

Lorena Oliveira de Sousa
Leandro Juen
Ana Cláudia Kasseboehmer
Ettore Paredes Antunes
(Orgs.)

Pesquisar para preservar a biodiversidade da fauna e da flora da Amazônia

ensaios de divulgação científica



A água sob nossos pés: como o lençol freático molda a floresta

Lorena Oliveira de Sousa (USP)¹

Juliana Schietti (UFAM)²

Leandro Juen (UFPA)³

As secas e cheias na Amazônia estão diretamente relacionadas à dinâmica do **lençol freático (LF)**, um componente fundamental do ciclo hidrológico que, apesar de sua importância, costuma receber pouca atenção. Esse reservatório subterrâneo de água pode abastecer as raízes das árvores e influenciar a umidade no solo superficial, desempenhando papel crucial na formação das chuvas e na manutenção do equilíbrio climático. Uma pesquisa recente com cientistas brasileiros - Figura 1, revelou que florestas da Amazônia com lençóis freáticos rasos (menos de cinco metros de profundidade) podem ser surpreendentemente resilientes a secas moderadas, desafiando a visão equivocada de que todas as florestas tropicais são igualmente vulneráveis às mudanças climáticas ou que apresentam um volume uniforme em todos os biomas (COSTA; SCHIETTI; STARK; SMITH, 2023).

¹Pós-doutoranda, Laboratório de Investigações em Ensino de Ciências Naturais (Linecin - IQSC/USP).

² Docente UFAM.

³ Professor do Instituto de Ciências Biológicas (ICB), Universidade Federal do Pará (UFPA); Laboratório de Ecologia e Conservação (LABECO).).

*Tansley review*

The other side of tropical forest drought: do shallow water table regions of Amazonia act as large-scale hydrological refugia from drought?

Author for correspondence:
Flávia R.C. Costa
Email: flaviacosta00@gmail.com

Flávia R. C. Costa¹, Juliana Schiavini², Scott C. Stark³ and
Marielle N. Strieth¹

¹Coordenação de Pós-graduação em Ecologia, Instituto Nacional de Pesquisas da Amazonia, Av. André Araújo 2123, Manaus, AM 67087-070, Brazil; ²Departamento de Biologia, Universidade Federal do Rio Grande, FURG, 96201-900, Brazil; ³Department of Forestry, Michigan State University, East Lansing, MI 48824, USA

Received: 30 July 2021

Accepted: 5 October 2021

Figura 1: recorte da publicação científica, título em português - O outro lado da seca nas florestas tropicais: as regiões com lençol freático raso da Amazônia atuam como refúgios hidrológicos em larga escala contra a seca?

Neste capítulo, vamos para além do que vemos nos livros didáticos para entender como o LF influencia, silenciosamente, a resiliência das florestas tropicais. Ao mergulhar na interação entre: profundidade, disponibilidade de água no solo e o funcionamento biológico das árvores, revelamos uma dimensão ainda pouco explorada, mas muito importante, frente às mudanças climáticas. Com a intensificação de eventos climáticos extremos como secas prolongadas e chuvas intensas, compreender essa camada subterrânea torna-se fundamental para prever não somente o futuro da Amazônia, mas de todos os biomas brasileiros.

Antes de conhecer melhor o lençol freático e como ele molda a floresta, é fundamental entendermos o papel das florestas no ciclo hidrológico. As florestas são elementos naturais fundamentais para geração de chuvas, pois as árvores, e na verdade todas as plantas, captam água do solo e transportam essa água para a atmosfera, através da transpiração. Quando a água do solo chega nas folhas, ela é lançada no ar em forma de vapor de água, juntamente com alguns compostos químicos voláteis que as próprias plantas produzem. O vapor de água transpirado pelas folhas e esses compostos químicos orgânicos das plantas são

fundamentais para formar as nuvens que geram as chuvas. A água subterrânea pode então ser uma fonte importante de chuva, e como a natureza é complexa, veremos que essa interação entre o solo, as plantas e a atmosfera podem assumir diferentes formas na Amazônia.

Os lençóis freáticos são todos iguais?

Para responder a pergunta acima, observe o mapa da Figura 2 e o gráfico da Figura 3:

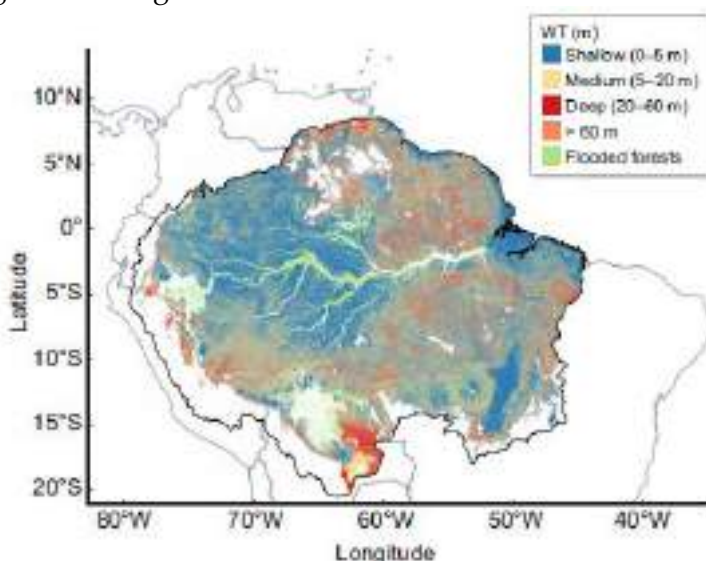


Figura 2: Distribuição do LF na Amazônia da área da bacia amazônica em cinco classes: **raso < 5 m (azul)**, **médio 5-20 m (amarelo)**, **profundo 21-60 m (vermelha)**, **> 60m (laranja)** e **florestas de várzea ou inundadas (verde)**. Gráfico elaborado por Costa e colaboradores (2023).

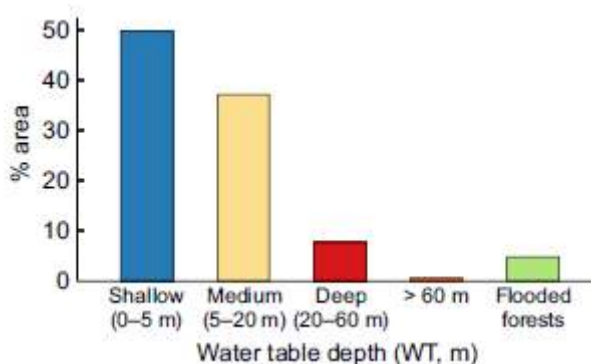


Figura 3: Distribuição do LF na Amazônia com a porcentagem da área da bacia amazônica em cinco classes: **raso** (< 5 m, azul, 49,9%), **médio** (5–20 m, amarela, 37,2%), **profundo** (21–60 m, vermelha, 7,7%), **> 60m** (laranja, 0,5%) e **florestas de várzea** (verde, 4,8%). Gráfico elaborado por Costa e colaboradores (2023).

Observando as Figuras anteriores, percebemos que o LF não é uniforme em toda região amazônica e pode estar em diferentes profundidades, o que influencia diretamente a disponibilidade de água para as plantas. Podemos classificá-lo em três tipos:

- **Lençol Freático Raso (LFR):** ocorre em áreas onde **o solo tem menos de cinco metros de profundidade**. Nesses locais, como em terras baixas ou vales, as raízes das plantas geralmente alcançam facilmente a água subterrânea ou a chamada *franja capilar* (Figura 4), uma zona onde a água sobe por capilaridade a partir do lençol freático. Isso garante um abastecimento constante de água, mesmo em períodos de seca.

- **Lençol Freático Intermediário (LFI):** encontrado em regiões **com solos entre 5 e 20 metros de profundidade**, como encostas ou terraços fluviais. Nesses locais, a água subterrânea pode ser acessada pelas raízes em determinadas épocas do ano, especialmente na estação chuvosa, o que oferece suporte hídrico moderado.

- **Lençol Freático Profundo:** presente em áreas onde **o solo tem mais de 20 metros de profundidade**, como em terras altas e

planaltos. Nesses casos, as raízes geralmente não conseguem alcançar o lençol freático, e as árvores dependem exclusivamente da água da chuva. Por isso, esses ecossistemas estão mais vulneráveis a longos períodos de seca.

Pesquisas científicas sobre LF são fundamentais para entender como diferentes florestas reagem às mudanças no clima. Por exemplo, embora pareça contraintuitivo, em florestas onde o LF é profundo, a vegetação depende da chuva, e por isso pode ser mais sensível à seca do que em áreas de LF raso em que a vegetação tem acesso constante à água subterrânea. Ao mesmo tempo, em locais com lençol freático profundo (LFP), espera-se que as plantas desenvolvam características adaptadas à escassez de água — como raízes mais longas ou folhas resistentes à perda de água — o que pode ajudar a mitigar os efeitos da seca.

Características	Lençol Freático Raso (LFR)	Lençol Freático Profundo (LFP)
 <i>Profundidade</i>	0 - 5 metros	20 - 60 metros
 <i>Acesso pelas raízes</i>	Acessível por raízes superficiais.	Exige raízes profundas. Muitas vezes não há acesso.
 <i>Resiliência à seca</i>	Alta em secas moderadas.	Mais vulnerável à seca prolongada.
 <i>Produtividade da floresta</i>	Mantida pela umidade do solo mesmo em períodos secos.	Depende da recarga lenta e profunda.

Tabela 1: Principais diferenças entre Lençol Freático Raso (LFR) e Lençol Freático Profundo (LFP).



IMPORTANTE: As florestas com lençol freático raso podem sofrer limitações de crescimento com o excesso de água no solo e falta de oxigênio nas raízes. Quando acontece uma seca normal ou moderada em áreas com LF raso, as plantas podem crescer mais. Isso porque o lençol freático fica um pouco mais profundo e aerado, mas ainda há umidade suficiente para as plantas transportarem água para as folhas e fazerem fotossíntese. Portanto, durante secas moderadas, as florestas com LFR podem se tornar mais produtivas e menos suscetíveis à mortalidade do que florestas com LFP, por terem acesso à água subterrânea. Em secas extremas, no entanto, as florestas com LFR podem ser mais vulneráveis à mortalidade, porque o LF pode ficar mais profundo, limitando o alcance da água pelas raízes (que são superficiais nessas florestas). Além disso, as espécies que habitam florestas com LFR são, em geral, menos tolerantes ao déficit hídrico do que as espécies das florestas com LFP, justamente porque elas estão adaptadas a condições de bastante umidade no solo.



Figura 4: Imagem adaptada representando o lençol freático e a franja capilar. Fonte: CPT Cursos à Distância, [s.d.].

Como as diferenças de profundidade do LF podem interferir na biomassa e na produtividade de uma floresta?

Estudar a produtividade e a biomassa ajuda a entender como a floresta pode reagir às mudanças climáticas e até prever se ela continuará sendo uma aliada contra o aquecimento global — ou se pode começar a liberar mais carbono do que absorver. A produtividade de uma floresta se refere à taxa (ou velocidade) de armazenamento de energia em forma de massa, ou seja, a velocidade em que a floresta produz folhas e a madeira dos galhos, troncos e raízes. Já o estoque de biomassa se refere a quantidade de energia armazenada em um certo momento, indicando quanto pesa a floresta (biomassa) de uma determinada área naquele momento em que estamos fazendo a medida. E, como praticamente metade da biomassa das árvores é água e a outra metade é carbono, podemos dizer que a taxa de sequestro de carbono de uma floresta é metade de sua produtividade. O mesmo para os estoques de carbono, são a metade do estoque de biomassa da floresta. Essas medidas são muito importantes para entender quanto e se as florestas estão ajudando a tirar o carbono da atmosfera, diminuição do aquecimento global, e guardando esse carbono em suas folhas, galhos, troncos e raízes.

Você já tinha ouvido falar sobre biomassa e produtividade das florestas? No quadro abaixo, colocamos os conceitos para que possa entender melhor a relação desses termos com o LF e o ciclo de vida da floresta:

Produtividade é como se fosse uma forma de avaliar o crescimento das plantas. Ela mostra o quanto as árvores se desenvolvem ao transformar gases que ela absorve, como por exemplo o gás carbônico do ar em órgãos importantes para o seu desenvolvimento como: folhas, troncos e raízes, por meio da fotossíntese. Em florestas da Amazônia, essa produtividade pode mudar bastante dependendo da água disponível no solo. Quando chove pouco, a floresta pode ter um menor crescimento/desenvolvimento. Mas em áreas com água no subsolo bem perto da superfície (o chamado lençol freático raso), até mesmo períodos mais secos podem ajudar no crescimento, porque reduzem o excesso de água que sufoca as raízes. Já **biomassa** é a quantidade total de matéria viva acumulada nas árvores — ou seja, é a "massa" de toda essa vegetação. Quanto maior a biomassa, mais carbono está sendo guardado nas plantas, o que ajuda a combater o aquecimento global. Florestas com árvores maiores e mais antigas costumam ter mais biomassa. Em áreas com o solo muito encharcado, as árvores geralmente são menores e crescem menos, então a biomassa também é mais baixa.

Os pesquisadores também relataram no artigo sobre o LF na bacia Amazônica que as florestas tropicais com LFR possuem características únicas que as diferenciam das florestas com LFP: elas abrigam árvores mais dependentes de recursos hídricos superficiais, que são mais baixas e com menor biomassa. Em anos de clima normal, essas florestas apresentam maior mortalidade e menor produtividade em comparação com as florestas de LFP – o que já é esperado e conhecido pelos pesquisadores. No entanto, durante secas moderadas, algumas florestas com LFR mostram uma resiliência surpreendente: sua mortalidade diminui e a produtividade aumenta.

A água no solo define a resiliência das florestas tropicais às secas!

As florestas tropicais são ecossistemas dinâmicos e complexos, cuja resposta às mudanças climáticas, especialmente às secas, não pode ser explicada apenas pelas características das plantas ou pelas condições locais de solo e de água. O destino das árvores e o funcionamento do ecossistema dependem de uma intrincada interação entre os traços das espécies vegetais, o regime hídrico, o clima e as variações ambientais no tempo e no espaço.

Os **estômatos** — poros microscópicos nas folhas — regulam a entrada de CO_2 nas folhas e a saída de vapor d'água para atmosfera. Para fazer fotossíntese e produzir energia para sua sobrevivência e reprodução, as plantas precisam absorver o CO_2 atmosférico através dos estômatos. Porém, ao mesmo tempo em que a planta absorve o CO_2 atmosférico, ela perde água na forma de vapor d'água pelos estômatos. Essa troca gasosa depende de os estômatos estarem abertos e essa abertura depende da disponibilidade de água no solo e na planta. Quando a água disponível no solo diminui, algumas espécies fecham rapidamente os estômatos (estratégia isohídrica), enquanto outras mantêm a troca gasosa por mais tempo (estratégia anisohídrica). A distribuição dessas estratégias entre as espécies de plantas e locais ajuda a explicar por que diferentes regiões da Amazônia respondem de maneira distinta às secas.

Em áreas onde o LF está muito profundo, as plantas têm dificuldade para obter água. Quando a seca aperta, precisam economizar. **A solução?** Fechar os estômatos. Isso ajuda a conservar água, mas reduz a entrada de CO_2 , o que limita a fotossíntese e o crescimento da planta. É como se uma pessoa com pouca energia decidisse respirar menos para sobreviver. Se a economia for além das reservas, ou seja, se a planta ficar sem

suprimento de água e CO₂ por muito tempo, ela pode morrer por falta de água ou de carbono.

A água no solo e o comportamento das árvores (i.e. suas trocas gasosas, crescimento e sobrevivência) diante da seca estão interligados. Essa interação entre solo, planta e atmosfera definem o destino das florestas tropicais em um mundo em transformação perante as mudanças climáticas – e ao mesmo tempo que essa interação depende do clima, também influencia o clima que sentimos.

Lembramos que o acesso das árvores à água subterrânea não é constante nessas regiões. Os níveis do LF variam no tempo, influenciados por fatores sazonais e interanuais, o que torna sua profundidade e flutuação variáveis-chave para compreender as respostas da vegetação às mudanças climáticas. (COSTA; SCHIETTI; STARK; SMITH, 2023).

O ambiente com Lençol Freático Raso – O mais comum na bacia amazônica

As características do ambiente com LFR podem tanto favorecer quanto dificultar o crescimento das plantas, dependendo de diversos fatores. Por um lado, ele garante um solo mais úmido ao longo do ano, o que pode ser benéfico especialmente durante a estação seca e os eventos de secas moderadas. Quando o LF é muito raso e chove demais, o solo fica saturado de água, criando um ambiente com *hipoxia* e/ou *anoxia*, prejudicando a respiração das raízes e limitando o crescimento das plantas. Esse cenário é muito comum em regiões onde se forma o igapó, florestas alagáveis na beira de grandes rios que durante parte do ano tem LFR. Por outro lado, quando o LF é profundo e a chuva escassa, as raízes não

alcançam a umidade necessária — e as plantas sofrem com a seca. Ou seja: nos dois extremos, a produtividade da floresta cai.

Igapó	Floresta alagável da Amazônia que ocorre em áreas baixas, onde os rios de água preta transbordam periodicamente, alagando grandes extensões de terra. O termo "igapó" vem do tupi e significa “água de raiz”, fazendo referência às áreas onde as árvores ficam com as raízes constantemente submersas.
Anoxia	Ausência total de oxigênio no solo. Ocorre quando os poros do solo ficam completamente saturados de água, impedindo a difusão de oxigênio do ar. Em ambientes anóxicos, as raízes das plantas não conseguem realizar respiração aeróbica, o que pode levar à morte celular e até à morte da planta, caso a condição persista.
Hipoxia	Baixa disponibilidade de oxigênio no solo, mas não sua ausência completa. Ainda há algum nível de oxigênio, suficiente para permitir alguma respiração aeróbica, mas insuficiente para a plena atividade das raízes e microorganismos.

As plantas conseguem até sobreviver em condições de alagamento, mas seu crescimento pode ser limitado. Isso acontece porque, sem oxigênio suficiente no solo, os processos metabólicos e a absorção de nutrientes ficam comprometidos. Além disso, o solo encharcado favorece reações químicas que reduzem a disponibilidade de nutrientes importantes, como o nitrogênio. Por outro lado, o fósforo pode se tornar mais disponível nessas condições.

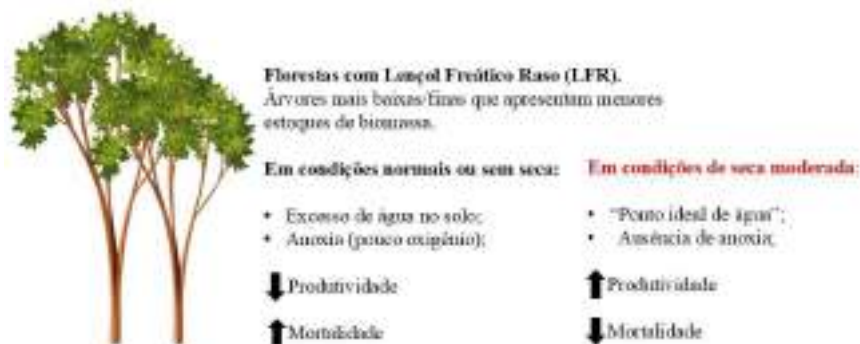


Figura 3: Principais características das florestas com LFR em condições normais e de seca moderada.



Figura 5: Principais características das florestas com LFP em condições normais e de seca moderada.

Outros fatores, como o tamanho das plantas, adaptações fisiológicas e as características do solo, influenciam a capacidade de lidar com a falta de oxigênio. Algumas espécies conseguem se adaptar formando associações com fungos (micorrizas), que ajudam na absorção de nutrientes mesmo em ambientes alagados.

Mas nem tudo se resume à nutrição: o encharcamento também afeta a estabilidade das árvores. Solos muito úmidos oferecem menor resistência mecânica, ou seja, as raízes têm menos firmeza para manter as árvores em pé, o que aumenta o risco de

queda durante tempestades ou ventos fortes. Isso explica por que florestas com lençol freático raso costumam ser mais dinâmicas, com maior rotatividade de árvores e taxa de queda.

Em um primeiro momento, a vegetação pode até se beneficiar de mudanças leves no regime hídrico do solo, especialmente se isso aliviar estresses frequentes como alagamentos ou secas leves. No entanto, quando essas mudanças se intensificam — como vimos no forte **El Niño de 2023** — a vegetação tem dificuldade em se adaptar e a produção vegetal diminui drasticamente. **Com a crescente variabilidade climática, eventos extremos estão se tornando mais comuns e intensos.** Isso exige atenção redobrada de pesquisadores, gestores e da sociedade. Afinal, garantir a resiliência das florestas é essencial para manter os serviços ecológicos que sustentam o clima, a biodiversidade e a própria vida humana.

Em resumo, os ambientes com LFR na Amazônia são desafiadores: por um lado, mantêm o solo úmido mesmo na seca; por outro, criam condições que limitam a oxigenação, a nutrição e a estabilidade das árvores. O resultado é uma floresta com estrutura e funcionamento bastante diferentes daquelas em áreas com solo mais seco e profundo.

A dança das águas na Amazônia: cheia e vazante

Na Amazônia brasileira, a vida segue o ritmo das águas. Todos os anos, os rios da região passam por um ciclo natural de cheia e vazante que transforma completamente a paisagem e a dinâmica dos ecossistemas. Durante o período de **cheia**, que ocorre em diferentes períodos nas diferentes regiões da Amazônia, as águas dos rios sobem e inundam vastas áreas de floresta

conhecidas como **várzeas**. Essas florestas alagáveis tornam-se verdadeiros berçários da biodiversidade, abrigando peixes, aves, insetos e plantas adaptadas a esse ambiente temporariamente submerso.

Já na época da **vazante**, quando as águas recuam, os solos ricos em nutrientes deixados pelas enchentes tornam-se ideais para o crescimento de diversas espécies vegetais e para a agricultura ribeirinha. Esse ciclo natural não apenas mantém a fertilidade da terra e a diversidade de espécies, mas também é fundamental para a vida das populações locais, que adaptam sua moradia, alimentação e meios de transporte ao ritmo do rio.

A cheia e a vazante são, portanto, expressões vivas da conexão entre a natureza e as pessoas na Amazônia — uma relação moldada pelas águas e essencial para o equilíbrio ambiental da maior floresta tropical do planeta.



Figura 6: Imagens de um ponto turístico na cidade de Manaus-AM, conhecida como “Marina do Davi”, em época de seca (esquerda) e cheia (direita).

Água no Solo e o Efeito das Secas no Clima Global

Quando a precipitação diminui, florestas tropicais podem deixar de sequestrar carbono e passar a **emitir grandes quantidades de carbono**, agravando o aquecimento global. Durante o forte **El Niño de 2015-2016**, por exemplo, as florestas tropicais liberaram $2,5 \pm 0,34$ gigatoneladas de carbono na atmosfera (SANTOS *et al.* 2017). Secas intensas, como as associadas a esses eventos, podem matar árvores e desencadear um ciclo perigoso de emissões e aquecimento (DE OLIVEIRA *et al.*, 2023).

As florestas que se desenvolvem sobre LFR são frequentemente sub-representadas em monitoramentos florestais de longo prazo e podem trazer uma compreensão mais completa sobre a resiliência da floresta amazônica em toda a bacia se forem de fato bem representadas nos estudos, especialmente naqueles sobre efeitos de secas. Esta lacuna de conhecimento destaca a necessidade de uma investigação mais aprofundada das florestas sobre LFR e sua dinâmica de flutuação ao longo do tempo, a fim de compreender melhor suas dinâmicas hidrológicas e sua resiliência diante das mudanças climáticas.

É urgente entender se essas regiões com LFR funcionarão como refúgios temporários para a biodiversidade ou se estão prestes a se transformar em primeiros focos de degradação florestal em larga escala. A resposta a essa pergunta depende de novas investigações em campo, que considerem não só a profundidade do LF, mas também fatores como o desmatamento, os incêndios e o avanço da savanização.

Por isso, é urgente entender se essas regiões funcionarão como refúgios temporários para a biodiversidade ou se estão prestes a se transformar em primeiros focos de degradação florestal em larga escala. A resposta a essa pergunta depende de novas investigações em campo, que considerem não só a profundidade do LF, mas também fatores como o desmatamento, os incêndios e o avanço da savanização.

Para lembrar:

 Lençol Freático	 Fertilidade do Solo	 Efeito Combinado
A disponibilidade de água em excesso ou escassez afeta o crescimento das plantas.	Solos ricos em nutrientes ajudam as árvores a crescerem mais rápido.	Solos férteis + água em excesso = maior risco em secas extremas.

Concluindo...

Incertezas nos Modelos Climáticos e a Necessidade de Pesquisas em FLR

Apesar dos avanços, a resiliência das florestas tropicais às secas ainda não é plenamente compreendida. Modelos globais de vegetação apresentam previsões divergentes, variando do colapso florestal à adaptação robusta (IPCC, 2013; Friedlingstein et al., 2014). Grande parte dessa incerteza decorre do fato de que muitos modelos negligenciam a variação hidrológica, especialmente a influência do LF.

Um viés comum em pesquisas de campo na região amazônica, é o foco excessivo em áreas com lençóis freáticos profundos, o que pode **superestimar a sensibilidade geral das florestas à seca**.

Por que isso é importante?

- **Ciclo do Carbono:** secas severas podem transformar florestas tropicais de sumidouros de carbono em fontes de emissão, acelerando o aquecimento global.

- **Biodiversidade:** florestas com lençóis freáticos rasos abrigam espécies únicas, mas pouco estudadas, que podem ser chave para a adaptação climática.
- **Conservação:** proteger essas áreas requer estratégias específicas, como a gestão integrada de águas subterrâneas e a prevenção de incêndios.

O ciclo de vida das florestas amazônicas depende **do equilíbrio entre a chuva e a água subterrânea**. Com secas mais longas e temperaturas cada vez maiores, **as florestas podem deixar de ser produtivas e colapsar**, colocando em risco a biodiversidade, o clima e a permanência de todos os seres vivos.

✚ **A resposta da floresta às mudanças climáticas depende do seu “histórico” e do seu ambiente:**

- Florestas que cresceram em áreas úmidas podem ser mais vulneráveis à seca por seu histórico (características das espécies), mas podem ser mais resilientes pela proteção que seu ambiente confere.
- Florestas adaptadas a solos mais secos podem não suportar períodos prolongados de alagamento.

As respostas da floresta não são lineares — ou seja, pequenas mudanças no regime de água podem ter grandes impactos, positivos ou negativos, dependendo da região e do tipo de vegetação.

🌍 Compreender esse “balanço hídrico” ajuda a sociedade e tomadores de decisão a:

- Prever quais áreas da Amazônia são mais vulneráveis;
- Proteger florestas que funcionam como refúgios naturais contra a seca;
- Pensar em estratégias para conservar a biodiversidade e os serviços ecológicos — como a regulação do clima e o armazenamento de carbono.

Para pensar: Quando a Natureza Muda o Sabor: Como as Cheias e Secas Extremas Estão Impactando os Alimentos na Amazônia.

As mudanças climáticas estão transformando a dinâmica dos rios amazônicos — e isso já afeta diretamente o que chega às nossas mesas. A alternância cada vez mais rápida entre cheias e secas, como a cheia precoce de 2024 e a seca histórica de 2023, está causando escassez de alimentos e aumento de preços em feiras e supermercados de Manaus. Frutas como banana pacovã, cupuaçu e maracujá tiveram não só a produção reduzida, mas também alterações perceptíveis na **textura, tamanho e sabor**, consequência direta do estresse hídrico nas plantações. A agricultura familiar sofre com a perda de safras, e a pesca tradicional também está em risco: peixes como o tambaqui e o pirarucu tornam-se mais difíceis de capturar. A floresta e seus rios estão mudando — e, com eles, toda a cadeia alimentar e a segurança alimentar das populações locais. Notícia disponível em: <https://amazonasatual.com.br/cheia-rapida-causa-escassez-de-alimentos-e-aumento-de-precos/>

Referências

BRANDO, P. M.; GOETZ, S. J.; BACCINI, A.; NEPSTAD, D. C. *et al.* Seasonal and interannual variability of climate and vegetation indices across the Amazon. **Proceedings of the National Academy of Sciences**, 107, n. 33, p. 14685-14690, 2010.

COSTA, F. R.; SCHIETTI, J.; STARK, S. C.; SMITH, M. N. The other side of tropical forest drought: do shallow water table regions of Amazonia act as large-scale hydrological refugia from drought? **New Phytologist**, 237, n. 3, p. 714-733, 2023.

DE OLIVEIRA, G.; MATAVELI, G.; STARK, S. C.; JONES, M. W. *et al.* Increasing wildfires threaten progress on halting deforestation in Brazilian Amazonia. **Nature Ecology & Evolution**, 7, n. 12, p. 1945-1946, 2023.

CPT CURSOS A DISTÂNCIA. **Lençóis e nascentes: como a água se forma e se move no solo?** Disponível em: <https://www.cpt.com.br/artigos/lencois-e-nascentes-como-a-agua-se-forma-e-se-move-no-solo>. Acesso em: 08 dez. 2025.

FAN, Y.; MIGUEZ-MACHO, G.; JOBBÁGY, E. G.; JACKSON, R. B. *et al.* Hydrologic regulation of plant rooting depth. **Proceedings of the National Academy of Sciences**, 114, n. 40, p. 10572-10577, 2017.

GLOOR, M.; BARICHIVICH, J.; ZIV, G.; BRIENEN, R. *et al.* Recent Amazon climate as background for possible ongoing and future changes of Amazon humid forests. **Global Biogeochemical Cycles**, 29, n. 9, p. 1384-1399, 2015.

ROEBROEK, C. T.; MELSEN, L. A.; HOEK VAN DIJKE, A. J.; FAN, Y. *et al.* Global distribution of hydrologic controls on forest growth. **Hydrology and Earth System Sciences Discussions**, 2020, p. 1-22, 2020.

SANTOS, Yara Luiza Farias dos *et al.* Variabilidade espaço-temporal do monóxido de carbono sobre a América do Sul a partir de dados de satélite de 2003 a 2012. *Revista Brasileira de Meteorologia*, v. 32, n. 1, p. 89-98, 2017.