



TAXAS DE DECOMPOSIÇÃO E FATOR DE ESTABILIZAÇÃO DA LITEIRA FINA EM GRADES PPBio USANDO O TEA BAG INDEX (TBI)

DECOMPOSITION RATES AND FINE LITTER STABILIZATION FACTOR IN PPBio GRIDS USING TEA BAG INDEX (TBI)

Jafet Vieira da Silva¹, Arthur Camurça Citó², Marcos José Salgado Vital¹
& Reinaldo Imbrozio Barbosa³

Resumo:

Estudos sobre as taxas de decomposição da liteira são necessários para o entendimento do funcionamento dos ecossistemas. A falta de uniformização dos métodos tradicionais afeta nossa percepção agregada de como as condicionantes ambientais determinam as taxas de decomposição em diferentes ecossistemas. Investigações dessa natureza compõem o arcabouço de informações necessárias para modelar fluxos e estoques de carbono derivados da necromassa florestal – um tema diretamente relacionado ao papel dos ecossistemas tropicais na mitigação do aquecimento global. O objetivo deste documento é o de apresentar um protocolo padronizado para estimar taxa de decomposição e fator de estabilização da liteira fina ajustado às parcelas permanentes que utilizam o sistema RAPELD de amostragem nas grades e módulos de pesquisa do Programa de Pesquisa em Biodiversidade – PPBio. O protocolo é baseado na aplicação do método TBI (Tea Bag Index) – uma configuração de passos para rápida aquisição de dados de campo que pode facilmente ser adotado como referência para estudos que buscam determinar a influência das condicionantes ambientais sobre as taxas de decomposição e estabilização de diferentes formações ecossistêmicas.

Palavras-chave: Carbono. Necromassa. Condicionantes ambientais. Amazônia.

¹ Programa de Pós-Graduação em em Recursos Naturais (PRONAT), Universidade Federal de Roraima, Boa Vista, RR, Brasil.

² Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia – Núcleo de Roraima (INPA/NAPRR), Boa Vista, RR, Brasil.



Abstract:.

Studies on litter decomposition rates are necessary to understand how ecosystems function. The lack of standardization of traditional methods affects our aggregate perception of how environmental conditions determine decomposition rates in different ecosystems. Investigations of this nature form the framework of information needed to model carbon fluxes and stocks derived from forest necromass - a topic directly related to the role of tropical ecosystems in the global warming mitigating. The objective of this document is to present a standardized protocol to estimate the decomposition rate and stabilization factor of fine litter adjusted to the permanent plots that use the RAPELD sampling system in the grids and research modules of the Biodiversity Research Program – PPBio. The protocol is based on the application of the TBI (Tea Bag Index) method – a configuration of steps for rapid acquisition of field data that can easily be adopted as a reference for studies that seek to determine the influence of environmental conditions on the decomposition and stabilization rates of different ecosystem formations.

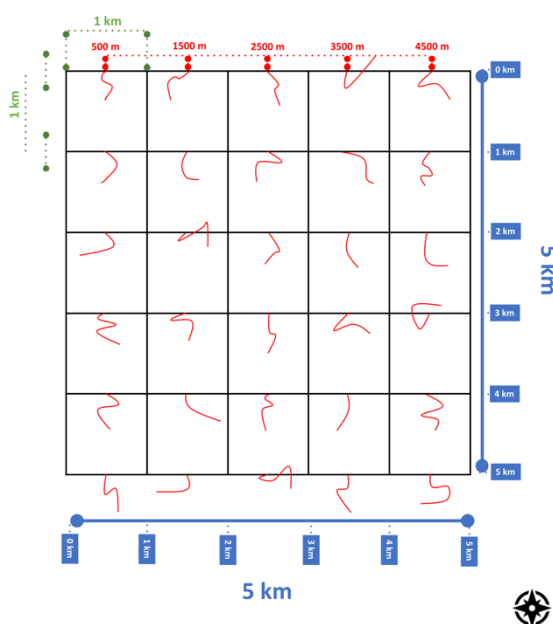
Keywords: Carbon. Necromass. Environmental factors. Amazonia.

³ Programa de Pós-graduação em Recursos Naturais e Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia - INPA/Núcleo de Roraima. R. Cel. Pinto, 315 - Centro, CEP 69301-150, Boa Vista - RR, Brasil. E-mail: reinaldo@inpa.gov.br / imbrozio@gmail.com

O que é o RAPELD?

O RAPELD é um sistema padronizado de infraestrutura de campo voltado ao monitoramento integrado da biodiversidade e de processos ecossistêmicos. Ele combina padronização e flexibilidade, permitindo sua aplicação em diferentes ecossistemas. Seu objetivo é atender à demanda por **levantamentos rápidos de biodiversidade (RAP)** e por uma metodologia padrão para **pesquisas ecológicas de longa duração (PELD)**. A infraestrutura consiste em grades (*grids*) ou módulos de pesquisa com trilhas principais de 5 km e parcelas uniformemente distribuídas de 250 metros, instaladas a cada 1 km. Em áreas com cursos d'água, incluem-se parcelas ripárias (250 metros) e aquáticas (50 metros), complementando a amostragem em ambientes específicos. Essa disposição maximiza a representatividade de diferentes grupos taxonômicos e variações ambientais, sendo facilmente replicável em outras localidades, o que permite comparações em diversas escalas espaciais e temporais. Além disso, favorece a integração de dados ecológicos e informações sobre uso sustentável de recursos, sendo amplamente aplicado no Brasil para subsidiar políticas de manejo ambiental.

Grid de amostragem com as trilhas principais de 5 km e parcelas dispostas a cada 1 km



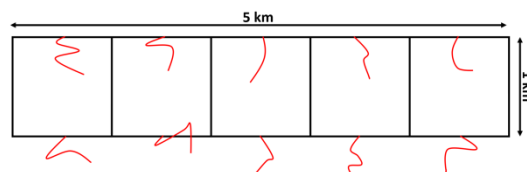
As **parcelas uniformemente distribuídas** são transectos de 250 metros de comprimento posicionados ao longo de curvas de nível, com larguras ajustadas conforme o grupo taxonômico ou variável estudada. Essa disposição minimiza os efeitos da topografia sobre as condições ambientais dentro das parcelas, garantindo que as variações sejam registradas entre parcelas, e não dentro delas, já que cada parcela é a unidade amostral central na maioria dos estudos. Piquetes são instalados a cada 10 metros e conectados por uma linha central marcada com barbante plástico ou fitilho, facilitando a aplicação dos protocolos metodológicos. À esquerda da linha central, localiza-se a **zona sensível**, uma faixa de 1,5 metros dedicada a estudos de

regeneração florestal, onde o trânsito de pesquisadores é restrito para evitar pisoteio. À direita, há um **corredor de deslocamento** de 1 metro de largura que permite a movimentação dos pesquisadores.



As **parcelas ripárias** estão localizadas às margens de pequenos cursos d'água, também com 250 metros de comprimento. Cada parcela é demarcada ao longo da margem direita do curso d'água, seguindo em direção à nascente (montante), com piquetes a cada 10 metros. Elas sempre começam onde a trilha principal do grid ou módulo cruza o curso d'água

Módulo de amostragem com as trilhas principais de 5 km e parcelas dispostas a cada 1 km



As **parcelas aquáticas fixas** são posicionadas nos canais dos riachos, geralmente a 10 metros da trilha principal. Cada parcela mede 50 metros de comprimento, com piquetes nos pontos 0, 16, 32 e 50 metros, instalados próximos às margens para representar adequadamente o ambiente aquático.





1 INTRODUÇÃO

A decomposição é um processo majoritariamente biológico e extremamente importante para os ecossistemas tropicais, especialmente no que diz respeito à ciclagem de nutrientes e ao fluxo de carbono (Lavelle et al., 1993; Olson, 1963; Swift & Anderson, 1989). A liteira fina depositada sobre o solo é uma importante fonte de energia em ecossistemas tropicais, sendo disponibilizada por processos ecológicos determinados pelas condicionantes de cada ambiente (Barlow et al., 2007; Martius et al., 2004). Estudos sobre decomposição da liteira vem avançando e ampliando nosso entendimento sobre o efeito das condicionantes ambientais nas taxas de decomposição em diferentes ecossistemas (Bell et al., 2018; Harmon et al., 2009; Oliveira et al., 2019). Investigações dessa natureza compõem o arcabouço de informações necessárias para modelar fluxos e estoques de carbono derivados da necromassa florestal – um importante tema diretamente relacionado ao papel dos ecossistemas tropicais na mitigação do aquecimento global (Hiraishi et al., 2013; IPCC, 2003, 2006).

Diversos métodos podem ser utilizados para estimar as taxas de decomposição da liteira fina (Bernhard-Reversat, 1982; Cotrufo et al., 2010), porém, a falta de padronização tem causado dificuldades para replicabilidade e comparação de resultados entre ambientes, complicando sua aplicação em modelos globais. Para tentar suprir essa dificuldade, Keuskamp et al. (2013) propuseram o método TBI (Tea Bag Index - <http://www.teatime4science.org>) como uma alternativa de fornecimento de dados padronizados. A proposta do método é fornecer uma visão integrada do processo de decomposição dos principais componentes da liteira entre diferentes ecossistemas (Sarneel et al., 2024). O método TBI é baseado no uso de sacolas de chá (tea bags) comercialmente disponíveis, de fácil aquisição, padronizados pelo mesmo material vegetal e pela mesma malha envolvente. De forma geral, os tea bags são enterrados (incubados), e após determinado tempo, a massa não decomposta é mensurada, estimando-se tanto a taxa de decomposição quanto o fator de estabilização da liteira.

Algumas experiências no nível nacional já foram relatadas com sucesso (Silva, 2018; Souza e Brito et al., 2020), mas distintas formas de aplicação do método podem não formar uma base de dados sólida o suficiente para compor resultados robustos, padronizados e de fácil comparação. Neste contexto, o objetivo desse documento é o de



apresentar um protocolo padronizado para estimar taxa de decomposição e fator de estabilização da liteira fina ajustado às parcelas permanentes do sistema RAPELD instalado nas grades e módulos do PPBio, através da aplicação do método TBI (Keuskamp et al., 2013). O intuito é oportunizar a criação de uma base de dados sólida, padronizada e replicável, que possa ser referência na determinação da influência das condicionantes ambientais sobre a taxa de decomposição e o fator de estabilização de diferentes formações ecossistêmicas cobertas pelas grades e módulos do PPBio.

2 MATERIAL E MÉTODOS

2.1 Conceitos Básicos do Método

Decomposição da liteira fina constitui-se na ação degradadora sobre os mais variados componentes orgânicos (e.g., folhas e gravetos) depositados no solo de ecossistemas terrestres (e.g., florestas e savanas). A velocidade com que esse processo ocorre é denominada de **taxa de decomposição (k)**. Quanto maior o (k), mais dinâmica é a ciclagem de nutrientes e menos recalcitrante (menos resistente) é a matéria orgânica. O **fator de estabilização (S)** representa o momento pré-humificação da matéria orgânica, que é quando a relação C:N (Carbono:Nitrogênio) é baixa o suficiente para indicar o fim da decomposição. O fator de estabilização é um indicativo do momento em que os nutrientes ficarão disponíveis no solo para as plantas (Sollins et al., 2007), sendo um importante parâmetro para compreender tanto a ciclagem de nutrientes quanto os processos de sequestro de carbono. Um fator de estabilização (S) maior indica que o ecossistema possui maior aporte de matéria orgânica recalcitrante (mais resistente = maior relação C:N) e, por conseguinte, estabilidade de estoques de carbono no solo (Bessi, 2021). O método TBI estabelece plenamente a integração desses dois parâmetros.

2.2. Material

O método TBI utiliza dois distintos e padronizados chás comerciais da marca Lipton® Unilever: *green tea* (menos recalcitrante) e *rooibos tea* (mais recalcitrante). Atualmente existem dois tipos de material que envolvem as sacolas de chá e que se encontram disponíveis no mercado (náilon = versão 1.0 e polipropileno = versão 2.0) (Figura 1). Ambas as versões são formadas por sacolas na forma tetraédrica (arestas de 5 cm) com malha de 0,25 mm de abertura. As duas versões são compostas pelas mesmas

proporções de espécies vegetais, mas possuem códigos numéricos de produtos diferentes (EAN - *European Article Number*) por causa dos distintos tipos de materiais que envolvem as sacolas:

- (i) green tea: EAN 8722700055525 (versão 1.0) e EAN 8714100770542 (versão 2.0) - composto por folhas provenientes da espécie *Camellia sinensis* (Theaceae); consistindo em 89 % de *green tea* (chá verde);
- (ii) rooibos tea: EAN 8722700188438 (versão 1.0) e EAN 8722700188438 (versão 2.0) - composto por tecidos do caule da espécie *Aspalathus linearis* (Leguminosae); consistindo em 93 % de *rooibos tea*.

A correta identificação numérica (EAN) dos chás é importante porque evita a utilização de outros tipos que não estariam de acordo com o método. Além disso, o cálculo final da taxa de decomposição (k) e do fator de estabilização (S) da liteira depende da identificação do tipo de malha que envolve cada sacola de chá (versão 1.0 ou 2.0). Assim sendo, o responsável pelo estudo deve especificar claramente qual EAN foi utilizado para evitar incertezas relacionadas aos distintos tipos de malha.





Figura 1 – Sacolas de chá da marca Lipton utilizadas pelo Método TBI formatadas sob dois tipos de material: (A) Woven, nylon (náilon = versão 1.0) e (B) Non woven, polypropylene (polipropileno = versão 2.0). Fonte da imagem: site do projeto TBI (<http://www.teatime4science.org>).

2.3 Métodos

2.3.1 Protocolo proposto

O protocolo padrão mínimo para implantação do método TBI em parcelas do sistema RAPELD instalados em grades e módulos do PPBio, com o intuito de detecção de padrões associados a taxa de decomposição (k) e ao fator de estabilização (S), foi totalmente baseado em testes preliminares performados experimentalmente nas grades e módulos do Núcleo PPBio Amazônia Ocidental de Roraima (ver Material Suplementar). As ações de aplicação do método foram norteadas pelos princípios básicos e materiais listados acima, sendo descritas passo-a-passo no Quadro 1.

Quadro 1 – Ações metodológicas para detecção de padrões associados à taxa de decomposição (k) e ao fator de estabilização (S) através do Método TBI. Cada item mencionado representa a aplicação de uma etapa deste protocolo em uma unidade amostral (i.e. parcela) que utiliza o sistema RAPELD de amostragem.

Item	Ação metodológica
1	Aquisição das sacolas de chá: adquirir caixas de chá da marca Lipton dos tipos <i>Green</i> e <i>Rooibos</i> em função do número de unidades amostrais que serão utilizadas (verificar disponibilidade em http://www.teatime4science.org/method/availability-of-tea/). Cada caixa Lipton possui 20 unidades (sacolas). Os cálculos da quantidade de sacolas de chá que serão usadas por unidade amostral devem ser feitos sob essa referência. Nossa proposta é que em cada unidade amostral (250 m de comprimento) seja instalado no mínimo seis pares de sacolas de chá distantes 50 m (6 unidades de <i>green tea</i> associadas a 6 de <i>rooibos tea</i> = um par a cada 50 m = 6 subamostras / unidade amostral). A instalação de no mínimo seis pares de <i>tea bags</i> ao longo da unidade amostral aumenta as chances de obtenção de um valor médio para as taxas de k e S por amostra. Isso reduz as incertezas relacionadas a uma média derivada de um único par de <i>tea bags</i> , ou mesmo que unidades amostrais fiquem sem medidas devido a perdas por intensa fragmentação das sacolas por ação de meso e macrofauna do solo. Não há óbices quanto a um maior número de sacolas por subamostra. A escolha do uso da versão 1.0 ou 2.0 da malha que envolve os saquinhos deve ser uma opção realizada no momento da aquisição. É fortemente recomendado o uso de apenas uma versão da malha para evitar viés nos resultados.
2	Determinação do peso inicial das sacolas: antes da incubação das sacolas de chá nas parcelas, determinar o peso inicial (PI = peso seco inicial individual) de cada uma (<i>tea bag</i>). Usar balança eletrônica com precisão de 0.0001 g (0.001 g também é aceitável) (ver Figura S1-A). Esse nível de precisão é importante porque variações de peso (pré e pós incubação) podem ser imperceptíveis em alguns casos.



3	Identificação das unidades: após a determinação do PI, identificar as unidades de <i>tea bag</i> (código único) com marcador preto no lado branco da etiqueta que compõem cada sacola de chá (Figura S1-B).
4	Período adequado de instalação: segundo Keuskamp et al. (2013), o melhor período de instalação é o de “maior produtividade” do ecossistema. Nos testes realizados em Roraima (Silva, 2018), os <i>tea bags</i> foram incubados ao final do período chuvoso e início do período seco. Esse período foi considerado o de maior atividade biológica ao longo do ano nessa região da Amazônia porque o solo ainda está úmido e o fotoperíodo é mais extenso em relação a outras fases do ano (cf. Barbosa et al., 2012). Caso os responsáveis pela atividade de campo tenham perguntas específicas associadas aos distintos períodos do ano (e.g., chuva e seca), sugere-se o estabelecimento de novos critérios de incubação dos <i>tea bag</i> , visto que não será possível realizar comparações padronizadas com resultados obtidos em outras grades ou módulos a partir desse protocolo.
5	Incubação: cumprida as etapas anteriores, incubar (enterrar) os seis pares (seis sacolas de <i>green</i> e seis de <i>rooibos</i>) ao longo de cada unidade amostral. Cada par deve ser incubado à 8 cm de profundidade mantendo o seguinte padrão: o primeiro par deve ser instalado próximo do piquete 0 m (1 m de distância do piquete, fora do corredor central), o segundo no piquete de 50 m e assim, sucessivamente, a cada 50 m até o piquete 250 m. A distância entre as sacolas de chá <i>green</i> e <i>rooibos</i> incubadas deve ser de 20-25 cm (Figura 2). Aumentar o número de pares de <i>tea bag</i> por unidade amostral pode ser aconselhável em locais com intensa atividade de meso e macrofauna do solo. Desta forma, se houver disponibilidade de recursos financeiros, incubar mais pares de sacolas de chá <i>green</i> e <i>rooibos</i> em cada piquete de referência.
6	Distância de incubação: a distância entre as sacolas de chá <i>green</i> e <i>rooibos</i> incubadas em cada piquete deve permanecer entre 20-25 cm, mantendo as etiquetas visíveis acima do solo (Figura S4). Como as parcelas são permanentes e não devem sofrer alterações ambientais bruscas, nós estamos sugerindo o mínimo de remoção do folhicho ou, se essa remoção for necessária, que o folhicho seja novamente repostado sobre o local de incubação das sacolas de chá. Isso serve para garantir as condições micro-ambientais que caracterizam a superfície do solo em cada parcela.
7	Sinalização: após o procedimento anterior, marcar o local com um sinalizador colorido (e.g., bandeirola com fita colorida) para facilitar o retorno, atentando para as anotações em uma planilha de campo: data, código da parcela, tipo de malha das sacolas, fitofisionomia e condições experimentais do local.
8	Desincubação do material: o método original proposto por Keuskamp et al. (2013) preconiza que o recolhimento das sacolas deva ser feito em até 60 dias pós-incubação para regiões tropicais. Com base em nossos estudos preliminares realizados em Roraima (cf. Barbosa & Silva, 2019a, 2019b; Silva, 2018), nós estamos sugerindo que esse tempo seja padronizado por formação ecossistêmica (35-50 dias), com o intuito de evitar perdas excessivas das sacolas de chá (danos físicos) por longo tempo de incubação. Assim sendo, retirar as sacolas após 35 (florestas ombrófilas), 42 (florestas estacionais) ou 50 (savanas abertas) dias de incubação (Figura 4S -D), colocando-as em sacos de plástico para seguir até o laboratório.
9	Limpeza das sacolas: após a coleta do material conforme o item anterior, realizar a limpeza externa das sacolas no laboratório em até, no máximo 24 h após a coleta, retirando partículas de solo ou raízes aderidas às malhas envoltivas. Caso esse tempo não seja alcançado, resfriar as sacolas em refrigeradores (sem alcançar o congelamento), mantendo o processo de limpeza gradual. Finalizada a limpeza, secar



	as sacolas por 48 h a 70°C em estufa graduada. Não exceder essa temperatura sob pena de destruir a malha e descaracterizar o peso seco de cada sacola.
10	Avaliação da integridade: finalizadas a limpeza e a secagem, realizar uma avaliação da integridade física de cada sacola. Dados das sacolas íntegras (I) são totalmente aproveitados para cálculo de k e S. Sacolas rasgadas (R) indicam perda de material (total ou parcial) em campo e devem ser descartadas devido a impossibilidade de detectar o exato momento em que sofreu o dano. Sendo assim, não há chance de utilizá-las nos cálculos de k e S. As sacolas descartadas só podem ser aproveitadas, opcionalmente, nos cálculos de perda (%) de massa total (MacDonald et al., 2018; Seelen et al., 2019). Sacolas com pequenos furos (F), em geral provocados por raízes ou mesofauna, podem ser aproveitadas com parcimônia após rígida e cuidadosa avaliação do responsável pelo trabalho de laboratório. Contudo, nós sugerimos que elas também devam ser descartadas.
11	Remoção das etiquetas e repesagem das sacolas: após o procedimento anterior, remover a etiqueta das sacolas que serão aproveitadas, mantendo apenas o barbante agregado. Esse passo é derivado do protocolo original (Keuskamp et al., 2013), sendo importante devido ao tipo de cálculo adotado para k e S. Pesar cada uma das sacolas individualmente (PF = peso seco final individual sem as etiquetas).
12	Cálculos: embora a inserção dos valores individuais de PI e PF de cada par de sacolas (<i>green</i> e <i>rooibos</i>) incubada ao longo da parcela permanente possa ser aplicado às planilhas de cálculo padrão ofertadas pelo site do TBI, nós estamos sugerindo que se adote apenas a média de PI e PF obtida para cada uma das unidades amostrais (= média simples de todos os pares de sacolas íntegras - subamostras - derivadas de cada parcela). Esse procedimento vai de encontro ao desenho amostral do PPBio (uma parcela = uma unidade amostral) e fortalece os resultados porque aproveita todas as sacolas de chá sem problemas de integridade (<i>green</i> e <i>rooibos</i>), garantindo valores de k e S para todas as parcelas investigadas. A sequência de cálculos para estimar o fator de estabilização (S) e a taxa de decomposição (k) de cada parcela é definida por uma série de fórmulas matemáticas apresentadas por Keuskamp et al. (2013). Planilhas Excel com a sequência de cálculos podem ser facilmente obtidas em <i>Data submission for researchers NON-WOVEN BAGS</i> e <i>Data submission for researchers WOVEN BAGS</i> (http://www.teatime4science.org/publications/).

Esquema Conceitual

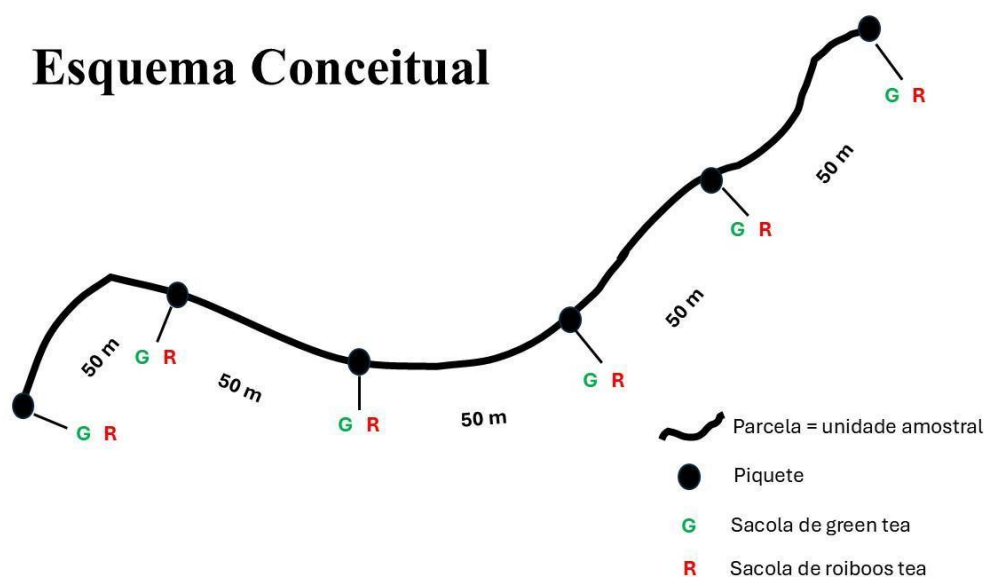


Figura 2 – Esquema conceitual da montagem do protocolo padrão mínimo para implantação do método TBI em parcelas permanentes do sistema RAPELD instaladas em grades e módulos do PPBio para detecção de padrões associados a taxa de decomposição (k) e ao fator de estabilização (S).

3 PERSPECTIVAS

A aplicação do método de forma padronizada possibilita a criação de um banco de dados com informações sobre as taxas de decomposição e fator de estabilização nos mais variados ecossistemas amostrados pelas grades e módulos RAPELD associados ao PPBio. Como o método TBI propicia rápida aquisição de dados de campo (poucas semanas), pode facilmente ser adotado como referência para estudos que buscam determinar a influência das condicionantes ambientais (e.g. solo, altitude, abertura do dossel, lençol freático) sobre as taxas de decomposição e do fator de estabilização em diferentes escalas regionais. Os resultados padronizados na macroescala podem ser aproveitados para comparações dos fluxos e estoques de carbono derivados do litter fino entre diferentes ecossistemas, permitindo um melhor entendimento do papel de cada formação vegetal no ciclo global do carbono.

Por fim, um ponto crucial que deve ser observado pelos responsáveis por esse tipo de estudo em outros biomas e ecorregiões distintas das testadas em Roraima é sobre a adequação do tempo de incubação dos tea bag. Os testes que realizamos foram essenciais para ajustar o método para os principais ecossistemas (florestas e savanas) do extremo norte da Amazônia brasileira. Contudo, pesquisadores de outros biomas são aqui



estimulados a realizar testes preliminares para entender o ponto de corte do tempo máximo em que o experimento de campo deveria ser finalizado. Isso evitaria descartes excessivos de sacolas de chá ou mesmo resultados enviesados que não traduziriam o objetivo do estudo.

4 MATERIAL SUPLEMENTAR

Antes de propor um protocolo padrão e replicável para as grades e módulos do PPBio, nós realizamos duas etapas de testes preliminares disponíveis em Material suplementar:

Material disponível em:
https://github.com/ProtocolosRAPELD/EducAmazonia_VolumeXVIII_N.ESPECIAL_2025/tree/main/MS_Protocolo_TeaBag

5 AGRADECIMENTOS

O Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico do Brasil (CNPq) financiou a pesquisa de campo e laboratorial através do projeto “Florestas de Roraima - Monitoramento integrado da biodiversidade e processos ecossistêmicos: efeito de determinantes ambientais em diferentes escalas espaciais e temporais no extremo norte – PELD-FORR” (CNPq/Capes/FAPs/Fundo Newton/PELD nº 15/2016 – Proc. nº 00452/2017-16). O estudo foi integrado ao INCT SERVAMB (Instituto Nacional de Serviços Ambientais da Amazônia - Edital Nº 15/2008) através do projeto “Crescimento e mortalidade de árvores em florestas ecotonais de Roraima: efeito das condicionantes ambientais e da variabilidade climática” (Edital Universal MCT/CNPq Nº 01/2016). O CNPq também forneceu bolsa produtividade para R.I. Barbosa (CNPq 304204 / 2015-3). O protocolo é resultado do estímulo de Bill Magnusson (INPA – CENBAM) ao uso padronizado e facilmente replicável do Método TBI nas grades e módulos do PPBio. Este artigo integra uma edição especial financiada pelos projetos PPBio Amazônia Ocidental (CNPq, processos nº 441260/2023-3 e 441228/2023-2), INCT-CENBAM (CNPq, processo nº 406474/2022-2) e CAPACREAM (CNPq, processo nº 444350/2024-1).

6-REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Barbosa, Reinaldo Imbrozio, Mourão Jr., Moisés, Casadio, Giliola Maria Lima, & da Silva, Silvio José Reis. (2012). Reproductive phenology of the main tree species in the Roraima savanna, Brazilian Amazon. *Ecotropica*, 18(2), 81-91.



- Barbosa, Reinaldo Imbrozio, & Silva, Jafet Vieira. (2019a). Taxa de decomposição e fator de estabilização do litter em ecossistemas florestais de Maracá: Método TBI como parâmetro de referência. Programa de Pesquisa em Biodiversidade (PPBio). Disponível em: <<https://search.dataone.org/view/PPBioAmOc.259.4>>.
- Barbosa, Reinaldo Imbrozio, & Silva, Jafet Vieira. (2019b). Taxa de decomposição e fator de estabilização do litter em ecossistemas florestais do Viruá: Método TBI como parâmetro de referência. Programa de Pesquisa em Biodiversidade (PPBio). Disponível em: <<https://search.dataone.org/view/PPBioAmOc.260.2>>.
- Barlow, Jos, Gardner, Toby A., Ferreira, Leandro V., & Peres, Carlos A. (2007). Litter fall and decomposition in primary, secondary and plantation forests in the Brazilian Amazon. *Forest Ecology and Management*, 247(1-3), 91-97. doi: 10.1016/j.foreco.2007.04.017
- Bell, Michael C., Ritson, Jonathan P., Verhoef, Anne, Brazier, Richard E., Templeton, Michael R., Graham, Nigel J. D., . . . Clark, Joanna M. (2018). Sensitivity of peatland litter decomposition to changes in temperature and rainfall. *Geoderma*, 331, 29-37. doi: 10.1016/j.geoderma.2018.06.002
- Bernhard-Reversat, F. (1982). Measuring litter decomposition in a Tropical Forest System: comparison of some methods. *International Journal of Ecology and Environmental Sciences*, 8, 63-71.
- Bessi, Debora. (2021). *Interações entre estrutura da vegetação e fertilidade do solo na decomposição da matéria orgânica em diferentes usos do solo*. PhD, Universidade Federal de São Carlos, São Carlos, São Paulo.
- Cotrufo, Mirco Francesca, Galdo, Ilaria Del, & Piermatteo, Daniela. (2010). Litter decomposition: concepts, methods and future perspectives. In Werner L. Kutsch, Michael Bahn & Andreas Heinemeyer (Eds.), *Soil Carbon Dynamics: An Integrated Methodology* (pp. 76-90). Cambridge: Cambridge University Press.
- Harmon, Mark E., Silver, Whendee L., Fasth, Becky, Chen, H. U. A., Burke, Ingrid C., Parton, William J., . . . Currie, William S. (2009). Long-term patterns of mass loss during the decomposition of leaf and fine root litter: an intersite comparison. *Global Change Biology*, 15(5), 1320-1338. doi: 10.1111/j.1365-2486.2008.01837.x
- Hiraishi, T., Krug, T., Tanabe, K., Srivastava, N., Baasansuren, J., Fukuda, M., & Troxler, T.G (Eds.). (2013). *Revised Supplementary Methods and Good Practice Guidance Arising from the Kyoto Protocol*. Switzerland: IPCC.
- IPCC. (2003). IPCC good practice guidance for land use, land-use change and forestry. In J. Penman, M. Gytarsky, T. Hiraishi, T. Krug, D. Kruger, R. Pipatti, L. Buendia, K. Miwa, T. Ngara, K. Tanabe & F. Wagner (Eds.), (pp. n.p.). Kanagawa, Japan: Institute for Global Environmental Strategies for the Intergovernmental Panel on Climate Change.
- IPCC. (2006). *IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories*. Kanagawa, Japan: Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) and Institute for Global Environmental Strategies (IGES).



- Keuskamp, Joost A., Dingemans, Bas J. J., Lehtinen, Taru, Sarneel, Judith M., Hefting, Mariet M., & Muller-Landau, Helene. (2013). Tea Bag Index: a novel approach to collect uniform decomposition data across ecosystems. *Methods in Ecology and Evolution*, 4(11), 1070-1075. doi: 10.1111/2041-210x.12097
- Lavelle, P., Blanchart, E., Martin, A., Martin, S., Spain, A., Toutain, F., . . . Schaefer, R. (1993). A hierarchical model for decomposition in terrestrial ecosystems: application to soils of the humid tropics. *Biotropica*, 25(2), 130-150. doi: 10.2307/2389178
- MacDonald, Erin, Brummell, Martin E., Bieniada, Aneta, Elliott, James, Engering, Alexandra, Gauthier, Tasha-Leigh, . . . Strack, Maria. (2018). Using the Tea Bag Index to characterize decomposition rates in restored peatlands. *Boreal Environment Research*, 23(221-235).
- Martius, Christopher, Höfer, Hubert, Garcia, Marcos V. B., Römbke, Jörg, & Hanagarth, Werner. (2004). Litter fall, litter stocks and decomposition rates in rainforest and agroforestry sites in central Amazonia. *Nutrient Cycling in Agroecosystems*, 68(2), 137-154. doi: 10.1023/b:fres.0000017468.76807.50
- Oliveira, Ricardo A. C., Marques, Renato, & Marques, Márcia C. M. (2019). Plant diversity and local environmental conditions indirectly affect litter decomposition in a tropical forest. *Applied Soil Ecology*, 134, 45-53. doi: 10.1016/j.apsoil.2018.09.016
- Olson, J. S. (1963). Energy storage and the balance of producers and decomposers in ecological systems. *Ecology*, 44(2), 322-331. doi: 10.2307/1932179
- Pimentel, Tania Pena, & Baccaro, Fabricio Beggiato. (2011). Coletas e análises físico-químicas do solo de 30 parcelas permanentes instaladas na Estação Ecológica Maracá - RR (ESEC Maracá / ICMBio), from <https://ppbiodata.inpa.gov.br/metacatui/#view/menger.194.2>
- Sarneel, J. M., Hefting, M. M., Sanden, T., van den Hoogen, J., Routh, D., Adhikari, B. S., . . . Keuskamp, J. A. (2024). Reading tea leaves worldwide: Decoupled drivers of initial litter decomposition mass-loss rate and stabilization. [Research Support, Non-U.S. Gov't]. *Ecology Letters*, 27(5), e14415. doi: 10.1111/ele.14415
- Seelen, L. M. S., Flaim, G., Keuskamp, J., Teurlincx, S., Arias Font, R., Tolunay, D., . . . de Senerpont Domis, L. N. (2019). An affordable and reliable assessment of aquatic decomposition: Tailoring the Tea Bag Index to surface waters. *Water Research*, 151, 31-43. doi: 10.1016/j.watres.2018.11.081
- Silva, J.V. (2018). *Efeito das condicionantes ambientais na decomposição e estabilização da liteira fina em florestas ecotonais de Roraima*. Dissertação (Mestrado em Recursos Naturais – PRONAT/UFRR), Boa Vista, Roraima.
- Sollins, Phillip, Swanston, Chris, & Kramer, Marc. (2007). Stabilization and destabilization of soil organic matter - a new focus. *Biogeochemistry*, 85, 1-7. doi: 10.1007/s10533-007-9099-x
- Souza e Brito, Betânia Guedes, Veloso, Maria Dores Magalhães, Sarneel, Judith M., Falcão, Luiz Alberto Dolabela, Ribeiro, Juliana Martins, Almeida Frazão, Leidivan,



& Fernandes, Geraldo Wilson. (2020). Litter decomposition in wet and dry ecosystems of the Brazilian Cerrado. *Soil Research*, 58(4), 371-378. doi: 10.1071/sr18317

Swift, M. J., & Anderson, J. M. (1989). Decomposition. In H. Leith & M. J. A. Werger (Eds.), *Tropical Rain Forest Ecosystems - Biogeographical and Ecological Studies (Ecosystems of the World 14B)* (pp. 547-569). Amsterdam: Elsevier.



Submetido em: 30 de outubro de 2024

Aprovado em: 22 de maio de 2025

Publicado em: 15 de julho de 2025

AUTORES

Autor 1:

Nome: Jafet Vieira da Silva

Breve currículo: Biólogo, Mestre em Recursos Naturais pelo Programa de Pós-graduação em Recursos Naturais – PRONAT/UFRR. Atualmente é Funcionário Público do Estado de Roraima atuando em escolas militarizadas de Boa Vista, capital do estado.

Instituição: Governo de Roraima

E-mail: jafetvsilva@gmail.com

Orcid: <https://orcid.org/0000-0001-5481-5203>

País: Brasil

Autor 2:

Nome: Arthur Camurça Citó

Breve currículo: Geógrafo, Mestre em Recursos Naturais pelo Programa de Pós-graduação em Recursos Naturais – PRONAT/UFRR. Atualmente é funcionário público federal atuando na base de pesquisa do Instituto Nacional de Pesquisa da Amazônia sediada na cidade de Boa Vista (INPA/NAPRR).

Instituição: Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia – INPA / Núcleo de Roraima

E-mail: arthur.cito@inpa.gov.br

Orcid: <https://orcid.org/0000-0001-9963-8167>

País: Brasil

Autor 3:

Nome: Marcos José Salgado Vital

Breve currículo: Biólogo, Doutor em Ciências (Microbiologia Ambiental) pela Universidade Federal do Rio de Janeiro. Atualmente é Professor Titular do Centro de Estudos da Biodiversidade - CBio e atua como Docente Permanente no Programa de Pós-graduação em Recursos Naturais – PRONAT, no Mestrado Profissional em Rede Nacional em Regulação e Gestão de Recursos Hídricos - PROFAGUA e nos cursos de Licenciatura e Bacharelado em Ciências Biológicas da Universidade Federal de Roraima.

Instituição: Universidade Federal de Roraima – UFRR

E-mail: marcos.vital@ufrr.br





Orcid: <https://orcid.org/0000-0001-9701-5118>

País: Brasil

Autor 4:

Nome: Reinaldo Imbrozio Barbosa

Breve Currículo: Engenheiro Florestal, Doutor em Biologia Tropical (Ecologia) pelo Instituto Nacional de Pesquisa da Amazônia - INPA. É Pesquisador Titular do Instituto Nacional de Pesquisa da Amazônia (Núcleo de Roraima), Professor do Programa de Pós-graduação em Recursos Naturais da UFRR (Doutorado/Mestrado) e Professor colaborador nos cursos de Pós-graduação em Ecologia e Ciências Florestais do INPA (Doutorado/Mestrado).

Instituição: Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia – INPA / Núcleo de Roraima

E-mail: reinaldo@inpa.gov.br / imbrozio@gmail.com

Orcid: <https://orcid.org/0000-0002-7482-346X>

País: Brasil