ocasionam diversas alterações nas características químicas e físicas do solo, e são intrinsecamente relacionadas com processos como: compactação do solo, redução da porosidade, permeabilidade, drenagem e capacidade de armazenamento de água entre os poros, bem como a disponibilidade de nutrientes para as plantas (EMBRAPA, 2017). As relações envolvendo alguns atributos físicos com a qualidade do solo, bem como as condições ecológicas e ambientais das plantas, serão abordadas nos tópicos a seguir.

##### **3.1.1 Características edáficas**

###### **3.1.1.1 Densidade do solo**



A densidade é um dos principais fatores físicos analisados nos solos, florestais ou de cultivo agrícola, por fornecer informações a respeito do estado de conservação do solo, além de afetar propriedades como infiltração de água do solo (drenagem e retenção), crescimento radicular, trocas gasosas do ar no solo com as raízes e entre solo-atmosfera, suscetibilidade à erosão e avaliação da compactação e/ou adensamento dos solos (GUARIZ, 2009). O processo de compactação do solo é um agravamento da densificação natural do solo, que, por consequência, causa o aumento da resistência do solo.

A densidade do solo ( $D_s$ ) pode ser considerada como o atributo físico mais utilizado na análise da compactação e estado estrutural dos solos em experimentos e povoamentos sobre plantio direto ou de preparo convencional, embora, não seja um atributo simples de ser detectado (SILVA et al., 2009; McGARRY et al., 2000). Conforme Reinert et al. (2006), a compactação modifica a relação entre os poros do solo, está diretamente associada aos fluxos de água presente no perfil do solo, e é uma das principais causas da degradação ambiental dos solos. Segundo os mesmos autores (*ibidem*), a compactação também é responsável por influenciar na atividade biológica e aeração do solo, interferindo indiretamente no processo de trocas gasosas, afetando tanto na qualidade do ar presente no solo necessário para as plantas, como no ar atmosférico, podendo trazer consequências sociais como emissão ou sequestro de gases do efeito estufa.

Outro efeito da compactação do solo, devido ao aumento da sua densidade, é no arranjo dos poros inter-agregados, uma vez que a compactação é responsável pela redução da macroporosidade e o aumento da microporosidade, aumentando a tensão com que a água permaneça retida nos poros, afetando assim, na quantidade de água disponível às plantas (BAUMER; BAKERMANS, 1973).

#### 3.1.1.2 Umidade do solo

O primeiro conceito sobre faixa de umidade não limitante do solo foi introduzido por Letey (1985), e considerava que a limitação do crescimento vegetal estava relacionada a fatores como: aeração, densidade e resistência à penetração do solo, e com a água disponível. Posteriormente, Silva et al. (1994) definiram como intervalo hídrico ótimo (IHO) a faixa de umidade de um solo onde o crescimento radicular e do vegetal é pouco limitado. Entretanto, o IHO varia para cada tipo de solo em detrimento ao manejo do solo e o manejo das plantas.

A umidade do solo (US) é um atributo ou componente-chave em vários processos que acontecem no sistema terrestre, atuando nos ciclos hidrológicos e nutricional, podendo ser definida como a quantidade de água armazenada (na condição não saturada) em um dado fragmento de solo (COSTA, 2017). De acordo com Timm et al. (2006), a umidade influencia relevantes processos nos solos e nos vegetais como: movimentação de água, compactação e aeração do solo e no desenvolvimento radicular. Esch et al. (2018) afirmam que a umidade do solo não apenas influencia diretamente nos processos hidrológicos, como nos processos meteorológicos da superfície terrestre, sendo assim, um dos mais relevantes processos de troca gasosas entre solo, vegetação e atmosfera, influenciando no crescimento, desenvolvimento e produtividade da planta.

### 3.1.1.3 pH

O pH destaca-se como um importante indicador das condições químicas do solo por apresentar a capacidade de influenciar na disposição de elementos químicos essenciais para as plantas, no que tange os processos de crescimento e desenvolvimento vegetal, podendo favorecer ou não os processos de absorção e dessorção de tais elementos (DONAGEMA et al. 2017). Conforme Brady (1983), o pH quando abaixo de 4,5 pode resultar na dessorção de elementos como ferro, alumínio e manganês, em proporções tais que, podem tornar-se tóxicos e dificultar o desenvolvimento das plantas. O mesmo autor (*ibidem*) afirma que, por outro lado, quando o pH do solo estiver acima de 8,0, elementos como ferro, manganês e zinco tornam-se menos assimiláveis às plantas, podendo assim também prejudicar o desenvolvimento do vegetal.

Brandão; Lima (2002) constataram que no horizonte O (camada mais superficial do solo e rica em matéria orgânica) podem ser encontrados valores de pH mais ácidos, variando entre 3,5 a 4,5. Isso porque o processo de decomposição da serapilheira que ocorre no solo produz compostos orgânicos mais ácidos (EBELING et al., 2008; LILIENFEIN et al., 2000). Geralmente, mudanças de pH na rizosfera se devem à extrusão e absorção de  $H^+$  ou  $HCO_3^-$ ; respiração radicular; liberação de exsudatos de menor massa molecular; e principalmente, à relação entre absorção de cátions e ânions (HINSINGER et al., 2003; TAIZ; ZEIGER, 2004). A alteração do pH rizosférico (relação  $H^+/HCO_3^-$ ) pode ser influenciada através da aplicação de fertilizantes que são fontes de N, amoniacal ou nítrica (SOUZA et al., 2010).

O conhecimento do pH do solo se torna importante dentro dos ecossistemas, pois ele pode ser um fator limitante na decomposição da matéria orgânica que é depositado sobre o

solo (GABARDO et al., 2016). O pH influi sobre os agentes decompositores (fungos e bactérias) presentes no solo e pode comprometer a degradação destes compostos, pois grande parte da fauna edáfica não tolera níveis de pH abaixo de 4,0 ou maiores que 9,5, existindo uma faixa ótima, como ocorre com a temperatura, entre 6,5 e 7,5 (METCALF; EDDY, 2003; GABARDO et al., 2016). De acordo com Valente et al. (2009), o pH é responsável por regular a atividade dos microrganismos, podendo diminuir a atividade microbiana quando elevado ou inibir o desenvolvimento de microrganismos termófilos (isto é, se desenvolvem em elevadas temperaturas) quando baixo durante o processo de decomposição.

### 3.1.2 Taxa de decomposição de serapilheira

A taxa de decomposição de matéria orgânica é um indicador importante da qualidade do solo, pois é responsável pela ciclagem de nutrientes e pela manutenção da fertilidade do solo. Alguns estudos têm sido realizados para avaliar a relação entre a taxa de decomposição e a qualidade do solo. Um estudo realizado por Scabora et al. (2021) em áreas de cultivo de café no sul de Minas Gerais avaliou a influência de diferentes sistemas de manejo do solo na taxa de decomposição da matéria orgânica. Os resultados mostraram que os sistemas de manejo que potencializam uma maior cobertura do solo e aporte de resíduos vegetais apresentaram maiores taxas de decomposição, sugerindo que essas práticas de manejo podem aumentar a qualidade do solo.

Cianciaruso et al. (2006) afirmaram que as serapilheiras possuem composições distintas e, conseqüentemente, velocidade de decomposição diferentes, sendo a velocidade global de decomposição dependente da proporção dos diferentes componentes presentes. Elevados teores de alguns componentes químicos como lignina, polifenóis e celulose podem retardar a taxa de decomposição da serapilheira, resultando em menores níveis de nutrientes no solo (SWIFT et al., 1979).

Carvalho; Cardoso (2020) avaliando a relação entre a taxa de decomposição e a qualidade do solo em áreas de cultivo de cana-de-açúcar no Brasil, observaram que a taxa de decomposição foi significativamente menor nos solos cultivados de forma intensiva em comparação com os solos com menor intensidade de cultivo, indicando uma menor qualidade do solo nos primeiros. Ferreira et al. (2017) avaliaram os efeitos da restauração florestal em áreas degradadas na taxa de decomposição da matéria orgânica. Os mesmos autores (*ibidem*) observaram que, após a restauração, houve um aumento na taxa de decomposição da matéria orgânica, sugerindo uma melhoria na qualidade do solo.

### 3.1.2.1 *Litter Bags*

O método de *litter bags* (também chamado como sacolas de decomposição) consiste em sacos (geralmente de plástico ou nylon), com dimensões e abertura das malhas variando de acordo com o interesse de estudo, onde é inserido o material orgânico (podendo ser folhas, galhos ou detritos) para avaliação. Vários estudos utilizaram o método *litter bags* para avaliar a decomposição de serapilheira na última década (TEIXEIRA et al., 2012; CUNHA NETO et al., 2013; COSTA et al., 2014; LIMA et al., 2015; RAMOS et al., 2018), e comprovaram a eficiência do método nas análises de seus experimentos. A metodologia de *litter bags* é comumente utilizada nacionalmente porque, a partir de replicações dos saquinhos e pesagens no ao longo do tempo, é possível estimar a taxa de decomposição da matéria orgânica inserida. A taxa de decomposição pode ser usada como bioindicadora da qualidade do solo, pois a partir dela é possível ter o conhecimento das condições ambientais do local (KARBERG et al., 2008).

Segundo Fogel et al. (2021), a metodologia de *litter bags* apresenta algumas limitações que demandam cuidados para que a taxa de decomposição seja representativa. Esses autores (ibidem) mencionam as influências da microfauna, contaminação por solos com alto teor de matéria orgânica e condições do microclima local como fatores que podem influir na taxa de decomposição.

### 3.1.2.2 *Tea Bags*

O método *Tea Bags Index* - TBI, que traduzindo significa “índice dos saquinhos de chá”, refere-se a um procedimento padronizado que objetiva reunir dados sobre a taxa de biodegradação de materiais orgânicos a partir da utilização de sacos de chá prontos que podem ser adquiridos comercialmente (SOARES, 2019). Esse método foi desenvolvido por KEUSKAMP et al. (2013), e utiliza dois tipos de materiais padronizados, ambos da marca Lipton: o chá verde feito de folhas secas de *Camellia sinensis* (L.) Kuntze e o chá vermelho feito de folhas secas de *Aspalathus linearis* (Burm.f.) R.Dahlgren (comercialmente conhecido por *Rooibos*) (KEUSKAMP et al., 2013, DUDDIGAN et al., 2020). O TBI possibilita adaptar a metodologia e a confecção dos saquinhos de chá, como foi feito em Gualdi (2019).

A metodologia *tea bags* utiliza dois tipos de chás (verde e *rooibos*), que apresentam composição com partes das plantas distintas, portanto, apresentam tempos de decomposição diferentes, a fim de construir curvas de degradação utilizando uma mesma medida de tempo

(TRESCH; FLIESSBACH, 2017; SOARES, 2019; GUALDI, 2019; CHAGAS; DIAS, 2022). De modo geral, o início do processo de decomposição é caracterizado por uma rápida degradação dos compostos lábeis (observado para o chá verde), incluindo a retirada de compostos solúveis da serapilheira pela lixiviação seguida pela decomposição da holocelulose e outros tecidos não lignificados pela comunidade microbiana, cuja atividade é impulsionada pela presença de nitrogênio (BERG, 2014; KEUSKAMP et al., 2013). Por outro lado, em compostos recalcitrantes (observado para chá *rooibos*, composto por material mais lignificado), sua decomposição ocorre em taxas mais lentas, podendo até não se decompor totalmente (BERG, 2000).

A diferença existente na composição dos chás é utilizada para o cálculo da taxa de decomposição no término dos 90 dias, uma vez que a biodegradação do chá verde tende a estabilizar mais rapidamente que o chá vermelho (*rooibos*), sendo usado para o cálculo do fator de estabilização ( KEUSKAMP et al., 2013). Além disso, a composição química dos dois tipos de chá é representativa da serapilheira foliar encontrada naturalmente (DUDDIGAN et al., 2020). O fator de estabilização (S) indica a quantidade de material lábil que se estabiliza devido algum efeito inibidor do ambiente na decomposição. Por meio dele é possível estimar a fração lábil do chá rooibos (*ar*), que pode ser efetivamente decomposta, em relação a decomposição máxima do material (ou fração hidrolisável - *Hr*) (KEUSKAMP et al., 2013).

Esse método foi criado com o objetivo de reunir dados sobre a taxa de decomposição em diferentes locais no mundo para posterior elaboração de um mapa de solo com um modelo climático mundial que prevê o curso dos estoques de carbono por todo o mundo, por ser um método que responde a diferentes situações abióticas, tais como temperatura do solo e teor de umidade (KEUSKAMP et al., 2013). Este método vem se destacando por ser um meio de análise de decomposição padronizado (tamanho e abertura da malha dos saquinhos, composição do material, e apenas uma medida no tempo, aos 90 dias), de fácil aquisição, baixos custos e praticidade operacional. Entretanto, no Brasil há uma carência de trabalhos que utilizem a técnica de *tea bags* aplicada aos domínios morfoclimáticos do país, dificultando, portanto, realizar uma análise comparativa entre trabalhos para as regiões brasileiras.

## 4. MATERIAL E MÉTODOS

### 4.1 Área de estudo

O trabalho foi conduzido em duas áreas pertencentes à Universidade Federal Rural de Pernambuco (UFRPE), localizada no município de Recife, Zona da Mata e litoral pernambucano, com coordenadas 8° 01' 03" S e 34° 57' 05" O e altitude média de 7 metros. Conforme Medeiros et al. (2018), a cidade do Recife possui clima do tipo *As'*, de acordo com a classificação de Köppen-Geiger, que é caracterizado por ser um clima tropical úmido com estação seca no verão e chuvas no inverno. A temperatura média anual da cidade é de 25,9 °C, com temperaturas mínimas e máximas em torno de 20°C e 30°C (Fig. 1), respectivamente, e precipitação média anual cerca de 2263,4 mm (INMET, 2018).

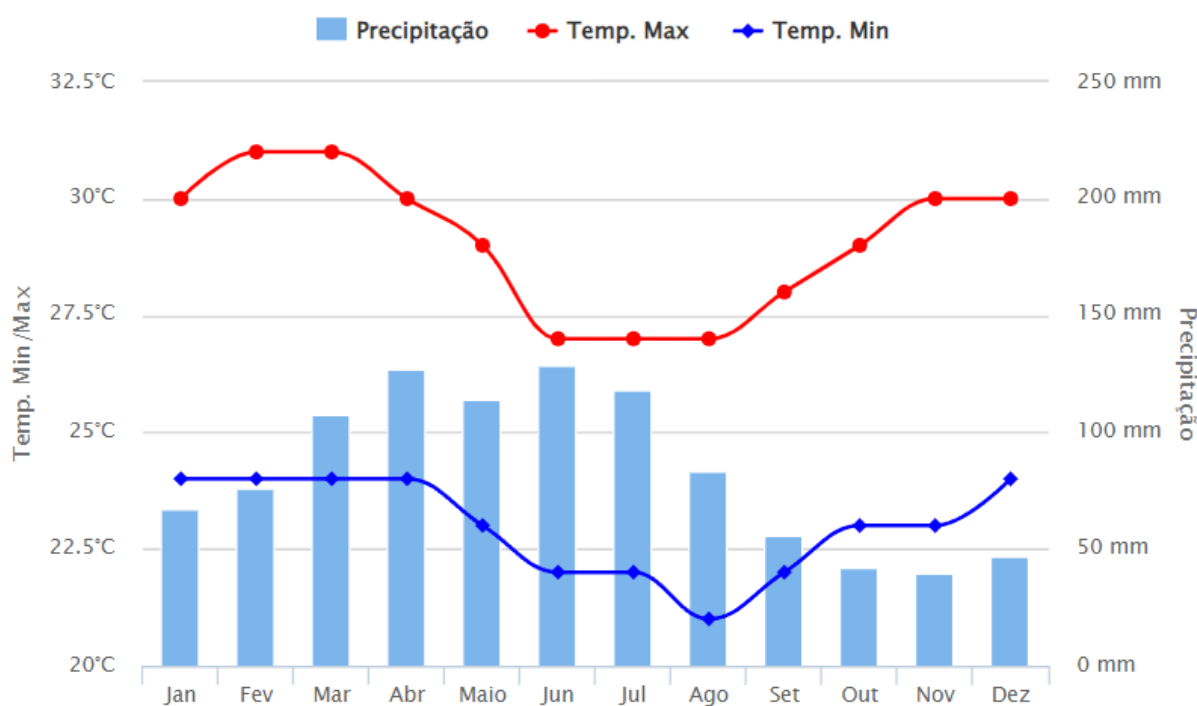


Figura 1. Precipitação pluviométrica, temperaturas mínimas e máximas para os meses de 2022 em Recife-PE. Fonte: ClimaTempo (2022).

De acordo com Silva; Santos; Silva (2019), a vegetação predominante pertence ao domínio morfoclimático Mares de Morros (Mata Atlântica), classificada como Floresta Ombrófila Densa de Terras Baixas.

As duas áreas com cobertura de solo com gramíneas utilizadas para o desenvolvimento do trabalho, foram: no Viveiro Florestal da UFRPE; e próximo ao Edifício Vasconcelos Sobrinho (CEAGRI II) (Figura 2).

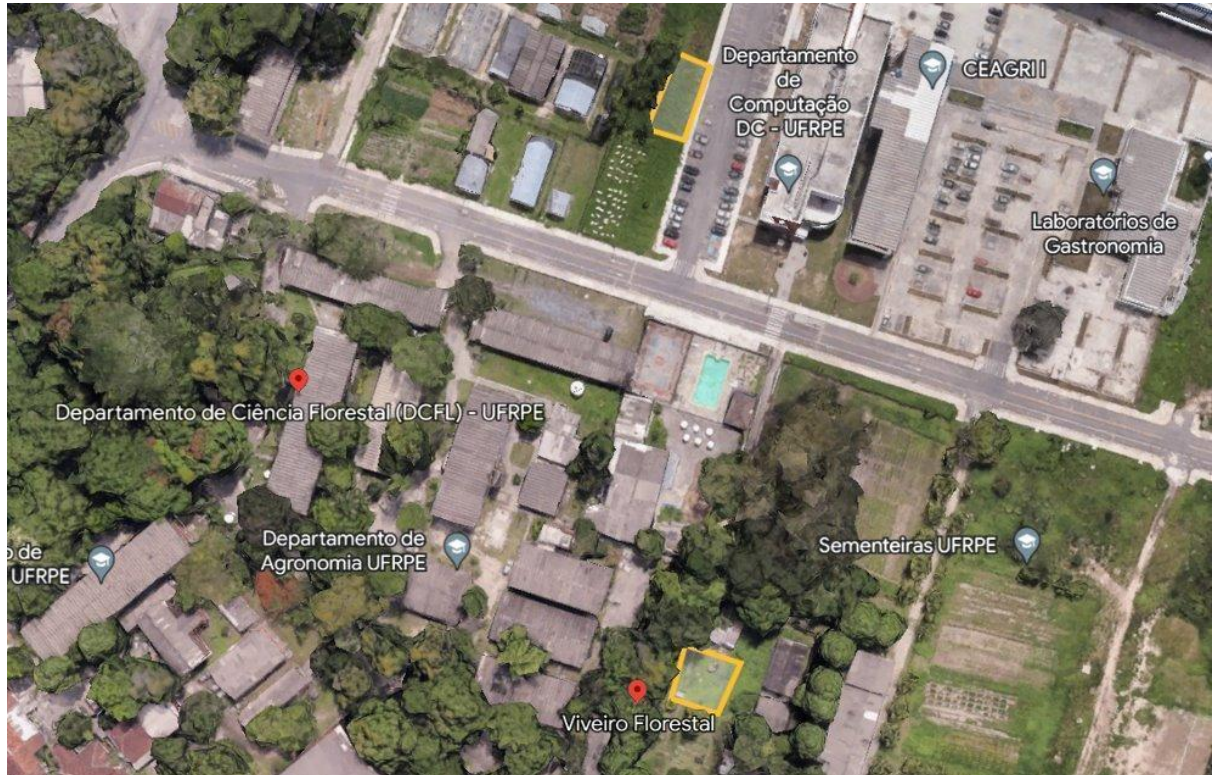


Figura 2. Localização das áreas de estudo na Universidade Federal Rural de Pernambuco (UFRPE). Extraído e adaptado do Google Earth. (Autora, 2023).

#### 4.2 Instalação e delineamento do experimento

O Delineamento utilizado foi o Delineamento Inteiramente Casualizado (DIC), em que os *litter bags* e *tea bags* foram distribuídos aleatoriamente na área de estudo. Observou-se que os meses que antecederam a instalação do experimento (agosto e outubro) foram caracterizados pela transição entre a estação chuvosa para o período seco, com precipitações abaixo de 100 mm e temperaturas elevadas que variaram entre 25° C a 29°C (Fig. 1).

Os *litter bags* foram confeccionados com tela de nylon medindo 20 cm x 20 cm e abertura de malha de 2 mm (ANDERSON; INGRAM, 1996; GRUGIKI et al., 2017), permitindo a passagem da meso e microfauna do local. Foram coletadas folhas senescentes (isto é, recém-caídas) de indivíduos florestais adultos de diferentes espécies aleatoriamente



no *campus* da UFRPE para o preenchimento dos *litter bags*. Este material foliar, após coletado em campo, foi misturado e levado para secagem em estufa a 65° por 48 horas (CABREIRA, 2016). Após a secagem, cada *litter bag* foi preenchido com 10 g de serapilheira.

Para a confecção dos *tea bags*, os saquinhos e os chás foram obtidos comercialmente em casa de produtos naturais e preenchidos de acordo com Tresch; Fliessbach (2017) (Fig. 3). A dimensão dos saquinhos foi de 5 cm x 5 cm, malha de 0,5 mm e peso aproximado de 0,250 gramas. Para preenchimento de cada *tea bag* foram utilizadas 2 g do chá correspondente, sendo 10 *tea bags* de chá verde (*Camellia sinensis* (L.) Kuntze), 10 *tea bags* de *rooibos* (*Aspalathus linearis* (Burm.f.) R.Dahlgren) e 10 *tea bags* de folhas de sene (material de chá composto por arbustos de espécies leguminosas do gênero *Senna alexandrina* Mill.), conforme KEUSKAMP et al. (2013). O chá de sene foi testado como alternativa por sua disponibilidade no mercado nacional comparado ao chá *rooibos* usado na metodologia proposta por KEUSKAMP et al., (2013), que possui dificuldade de obtenção, e a partir disso analisar se há boa relação com o *rooibos* para sugerir a adaptação da metodologia.



Figura 3. Exemplar de saquinho de chá (TBI) confeccionado manualmente desenterrado após 90 dias.

Fonte: Autora (2023).

Os *litter bags* foram instalados em condições de campo e colocados aleatoriamente sobre a superfície do solo em cada área de estudo, conforme (GRUGIKI et al., 2017) (Fig. 4 B). Para fins de ajuste do modelo, foram feitas 4 coletas (repetições por tempo) quinzenais



até os 90 dias (tempo recomendado para a metodologia de *tea bags*), de 15 de dezembro de 2022 a 02 de março de 2023, sendo o mês de novembro o mês da instalação do experimento. Os *tea bags* também foram dispostos aleatoriamente no solo e enterrados aproximadamente a 10 cm de profundidade (MACDONALD et al., 2018; GUALDI, 2019) (Fig. 4A), visando reduzir interferências externas como chuvas, animais ou intervenções humanas. Foram instalados aleatoriamente 24 sacos de *litter bags*, 10 de sacos de *tea bags* de cada tipo de chá (totalizando 30) conforme metodologia de Keuskamp et al. (2013) em cada área do estudo.



Figura 4 A) Distribuição e implantação de *tea bags* a 10 cm de profundidade. B) Distribuição de *litter bags* sobre a superfície do solo nas áreas de estudo.

Imagem: Autora (2023).

#### 4.3 Análise dos dados – *Litter Bags*

Após as coletas quinzenais, os saquinhos foram levados para o Laboratório de Sementes Florestais (LASF- UFRPE) para pesagem, obtendo-se o peso da matéria seca (MS), após serem colocados em estufa a 65° por 24 horas. O tempo de avaliação dos *litter bags* em campo foi definido para fins de comparação com a metodologia dos *tea bags*, que tem como padrão o tempo de 90 dias.

Antes das pesagens, foi feito o beneficiamento dos *litter bags* a fim de eliminar resíduos de solos, galhos ou insetos para posterior pesagem apenas do material foliar no interior dos sacos.

Para determinação da taxa de decomposição de serapilheira foi ajustado o modelo exponencial para obter a taxa de decomposição ( $k$ ), conforme a equação 1 proposta por Thomas; Asakawa (1993). Para os *litter bags*, a massa remanescente foi determinada através da relação à quantidade inicial dos saquinhos (isto é, a diferença entre a massa final e a massa inicial).

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

onde,  $X_t$  = peso do material remanescente após  $t$  dias;

$X_0$  = peso inicial seco do material foliar nos sacos no tempo zero ( $X_0 = 10$  g);

$t$  é o tempo em dias e  $k$  é a taxa de decomposição.

O modelo foi ajustado usando o software RStudio (R Development Core Team, 2022). O tempo de meia-vida do material foi calculado através do logaritmo neperiano dividido pelo valor da taxa  $k$ . O tempo de meia-vida expressa o espaço de tempo (em dias) necessários para que a metade do resíduo (50%) no interior dos *litter bags* se decomponha, ou que 50% dos nutrientes sejam liberados.

#### 4. 4. Análise dos dados – *Tea Bags*

A coleta de dados dos saquinhos para o método de *tea bags* (considerando os pares de chá verde e *rooibos*) foi realizada após 90 dias. Os saquinhos foram desenterrados, levados ao Laboratório de Sementes Florestais (LASF- UFRPE), feito o beneficiamento para remoção das partículas de solo aderidas e secos em estufa a 70 °C por 48 horas. Foi retirado o rótulo e o barbante, pesados e subtraídos a massa de um saco vazio para determinação da massa remanescente, conforme Keuskamp et al. (2013). Foi calculado o fator de estabilização ( $S$ ) e a taxa de decomposição ( $k$ ).

A taxa de decomposição ( $k$ ) foi obtida a partir de um modelo de decomposição assintótico (equação 2) ajustando a curva padrão. A curva padrão considera que a decomposição da matéria orgânica apresenta uma fração lábil (que pode ser estimada pela perda de massa do chá verde) e uma fração recalcitrante (esta, por sua vez, estimada pela perda de massa do chá vermelho), conforme Soares (2019).

$$W_r(t) = \alpha_r e^{-kt} + (1 - \alpha_r) \quad (2)$$

em que,  $W_r(t)$  = massa remanescente do chá *rooibos* após o tempo de 90 dias de incubação;  
 $\alpha_r$  é a fração lábil ou decomponível considerando o chá *rooibos* (isto é, o quanto de material que se decompôs),  
 $k$  é a taxa de decomposição,  
( $1-\alpha$ ) é a fração recalcitrante (KEUSKAMP et al., 2013) e  
 $t = 90$  dias.

Para a obtenção do  $\alpha_r$  é preciso calcular o fator de estabilização ( $S$ ) que é influenciado pelo  $\alpha_g$  (Equação 3).

$$\alpha_g = 1 - (W_{fg} / W_{og}) \quad (3)$$

em que,

$\alpha_g$  é a fração degradável (o quanto do material que degradou) do chá verde, que utiliza a massa final seca do chá verde ( $W_{fg}$ ) no tempo de 90 dias, dividida pela massa inicial do chá verde ( $W_{og}$ ).

Com o valor de  $\alpha_g$ , foi calculado o fator de estabilização ( $S$ ) (Equação 4).

$$S = 1 - (\alpha_g / H_g) \quad (4)$$

em que,  $H_g$  é a fração hidrolisável esperada do chá verde (ou seja, o máximo que o chá verde pode decompor; no caso, representado pelo valor padrão de  $0,842 \text{ g g}^{-1}$ , obtido de Keuskamp et al., 2013).

Com o valor de  $S$ , considerado o mesmo para ambos os chás, este é utilizado na equação 4 conjuntamente com o valor da fração hidrolisável esperada para o chá *rooibos* -  $H_r$  (o máximo que o *rooibos* poderá decompor, representado pelo valor padrão de  $0,552 \text{ g g}^{-1}$ , obtido de Keuskamp et al. (2013)) (equação 5).

$$\alpha_r = H_r (1 - S) \quad (5)$$

Obtendo-se o valor de todas estas variáveis, foi calculada a taxa de decomposição ( $k$ ) a partir do ajuste do modelo de decomposição assintótico (equação 2).

#### 4.5. Coleta e Análise do Solo

A taxa de decomposição pode ser diretamente influenciada pelos atributos edáficos do solo. Neste sentido, foram analisadas densidade, umidade atual e pH do solo, conforme metodologia de Donagema et al., (2011), a fim de avaliar a relação dos atributos edáficos com a taxa de decomposição pelos dois métodos. Foram coletadas amostras deformadas de solo, nas duas áreas, no mês de março de 2023 com auxílio de um trado do tipo holandês na camada de 0-20 cm, para determinação dos atributos. No dia anterior à coleta do solo a precipitação foi de 63,2 mm (APAC, 2023). A densidade do solo ( $D_s$ ) foi analisada pelo método da proveta, a umidade foi obtida por meio do cálculo de umidade gravimétrica [ $U = (\text{massa úmida} - \text{massa seca}) / \text{massa seca}$ ] e o pH em água destilada foi medido com auxílio de um pHmetro (DONAGEMA et al., 2011).

## 5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 5.1 Decomposição de serapilheira pelo método de *Litter Bags*

Observou-se que houve uma maior perda de massa nos *litter bags* nos primeiros 60 dias após a instalação do experimento, seguida pela tendência de estabilização da decomposição nos últimos 30 dias do experimento (Fig. 5). Isto deve a fração lábil (foliar) da serapilheira se decompor mais rápido quando comparada à fração recalcitrante, que apresenta maior quantidade de compostos lignificados (POLUNIN, 1984; BERG, 2014). Comportamentos similares foram observados em outros trabalhos para o mesmo domínio fitogeográfico, em fragmentos de Mata Atlântica (SILVA et al., 2013; GRUGIKI, 2017). Segundo Silva et al. (2013), esse comportamento é considerado comum, pois o processo de decomposição segue um modelo exponencial, isto é, a serapilheira não se decompõe de modo constante ao longo do tempo, sendo mais intensa nos primeiros dias iniciais.

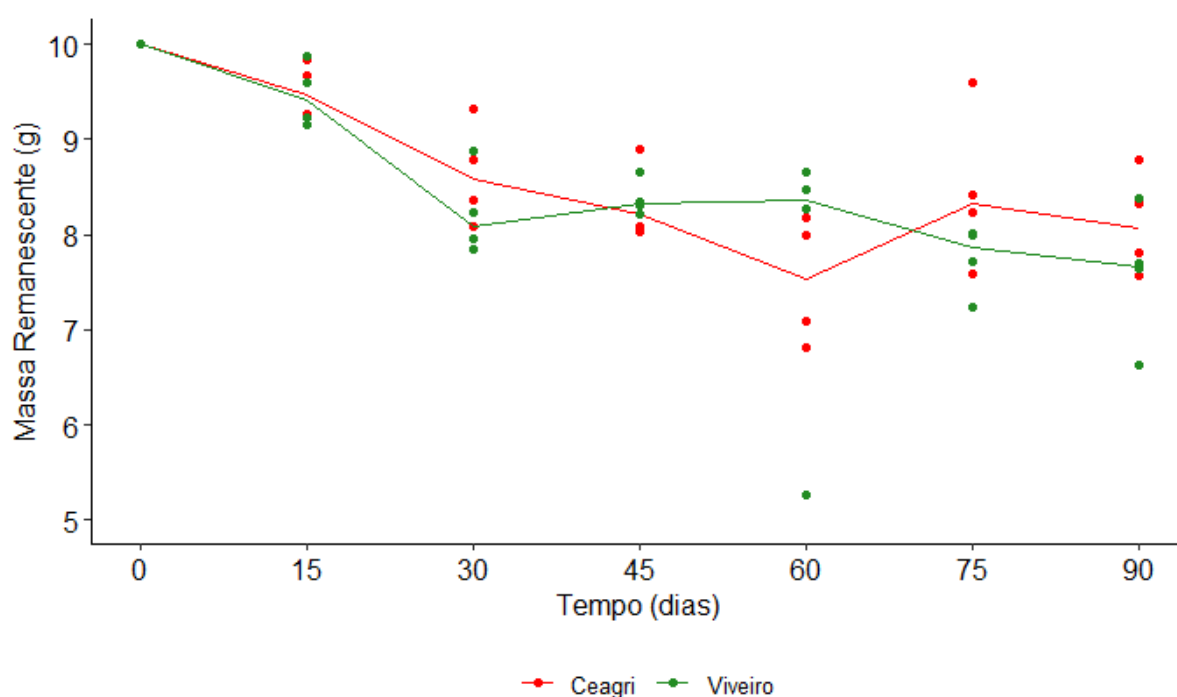


Figura 5. Massa remanescente da serapilheira ao longo dos 90 dias para as áreas de CEAGRI II e Viveiro Florestal obtidas pelo método de *litter bags*. Fonte: Autora (2023).

Com os dados obtidos quinzenalmente foi ajustado o modelo (equação 1) para obtenção da taxa de decomposição ( $k$ ) e tempo de meia-vida para as áreas no CEAGRI II e Viveiro Florestal (Tabela 1). A área no CEAGRI II apresentou menor valor de  $k$  comparado à

área do viveiro florestal, conseqüentemente, maior tempo de meia-vida. O tempo estimado para decompor 50% do total da serrapilheira ( $t_{1/2}$  dias) para área próxima ao CEAGRI II foi aproximadamente 18% menor em comparação à área no Viveiro Florestal. Isso pode ser explicado pelas características físicas do local, que apresentou maior densidade e percentual de umidade (Tabela 2), variáveis que podem dificultar a atividade da microbiota do solo, conseqüentemente, tornam a decomposição de materiais orgânicos mais lenta (SOUZA et al., 2005).

Tabela 1. Taxa de decomposição ( $k$ ) e tempo de meia-vida ( $t_{1/2}$ ) pelo método de *litter bags*, considerando avaliações quinzenais até 90 dias para áreas de CEAGRI II e Viveiro Florestal na Universidade Federal Rural de Pernambuco.

Parâmetros	Áreas	
	CEAGRI II	Viveiro Florestal
P0 (g)	10	10
R <sup>2</sup>	0,40	0,56
P-valor	< 0,05	< 0,05
K	0,003	0,004
$t_{1/2}$ (dias)	224,98	186,06

Fonte: Autora (2023).

Em que: P0 = massa inicial;  $k$  = constante de decomposição; R<sup>2</sup> = coeficiente de determinação do ajuste para estimativa do  $k$ ; P-valor = significância do parâmetro estimado ( $k$ );  $t_{1/2}$  = tempo de meia-vida da serrapilheira.

Tabela 2. Atributos físicos (densidade e umidade do solo) e pH das áreas de instalação do experimento.

Parâmetros	Áreas	
	CEAGRI II	Viveiro Florestal
Densidade do solo (g m <sup>-3</sup> )	127,93	103,63
Umidade (%)	23,2	16,72
pH	6,72	5,97

Fonte: Autora (2023).

As taxas de decomposição ( $k$ ), estimadas neste estudo, foram inferiores a outros estudos realizados usando a mesma técnica (FREIRE et al., 2010; FIGUEIREDO, 2015; GRUGIKI et al., 2017) isto porque o valor de  $k$  pode variar de acordo com a composição da serapilheira, e das características ambientais (POGGIANI; SCHUMACHER, 2000).

Figueiredo (2015) analisando a decomposição de plantas C3 e C4 em diferentes áreas, sendo uma delas de área de pastagem abandonada, obteve valores de  $k$  superiores aos encontrados neste estudo. Para a área de pastagem, no período chuvoso, a autora (íbidem) encontrou valores de  $k$  entre 0,008 a 0,022, sendo o tempo de coleta das amostras de 120 dias, tempo próximo ao utilizado neste trabalho. Avaliando a decomposição em bosque de *Mimosa caesalpiniiifolia* na Zona da Mata de Pernambuco utilizando a técnica de *litter bags*, Freire et al. (2010) verificaram que após 256 dias de incubação, apenas 30% da fração foliar do sabiá foi mineralizada, isto porque a decomposição mais rápida da serapilheira ocorreu primeiramente na fração foliar, seguido pela fração de ramos da árvore, fração mais lignificada, conseqüentemente, composto menos solúvel.

Grugiki et al. (2017) analisando a decomposição e atividade microbiana da serapilheira em coberturas florestais no sul do Espírito Santo obtiveram valores de  $k$  para serapilheira das espécies seringueira (*Hevea brasiliensis*) de 0,0013, *Acacia mangium* de 0,0016, floresta secundária de 0,0017 e saboneteira (*Sapindus saponaria*) de 0,0024 e tempo de meia vida estimado em 394,36 dias, 292,75 dias, 497,64, dias e 529,06 dias respectivamente. Bello et al. (2022) estudando a produção e decomposição de serapilheira em áreas de reflorestamento e floresta nativa no sul do Amazonas obteve valores de  $k$  para reflorestamento com teca de 0,0016, reflorestamento com jenipapo de 0,0025, reflorestamento com espécies mistas de 0,0018 e floresta nativa de 0,0024 e tempo de meia vida estimado em 433,2 dias, 277,26 dias, 385,08 dias e 288,81 dias, respectivamente. As diferenças entre os valores de taxa de decomposição bem como o tempo de meia-vida para este experimento e os estudos mencionados acima, podem estar associados às variações climáticas e edáficas que ocorrem entre os locais em que os estudos foram realizados, pois essas influem diretamente no processo de decomposição.

Essas variações das taxas podem ser justificadas pela variabilidade da metodologia, como confecção dos *litter bags*, abertura da malha, bem como a composição e quantidade de material utilizado para preenchimento (FOGEL et al., 2021). A decomposição da serapilheira depende da relação C/N. O teor de nitrogênio presente no material orgânico pode determinar

a velocidade da decomposição do material, assim, quanto menor a relação C:N, maior a velocidade de degradação do material (LYNCH, 1986; MARQUES et al., 2000). Neste sentido, a fração lábil (foliar) tende a apresentar maior velocidade de degradação quando comparada à fração recalcitrante da planta, isto é, quando o material é mais lignificado.

O tempo de coleta dos saquinhos no trabalho de Grugiki et al. (2019) foi de 30, 75, 105, 135, 165 e 225 dias. Já no estudo de Bello et al. (2022) o tempo de coleta dos saquinhos foi de 7, 15, 30, 45, 60, 75, 90, 120, 150, 180, 210, 240, 270, 300 e 330 dias. Entretanto para este trabalho, foi possível realizar a estimativa da taxa de decomposição com tempo adaptado para 90 dias e coletas quinzenais para os *litter bags* com material foliar. Entretanto, essa redução de tempo de análise pode não ser aconselhável em trabalhos cujo foco é a decomposição de materiais com materiais cuja fração é recalcitrante, pois estes materiais tendem a apresentar maior tempo para sua total decomposição (TAYLOR et al., 1989).

A taxa de decomposição ( $k$ ) da serapilheira representa (indiretamente) a velocidade com que os nutrientes contidos no material inserido no *litter bags* tornam-se disponíveis, sendo considerada alta quando os valores de  $k$  são acima de 1,0 (WARING; SCHLESINGER, 1985; GRUGIKI et al., 2017). Olson (1963) corrobora com essa discussão afirmando que valores de  $k$  maiores que 1,0 geralmente são observados comumente em florestas tropicais, enquanto valores menores que 1,0 indicam um retorno superior a 1 ano dos nutrientes, podendo durar até décadas. Segundo Ramos et al. (2018), materiais que apresentam uma taxa de decomposição mais lenta resultam em uma menor eficiência na liberação dos nutrientes do material orgânico, por outro lado, a lenta decomposição pode ser um fator positivo uma vez que a permanência dos resíduos orgânicos na superfície do solo atuam na proteção destes por um maior período de tempo, quando comparado à materiais de rápida decomposição, favorecendo assim a biodiversidade edáfica e, conseqüentemente, as interações solo-fauna edáfica.

## **5.2 Decomposição da serapilheira pela técnica de *Tea bags***

Os valores para a taxa de decomposição foram obtidos considerando as massas remanescentes dos conjuntos de pares de chás (chá verde-chá *rooibos*) (Tabela 3). Observou-se um comportamento semelhante em ambas as áreas do experimento para a perda de massa, em que a maior perda foi para os pares de chá verde, *rooibos* e sene, respectivamente (Fig. 6 e 7), comportamento esperado conforme Keuskmap et al. (2013), devido ao chá verde ser composto por material exclusivamente foliar, e o *rooibos* por frações



lignificadas. Esse comportamento é considerado padrão entre outros trabalhos que usaram a metodologia de *tea bags* pois durante a escala de tempo (90 dias), a perda de massa no estágio inicial (0% a 40%) é caracterizada pela lixiviação de compostos solúveis e facilidade de decompor compostos lábeis, o que pode explicar a maior degradação registrada no chá verde (DJUKIC et al., 2018). Por outro lado, o estágio tardio (40 a 100%) consiste na degradação de partes da planta com maior percentual de lignina (DJUKIC et al., 2018), que é o caso da composição dos *rooibos*. Conforme GUALDI (2019), existe a possibilidade de tais resultados poderem diferir em experimentos mais longos (>90 dias), devido aos compostos das frações recalcitrantes apresentarem um comportamento mais prolongado para sua decomposição.

Tabela 3. Taxa de decomposição ( $k$ ), tempo de meia-vida ( $t_{1/2}$ ) e estabilização ( $S$ ) e pelo método de *tea bags*

Parâmetros	Áreas de estudo	
	CEAGRI II	Florestal
$P_0$ (g)	2	2
$K$	0,004	0,008
$t_{1/2}$	158,14	84,3
$\bar{x}_{ag}$	0,774	0,724
$\bar{x}_S$	0,081	0,081
$\bar{x}_{ar}$	0,507	0,475

Fonte: Autora (2023).

Em que:  $P_0$  = massa inicial;  $k$  = constante de decomposição;  $t_{1/2}$  = tempo de meia-vida da serrapilheira;  $\bar{x}_{ag}$  = média da fração lábil do chá verde;  $\bar{x}_S$  = média dos fatores de estabilização;  $\bar{x}_{ar}$  = média da fração lábil do chá vermelho.

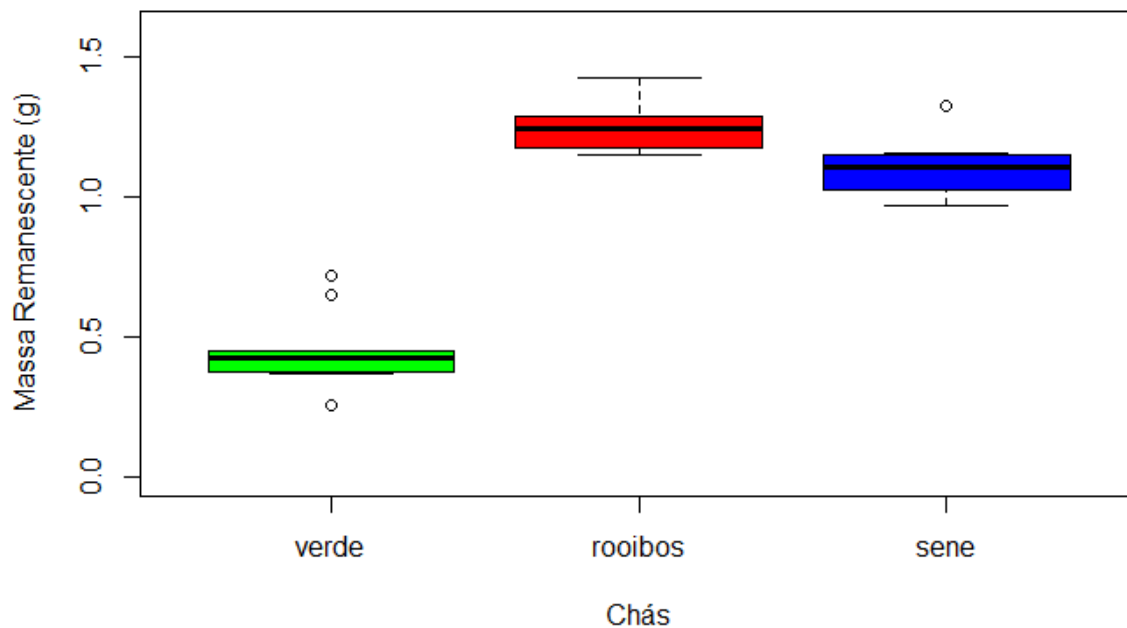


Figura 6. Massa remanescente para os chás verde (*Camellia sinensis* (L.) Kuntze), roibos (*Aspalathus linearis* (Burm.f.) R.Dahlgren) e sene (*S. alexandrina* Mill.) usados na metodologia de *tea bags* para área de CEAGRI II.

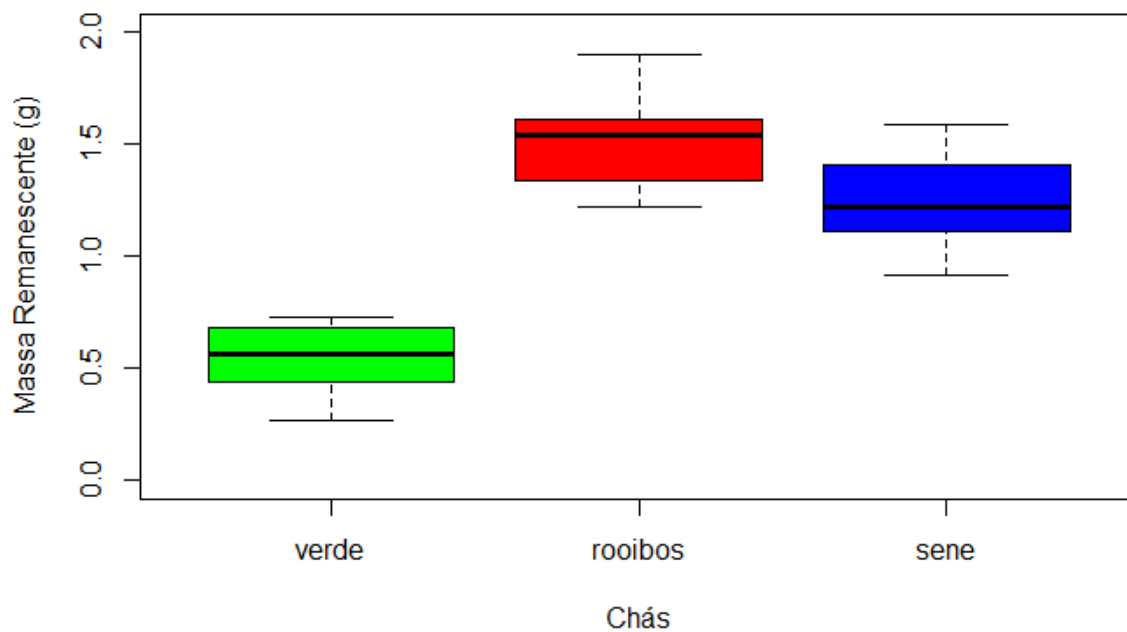


Figura 7. Massa remanescente para os chás verde (*Camellia sinensis* (L.) Kuntze), roibos (*Aspalathus linearis* (Burm.f.) R.Dahlgren) e sene (*S. alexandrina* Mill.) usados na metodologia de *tea bags* para área do Viveiro Florestal da UFRPE.

É possível observar que os chás rooibos e sene possuem comportamento semelhante quanto a perda de massa (Fig. 6 e 7), pois ambos são compostos por um material lignificado ou recalcitrante, portanto, a taxa de decomposição é mais lenta que a do chá verde. Assim, o chá de sene pode ser uma alternativa para a substituição do chá de *rooibos* na metodologia *tea bag*. Para isso, são necessários mais estudos, principalmente a obtenção da fração hidrolisável desse material, fração máxima que pode ser decomposta.

Os valores de  $k$  obtidos neste estudo, considerando os pares chá-verde e chá-*rooibos*, foram semelhantes ao encontrados por Soares (2019) utilizando a mesma metodologia (TBI), com valores de  $k$  de 0,004 para área de pastagem. Entretanto, os valores de  $S$  para este estudo foram inferiores comparados ao trabalho do mesmo autor no estado de São Paulo, onde foram obtidos valores de  $S$  para as vegetações de 0,224. Isto pode ser justificado devido à composição do chá que foi utilizado neste estudo, assim como das características edáficas do solo que, embora também sejam áreas de pastagem, diferem das características dos solos e condições climáticas do estado de São Paulo.

Em seu trabalho, Keuskamp et al. (2013) fornecem valores padrões (médios) da fração hidrolisável esperada para chá verde ( $Hg$ ) e fração hidrolisável esperada do *rooibos* ( $Hr$ ) (0,842 g g<sup>-1</sup> e 0,552 g g<sup>-1</sup>, respectivamente). Entretanto, para este estudo, estes valores padrões estabelecidos não permitiram calcular o valor de  $k$  para algumas amostras, devido a uma alta taxa de decomposição do chá verde, consequentemente, apresentando valores de  $S$  negativos para ambas as áreas. Segundo Berg; Meentemeyer (2002), o fator de estabilização varia de acordo com as condições ambientais do local. Neste sentido, torna-se necessário a elaboração de valores padrões que possam se adequar às condições edafoclimáticas do local, uma vez que as variáveis climáticas e dos solos variam de acordo com as regiões globais. Outro aspecto que deve ser observado está relacionado às condições climáticas em que as espécies de chá (verde e *rooibos*) são cultivadas, uma vez que as variações ambientais e manejo podem influir na composição química da cultura e, consequentemente, influir na velocidade de decomposição desta.

Os resultados obtidos utilizando a metodologia de *Tea Bags Index* através da escolha dos materiais utilizados atrelado a velocidade de decomposição tiveram o comportamento esperado das frações lábil e recalcitrante. Entretanto, eles diferem-se das taxas de decomposição pela metodologia de *litter bags*. Isto porque é-se necessário a elaboração de novos estudos, que estabeleçam novos valores da fração hidrolisável do material usado para outros locais.

Soares (2019) utilizando a metodologia de *Tea Bags Index* (TBI) em uma floresta ripária restaurada de 5 anos de idade em relação a uma área degradada e um remanescente de floresta ripária, avaliaram a biodegradação dos saquinhos de chá em 3 tipos de vegetação (pastagem, restauro e mata) no mesmo gradiente de solo correlacionando os efeitos da estrutura da vegetação e da fertilidade do solo influenciando na decomposição da matéria orgânica. A autora (*ibidem*) utilizou o modelo de equações estruturais relacionando os atributos do solo, a estrutura da vegetação e a taxa de decomposição  $k$ , e obteve que 23% da variação na taxa de decomposição  $k$  foi explicada pelos atributos do solo e pela estrutura da vegetação, sendo os outros 77%, derivados de outros fatores não avaliados em seu estudo.

Analisando a influência do solo na decomposição da matéria orgânica utilizando a metodologia de TBI em áreas de cerrado e de florestas sazonais, Miatto; Batalha (2016) obtiveram apenas o efeito indireto do solo através das diferenças nas concentrações de nutrientes das folhas, entretanto, não obtiveram os valores de  $k$  pelo método. Outro estudo utilizando a metodologia padronizada de TBI foi o de Poeplau et al. (2018), no qual foi analisada a adição de diferentes doses de NPK em campos de gramíneas na degradação da matéria orgânica. Entretanto, os autores não encontraram efeitos significativos da adição das diferentes combinações de nutrientes nas taxas de decomposição.

A utilização da metodologia de *tea bags* para estimar a taxa de decomposição e usá-la como bioindicador da qualidade do solo pode ser uma alternativa. Esta metodologia é promissora pois é passível de ser replicada em diversas partes do mundo, o que contribuiria para a atualização dos dados já existentes acerca das taxas de decomposição em diferentes tipos de solo e condições edafoclimáticas. Entretanto, este trabalho orienta que seja feita a adaptação da metodologia para obtenção da fração hidrolisável do material de acordo com o material que for utilizado, pois a fração hidrolisável consiste na quantidade máxima que o material poderá se decompor, sendo este valor distinto em função das condições ambientais.

## 6. CONCLUSÃO

Com base nos resultados obtidos para este estudo, conclui-se que:

- A maior perda de massa pela técnica de *litter bags* foi verificada na área localizada no Viveiro Florestal da UFRPE em comparação à área localizada próximo ao CEAGRI II;
- A taxa de decomposição obtida pela técnica de *tea bags* não foi semelhante à obtida pela de *litter bags*;
- Para a técnica padronizada *tea bags* ser uma alternativa para obtenção da biodegradação e conhecimento da qualidade do solo, com um menor tempo (90 dias) e sem a necessidade de coletas periódicas, são necessários mais estudos para o ajuste da metodologia para diferentes condições;
- O chá de sene possui comportamento semelhante ao de rooibos quanto a perda de massa, podendo ser considerado uma alternativa desde que realizados novos estudos em relação à fração hidrolisável.

## 7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALVES, J. J. A.; DE ARAÚJO, M. A.; DO NASCIMENTO, S. S. Degradação da Caatinga: uma investigação ecogeográfica. **Revista Caatinga**, v. 22, n. 3, p. 126-135, 2009.

ANDERSON, J. D.; INGRAM, J. S. I. Tropical soil biology and fertility: A handbook of methods. 2nd ed. Wallingford: UK CAB International, 1996. 171 p

ANGELO J.A.; OLIVEIRA M.D.M.; GHOBRIEL C.N. Balança comercial dos agronegócios paulista e brasileiro de 2019. **IEA, Instituto de Economia Agrícola** [Internet]. 22 jan 2020. Disponível em: <http://www.iea.agricultura.sp.gov.br/out/TerTexto.php?codTexto=14751>. Acesso em: 19 de dezembro de 2022.

Agência Pernambucana de Águas e Clima - APAC. Boletim Pluviométrico Diário 22/03/2023. Disponível em: <https://www.apac.pe.gov.br/uploads/Boletim-Pluviometrico-22-03-2023.pdf>. Acesso: 31 de março de 2023.

ARATO, H. D.; MARTINS, S. V.; FERRARI, S. H. de S. Produção e decomposição de serapilheira em um sistema agroflorestal implantado para recuperação de área degradada em Viçosa-MG. **Revista Árvore**, v. 27, p. 715-721, 2003.

ASSIS, Éder Paulo Moraes et al. Efeito da aplicação de nitrogênio na atividade microbiana e na decomposição da palhada de sorgo em solo de cerrado sob plantio direto. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, p. 107-112, 2003.

AZEVEDO, F.P.; CONCEIÇÃO, A.S. (2017) The genus *Senna* Mill. (Leguminosae: Caesalpinioideae) in the Serra Geral of Licínio de Almeida, Bahia, Brazil. *Acta Sci Biol Sci* 39:95–112. <https://doi.org/10.4025/actascibiolsci.v39i1.32030>. Acesso em: 05 de maio de 2023.

BALIEIRO, F. de C. et al. Acúmulo de nutrientes na parte aérea, na serapilheira acumulada sobre o solo e decomposição de filódios de *Acacia mangium* Willd. **Ciência Florestal**, v. 14, p. 59-65, 2004.

BARBOSA, A. F.; RODRIGUES, G. G. Variação da Taxa de Decomposição Foliar de *Ocotea puberula* (Rich.) Nees ao longo da Bacia Hidrográfica Lajeado Grande, RS. **Revista Brasileira de Biociências**, Porto Alegre, v. 5, n. 1, p. 906-908, 2007.

BAEUMER, K. & BAKERMANS, W.A.P. Zero-tillage. *Adv Agron.*, New York, 25:77-121, 1973,

BRADY, N. C.; WEIL, R. R. (2016). The nature and properties of soils. 15th ed. Boston: Pearson.

BELLO, O. C. et al. Produção e decomposição de serapilheira em áreas de reflorestamento e floresta nativa no sul do Amazonas. **Ciência Florestal**, v. 32, p. 1854-1875, 2023.

BENEDEK, Z., FERTÖ, I. Does economic growth influence forestry trends? An environmental Kuznets curve approach based on a composite Forest Recovery Index. *Ecol Indic.* 2020 May;112:9, doi: <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2020.106067>.

BERG, B. Decomposition patters for foliar litter-a theory for influencing factors. *Soil Biology & Biochemistry*, Oxford, v. 78, p. 222-232, nov. 2014.

BONANOMI, G.; CESARANO, G.; GAGLIONE, S. A.; IPPOLITO, F.; SARKER, T.; RAO, M. A. Soil fertility promotes decomposition rate of nutrient poor, but not nutriente rich litter through nitrogen transfer. **Plant Soil**, Dordrecht, v. 412, n. 1-2, p. 397-411, oct. 2016.

BRADY, N. C. *Natureza e Propriedades dos Solos*. Ed. **Biblioteca Universitária Freitas Bastos**. 1983. 6a edição.

BRANDÃO, S. L.; LIMA, S. C. do. pH e condutividade elétrica em solução do solo, em áreas de pinus e cerrado na Chapada, em Uberlândia (MG). **Caminhos de Geografia**, v. 3, n. 6, p. 46-56, 2002.

CABREIRA, W. V. Fauna epígea associada à decomposição da serapilheira de espécies arbóreas nativas da Mata Atlântica. 2016.

CALVI, G. P.; PEREIRA, M. G.; ESPÍNDULA JÚNIOR, A. Produção de serapilheira e aporte de nutrientes em áreas de floresta atlântica em Santa Maria de Jetibá, ES. **Ciência Florestal**, v. 19, p. 131-138, 2009.

CARDOSO, J. C. Q. et al. Avaliação da taxa de decomposição de coberturas vegetais utilizadas em SPD, por meio de metodologia de regressão linear. 1º Encontro Internacional de Ciências Agrárias e Tecnológicas. 2016. DOI: <https://www.dracena.unesp.br/Home/Eventos/imast/007.pdf>. Acesso: 03 de outubro de 2022.

CARVALHO H.C.S.; FERREIRA J.L.S.; CALIL F.N.; SILVA-NETO C.D.M. Estoque de nutrientes na serapilheira acumulada em quatro tipos de vegetação no Cerrado em Goiás, Brasil. *Rev Ecol Nutr Forest - ENFLO*. 2019 May;7:e06, doi: 10.5902/2316980X37296

CARVALHO, J. C.; CARDOSO, P. Decomposing the causes for niche differentiation between species using hypervolumes. **Frontiers in Ecology and Evolution**, v. 8, p. 243, 2020.

CIANCIARUSO, M.V.; PIRES J.S.R.; DELITTI, W.B.C.; SILVA, E.F.L.P. Produção de serapilheira e decomposição do material foliar em um cerradão na Estação Ecológica de Jataí, município de Luiz Antônio, SP, Brasil. **Acta bot. Brás** 2006; 20(1): 49-59.

CHAGAS, V. H. G.; DIAS, E.J. dos R. ESTIMANDO TAXAS DE DECOMPOSIÇÃO E FATOR DE ESTABILIZAÇÃO DA LITEIRA NO PARQUE NACIONAL SERRA DE ITABAIANA USANDO O

MÉTODO TBI (TEA BAG INDEX).. In: Anais da VIII Semana da Biologia de Itabaiana. Anais...Itabaiana(SE) UFS, 2022. Disponível em: <  
[https://www.even3.com.br/anais/viii\\_sebita/529100-ESTIMANDO-TAXAS-DE-DECOMPOSICAO-E-FATOR-DE-ESTABILIZACAO-DA-LITEIRA-NO-PARQUE-NACIONAL-SERRA-DE-ITABAIANA-USANDO-](https://www.even3.com.br/anais/viii_sebita/529100-ESTIMANDO-TAXAS-DE-DECOMPOSICAO-E-FATOR-DE-ESTABILIZACAO-DA-LITEIRA-NO-PARQUE-NACIONAL-SERRA-DE-ITABAIANA-USANDO-) >.  
Acesso em: 16/03/2023.

COSTA, C.C.A.; CAMACHO, R. G. V.; MACEDO, I. D.; SILVA, P. C. M. Análise comparativa da produção de serrapilheira em fragmentos arbóreos e arbustivos em área de caatinga na Flona de Açú - RN. *Revista Árvore*, n.34, v.2, p.259-265, 2010.

COSTA, E.; SILVA, H.; RIBEIRO, P. R. Matéria orgânica do solo e o seu papel na manutenção e produtividade dos sistemas agrícolas. *Enciclopédia biosfera*, v. 9, n. 17, 2013.

COSTA, N. R. et al. Acúmulo de macronutrientes e decomposição da palhada de braquiárias em razão da adubação nitrogenada durante e após o consórcio com a cultura do milho. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v. 38, p. 1223-1233, 2014.

COSTA, T. A. Estimativa da umidade do solo na região semiárida do Brasil pelo método do triângulo universal. Tese (doutorado em sensoriamento remoto). Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais - INPE, São José dos Campos, 2017.

DELITTI, W. B. C. Estudos de ciclagem de nutrientes: instrumentos para a análise funcional de ecossistemas terrestres. *Oecologia Brasiliensis*, 1995.

DONAGEMMA, G.K.. et al. **Manual de métodos de análise de solos**. 2. ed. Rio de Janeiro. Embrapa Solos, 2011.

DORAN, J. W.; PARKIN, T. B. Defining and assessing soil quality. In: DORAN, D. C.; COLEMAN, D. F.; BEZDICEK, B. A.; STEWART, B. A. (Ed.). *Defining soil quality for a sustainable environment*. Madison: **Soil Science Society of America**. p. 3-22. (SSSA Special Publication, 35), 1994.

DUDDIGAN, S., SHAW, L. J., ALEXANDER, P. D., & COLLINS, C. D. (2020). Chemical underpinning of the tea bag index: an examination of the decomposition of tea leaves. *Applied and Environmental Soil Science*, 2020: 6085180

EBELING, A. G. et al. Relação entre acidez e outros atributos químicos em solos com teores elevados de matéria orgânica. *Bragantia*, v. 67, p. 429-439, 2008.

Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento - EMBRAPA. **Manual de métodos de análise de solo**. 3ª ed. Rio de Janeiro: Embrapa Solos. 2017.



ESCH, S. et al. Soil moisture index from ERS-SAR and its application to the analysis of spatial patterns in agricultural areas. *Journal of Applied Remote Sensing*, v. 12, n.2, id. 022206, Abr. 2018.

EWELL, J.J. 1976. Litter fall and leaf decomposition in a tropical forest succession in eastern Guatemala. *Journal of Ecology* 64:293-308

FERNANDES, M. M. et al. Aporte e decomposição de serapilheira em áreas de floresta secundária, plantio de sabiá (*Mimosa caesalpiniaefolia* Benth.) e andiroba (*Carapa guianensis* Aubl.) na Flona Mário Xavier, RJ. *Ciência Florestal*, Santa Maria, v. 16, n. 2, p. 163-175, 2006.

FERREIRA, L. M. B. et al. Synthesis and evaluation of the thermal behavior of flavonoids: Thermal decomposition of flavanone and 6-hydroxyflavanone. *Journal of Thermal Analysis and Calorimetry*, v. 127, p. 1605-1610, 2017.

FIGUEIREDO, A. F. **Avaliação da decomposição de plantas C3 e C4 em rios sob diferentes condições ambientais**. 2015. Tese de Doutorado. Universidade de São Paulo.

FOGEL, J. F. et al. Biomassa de tefrósia como fonte de adubo nitrogenado no cultivo do maracujazeiro em sistema orgânico de produção. 2021.

FONTES, M. P. F; Intemperismo de rochas e minerais.p.171-206.In: KER, João Carlos; CURI, Nilton; SCHAEFER, Carlos Ernesto G.R; TORRADO, Pablo Vidal. *Pedologia: Fundamentos*. Viçosa, MG, SBCS, 343p. 2012.

FOSTER, A.; ROBERTO, S. S.; IGARI, A. T. Economia circular e resíduos sólidos: uma revisão sistemática sobre a eficiência ambiental e econômica. **Encontro internacional sobre gestão empresarial e meio ambiente, São Paulo**, 2016.

FREIRE, J. de L. et al. Decomposição de serrapilheira em bosque de sabiá na Zona da Mata de Pernambuco. **Revista brasileira de Zootecnia**, v. 39, p. 1659-1665, 2010.

GABARDO, R. A. et al. **Influência da relação C: N: P no desempenho de reatores tipo UASB**. 2016. Dissertação de Mestrado. Universidade Tecnológica Federal do Paraná.

GAMA-RODRIGUES, A. C.; GAMA-RODRIGUES, E. F.; BARROS, N. F. Balanço de carbono e nutrientes em plantio puro e misto de espécies florestais nativas no sudeste da Bahia. **Revista Brasileira de Ciências do Solo**, Viçosa, MG, v. 32, n. 3, 2008.

GARCÍA-PALACIOS, P. et al. Climate and litter quality differently modulate the effects of soil fauna on litter decomposition across biomes. **Ecology letters**, v. 16, n. 8, p. 1045-1053, 2013.

GRUGIKI, M. A. et al. Decomposição e atividade microbiana da serapilheira em coberturas florestais no sul do Espírito Santo. **Floresta e Ambiente**, v. 24, 2017.

GUALDI, B. L. **Utilização do método Tea Bag Index na biodegradação em solos submetidos a diferentes tipos de uso em Campo Mourão, Paraná**. 2019. Trabalho de Conclusão de Curso. Universidade Tecnológica Federal do Paraná.

GUARIZ, H. R. et al. Variação da umidade e da densidade do solo sob diferentes coberturas vegetais. **Cadernos de Agroecologia**, v. 4, n. 1, 2009.

GUILHOTO, J. J. M.; LOPES, R. L.; MOTTA, R. S. da. Impactos ambientais e regionais de cenários de crescimento da economia brasileira-2002-2012. 2002.

GUO Y.; CHEN H.Y.H.; MALLIK A.U.; WANG B.; LI D.; XIANG W.; et al. Predominance of abiotic drivers in the relationship between species diversity and litterfall production in a tropical karst seasonal rainforest. For Ecol Manage. 2019;449:117452, doi: 10.1016/j.foreco.2019.117452

HAAG, W. R.; HOIGNÉ, J. Photo-sensitized oxidation in natural water via. OH radicals. **Chemosphere**, v. 14, n. 11-12, p. 1659-1671, 1985.

HINSINGER, P.; PLASSARD, C.; TANG, C. & JAILLARD, B. Origins of root-induced pH changes in the rhizosphere and their responses to environmental constraints: A review. *Plant Soil*, 248:43-59, 2003.

IBRAM, Instituto Brasileiro de Mineração. Presidente do IBRAM avalia 2019 e fala sobre perspectivas para 2020 [Internet]. 20 dez 2019 [citado em 1 jan 2020]. Disponível em: <https://ibram.org.br/noticia/presidente-do-ibram-avalia-2019-e-fala-sobre-perspectivas-para-2020/>

INMET. Instituto Nacional de Meteorologia. Normais Climatológicas do Brasil 1981- 2010. Brasília, 2018. Disponível em: <<http://www.inmet.gov.br/portal/index.php?r=clima/normaisClimatologicas>> . Acesso em: 18 de agosto de 2022.

IPEA, Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada. PIB Agropecuário deve crescer 0,5% em 2019 e 2% em 2020 [Internet]. 20 ago 2019 [citado em 12 dez 2020]. Disponível em: [https://www.ipea.gov.br/portal/index.php?option=com\\_content&view=article&id=34980](https://www.ipea.gov.br/portal/index.php?option=com_content&view=article&id=34980)

JAT, M. L., LAL, R., & MEENA, R. S. Decomposition of crop residues and their residue quality as affected by soil types. In *Soil Health and Sustainability* (pp. 37-46). Springer, Cham. (2019).

KARBERG, N. J., SCOTT, N. A., & GIARDINA, C. P. Methods for estimating litter decomposition. In: Field measurements for forest carbon monitoring. Springer, Dordrecht, 2008. p. 103-111.

KEUSKAMP, J. A. et al. Tea Bag Index: A novel approach to collect uniform decomposition data across ecosystems. **Methods in Ecology and Evolution**, London, v. 4, n. 11, p. 1070–1075, nov. 2013.

KOEHLER, C. W. **Variação estacional da deposição de serapilheira e de nutrientes em povoamentos de Pinus taeda na região de Ponta Grossa-PR**. 1989.

LAL, R. Soil quality and agricultural sustainability. In *Advances in agronomy* (Vol. 92, pp. 1-40). Academic Press. (2007).

LAZÁRO, E. P. P. Metabolismo Secundário. Disponível em: <http://www2.ufpel.edu.br/biotecnologia/gbiotec/site/content/paginadoprofessor/uploadsprofessor/ce5449dfcf0e02f741a5af86c3c5ae9a.pdf?PHPSESSID=e32d8df36f08f86ef80010a253f33762#:~:text=Existem%20tr%C3%AAs%20grandes%20grupos%20de.compostos%20fen%C3%B3licos%20e%20alcal%C3%B3ides%20>(Fig.. Acesso em: 05 de maio de 2023.

LETEY, J. Relationship between soil physical conditions and crop production. In: STEWART, B.A. (ed.). *Adv. Soil Sci. New York, Spring-Verlag*, 1985. p.277-293

LILIENFEIN, J. et al (2000) E Soil Acidification in Pinus Caribaea Forests on Brazilian Savanna Oxisols. In: *Water and Nutrient Dynamics in Differently Used Ecosystems of the Brazilian Savanna*, Bayreuther 2000, pg. 99 - 116.

LIMA, R. P. et al. Aporte e decomposição da serapilheira na Caatinga no Sul do Piauí. **Floresta e Ambiente**, v. 22, p. 42-49, 2015.

LYNCH, J.M. **Biologia do Solo**. São Paulo: Malone, 1986.

MACDONALD, E. et al. Using the Tea Bag Index to characterize decomposition rates in restored peatlands. **Boreal Environment Research**, 2018.

MACHADO, M. R.; RODRIGUES, F. C. M. P.; PEREIRA, M. G. Produção de serapilheira como bioindicador de recuperação em plantio adensado de revegetação. *Revista Árvore*, Viçosa, MG, v. 32, p. 143-151, 2008.

MARQUES, T. C. L. L. S. M.VASCONCELOS, C. A.; PEREIRA FILHO, I. et al. Envolvimento de dióxido de carbono e mineralização de nitrogênio em latossolo vermelho-escuro com diferentes manejos. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 35, n.3, p. 581-589, 2000.

McGARRY, D.; BRIDG, B.J.; RADFORD, B.J. Contrasting soil physical properties after zero and traditional tillage of an alluvial soil in the semi-arid tropics. **Soil & Tillage Research**, v.53, p.105- 115, 2000.

MEDEIROS, R.M.; HOLANDA, R.M.; VIANA, M. A.; SILVA, V.P., 2018. Climate classification in Köppen model for the state of Pernambuco - Brazil. *Revista de Geografia (Recife)*, v.35, p.219 – 234. Acesso em: 28 de agosto de 2022. Disponível em: <<https://periodicos.ufpe.br/revistas/revistageografia/article/viewFile/229388/30005>>

METCALF, & EDDY. (2003). *Wastewater Engineering, Treatment and reuse* (4<sup>a</sup> ed.). Boston: McGraw-Hill.

MORAES, R. M. Ciclagem de nutrientes na floresta do PEFI: produção e decomposição da serapilheira. **Parque Estadual das Fontes do Ipiranga, unidade de conservação que resiste à urbanização de São Paulo.**(D. Bicudo, M. Forti & C. Bicudo, eds). *Secretaria de Estado do Meio Ambiente, São Paulo*, p. 133-142, 2002.

MOREIRA, P. R.; SILVA, O. A. Produção de serapilheira em área reflorestada. *Revista Árvore*, Viçosa, MG, v. 28, n. 1, p. 49-59, 2004

NAIMAN, R. J. et al. Catchments and the physical template. **Riparia: ecology, conservation, and management of streamside communities**, p. 19-48, 2005.

NEVES, E. J. M. et al. Deposição de serapilheira e de nutrientes de duas espécies da Amazônia. *Boletim de Pesquisa Florestal*, Colombo, n. 43, p. 47-60, 2001.

OLSON, J. S. Energy storage and the balance of producers and decomposers in ecological systems. *Ecology*, [s.l.], v. 44, n. 2, p. 322-330, 1963.

PARIZ, C. M. et al. Tempo de decomposição de massa seca de espécies forrageiras em função de épocas de semeadura no cerrado. **FERTBIO**, 2008.

POGGIANI, F.; STAPE, J. L.; GONÇALVES, J. L. Indicadores de sustentabilidade das plantações florestais. *Série técnica IPEF*, Piracicaba, v. 12, n. 31, p. 33-44, 1998.

POGGIANI, F. SCHUMACHER M.V. Ciclagem de nutrientes em florestas nativas. In: Gonçalves JLM, Benedetti V, editores. *Nutrição e fertilização florestal*. Piracicaba: IPEF; 2000.

POLUNIN, N. V. C. The decomposition of emergent macrophytes in fresh water. **Advances in Ecological Research**, San Diego, v. 14, p. 115-166, 1984.

QUEIROZ M.G.; DA SILVA T.G.F.; ZOLNIER S.; DE SOUZA C.A.A.; DE SOUZA L.S.B.; NETO S.; et al. Seasonal patterns of deposition litterfall in a seasonal dry tropical forest. *Agric For Meteorol.* 2019;279:107712, doi: 10.1016/j.agrformet.2019.107712

RAMOS, D. D. et al. Decomposição de Diferentes Espécies de Leguminosas. **Cadernos de Agroecologia**, v. 13, n. 2, p. 1-8, 2018.

RANI V.; SREELEKSHMI S.; PREETHY C.M.; BIJOYNANDAN S. Phenology and litterfall dynamics structuring Ecosystem productivity in a tropical mangrove stand on South West coast of India. *Reg Stu Mar Sci.* 2016;8:400-7, doi: 10.1016/j.rsma.2016.02.008

REINERT, D. J. et al. Qualidade física dos solos. **Reunião Brasileira de Manejo e Conservação do Solo e da Água**, v. 16, 2006.

REZENDE, C. d 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, n. 2, p. 99-112, 1999.

RIBASKI, J. et al. Sistemas silvipastoris: estratégias para o desenvolvimento rural sustentável para a metade Sul do Estado do Rio Grande do Sul. 2005.

RIBEIRO JÚNIOR, J. I.; MELO, A. L. P. Guia prático para utilização do SAEG. Viçosa: Editora Independente. 2009. 287p.

ROSSI, C. Q. et al. Decomposição e liberação de nutrientes da palhada de braquiária, sorgo e soja em áreas de plantio direto no cerrado goiano. 2013.

RStudio, R Development Core Team. 2022. A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. URL: <http://www.R-project.org/>.

SASAKI, M.; NISHIDA, N.; SHIMADA, M. A beneficial role of rooibos in diabetes mellitus: A systematic review and meta-analysis. *Molecules*, Basel, Switzerland v. 23, n. 4, p. 1–15, 2018. DOI: 10.3390/molecules23040839. Disponível em: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC6017582/>. Acesso: 04 de maio de 2023.

SCHLITTLER, F.H.M., MARINIS, G. & CÉSAR, O. 1993. Produção de serapilheira na floresta do Morro do Diabo, Pontal do Paranapanema – SP. *Naturalia* 18:135-147

SCHUMACHER, M. V. **Aspectos da ciclagem de nutrientes e do microclima em talhões de Eucalyptus camaldulensis Dehnh Eucalyptus grandis Hill ex Maiden e Eucalyptus torelliana F. Muell.** 1992. Tese de Doutorado. Universidade de São Paulo.

SCHUMACHER, M. V. et al. Produção de serapilheira em uma floresta de *Araucaria angustifolia* (Bertol.) Kuntze no município de Pinhal Grande-RS. **Revista Árvore**, v. 28, p. 29-37, 2004.

SCABORA, M. H. et al. (2021). Soil organic matter decomposition in coffee plantations: Influence of soil management and landscape position. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 314, 107402.

SCORIZA, R. N. et al. Indicadores ambientais na interface solo-serapilheira e suas interações em fragmentos de Floresta Atlântica. 2012.

SCORIZA, R. N. et al. Métodos para coleta e análise de serrapilheira aplicados à ciclagem de nutrientes. **Série Técnica Floresta e Ambiente**, v. 2, p. 1-18, 2017.

SILVA, A.P.; KAY, B.D. & PERFECT, E. Characterization of the least limiting water range of soils. **Soil Sci. Soc. Am. J.**, 58:1775-1781, 1994.

SILVA, J. et al. Análise espacial da densidade, umidade e resistência mecânica do solo à penetração sob sistemas de cultivo. **Engenharia Ambiental: Pesquisa e Tecnologia**, v. 6, n. 3, 2009.

SILVA, A.G. da; GONÇALVES, M.A. M.; REIS, E. F. dos. Decomposição e teor de nutrientes da serapilheira foliar em um fragmento de Floresta Atlântica no sul do estado do Espírito Santo. **Revista Ecologia e Nutrição Florestal-ENFLO**, v. 1, n. 2, p. 63-71, 2013.

SILVA, H. F.; BARRETO, P. A. B.; SOUSA, G. T. O.; AZEVEDO, G. B.; GAMA-RODRIGUES, E. F.; OLIVEIRA, F. G. R. B. Decomposição de serapilheira foliar em três sistemas florestais no Sudoeste da Bahia. **Revista Brasileira de Biociências**, Porto Alegre, v. 12, n. 3, p. 164, 2014.

SILVA, V. B. da et al. Decomposição e liberação de N, P e K de esterco bovino e de cama de frango isolados ou misturados. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 38, p. 1537-1546, 2014.

SILVA, B. A.; SANTOS, Wanclei Felipe Vieira dos; SILVA, Wellington dos Santos. Estrutura e planejamento viveiro florestal: implantação de um sistema de controle. 2019.

SINSABAUGH, R. L. et al. Scaling microbial biomass, metabolism and resource supply. **Biogeochemistry**, v. 122, p. 175-190, 2015.

SOARES, M. T. S.; FROUFE, L. C. M. Estimativa de ciclagem de nutrientes em ecossistemas florestais por meio da produção e decomposição de serapilheira. 2015.

SOARES, J. A. H.. Funções ecossistêmicas de florestas ripárias: análise das taxas de decomposição foliar em um gradiente de fertilidade de solo. 2019.

SONGWE, N.C., FASEHUN, F.E. & OKALI, D.U.U. 1988. Litterfall and productivity in a tropical rain forest, Southern Bankundu Forest, Cameroon. *Journal of Tropical Ecology* 4:25-37.

SOUTO, P. C. et al. Características químicas da serapilheira depositada em área de Caatinga. *Revista Caatinga*, Mossoró, v. 22, n. 1, p. 264-272, 2009.

SOUZA, E. D.; CARNEIRO, M. A. C.; PAULINO, H. B. Atributos físicos de um Neossolo Quartzarênico e um Latossolo Vermelho sob diferentes sistemas de manejo. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, Brasília, v. 40, n. 11, p. 1135-1139, 2005.

SOUZA, L. H. et al. Efeito do pH do solo rizosférico e não rizosférico de plantas de soja inoculadas com *Bradyrhizobium japonicum* na absorção de boro, cobre, ferro, manganês e zinco. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 34, p. 1641-1652, 2010.

TAIZ, L. & ZEIGER, E. **Fisiologia vegetal**. São Paulo, Artmed, 2004. 719p.

TAYLOR, B.R.; PARKINSON, D.; PARSONS, W.F.J. Nitrogen and lignin content as predictors of litter decay rates: a microcosm test. *Ecology*, v.70, n.1, p.97-104, 1989.

TEIXEIRA, M. B. et al. Decomposição e ciclagem de nutrientes dos resíduos de quatro plantas de cobertura do solo. *Idesia*, Chile, v. 30, n. 1, p. 55-64, 2012.

TERROR, V. L.; SOUSA, H. C. de; KOZOVITS, A. R. Produção, decomposição e qualidade nutricional da serapilheira foliar em uma floresta paludosa de altitude. **Acta Botanica Brasilica**, v. 25, p. 113-121, 2011.

TIMM, L.C. et al. Field spatial and temporal patterns of soil water content and bulk density changes. **Sci. agric.** 2006, vol. 63, n.1, p.55-64.

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

TOLEDO, L. de O. et al. Aporte de serrapilheira, fauna edáfica e taxa de decomposição em áreas de floresta secundária no município de Pinheiral, RJ. 2003.

TORMENA, C. A.; SILVA, A. P.; LIBARDI, P. L. Características físicas do solo: conceitos e aplicações. 2ª ed. São Paulo: Associação Brasileira de Ciência do Solo (ABCS). 2018.

TÓTOLA, M.R. & CHAER, G.M. Microorganismos e processos microbiológicos como indicadores da qualidade dos solos. In: CURI, N.; MARQUES, J.J.; GUILHERME, L.R.G.; LIMA, J.M.; LOPES, A.S.S. & ALVAREZ V., V.H., eds. Tópicos em ciência do solo. Viçosa, MG, **Sociedade Brasileira de Ciência do Solo**, 2002. v.2. p.195-276.

TRESCH, S; FLIESSBACH, A. Decomposition study using tea bags. **FertilCrop Technical Note**. 2017. DOI: [www.fertilcrop.net](http://www.fertilcrop.net). Acesso: 01/10/2022.

VALENTE, B. S., XAVIER, E. G., MORSELLI, T. B. G. A., JAHNKE, D. S., BRUM Jr, B. S., CABRESA, B. R., MORAES, P. O., LOPES, D. C. N. Fatores que afetam o desenvolvimento da compostagem de resíduos orgânicos. **Archivos de zootecnia**, vol. 58 (R), p. 59-85. 2009.

WARING, R.H.; SCHLESINGER, W.H. Decomposition and forest soil development. In: Waring RH, Schlesinger WH. **Forest ecosystems: concept and management**. New York: **Academic Press**; 1985. p. 340-365.