



**UNIVERSIDADE FEDERAL DO AMAPÁ  
PRÓ - REITORIA DE ENSINO DE GRADUAÇÃO  
DEPARTAMENTO DE MEIO AMBIENTE E DESENVOLVIMENTO  
CURSO DE BACHARELADO EM CIÊNCIAS AMBIENTAIS**

**LORENA PIMENTEL PINHEIRO**

**INFLUÊNCIA DAS CARACTERÍSTICAS DE CAULE NO ESCOAMENTO PELO  
TRONCO EM ESPÉCIES FLORESTAIS DE TERRA FIRME**

**MACAPÁ-AP  
2025**

**LORENA PIMENTEL PINHEIRO**

**INFLUÊNCIA DAS CARACTERÍSTICAS DE CAULE NO ESCOAMENTO PELO  
TRONCO EM ESPÉCIES FLORESTAIS DE TERRA FIRME**

Trabalho de Conclusão de Curso  
apresentado à Coordenação do curso de  
Ciências Ambientais como requisito  
parcial para a obtenção do Título de  
Bacharel em Ciências Ambientais.

Área de Concentração: Hidrologia  
Florestal

Orientadora: Profa. Dra. Julieta Bramorski

**MACAPÁ-AP**

**2025**

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)  
Biblioteca Central/UNIFAP-Macapá-AP  
Elaborado por Cristina Fernandes – CRB-2 / 1569

---

P654i Pinheiro, Lorena Pimentel.  
Influência das características de caule no escoamento pelo tronco em espécies florestais de terra firme. / Lorena Pimentel Pinheiro. - Macapá, 2025.  
1 recurso eletrônico.  
50 f.

Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) - Universidade Federal do Amapá - UNIFAP, Coordenação do Curso de Ciências Ambientais, Macapá, 2025.  
Orientadora: Profa. Dra. Julieta Bramorski.  
Coorientador: .

Modo de acesso: World Wide Web.  
Formato de arquivo: Portable Document Format (PDF).

1. Retenção hídrica. 2. Hidrologia florestal. 3. Morfologia vegetal. I. Bramorski, Julieta, orientadora. II. Universidade Federal do Amapá - UNIFAP. III. Título.

CDD 23. ed. – 551.48

---

**LORENA PIMENTEL PINHEIRO**

**INFLUÊNCIA DAS CARACTERÍSTICAS DE CAULE NO ESCOAMENTO PELO  
TRONCO EM ESPÉCIES FLORESTAIS DE TERRA FIRME**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à  
Coordenação do curso de Ciências Ambientais  
como requisito parcial para a obtenção do Título  
de Bacharel em Ciências Ambientais.

Data de aprovação: 24/09/2025.

**BANCA EXAMINADORA:**

---

Prof<sup>a</sup>. Dr<sup>a</sup>. Julieta Bramorski  
Universidade Federal do Amapá - UNIFAP  
Orientadora

---

Prof<sup>a</sup>. Dr<sup>a</sup>. Karina Cardoso Valverde  
Universidade Federal do Amapá - UNIFAP  
Avaliadora

---

Prof<sup>o</sup>. Dr<sup>o</sup>. José Leonardo Lima Magalhães  
Universidade Federal do Amapá - UNIFAP  
Avaliador

## AGRADECIMENTOS

Em primeiro lugar, agradeço a Deus, pela força, proteção e inspiração que me permitiram superar cada desafio e persistir mesmo nos momentos mais difíceis.

À minha mãe, minha fonte de amor, coragem e confiança, sou imensamente grata. Seu apoio incondicional me sustentou e motivou a seguir adiante, mesmo quando tudo parecia impossível.

Aos meus amigos de curso, especialmente à Bruna, agradeço pela amizade verdadeira, por toda ajuda na formatação do trabalho e por escutar pacientemente minhas reclamações ao longo do caminho. Também agradeço ao nosso grupo “Xixas”, com quem reclamamos, surtamos e sofremos juntos, tornando essa jornada mais leve e divertida. Sofreremos juntos, mas também celebraremos cada conquista que alcançamos.

À Profa. Dra. Julieta Bramorski, agradeço pela orientação durante este trabalho, e ao Prof. Dr. José Leonardo Lima Magalhães, pela contribuição como professor de TCC.

À Universidade Federal do Amapá (UNIFAP), agradeço pelo suporte acadêmico e pelos recursos que tornaram possível a realização deste estudo.

Chegar à reta final desta jornada não foi fácil. Enfrentei um acidente de moto que quase me tirou a vida e precisei realizar diversas viagens para tratamentos oculares, perdendo aulas, conteúdos e experiências em campo. Cada obstáculo, no entanto, fortaleceu minha determinação e tornou cada vitória ainda mais significativa.

Por fim, agradeço a todos que, de alguma forma, contribuíram para a realização deste trabalho. Cada gesto de apoio, incentivo ou orientação foi essencial para a conclusão desta etapa tão importante da minha formação.

# **INFLUÊNCIA DAS CARACTERÍSTICAS DE CAULE NO ESCOAMENTO PELO TRONCO EM ESPÉCIES FLORESTAIS DE TERRA FIRME**

**Autor: Lorena Pimentel Pinheiro**

**Orientador: Prof. Dra. Julieta Bramorski**

**Curso de Bacharelado em Ciências Ambientais**

**Macapá, 24 setembro de 2025**

## **RESUMO**

O escoamento pelo tronco (ETr) é um processo hidrológico essencial para a redistribuição da precipitação no ambiente florestal. Este estudo avaliou a influência das características morfológicas do caule e da umidade no ETr em espécies arbóreas de floresta de terra firme no Amapá (AP). Foram monitorados 52 indivíduos, considerando variáveis dendrométricas (CAP, altura, área basal e área de copa), morfológicas (textura da casca e inclinação do tronco) e ambientais (precipitação, umidade do ar e umidade do tronco). A umidade do caule foi aferida com medidor digital de penetração, possibilitando correlacionar a retenção hídrica com os volumes de escoamento. O ETr correspondeu, em média, a 0,3% da precipitação total, valor aparentemente reduzido, mas relevante para a dinâmica hidrológica. Indivíduos com casca lisa apresentaram maiores volumes em média de 1.203 mL de escoamento, seguidos pelos de casca rugosa com 852 mL, enquanto os de casca escamosa registraram 406 mL, os menores valores. A umidade do tronco apresentou variação sazonal significativa, indicando relação inversa com os volumes de ETr em determinados períodos, o que evidencia a influência das condições hídricas internas e atmosféricas na condução da água. Verificou-se ainda que a arquitetura da copa favoreceu a canalização, enquanto maiores diâmetros e a inclinação dos troncos reduziram a eficiência do processo. Conclui-se que, embora represente uma fração reduzida da precipitação, o ETr é fortemente condicionado pela umidade e pelos atributos morfológicos, desempenhando funções essenciais na redistribuição hídrica em florestas tropicais de terra firme.

**Palavras-chave:** Hidrologia florestal. Retenção hídrica. Influência sazonal. Morfologia vegetal.

## ABSTRACT

Stemflow (ETr) is a key hydrological process for the redistribution of precipitation within forest ecosystems. This study evaluated the influence of stem morphological traits and stem moisture on ETr in tree species from a terra firme forest in Amapá, Brazil. A total of 52 individuals were monitored, considering dendrometric variables (DBH, height, basal area, and crown area), morphological traits (bark texture and stem inclination), and environmental factors (precipitation, air humidity, and stem moisture). Stem moisture was measured using a digital penetration meter, allowing the correlation between water retention and stemflow volumes. On average, ETr accounted for 0.3% of total precipitation, a seemingly low percentage, yet relevant to hydrological dynamics. Trees with smooth bark showed the highest stemflow volumes, followed by those with rough bark, while scaly-barked individuals exhibited the lowest values. Stem moisture presented significant seasonal variation, showing an inverse relationship with ETr volumes during certain periods, highlighting the influence of both internal water status and atmospheric conditions on water conduction. Additionally, crown architecture favored water channeling, whereas larger diameters and stem inclination reduced process efficiency. It is concluded that, although representing a small fraction of precipitation, ETr is strongly conditioned by moisture and morphological attributes, playing an essential role in water redistribution in tropical terra firme forests.

**Keywords:** Forest hydrology. Water retention. Seasonal dynamics. Tree morphology.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Representação Esquemática das Etapas do Ciclo Hidrológico.....	14
Figura 2: Mapa da localização da área de estudo no Campus da Universidade Federal do Amapá (UNIFAP), em Macapá (AP), destacando a área de coleta de dados.....	20
Figura 3: Pluviômetro artesanal confeccionado em PVC, utilizado para a quantificação da precipitação total na área de estudo.....	23
Figura 4: Sistema artesanal de coleta de escoamento pelo tronco, composto por calhas de espuma de poliuretano e recipientes coletores instalados na base das árvores.....	24
Figura 5: Medidor digital de umidade por penetração (Moisture Meter) empregado na mensuração da umidade do tronco das árvores monitoradas.....	25
Figura 7: Variação mensal dos volumes de precipitação total (mL) e escoamento pelo tronco (mL) entre janeiro e setembro de 2023, em floresta de terra firme amapaense.	29
Figura 9: Relação entre a umidade do tronco (%) e o volume de escoamento pelo tronco (mL) ao longo dos meses monitorados, evidenciando padrões de correlação...	40

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Médias mensais de escoamento pelo tronco (mL) entre janeiro e setembro de 2023, considerando diferentes tipos de casca (lisa, rugosa e escamosa).....	30
Tabela 3: Coeficientes de correlação de Pearson entre variáveis dendrométricas (CAP, área basal, área de copa e umidade do tronco) e o escoamento total pelo tronco (mL).....	33
Tabela 4: Coeficientes de correlação de Pearson entre variáveis dendrométricas e o escoamento pelo tronco (mL), de acordo com diferentes tipos de casca (lisa, rugosa e escamosa).....	34
Tabela 5: Coeficientes de correlação de Pearson entre variáveis dendrométricas e o escoamento pelo tronco (mL), considerando diferentes conformações de tronco (ereto e inclinado).....	36
Tabela 2: Características dendrométricas e morfológicas individuais e escoamento total do tronco de 52 indivíduos amostradas.....	50

## LISTA DE ABREVIATURA, SIGLAS E SÍMBOLOS

AB: área basal

ABi: área basal individual

A: área da copa

AP: Amapá

CAP: circunferência à altura do peito

cm: centímetro

DAP: diâmetro à altura do peito

ETr: escoamento pelo tronco

EPAL: Empresa Portuguesa das Águas Livres

IBGE: Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística

IEPA: Instituto de Pesquisas Científicas e Tecnológicas do Estado do Amapá

INPE: Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais

IPCC: Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas

km<sup>2</sup>: quilômetro quadrado

m: metro

mg ha<sup>-1</sup>: megagrama por hectare

m<sup>2</sup>: metro quadrado

mL: mililitro

mm: milímetro

P: precipitação total

r: coeficiente de correlação de Pearson

UNIFAP: Universidade Federal do Amapá

$\pi$  (pi): constante matemática ( $\approx 3,1416$ )

%: porcentagem

## SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO.....</b>	<b>11</b>
<b>2 OBJETIVOS.....</b>	<b>13</b>
<b>2.1 Objetivo Geral:.....</b>	<b>13</b>
<b>2.2 Objetivos Específicos:.....</b>	<b>13</b>
<b>3 REFERENCIAL TEÓRICO.....</b>	<b>14</b>
<b>3.1 Ciclo Hidrológico.....</b>	<b>14</b>
<b>3.2 Floresta de Terra Firme Amazônica.....</b>	<b>15</b>
<b>3.3 Florestas de Terra Firme Amapaense.....</b>	<b>16</b>
<b>3.4 Interação Água – Floresta.....</b>	<b>17</b>
<b>3.5 Escoamento pelo Tronco.....</b>	<b>18</b>
<b>4 METODOLOGIA.....</b>	<b>20</b>
<b>4.1 Área de Estudo.....</b>	<b>20</b>
<b>4.2 Delineamento Experimental.....</b>	<b>20</b>
<b>4.3 Caracterização Dendrométrica.....</b>	<b>21</b>
<b>4.4 Caracterização Morfológica.....</b>	<b>22</b>
<b>4.5 Monitoramento do Escoamento pelo Tronco.....</b>	<b>22</b>
<b>4.6 Coleta de Dados de Umidade do Tronco e Ambiente Atmosférica.....</b>	<b>24</b>
<b>4.7 Análise de Dados.....</b>	<b>26</b>
<b>5 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....</b>	<b>27</b>
<b>5.1 Repartição de chuva.....</b>	<b>27</b>
<b>5.2 Quantificação do Escoamento pelo Tronco.....</b>	<b>28</b>
<b>5.3 Características Morfológicas do Caule e da Casca das Espécies Arbóreas.....</b>	<b>31</b>
<b>5.4 Coeficientes de Correlação de Pearson entre Variáveis Dendrométricas e Escoamento do Tronco.....</b>	<b>32</b>
<b>5.5 Temperatura e Umidade do Ambiente Atmosférico.....</b>	<b>38</b>
<b>5.6 Umidade do Caule e Escoamento pelo Tronco.....</b>	<b>39</b>
<b>6 CONCLUSÃO.....</b>	<b>42</b>
<b>REFERÊNCIAS.....</b>	<b>43</b>
<b>APÊNDICE A.....</b>	<b>50</b>

## 1 INTRODUÇÃO

O bioma amazônico é o maior do Brasil, ocupando aproximadamente 49% do território nacional e abrangendo principalmente os estados do Pará, Amazonas, Amapá, Acre, Rondônia, Roraima e Tocantins, além de pequenas porções do Maranhão e do Mato Grosso (IBGE, 2023). A floresta amazônica, especialmente as formações de terra firme, apresenta elevada complexidade estrutural e expressiva diversidades florísticas, características que influenciam diretamente processos ecológicos e hidrológicos.

A complexidade estrutural da floresta desempenha um papel fundamental na regulação do ciclo hidrológico, influenciando a interceptação da precipitação, o escoamento superficial e o escoamento pelo tronco. Além disso, contribui significativamente para a ciclagem de nutrientes no solo. Estudos recentes evidenciam que alterações na estrutura florestal, sejam de origem natural ou antrópica, podem modificar esses processos de forma expressiva, comprometendo o equilíbrio ecológico regional (Bredin *et al.*, 2020; Tonello *et al.*, 2021a).

O escoamento pelo tronco é um componente hidrológico de destaque. Embora represente uma parcela relativamente pequena do volume total de precipitação que atinge as florestas tropicais (Carlyle-Moses *et al.*, 2018), esse processo consiste no fluxo de água da chuva que escorre ao longo dos caules das árvores até o solo. Sua importância reside na atuação como um vetor crucial na redistribuição hídrica localizada e no transporte de nutrientes para as zonas próximas às raízes (Levia; Germer, 2015; Pinos *et al.*, 2023).

Diversos fatores morfológicos e estruturais das árvores interferem na geração do escoamento pelo tronco. Entre eles, destacam-se a textura, rugosidade e composição química da casca, o tamanho e a arquitetura do tronco, a forma da copa, o ângulo dos galhos e a presença de epífitas. Essas características modulam a capacidade de interceptação e direcionamento da água, influenciando significativamente o volume de escoamento produzido (Levia; Frost, 2003; Metzger *et al.*, 2019; Tonello *et al.*, 2021a). Além disso, variáveis ambientais como intensidade, frequência e duração das precipitações também influenciam o volume de água escoada. Essa variabilidade tem implicações diretas na sobrevivência das árvores, especialmente em períodos de estiagem, quando o escoamento pelo tronco

pode ser uma fonte localizada de água próxima à base (Levia; Frost, 2003; Lorenzon, 2011; Metzger *et al.*, 2019; Tonello *et al.*, 2021b).

No estado do Amapá, a floresta de terra firme corresponde a cerca de 75% do território, caracterizando-se por sua alta diversidade de espécies e estrutura heterogênea. Essa região apresenta uma das menores taxas de desmatamento do país, destacando-se pela conservação da biomassa florestal e estoques de carbono (INPE, 2024a; Da Costa *et al.*, 2025). Apesar desse cenário de conservação, a compreensão detalhada dos processos hidrológicos associados a essa vegetação, especialmente a influência das características morfológicas dos caules sobre o escoamento pelo tronco, ainda é limitada.

Compreender a influência dessas características morfológicas é crucial para o avanço do conhecimento sobre a dinâmica hidrológica em florestas tropicais de terra firme. Este processo não apenas contribui para a redistribuição hídrica e a disponibilização de nutrientes no solo, mas também afeta a dinâmica ecológica e a resistência das espécies arbóreas a condições ambientais adversas (Germer *et al.*, 2012).

Este estudo analisa a influência de características morfológicas, como a textura da casca e a inclinação do tronco, bem como da variação da umidade do caule, sobre o escoamento pluvial em diferentes espécies de floresta tropical de terra firme no Amapá. Ao incluir a umidade do caule como variável central, busca-se compreender de que forma as condições hídricas internas dos indivíduos interagem com atributos estruturais externos na modulação da redistribuição da água. Assim, este trabalho contribui para o avanço da hidrologia florestal e oferece subsídios ao manejo sustentável, à conservação da biodiversidade e às estratégias de mitigação e adaptação às mudanças climáticas na Amazônia.

## **2 OBJETIVOS**

### **2.1 Objetivo Geral:**

Analisar o comportamento hidrológico de espécies arbóreas em uma floresta de terra firme amapaense.

### **2.2 Objetivos Específicos:**

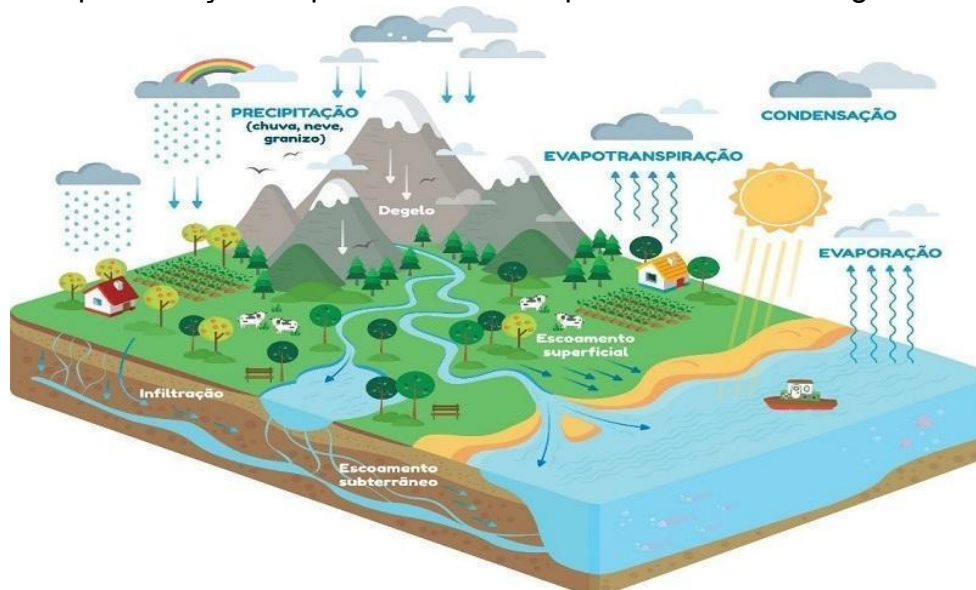
- Quantificar a entrada de água no sistema florestal por meio do escoamento pelo tronco e da precipitação total.
- Analisar a influência dos principais fatores morfológicos e ambientais no comportamento hidrológico das espécies arbóreas monitoradas.
- Avaliar a variação da umidade do tronco nas espécies estudadas e sua relação com o escoamento e o armazenamento de água no sistema florestal.

### 3 REFERENCIAL TEÓRICO

#### 3.1 Ciclo Hidrológico

O ciclo hidrológico (Figura 1) é um processo natural essencial para a manutenção da vida e o equilíbrio dos ecossistemas. Caracterizado pelo movimento contínuo da água entre a superfície terrestre, a atmosfera e a biosfera, ele é impulsionado pela energia solar, que promove a evaporação e a transpiração, e pela gravidade, que atua no retorno da água precipitada ao solo (Yin; Roderick, 2020; IPCC, 2022).

**Figura 1:** Representação Esquemática das Etapas do Ciclo Hidrológico.



Fonte: EPAL (2024)

Esse ciclo tem seu início com a evaporação da água de reservatórios naturais e artificiais. O vapor atmosférico é então transportado pelas massas de ar até a condensação, que resulta na precipitação. Ao atingir a superfície, a água se distribui por meio de diferentes processos: uma parcela infiltra-se no solo, enquanto outra escoam superficialmente, e uma terceira penetra em profundidade, contribuindo para a recarga de aquíferos subterrâneos (Villela; Mattos, 1975).

Em ambientes florestais, a dinâmica hidrológica é modulada por fatores como o dossel arbóreo, a serapilheira e as características físicas do solo. Esses elementos influenciam a interceptação da precipitação, a infiltração e a recarga hídrica, além de atenuar os efeitos erosivos do escoamento superficial (Bacellar, 2005).

Contudo, eventos extremos como a seca na Amazônia entre 2023 e 2024 evidenciaram desequilíbrios significativos no ciclo hidrológico. Tais anomalias, agravadas pelo El Niño e pelo aquecimento do Atlântico Norte, resultaram na redução da evapotranspiração, no atraso das chuvas e na intensificação do estresse térmico, comprometendo a reciclagem de umidade e a disponibilidade hídrica dos ecossistemas (Marengo *et al.*, 2024). Essas mudanças ressaltam a necessidade de se compreender também o papel das águas subterrâneas, que vêm sofrendo alterações significativas em resposta a pressões climáticas e antrópicas, afetando diretamente o equilíbrio do ciclo global da água (Kuang *et al.*, 2024).

Além dos impactos de origem climática, alterações antrópicas, como o desmatamento e a urbanização desordenada, também interferem drasticamente no ciclo hidrológico, intensificando eventos extremos como secas e inundações. Em áreas urbanas, por exemplo, a impermeabilização do solo e a carência de infraestrutura adequada contribuem para desastres pluviais recorrentes, exigindo ações urgentes de planejamento e contenção (Kelm; Da Silva; Schilling, 2014). Esse cenário reforça a importância de estratégias integradas de conservação e manejo sustentável, que considerem a complexidade do ciclo hidrológico e o papel das águas subterrâneas frente aos impactos de eventos climáticos e pressões humanas na região amazônica (Kuang *et al.*, 2024; Marengo *et al.*, 2024).

### **3.2 Floresta de Terra Firme Amazônica**

A Amazônia é reconhecida como uma das maiores e mais importantes formações florestais do planeta. O bioma amazônico ocupa aproximadamente 4,2 milhões de km<sup>2</sup>, o que corresponde a cerca de 49% do território brasileiro, enquanto a Amazônia Legal abrange cerca de 5 milhões de km<sup>2</sup>, representando aproximadamente 59% do país (Imazon, 2021).

As florestas amazônicas representam um dos ecossistemas mais biodiversos do planeta, com uma riqueza arbórea ainda amplamente subestimada. Estimativas recentes, baseadas em métodos paramétricos específicos, indicam que a região pode abrigar mais de 15.000 espécies de árvores. No entanto, mesmo com um aumento expressivo no esforço amostral, apenas cerca de 50% dessa diversidade seria registrada, evidenciando a necessidade de campanhas de campo sistemáticas

e de longa duração para capturar a totalidade da composição florística amazônica (Ter Steege *et al.*, 2020).

Além da elevada riqueza de espécies, a estrutura das florestas amazônicas é marcada por um padrão de hiperdominância, no qual um pequeno número de espécies representa a maior parte dos indivíduos arbóreos. Esse fenômeno ocorre em todos os estratos florestais sub-bosque, estrato médio e dossel, com composição específica em cada um deles. Observa-se que as espécies dominantes em grandes classes de tamanho pertencem a um número limitado de linhagens filogenéticas, enquanto as de menor porte são mais diversificadas evolutivamente. Esses padrões indicam que a compreensão da diversidade e do funcionamento ecológico da floresta requer uma abordagem integrada que considere tanto sua organização espacial quanto vertical (Draper *et al.*, 2021).

A floresta de terra firme distingue-se estrutural e floristicamente das florestas de várzea e igapó, ocupando áreas mais elevadas e bem drenadas. Essas características conferem à floresta alta heterogeneidade ecológica e complexidade estrutural, tornando-a o ecossistema predominante nas regiões mais altas da Amazônia brasileira (Bredin *et al.*, 2020).

Do ponto de vista hidrológico, a Amazônia exerce um papel essencial na regulação climática regional e global. Pesquisas indicam que aproximadamente 59% da precipitação anual retorna à atmosfera por evapotranspiração, enquanto cerca de 22% é interceptada pelo dossel e evapora antes de atingir o solo. Árvores emergentes, com diâmetro superior a 30 cm, são responsáveis por 71% da transpiração, reciclando cerca de 26% da chuva (Kunert *et al.*, 2017).

### **3.3 Florestas de Terra Firme Amapaense**

A floresta de terra firme constitui a maior cobertura vegetal do Amapá, com 106.987 km<sup>2</sup>, ocupando cerca de três quartos do território estadual (IEPA, 2008; Rauber, 2019). A vegetação do estado apresenta estruturas bem definidas, caracterizadas por uma massa contínua de árvores de grande porte e elevada diversidade florística, incluindo espécies endêmicas representativas do Platô das Guianas. O Amapá é considerado o estado mais conservado da Amazônia Legal,

apresentando historicamente uma das menores taxas de desmatamento do país (INPE, 2024a; INPE, 2024b).

Dados recentes do Projeto PRODES, do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, indicam que, entre 1º de agosto de 2023 e 31 de julho de 2024, o Amapá foi o único estado da Amazônia Legal a registrar taxa zero de desmatamento (INPE, 2024a; INPE, 2024b). Esses resultados confirmam a eficiência das políticas de preservação na região e destacam a importância do monitoramento por satélite no acompanhamento da cobertura florestal. Além disso, informações divulgadas por Seixas (2019) apontam que cerca de 73,5% do território estadual encontra-se sob proteção ambiental, abrangendo unidades de conservação, terras indígenas e comunidades quilombolas.

Os ecossistemas florestais do Amapá apresentam solos variados e relativamente produtivos, que permitem o desenvolvimento de atividades econômicas sustentáveis, como o manejo florestal e a agricultura de baixa intervenção. As florestas de terra firme, em especial as submontanas e as de terras baixas não inundáveis, apresentam elevados estoques de biomassa, com média aproximada de 520 megagramas por hectare ( $\text{Mg ha}^{-1}$ ). Grande parte dessa biomassa está concentrada em áreas protegidas, evidenciando a relevância dessas regiões como importantes reservatórios de carbono. A conservação dessas áreas é, portanto, essencial para prevenir perdas decorrentes do desmatamento e contribuir significativamente para a mitigação das mudanças climáticas (Da Costa *et al.*, 2025).

### **3.4 Interação Água – Floresta**

A interceptação da precipitação pela copa das árvores, incluindo folhas, ramos e casca, desempenha um papel crucial na regulação do ciclo hidrológico. Esse processo reduz o escoamento superficial e a sobrecarga dos sistemas de drenagem, além de proteger o solo contra a erosão e favorecer a infiltração de água. Dessa forma, a vegetação atua como um elemento-chave para a manutenção da qualidade e disponibilidade dos recursos hídricos (Zhong *et al.*, 2022; Xia *et al.*, 2023).

As características morfológicas e estruturais das árvores influenciam diretamente a dinâmica hídrica em ambientes florestais. Fatores como a textura e

rugosidade da casca, a arquitetura do tronco, a forma da copa, o ângulo dos galhos e a presença de epífitas afetam a capacidade de interceptação e o direcionamento da água. Esses elementos modulam o volume de escoamento produzido por cada espécie, que, por sua vez, contribui para a redistribuição localizada de água e nutrientes próximos à base das árvores, favorecendo o equilíbrio hídrico do solo (Metzger *et al.*, 2019; Bredin *et al.*, 2020).

No entanto, alterações na cobertura vegetal, especialmente a substituição de florestas nativas por usos antrópicos, comprometem a interceptação e a infiltração. Isso aumenta o escoamento superficial e os riscos de erosão e degradação hídrica, afetando a capacidade de regulação hidrológica das bacias e prejudicando o fornecimento de serviços ecossistêmicos essenciais (Paiva *et al.*, 2023).

Diante desse cenário, a conservação do dossel arbóreo e a restauração de áreas degradadas são estratégias indispensáveis para garantir a sustentabilidade hidroambiental. Além de manter a estabilidade do ciclo hidrológico, essas ações fortalecem a resiliência das florestas frente às mudanças climáticas, assegurando a continuidade dos serviços ambientais vitais (Zhong *et al.*, 2022; Xia *et al.*, 2023).

### **3.5 Escoamento pelo Tronco**

O escoamento pelo tronco representa um componente essencial do ciclo hidrológico em ecossistemas florestais, contribuindo para a redistribuição da água e para o transporte concentrado de nutrientes e matéria orgânica ao solo. Embora represente uma fração reduzida da precipitação total, seu impacto hidrológico e biogeoquímico é altamente relevante, especialmente em áreas tropicais e subtropicais (Levia; Frost, 2003; Carlyle-Moses *et al.*, 2018).

Esse fluxo ocorre quando a precipitação excede a capacidade de retenção da copa, escorrendo pelas folhas, galhos e troncos até atingir a base das árvores. Fatores como a intensidade da chuva, a morfologia da árvore, a inclinação dos galhos, a textura da casca e a presença de epífitas influenciam diretamente o volume e a composição do escoamento troncal (Levia; Germer, 2015; Yang; Shao; Wei, 2019; Zhang *et al.*, 2021).

Estudos demonstram grande variação na quantidade de escoamento pelo tronco entre diferentes formações florestais ao longo do tempo. Na Mata Atlântica catarinense, Nicoletti, Refosco e Pinheiro (2022) observaram que o percentual de escoamento variou conforme o estágio de regeneração da floresta: 5,9% da

precipitação total em florestas jovens e apenas 0,54% em áreas em estágio avançado, indicando que a complexidade estrutural reduz a canalização da água pelos troncos. Zhang *et al.*, (2021) mostram que mudanças ao longo de 22 anos influenciam a redistribuição da chuva em florestas subtropicais, impactando os fluxos de escoamento, incluindo o tronco.

No contexto dos nutrientes e da matéria orgânica transportados, Perez-Marin e Menezes (2008) constataram que a água escoada pelo tronco apresentava concentrações de nitrogênio e fósforo até 300% maiores e de potássio entre 100% e 600% superiores em comparação à precipitação direta. Além disso, O'Halloran, Guerard; Levia (2024) evidenciaram que o escoamento pelo tronco também transporta matéria orgânica dissolvida, cuja composição varia entre espécies e ao longo das fases fenológicas, influenciando diretamente a dinâmica biogeoquímica do solo próximo ao tronco.

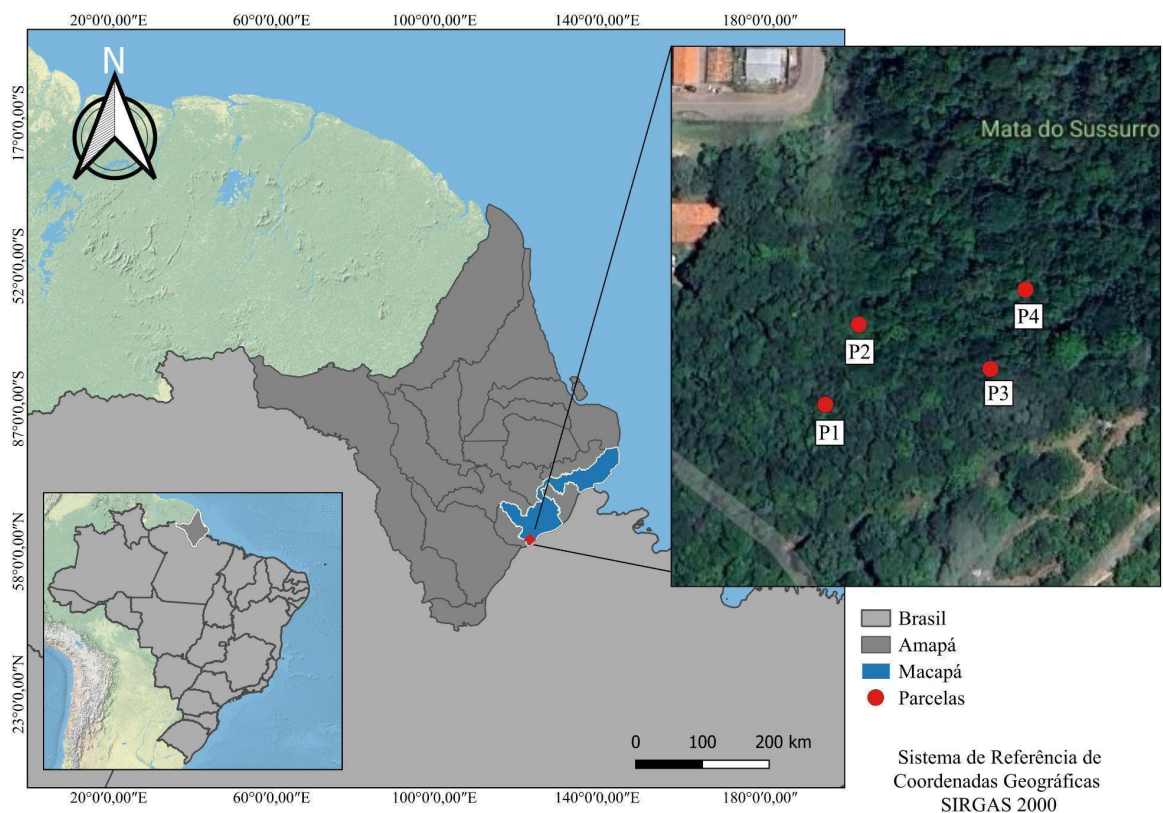
Apesar de sua relevância, Levia e Frost, (2003) e Carlyle-Moses *et al.* (2018) apontam que o escoamento pelo tronco permanece sub explorado na literatura científica, sendo muitas vezes negligenciado em avaliações do balanço hídrico e da fertilidade do solo. Estimativas médias indicam que ele representa cerca de 4% da precipitação total em florestas tropicais e temperadas, podendo variar entre 0,5% e 17%, dependendo das espécies e das características do evento de chuva.

## 4 METODOLOGIA

### 4.1 Área de Estudo

A pesquisa foi realizada em parcelas de floresta de terra firme (Figura 2) localizadas no Campus da Universidade Federal do Amapá (UNIFAP), no município de Macapá. O campus está situado na Rodovia Josmar Chaves Pinto, km 02, no bairro Marco Zero do Equador, e ocupa uma área de 906.722,44 m<sup>2</sup>.

**Figura 2:** Mapa da localização da área de estudo no Campus da Universidade Federal do Amapá (UNIFAP), em Macapá (AP), destacando a área de coleta de dados.



Fonte: Autoria Própria (2025)

### 4.2 Delineamento Experimental

Foram selecionados e monitorados 52 indivíduos arbóreos, abrangendo diversas espécies e apresentando variação na morfologia e textura das cascas, de modo a representar de forma ampla o ambiente em termos de estrutura florestal e

acessibilidade. Essa diversidade garantiu a inclusão de diferentes padrões ecológicos e estruturais, permitindo uma caracterização mais completa do ecossistema estudado.

### 4.3 Caracterização Dendrométrica

Para cada indivíduo arbóreo foram mensuradas variáveis dendrométricas com circunferência à altura do peito (CAP) > 15 cm para determinar altura, área basal e área de projeção da copa.

A área basal (AB) foi obtida a partir do diâmetro à altura do peito (DAP), calculado pela relação entre a circunferência do tronco e a constante pi ( $\pi$ ), conforme a equação:

$$DAP = \frac{CAP}{\pi}$$

A partir desse valor, a área basal individual foi determinada pela expressão:

$$AB_i = \frac{\pi \times DAP_i^2}{4}$$

Esse procedimento é amplamente utilizado em inventários florestais e constitui uma métrica fundamental para estimar a densidade e a produtividade das formações florestais (Husch; Beers; Kershaw, 2002; Yang et al., 2017).

A área da copa (A) foi calculada a partir das medidas do comprimento dos galhos projetados do centro do tronco até a extremidade, tomadas em quatro direções ortogonais (90° entre si). Essas medidas foram utilizadas para formar quatro triângulos, cuja área individual foi determinada pela equação:

$$A_{\text{triângulo}} = \frac{a \times b \times (\sin 90^\circ)}{2}$$

onde a e b representam duas projeções consecutivas da copa. Considerando que o seno de 90° é igual a 1, a equação foi simplificada para:

$$A_{\text{triângulo}} = \frac{a \times b}{2}$$

A área total da copa (A) correspondeu à soma das áreas dos quatro triângulos formados. Esse procedimento é adotado em estudos de mensuração florestal e análises estruturais de copas, voltadas à estimativa de competição, interceptação de radiação solar e processos hidrológicos (Husch; Beers; Kershaw, 2002; Hernández Ramos et al., 2022).

#### **4.4 Caracterização Morfológica**

A caracterização morfológica do tronco das espécies arbóreas foi realizada por meio de inspeção visual, considerando atributos da casca e do tronco. A textura da casca foi classificada como lisa, rugosa ou escamosa, seguindo os critérios descritos por Tonello *et al.* (2021b), que relacionam características da casca, como absorção e molhabilidade, com propriedades funcionais do tronco. Já a inclinação do tronco foi registrada como ereto ou inclinado, adaptando os critérios de postura do caule empregados por Collet *et al.* (2011).

#### **4.5 Monitoramento do Escoamento pelo Tronco**

A coleta de dados de precipitação total (P) e escoamento pelo tronco foi realizada no período de janeiro a setembro de 2023, com o objetivo de analisar a dinâmica da redistribuição da água da chuva no ambiente florestal. As amostragens ocorreram, sempre que possível, logo após os eventos pluviométricos, garantindo maior precisão na aferição dos volumes. Cada coleta abrangeu um ou mais episódios consecutivos de precipitação, permitindo a análise integrada da variabilidade sazonal.

Para quantificar a precipitação, foi instalado um pluviômetro manual em uma área aberta, desprovida de cobertura vegetal, nas proximidades da área de estudo (Figura 3).

**Figura 3:** Pluviômetro artesanal confeccionado em PVC, utilizado para a quantificação da precipitação total na área de estudo.



Fonte: Autoria própria (2023)

O equipamento foi confeccionado com tubos e conexões de PVC, seguindo modelos já descritos na literatura para a construção de pluviômetros alternativos, especialmente voltados a áreas remotas onde o acesso a equipamentos automáticos é limitado (Borges *et al.*, 2011; De Sousa, 2017). A medição da precipitação em área aberta serve como referência fundamental para a análise dos processos de interceptação e redistribuição da água no dossel florestal.

A mensuração do escoamento pelo tronco foi realizada com base na adaptação de coletores fixados diretamente nos indivíduos arbóreos selecionados (Figura 4).

**Figura 4:** Sistema artesanal de coleta de escoamento pelo tronco, composto por calhas de espuma de poliuretano e recipientes coletores instalados na base das árvores.



Fonte: Autoria própria (2023)

Os coletores foram moldados com espuma de poliuretano expansiva aplicada ao redor do tronco, formando uma calha contínua que conduziu a água interceptada por meio de mangueiras até recipientes plásticos posicionados na base da árvore (Lorenzon; Dias; Tonello, 2015). O volume coletado foi aferido em campo com o uso de uma proveta graduada de 1000 mL.

#### **4.6 Coleta de Dados de Umidade do Tronco e Ambiente Atmosférica**

Foram realizadas coletas de dados de umidade do tronco e umidade atmosférica. Para isso, foram utilizados dois equipamentos específicos um para medir a umidade do tronco por penetração (Moisture Meter) (Figura 5), e para a medição da umidade relativa do ar e da temperatura ambiente utilizou se o termo-higrômetro digital (Figura 6) da marca TASI, modelo TA8171, São parâmetros essenciais para compreender a influência das condições ambientais sobre a dinâmica do escoamento pelo tronco e a retenção hídrica nos tecidos vegetais.

**Figura 5:** Medidor digital de umidade por penetração (Moisture Meter) empregado na mensuração da umidade do tronco das árvores monitoradas.



Fonte: Autoria Própria (2024)

**Figura 6:** Medidor digital termo-higrômetro (modelo TASI TA8171) utilizado para registrar a umidade relativa (%) e a temperatura do ar (°C) na área de estudo.



Fonte: Autoria Própria (2024)

#### 4.7 Análise de Dados

Após a coleta de dados em campo, as informações foram tabuladas e organizadas em planilhas eletrônicas utilizando o software Microsoft Excel. A análise estatística e a criação dos gráficos foram realizadas por meio das ferramentas disponíveis neste programa.

Para avaliar a relação entre variáveis dendrométricas, foi aplicado o coeficiente de correlação de Pearson ( $r$ ), que mensura a força e direção da associação linear entre duas variáveis quantitativas, com valores variando entre  $-1$  e  $+1$ , em que extremos indicam forte correlação (Schober *et al.*, 2018). A análise de correlação foi realizada utilizando as funções estatísticas do software Microsoft Excel.

## 5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 5.1 Repartição de chuva

Durante o período amostral, a precipitação total média registrada foi de 1.210,83 mL, resultando em um escoamento médio pelo tronco de 3,33 mL por indivíduo, o que corresponde a aproximadamente 0,3% da precipitação total.

Estudos de síntese têm demonstrado que o escoamento pelo tronco representa uma fração relativamente pequena da precipitação total em florestas tropicais, geralmente inferior a 2% (Levia; Germer, 2015). Revisões globais indicam que, mesmo em escala mundial, a maior parte das observações de escoamento em florestas tropicais e temperadas permanece abaixo de 2% da precipitação total (Zhang *et al.*, 2021). Apesar do baixo volume, o ETr concentra água e nutrientes próximos ao tronco, desempenhando papel fundamental na disponibilidade hídrica e na ciclagem de nutrientes locais (Balieiro *et al.*, 2021).

Em florestas de terra firme amazônicas, estudos evidenciam a complexidade da dinâmica hídrica e ecológica desses ecossistemas. A topografia influencia diretamente a estrutura florística e a distribuição de espécies, afetando indiretamente a condução do escoamento e a ciclagem de nutrientes no solo (Pinheiro; Ferreira, 2022). Além disso, revisões recentes apontam que o escoamento é fortemente modulado por características morfológicas das árvores, como espessura e rugosidade da casca, forma das copas e densidade foliar, bem como por fatores ambientais, incluindo intensidade da precipitação e topografia local (Balieiro *et al.*, 2021; De Lima; Tonello, 2023).

Estudos demonstram que mesmo o percentual de ETr sendo relativamente baixo podem exercer efeitos ecológicos relevantes. Moraes *et al.* (2021) destacam que o aporte de nutrientes via escoamento contribui para a fertilidade do solo em fragmentos de Mata Atlântica, reforçando a importância do processo para a ciclagem de nutrientes. De Lima e Tonello (2023) evidenciam que o manejo florestal de impacto reduzido pode alterar a partição da precipitação, afetando o ETr e a disponibilidade hídrica local.

Em florestas temperadas, a magnitude do ETr também apresenta variação considerável. Por exemplo, em florestas de deodar e carvalho no Himalaia, o ETr

representou menos de 1% da precipitação bruta, evidenciando que, mesmo em pequenas proporções, o escoamento transporta nutrientes importantes para o solo, dependendo das características da copa e da casca das árvores (Jana *et al.*, 2021).

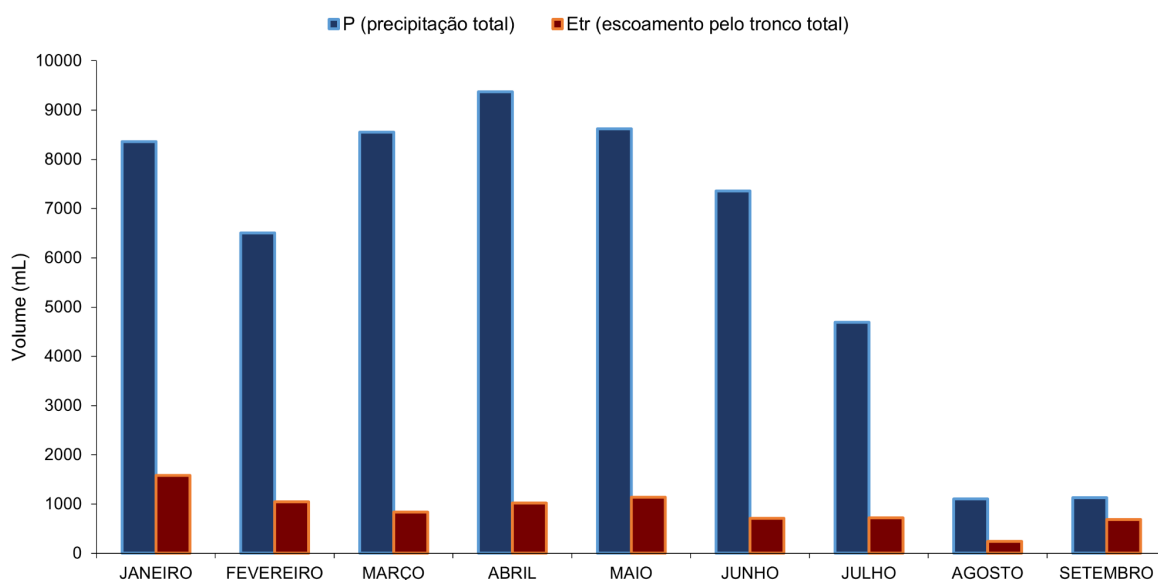
No presente estudo, o percentual de 0,3% observado em floresta de terra firme amapaense posiciona-se na extremidade inferior da variação documentada para florestas tropicais, mas permanece coerente com registros recentes em ecossistemas naturais. Valores igualmente baixos têm sido reportados em plantações de eucalipto no sul do Brasil, com variação de 0,3% a 5,4% da precipitação (Germer *et al.*, 2012), e em florestas em regeneração da Mata Atlântica, onde o ETr pode atingir apenas 0,54% em estágios avançados (Balieiro *et al.*, 2021).

Portanto, embora o volume de escoamento pelo tronco seja quantitativamente pequeno, sua relevância eco-hidrológica não deve ser subestimada. O ETr concentra fluxos de água e nutrientes em micro-habitats ao redor da base das árvores, influenciando a dinâmica da ciclagem biogeoquímica e a heterogeneidade hídrica do solo em escala local. Mesmo volumes reduzidos de escoamento podem impactar significativamente a disponibilidade hídrica, a fertilidade do solo e a diversidade microbiana próxima aos troncos, reforçando a importância desse processo nos ecossistemas florestais (Balieiro *et al.*, 2021; Jana *et al.*, 2021; Morais *et al.*, 2021; Zhang *et al.*, 2021 De Lima; Tonello, 2023).

## **5.2 Quantificação do Escoamento pelo Tronco**

A Figura 7 apresenta a variação sazonal dos volumes de precipitação total e de escoamento pelo tronco registrados durante o período amostrado.

**Figura 7:** Variação mensal dos volumes de precipitação total (mL) e escoamento pelo tronco (mL) entre janeiro e setembro de 2023, em floresta de terra firme amapaense.



Fonte: Autoria própria (2025)

O maior volume de precipitação foi registrado em abril de 2023, com 9.375 mL, enquanto o menor índice ocorreu em agosto de 2023, com 1.105 mL. Essa variação evidencia a sazonalidade característica das florestas tropicais de terra firme amazônicas, que apresentam um regime hídrico com períodos bem definidos de maior e menor disponibilidade pluviométrica (Oliveira *et al.*, 2008; Levia *et al.*, 2010).

Em relação ao escoamento pelo tronco, observou-se o maior volume em janeiro, totalizando 1.577 mL, equivalente a aproximadamente 18,8% da precipitação total, ao passo que o menor volume, de 241 mL, coincidiu com o mês de menor índice pluviométrico, em agosto. Esses resultados indicam uma relação direta entre a quantidade de chuva incidente e o volume de escoamento concentrado ao longo do tronco das árvores (Oliveira *et al.*, 2008; Levia; Frost, 2003; Levia; Germer, 2015).

Tal padrão é consistente com a literatura, que evidencia a sensibilidade do escoamento pelo tronco à intensidade, à duração e à sazonalidade das precipitações, representando geralmente uma fração inferior a 5% da precipitação total, mas tornando-se mais expressivo em espécies com maior capacidade de canalização (Levia; Frost, 2003; Levia; Germer, 2015). Dessa forma, observa-se que o escoamento pelo tronco constitui um mecanismo hidrológico relevante, modulando

a redistribuição da água da chuva dentro do dossel e influenciando a dinâmica hídrica das florestas de terra firme amazônicas.

A Tabela 1 evidencia diferenças marcantes nos volumes médios de escoamento pelo tronco entre os grupos de árvores monitorados, variando de acordo com a morfologia da casca. De modo geral, indivíduos de casca lisa apresentaram os maiores valores mensais em todo o período, seguidos por aqueles de casca rugosa, enquanto os de casca escamosa mantiveram os menores registros.

**Tabela 1:** Médias mensais de escoamento pelo tronco (mL) entre janeiro e setembro de 2023, considerando diferentes tipos de casca (lisa, rugosa e escamosa).

Casca	jan.	fev.	mar.	abr.	mai.	jun.	jul.	ago.	set.
Rugosa	1.494	1.064	806	907	972	836	685	196	708
Lisa	2.123	1.469	1.149	1.596	1.631	824	1.055	495	577
Escamosa	803	309	291	497	547	347	234	40	588

Fonte: A autoria própria (2025)

Nos primeiros meses do ano, especialmente entre janeiro e março, observaram-se os maiores volumes de escoamento em todos os grupos, com destaque para as árvores de casca lisa, que atingiram 2.123 mL em janeiro e 1.469 mL em fevereiro. Esse padrão coincide com o regime climático típico da Amazônia Oriental, caracterizado por elevada intensidade de chuvas no início do ano (Oliveira *et al.*, 2011), o que favorece tanto a interceptação da precipitação pela copa quanto o direcionamento da água ao longo do tronco (Balieiro *et al.*, 2021).

A partir de abril, e de forma mais acentuada em maio, ocorreu uma redução significativa nos valores médios, sobretudo em indivíduos de casca escamosa, que permaneceram com os menores índices 497 mL em abril e 547 mL em maio. Essa diminuição reflete a transição para meses de menor disponibilidade hídrica, mas pode estar associada a fatores fenológicos, como a queda parcial de folhas, que reduz a capacidade de interceptação e, conseqüentemente, o volume de água conduzido ao tronco (Janssen *et al.*, 2021).

Entre junho e agosto, os valores de escoamento mantiveram-se relativamente baixos em todos os grupos, embora as árvores de casca lisa tenham preservado

médias mais elevadas 824 mL em junho, demonstrando maior eficiência hidráulica mesmo sob menor intensidade pluviométrica. Já os indivíduos de casca rugosa e, sobretudo, de casca escamosa apresentaram menores volumes, possivelmente em função da maior retenção e infiltração da água em fissuras, sulcos e placas soltas (Levia; Germer, 2015).

No mês de setembro, observou-se um leve aumento nos volumes em todos os grupos, sugerindo o início do retorno das chuvas e a reativação dos processos de interceptação e condução de água pelo tronco. Ainda assim, as diferenças entre os grupos permaneceram evidentes, reforçando a influência determinante da morfologia da casca sobre o escoamento, em interação com a sazonalidade climática (Levia; Frost, 2003; Levia; Germer, 2015).

Em síntese, os resultados confirmam que árvores de casca lisa direcionam maiores volumes de água ao longo do tronco, seguidas pelas de casca rugosa, enquanto aquelas de casca escamosa conduzem significativamente menos. Essa dinâmica possui implicações eco-hidrológicas relevantes, sobretudo no aporte localizado de água e nutrientes junto à base das árvores, influenciando processos de ciclagem biogeoquímica, regeneração natural e manejo florestal sustentável. Como destaca Levia e Germer (2015), compreender a interação entre estrutura morfológica do tronco e sazonalidade climática é fundamental diante dos desafios impostos pelas mudanças globais e pressões antrópicas sobre os ecossistemas amazônicos.

### **5.3 Características Morfológicas do Caule e da Casca das Espécies Arbóreas**

A Tabela 2, exposta no apêndice, apresenta de forma geral, as características morfológicas observadas em cada indivíduo amostrado.

A estrutura dos indivíduos amostrados revelou ampla variação morfológica, refletindo a heterogeneidade típica das florestas tropicais de terra firme. O CAP variou entre 19,0 e 116 cm, com média de 53,4 cm, indicando a presença de árvores em diferentes estágios ontogenéticos. A altura das árvores variou de 3,0 a 24,78 m, com média de 10,67 m, evidenciando a coexistência de indivíduos jovens e adultos bem desenvolvidos. A área basal apresentou variação de 0,01 a 0,11 m<sup>2</sup>, com média de 0,023 m<sup>2</sup>, enquanto a área de copa oscilou entre 2,92 e 68,21 m<sup>2</sup>, com média de 15,97 m<sup>2</sup>, reforçando a diversidade estrutural dos indivíduos amostrados.

No que se refere às características da casca, observou-se predominância do tipo rugosa, seguida por cascas escamosas e lisas. A textura rugosa da casca, por apresentar maior área superficial e profundidade de fissuras, confere elevada capacidade de retenção hídrica, o que pode reduzir o volume de escoamento pelo tronco. Estudos indicam que cascas com maior absorvência tendem a reter mais água superficialmente, resultando em menor produção de escoamento troncal em espécies com essas características (Tonello *et al.*, 2021).

A conformação do tronco também se mostrou relevante. A maioria dos indivíduos apresentou tronco ereto, enquanto uma proporção menor apresentou troncos inclinados. Essa variação morfológica pode alterar o padrão de escoamento ao longo do fuste, visto que troncos com inclinação tendem a promover dispersão lateral da água.

Dessa forma, os resultados apresentados indicam que a diversidade estrutural, expressa por variáveis como CAP, altura, tipo de casca e conformação do tronco, desempenha papel fundamental na complexidade hidrológica das florestas tropicais de terra firme (Balieiro *et al.*, 2021). Além disso, tanto a distribuição espacial das espécies quanto às características do solo influenciam diretamente a organização da floresta, reforçando a importância da heterogeneidade estrutural para os processos ecológicos (Dos Santos *et al.*, 2020). A compreensão dessas interações é essencial para o avanço do conhecimento sobre os processos de redistribuição hídrica e para a formulação de estratégias de manejo sustentável voltadas à conservação dos serviços ecossistêmicos (Almeida, Ferreira; Coudel, 2023).

#### **5.4 Coeficientes de Correlação de Pearson entre Variáveis Dendrométricas e Escoamento do Tronco**

A Tabela 3 apresenta os coeficientes de correlação de Pearson entre o escoamento total pelo tronco e as variáveis dendrométricas analisadas, incluindo a circunferência à altura do peito, área basal, área de copa e umidade do tronco.

**Tabela 3:** Coeficientes de correlação de Pearson entre variáveis dendrométricas (CAP, área basal, área de copa e umidade do tronco) e o escoamento total pelo tronco (mL).

	Área da copa	Área basal	CAP	Umidade de Tronco
Escoamento total	0,371	-0,305	-0,297	-0,039

Fonte: Autoria própria (2025)

A análise dos coeficientes de correlação de Pearson revelou que a área da copa apresentou a associação positiva mais expressiva com o escoamento troncal total ( $r = 0,371$ ). Esse resultado evidencia que copas mais extensas favorecem a canalização da precipitação em direção ao tronco, reforçando a hipótese de que a arquitetura da copa constitui um fator crítico na hidrologia florestal. Esse achado está em consonância com os resultados de Van Stan *et al.* (2011), que destacaram a influência da geometria e da profundidade do dossel na eficiência de interceptação e no direcionamento da água, e com as observações de Yang *et al.* (2008), que verificaram maior proporção de fluxo troncal em espécies de arbustos com maior cobertura de copa. Assim, os dados aqui obtidos confirmam a relevância da estrutura da copa como elemento determinante na geração de escoamento troncal.

Em contraste, tanto a área basal ( $r = -0,305$ ) quanto o CAP ( $r = -0,297$ ) apresentaram correlações negativas com o escoamento troncal. Esse padrão sugere que indivíduos com troncos de maior diâmetro não necessariamente conduzem maiores volumes de água, possivelmente em razão das propriedades da casca. Casca espessa ou rugosa tende a reter e dissipar parte da água interceptada, reduzindo a sua transferência ao longo do tronco. Resultados semelhantes foram reportados por Reid e Lewis (2009), que observaram baixos volumes de fluxo troncal em coníferas de grande porte devido à elevada capacidade de armazenamento da casca (10–15 mm), e por Levia *et al.* (2010), que identificaram maior produção de fluxo em espécies de casca lisa (faia americana) quando comparadas a espécies de casca rugosa (álamo amarelo). Dessa forma, os resultados do presente estudo corroboram a literatura ao indicar que o diâmetro do tronco, ao contrário do esperado, pode reduzir a eficiência do escoamento troncal.

Por sua vez, a umidade do tronco apresentou correlação desprezível com o escoamento ( $r = -0,039$ ), sugerindo que o volume total produzido depende menos

da umidade antecedente da casca e mais das condições dinâmicas de cada evento de chuva. Essa interpretação converge com o conceito de armazenamento dinâmico proposto por Reid e Lewis (2009), segundo o qual o comportamento do escoamento troncal é fortemente condicionado pela intensidade, duração e variabilidade intra tempestade da precipitação.

Em síntese, os resultados deste estudo alinham-se à literatura ao apontar a arquitetura da copa como um fator positivo para a produção de escoamento troncal, ao passo que o tamanho do tronco se mostra negativamente associado, provavelmente em função das características da casca.

A Tabela 4 apresenta os coeficientes de correlação de Pearson entre o escoamento pelo tronco e as variáveis dendrométricas, considerando as diferentes características morfológicas da casca.

**Tabela 4:** Coeficientes de correlação de Pearson entre variáveis dendrométricas e o escoamento pelo tronco (mL), de acordo com diferentes tipos de casca (lisa, rugosa e escamosa).

Correlação	Casca rugosa	Casca escamosa	Casca lisa
ETr x CAP	-0,216	0,011	-0,358
ETr x Área basal	-0,514	0,127	0,044
ETr x Área da copa	-0,424	-0,522	-0,407
ETr x Altura	0,441	-0,706	-0,093
ETr x Umidade da casca	0,409	-0,113	-0,419

Fonte: Autoria própria (2025)

A análise das correlações entre as características dendrométricas, a tipologia da casca e o escoamento pelo tronco revelou relações complexas e específicas, evidenciando o papel modulador de cada morfologia na hidrologia do ecossistema. Esses resultados corroboram a literatura, que posiciona a estrutura da árvore como uma interface hidrológica dinâmica, capaz de influenciar tanto o volume total quanto a distribuição espacial do escoamento (Levia; Germer 2015).

A casca rugosa apresentou relações complexas com o escoamento troncal. As correlações negativas com a área basal ( $r = -0,514$ ), a circunferência à altura do

peito ( $r = -0,216$ ) e a área da copa ( $r = -0,424$ ) indicam que árvores com troncos mais largos e copas mais amplas tendem a reduzir o escoamento direto ao solo. Em contraste, as correlações positivas com a altura ( $r = 0,441$ ) e a umidade da casca ( $r = 0,409$ ) sugerem que árvores mais altas e com troncos úmidos canalizam a água de forma mais eficiente. Este padrão é consistente com observações em espécies de florestas temperadas, como relatado por Reid e Lewis (2009) e Levia *et al.* (2010), onde a casca espessa atua como reservatório de água, modulando o transporte e prolongando o escoamento após a precipitação.

No caso das árvores com casca escamosa, observou-se um padrão hidrológico distinto, no qual a altura e as dimensões da copa exercem influência dominante. A forte correlação negativa da altura ( $r = -0,706$ ) e da área da copa ( $r = -0,522$ ) com o escoamento troncal indica que árvores mais altas e com copas maiores apresentam redução significativa no volume de água conduzido. Esse comportamento pode ser explicado pelo desvio da água pelas escamas, que funcionam como barreiras na superfície do tronco, aumentando a retenção superficial e dissipando a precipitação lateralmente. Este mecanismo reforça a hipótese de que a morfologia da casca atua como modulador hidrológico ativo, conforme descrito por Levia *et al.* (2010) e Germer *et al.* (2010). As demais variáveis, como CAP ( $r = 0,011$ ), área basal ( $r = 0,127$ ) e umidade da casca ( $r = -0,113$ ), apresentaram correlações muito fracas, indicando que, para esta tipologia, o efeito das escamas sobre o fluxo de água é mais relevante que o diâmetro ou a umidade da casca. A forte correlação negativa com a área da copa também está em linha com Van Stan *et al.* (2011), que observaram que copas maiores aumentam a interceptação da chuva e podem reduzir o escoamento, efeito potencializado pela morfologia escamosa do tronco.

A casca lisa apresentou um comportamento distinto e complexo na dinâmica do escoamento troncal. Apesar de ser reconhecida por sua alta eficiência na condução de água (Levia *et al.*, 2010). Observou-se correlação negativa com a área da copa ( $r = -0,407$ ), CAP ( $r = -0,358$ ), altura ( $r = -0,093$ ) e umidade da casca ( $r = -0,419$ ). Este padrão sugere que, para árvores com casca lisa, a condução da água depende menos das dimensões absolutas do indivíduo e mais de fatores micro-hidrológicos, como molhabilidade e saturação superficial. A correlação negativa com a umidade da casca indica que, uma vez saturada a superfície, a água pré-existente tem pouca influência sobre o volume de escoamento, que passa a ser

controlado principalmente pela precipitação incidente. Estudos prévios reforçam que micro-relevo e molhabilidade da casca podem otimizar o escoamento mesmo em superfícies aparentemente uniformes (Keim *et al.*, 2006). Além disso, a baixa correlação com a altura evidencia que a eficiência da casca lisa na condução de água minimiza diferenças no volume de escoamento atribuíveis apenas à altura da árvore.

Em síntese, os resultados demonstram que a tipologia da casca influencia não apenas o volume de água que atinge a base das árvores, mas também a distribuição espacial do escoamento e seu potencial de lixiviação de nutrientes. A morfologia do tronco, portanto, funciona como uma interface hidrológica dinâmica, explicando o elevado escoamento troncal observado neste estudo e reforçando que fatores estruturais e morfológicos das árvores são essenciais para compreender a redistribuição hídrica em florestas tropicais de terra firme (Levia; Germer 2015).

A Tabela 5 apresenta os coeficientes de correlação entre o escoamento pelo tronco e as variáveis dendrométricas, considerando os diferentes tipos de troncos.

**Tabela 5:** Coeficientes de correlação de Pearson entre variáveis dendrométricas e o escoamento pelo tronco (mL), considerando diferentes conformações de tronco (ereto e inclinado).

Correlação	Tronco ereto	Tronco inclinado
ETr x CAP	-0,170	-0,472
ETr x Área basal	-0,234	-0,529
ETr x Área da copa	-0,252	-0,439
ETr x Altura	0,325	-0,212
ETr x Umidade da casca	0,060	-0,000

Fonte: Autoria própria (2025)

A análise dos coeficientes de correlação, segmentada pela inclinação do tronco, revela que, em árvores com tronco ereto, as associações entre o escoamento troncal e as variáveis dendrométricas são, em sua maioria, fracas. Foram observadas correlações negativas com a CAP (-0,170), a área basal (-0,234) e a área da copa (-0,252), sugerindo que o aumento dessas dimensões está levemente associado à redução do volume de água conduzido. Em contrapartida, a

altura apresentou uma correlação positiva moderada (0,325), indicando que indivíduos mais altos tendem a apresentar maior volume de escoamento. A umidade da casca, por sua vez, registrou uma correlação positiva muito fraca (0,060), o que denota ausência de uma associação linear significativa entre essa variável e o ETr. Esse padrão sugere que, em troncos verticais, a superfície da casca atua de forma mais uniforme na condução da água, com a altura da árvore desempenhando um papel mais proeminente na determinação do volume total de fluxo.

Em nítido contraste, nos indivíduos com tronco inclinado, as correlações negativas foram significativamente mais acentuadas e generalizadas, especialmente para o CAP (-0,472) e a área basal (-0,5295). As correlações com a área da copa (-0,439) e a altura (-0,212) também foram negativas, indicando que o aumento dessas variáveis está associado a uma diminuição mais evidente do escoamento pelo tronco em comparação com árvores eretas. A umidade da casca, por sua vez, apresentou um coeficiente praticamente nulo (-0,000), reforçando a inexistência de uma associação linear relevante.

Esses resultados evidenciam que a inclinação do tronco é um fator preponderante na dinâmica do escoamento, possivelmente por modificar a trajetória da água sobre a superfície do caule, corroborando diretamente as descobertas de Liang *et al.* (2009), que constataram que a inclinação do tronco promove uma drenagem assimétrica do fluxo, direcionando-o desproporcionalmente para o lado mais baixo do tronco e afetando sua condução geral. A sua análise, que mostra uma diminuição mais acentuada do escoamento total em árvores inclinadas, pode ser explicada pelo fato de que a inclinação pode dificultar a condução contínua da água, favorecendo tanto a dissipação lateral quanto o acúmulo em reentrâncias da casca. Esse mecanismo de interrupção do fluxo está alinhado com a ideia de que a casca atua como uma interface hidrológica dinâmica, como proposto por Reid e Lewis (2009), que demonstraram como a capacidade de armazenamento da casca fibrosa de coníferas pode diminuir o fluxo troncal. No caso de troncos inclinados, a geometria altera a forma como a água interage com a casca, potencializando a retenção e o desvio do fluxo.

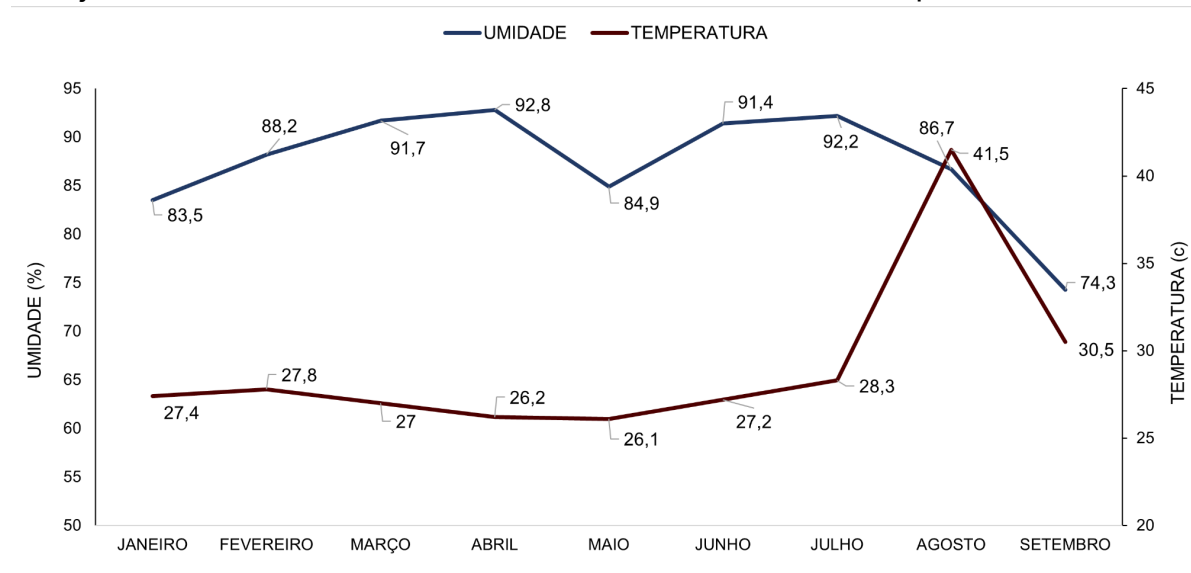
De forma geral, os resultados reforçam a tese de que a estrutura da árvore é um fator determinante na partição da precipitação. Eles demonstram que a inclinação do tronco não apenas altera a trajetória da água, mas também interage com as características dendrométricas de maneira complexa, resultando em padrões

de escoamento significativamente diferentes. As associações mais fortes e negativas em troncos inclinados, em contraste com as associações mais fracas em troncos eretos, reforçam a importância de se considerar a morfologia da árvore em sua totalidade para uma compreensão precisa da hidrologia do dossel e da distribuição hídrica no solo da floresta.

### 5.5 Temperatura e Umidade do Ambiente Atmosférico

A Figura 8 apresenta a variação mensal da umidade relativa do ar (%) e da temperatura (°C) em uma área de floresta de terra firme, no período de janeiro a setembro de 2023.

**Figura 8:** Variação mensal da umidade relativa do ar (%) e da temperatura do ar (°C) entre janeiro e setembro de 2023, em floresta de terra firme amapaense.



Fonte: Autoria própria (2025)

Com base no gráfico, observa-se que a umidade relativa do ar apresentou valores elevados entre março e julho, alcançando picos em abril (92,8%) e julho (92,2%). Esse comportamento indica o predomínio de condições atmosféricas úmidas, típicas do período chuvoso. Em contrapartida, a partir de agosto, verifica-se uma queda expressiva na umidade, atingindo o valor mais baixo em setembro (74,3%), o que caracteriza a transição para o período seco.

A temperatura, por sua vez, manteve-se relativamente estável entre janeiro e julho, variando entre 26,1 °C e 28,3 °C. Contudo, em agosto, ocorreu um aumento

acentuado, com registro máximo de 41,5 °C, seguido de uma redução em setembro (30,5 °C). Essa elevação abrupta da temperatura, associada à diminuição da umidade, evidencia condições de seca mais pronunciadas, comuns no final do período chuvoso e início da estação seca.

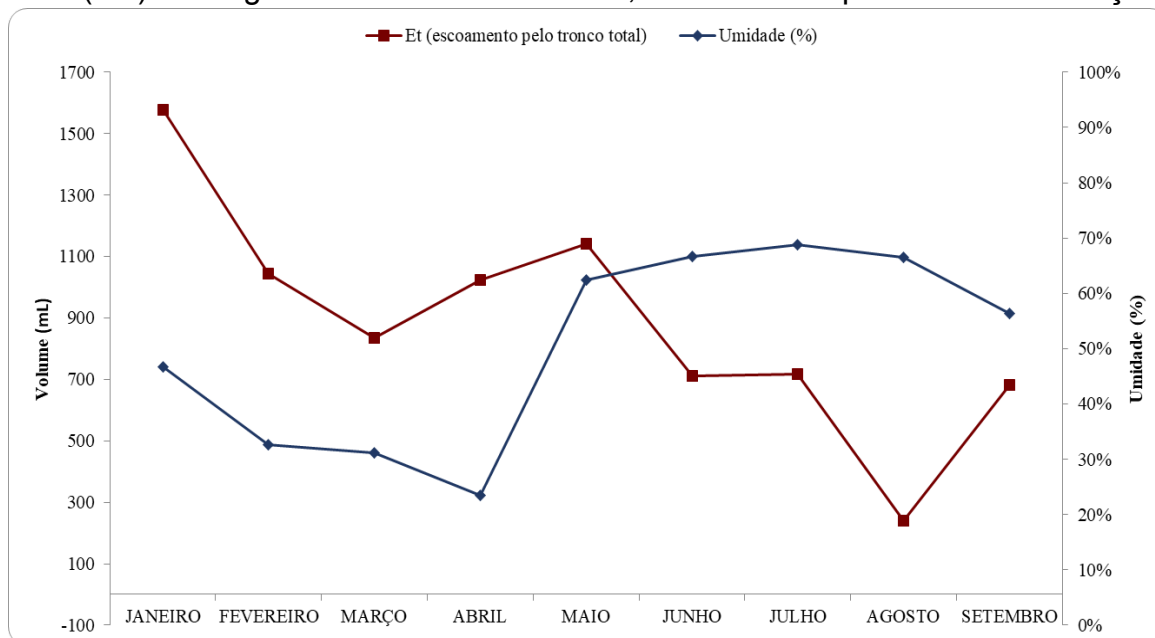
A relação inversa entre temperatura e umidade fica evidente ao longo dos meses analisados: períodos de maior umidade coincidem com temperaturas mais amenas, enquanto a queda na umidade está associada ao aumento térmico. Essa dinâmica está diretamente relacionada à sazonalidade climática da região, que alterna entre meses chuvosos, caracterizados por elevada umidade e baixa variação térmica, e meses secos, nos quais predominam maior insolação e temperaturas mais elevadas (Balieiro *et al.*, 2021; Levia; Germer, 2015).

Essas variações climáticas exercem influência significativa sobre os processos hidrológicos da floresta, afetando tanto o armazenamento hídrico no tronco quanto os padrões de escoamento. Durante os meses mais úmidos, há maior retenção de água pela vegetação, o que tende a reduzir o volume de escoamento troncal. Em contrapartida, no período seco, a combinação de baixa umidade e altas temperaturas favorece a liberação de água armazenada nos tecidos da árvore, resultando em maior escoamento, comportamento coerente com os mecanismos de autorregulação hídrica descritos para espécies tropicais (Goldstein *et al.*, 1998).

## **5.6 Umidade do Caule e Escoamento pelo Tronco**

A Figura 9 apresenta a variação mensal da umidade do tronco (%) e do volume de escoamento pelo tronco (mL) ao longo do ano. Os dados indicam uma relação inversamente proporcional entre os dois parâmetros analisados.

**Figura 9:** Relação entre a umidade do tronco (%) e o volume de escoamento pelo tronco (mL) ao longo dos meses monitorados, evidenciando padrões de correlação.



Fonte: Autoria própria (2025)

A análise dos dados ao longo do período de estudo revelou uma variação sazonal significativa no escoamento pelo tronco e na umidade da madeira, com uma correlação inversa observada em diferentes momentos. No mês de janeiro, o volume de escoamento atingiu seu pico, ultrapassando 1.500 mL, em consonância com uma umidade relativamente alta, próxima a 75%. Essa correlação inicial sugere que a disponibilidade hídrica na estação chuvosa promove o escoamento, um comportamento esperado em ecossistemas onde a precipitação é o principal motor do ciclo hidrológico.

A partir de fevereiro, houve uma queda acentuada no escoamento, que se manteve abaixo de 1.000 mL nos meses subsequentes. Paralelamente, a umidade do tronco apresentou uma redução mais moderada, atingindo seu ponto mínimo em abril (abaixo de 40%). Esse descompasso inicial indica que, mesmo com a diminuição da umidade total, o tronco ainda pode conduzir volumes moderados de escoamento, possivelmente devido à sua morfologia ou a eventos de precipitação menos intensos, mas ainda frequentes.

A partir de maio, o comportamento inverte-se drasticamente: a umidade do tronco aumenta de forma expressiva, aproximando-se de 70% em junho e julho, enquanto o volume de escoamento continua em declínio, atingindo seu ponto mínimo em agosto, próximo de 200 mL. Essa inversão é um resultado-chave e

sugere um possível mecanismo de acúmulo de água nos tecidos internos do tronco e no solo adjacente. Tal fenômeno pode ser uma estratégia adaptativa da espécie para lidar com a transição para a estação seca.

Esses resultados corroboram com a literatura que aponta a importância do ETr na redistribuição da água. Estudos como os de Wang *et al.* (2011) indicam que o escoamento pelo tronco pode representar uma parcela considerável da precipitação, favorecendo a infiltração em camadas mais profundas do solo. A formação de canais preferenciais de escoamento contribui para o direcionamento da água, aumentando a disponibilidade hídrica no perfil do solo. Essa redistribuição é crucial, especialmente em espécies arbustivas, onde o ETr pode variar entre 2,3% e 14,2% da precipitação (Li *et al.*, 2009), desempenhando um papel fundamental no balanço hídrico do ecossistema.

A leve recuperação do escoamento em setembro, concomitante à tendência de redução da umidade do tronco, pode ser interpretada como uma reorganização hídrica da planta em resposta à transição para a estação seca (Levia; Germer, 2015; Ford, 2004). Esse comportamento indica que os mecanismos de escoamento não são determinados exclusivamente pelas variações climáticas, mas também por fatores fisiológicos e anatômicos intrínsecos à espécie, incluindo estratégias de conservação de água e aspectos fenológicos (Poudyal *et al.*, 2004). Em síntese, os dados evidenciam a complexa interação entre o regime hídrico interno da planta e o escoamento pelo tronco, ressaltando o papel da espécie na modulação do ciclo hidrológico local (Levia; Germer, 2015).

## 6 CONCLUSÃO

Os resultados mostraram que, embora o ETr represente apenas 0,3% da precipitação total, ele desempenha um papel relevante na redistribuição hídrica e nos processos eco-hidrológicos locais.

Observou-se um volume médio de escoamento de 3,33 mL por indivíduo, indicando que mesmo pequenas frações da chuva podem gerar efeitos significativos próximos à base dos troncos. Além disso, características como a textura da casca, a arquitetura da copa, o diâmetro e a inclinação do tronco influenciam a condução da água. Indivíduos com casca lisa apresentaram maior ETr, enquanto troncos mais largos ou inclinados reduziram sua eficiência, reforçando a ideia de que a árvore funciona como uma interface hidrológica dinâmica.

A análise da umidade do tronco revelou baixa correlação com o ETr, sugerindo que o processo depende mais da dinâmica dos eventos de chuva do que das condições hídricas antecedentes. Ainda assim, observou-se tendência de acúmulo hídrico nos troncos durante os meses de transição para a estação seca, o que aponta para a existência de um possível mecanismo adaptativo.

Dessa forma, conclui-se que, apesar de representar um volume reduzido da precipitação, o ETr é fortemente condicionado por atributos estruturais e ambientais, desempenhando funções importantes na heterogeneidade hídrica local e na ciclagem de água no solo. Este estudo contribui para o entendimento da hidrologia florestal amazônica e evidencia a necessidade de novas pesquisas sobre este processo ainda pouco explorado, especialmente em ecossistemas de terra firme do Amapá.

Para trabalhos futuros, recomenda-se ampliar as investigações sobre o escoamento pelo tronco em diferentes espécies e ao longo de séries temporais mais extensas, considerando também a influência de epífitas e fatores climáticos. Essas perspectivas podem aprofundar a compreensão da redistribuição hídrica em florestas de terra firme e reforçar a relevância desse processo para a manutenção da fertilidade do solo e da resiliência dos ecossistemas amazônicos.

## REFERÊNCIAS

ALMEIDA, Á. S.; FERREIRA, J. N.; COUDEL, E. S. Percepção de serviços ecossistêmicos por agricultores familiares no município de Irituia/PA, Amazônia oriental: subsídios para a restauração florestal. **Desenvolvimento e Meio Ambiente**, v. 62, p. 84539, 2023. DOI: <https://doi.org/10.5380/dma.v62i0.84539>

BACELLAR, L. A. P. O papel das florestas no regime hidrológico de bacias hidrográficas. **Geo. br**, v. 1, p. 1-39, 2005. Disponível em: <http://jararaca.ufsm.br/websites/deaer/download/VIVIEN/Texto06/exartigorevisao.pdf> Acesso em: 20 out. 2023.

BALIEIRO, R.; TONELLO, K.; DA COSTA NETO, S. V.; BRAMORSKI, J. Influence of dendrometric and morphological characteristics on stemflow in a forest-savanna transition area in the Brazilian Amazon. **Journal of Tropical Forest Science**, v. 33, n. 3, p. 368–377, 2021. Disponível em: <https://www.jstor.org/stable/27039925> Acesso em: 20 jan. 2025.

BORGES, E. B. M.; PINA, N. V. M.; NASCIMENTO, C. F.; LATUF, M. O. **Confecção e calibração de pluviômetro alternativo como subsídio a medição de precipitação**. 2011. 11 p. Trabalho de Conclusão de Curso ( Graduação em Geografia) Universidade Federal da Bahia UFBA/ICADS - Barreiras/BA, 2011. Disponível em: [https://d1wqtxts1xzle7.cloudfront.net/74221524/Confeco\\_e\\_calibrao\\_de\\_pluvinetro\\_alterna20211105-11984-wed7hm.pdf](https://d1wqtxts1xzle7.cloudfront.net/74221524/Confeco_e_calibrao_de_pluvinetro_alterna20211105-11984-wed7hm.pdf). Acesso em: 10 ago. 2025.

BREDIN, Y. K.; HAWES, J. E.; PERES, C. A.; HAUGAASEN, T. Structure and Composition of Terra Firme and Seasonally Flooded Várzea Forests in the Western Brazilian Amazon. **Forests**, v. 11, n. 12, p. 1361, 2020. DOI: <https://doi.org/10.3390/f11121361>

CARLYLE-MOSES, D. E.; IIDA, S. I.; GERMER, S.; LLORENS, P.; MICHALZIK, B.; NANKO, K.; TISCHER, A.; LEVIA, D. F. Expressing stemflow commensurate with its ecohydrological importance. **Advances in Water Resources**, v. 121, p. 472-479, 2018. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.advwatres.2018.08.015>

COLLET, C.; FOURNIER, M.; NINGRE, F.; HOUNZANDJI, A. P. I.; CONSTANT, T. Growth and posture control strategies in *Fagus sylvatica* and *Acer pseudoplatanus* saplings in response to canopy disturbance. **Annals of Botany**, v. 107, n. 8, p. 1345-1353, 2011. DOI: <https://doi.org/10.1093/aob/mcr058>

DA COSTA, J. D. M.; BARNI, P. E.; SOTTA, E. D.; CARIM, M. J. V.; DA CUNHA, A. C.; GUEDES, M. C.; APARICIO, P. S.; DE OLIVEIRA, L. L.; BARBOSA, R. I.; FEARNESIDE, P. M.; NASCIMENTO, H. E. M.; TOLEDO, J. J. Dense Forests in the Brazilian State of Amapá Store the Highest Biomass in the Amazon Basin. **Sustainability**, v. 17, n. 12, p. 5310, 2025. DOI: <https://doi.org/10.3390/su17125310>.

DE LIMA, J. A.; TONELLO, K. C. Rainfall partitioning in Amazon Forest: Implications of reduced impact logging for hydrological processes. **Agricultural and Forest Meteorology**, v. 337, p. 109505, 2023. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.agrformet.2023.109505>

DE SOUSA, R. R. Pluviômetro de baixo custo e a variação da chuva no município de Barra do Garças—MT (outubro de 2015 a abril de 2016). **InterEspaço: Revista de Geografia e Interdisciplinaridade**, v. 3, n. 8, p. 107–125, 2017. DOI: <https://doi.org/10.18764/2446-6549.v3n8p107-125>

DOS SANTOS, R. O.; DE LIMA, R. B.; SOARES, R. N.; DANTAS, B. S.; BRITO, A. C. A.; CORDEIRO, M. V.; DE ABREU, A.; SILVA, B. M. S. Influence of the soil on the spatial structure of forest species—preliminary results in a terra firme secondary forest plot, Amapá, Brazil. **Southern Forests: a Journal of Forest Science**, v. 82, n. 2, p. 179-195, 2020. Disponível em: <https://hdl.handle.net/10520/ejc-soufor-v82-n2-a10>  
Acesso em: 1 set. 2025.

DRAPER, F. C. et al. Amazon tree dominance across forest strata. **Nature Ecology & Evolution**, v. 5, n. 6, p. 757-767, 2021. DOI: <https://doi.org/10.1038/s41559-021-01418-y>

EPAL. *Ciclo da água*. Grupo Águas de Portugal, 2023. Disponível em: <https://www.epal.pt/EPAL/menu/epal/comunica%C3%A7%C3%A3o-ambiental/ciclo-da-%C3%A1gua>. Acesso em: 20 set. 2023.

FORD, C. R.; GORANSON, C. E.; MITCHELL, R. J.; WILL, R. E.; TESKEY, R. O. Diurnal and seasonal variability in the radial distribution of sap flow: predicting total stem flow in *Pinus taeda* trees. **Tree physiology**, v. 24, n. 9, 2004. DOI: <http://dx.doi.org/10.1093/treephys/24.9.951>

GERMER, S.; WERTHER, L.; ELSENBEEER, H. Have we underestimated stemflow? Lessons from an open tropical rainforest. **Journal of Hydrology**, v. 395, n. 3-4, p. 169-179, 2010. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2010.10.022>

GERMER, S.; ZIMMERMANN, A.; NEILL, C.; KRUSCHE, A. V.; ELSENBEEER, H. Disproportionate single-species contribution to canopy-soil nutrient flux in an Amazonian rainforest. **Forest Ecology and Management**, v. 267, p. 40-49, 2012. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2011.11.041>

GOLDSTEIN, G.; ANDRADE, J. L.; MEINZER, F. C.; HOLBROOK, N. M.; CAVELIER, J.; JACKSON, P.; CELIS, A. forest canopy trees. **Plant, Cell & Environment**, v. 21, n. 4, p. 397-406, 1998. DOI: <https://doi.org/10.1046/j.1365-3040.1998.00273.x>

HERNÁNDEZ RAMOS, J.; REYES HERNÁNDEZ, V. J.; BELTRÁN RODRÍGUEZ, L. La copa como indicador fotosintético relevante en el manejo forestal de bosques templados. **Revista mexicana de ciencias forestales**, v. 13, n. 74, p. 4-33, 2022. DOI: <https://doi.org/10.29298/rmcf.v13i74.1267>

HUSCH, B.; BEERS, T. W.; KERSHAW JR, J. A. Forest mensuration. 4. ed. Hoboken: John Wiley & Sons, 2002.

IEPA, Instituto de Pesquisas Científicas e Tecnológicas do estado do Amapá. 2008. **Macrodiagnóstico do Estado do Amapá: primeira aproximação do Zoneamento**

**Ecológico-Econômico – ZEE**. 3. ed. Macapá: IEPA. Disponível em: <http://www.iepa.ap.gov.br/arquivopdf/macrodiagnostico.pdf>. Acesso em: 11 jun. 2025.

IMAZON, Instituto do Homem e Meio Ambiente da Amazônia. 2021. **Fatos da Amazônia 2021**. 3. ed. Belém: Imazon. Disponível em: <https://imazon.org.br/publicacoes/fatos-da-amazonia-2021>. Acesso em: 18 ago. 2025.

IBGE, Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. 2023. **Biomás brasileiros**. Disponível em: <https://educa.ibge.gov.br/jovens/conheca-o-brasil/territorio/18307-biomas-brasileiros.html>. Acesso em: 8 ago. 2025.

INPE, Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. 2024a. **Estimativa de desmatamento na Amazônia Legal para 2024 é de 6.288 km<sup>2</sup>**. São José dos Campos: INPE. Disponível em: [https://data.inpe.br/big/web/wp-content/uploads/2024/11/NT\\_Amz\\_tx\\_Prodes2024\\_T.pdf](https://data.inpe.br/big/web/wp-content/uploads/2024/11/NT_Amz_tx_Prodes2024_T.pdf). Acesso em: 18 jun. 2025.

INPE, Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. 2024b. **Projeto PRODES: monitoramento do desmatamento na Amazônia Legal por satélite**. São José dos Campos: INPE. Disponível em: <http://www.obt.inpe.br/OBT/assuntos/programas/amazonia/prodes>. Acesso em: 18 ago. 2025

IPCC, Intergovernmental Panel on Climate Change. 2022. **Climate Change 2022: impacts, adaptation and vulnerability**. Contribution of Working Group II to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge: Cambridge University Press. Disponível em: <https://www.ipcc.ch/report/ar6/wg2/>. Acesso em: 10 mai. 2025.

JANA, P.; DASGUPTA, S.; TODARIA, N. P. Throughfall and stemflow nutrient flux in deodar and oak forests, Garhwal Himalaya, India. **Water Supply**, v. 21, n. 4, p. 1649-1656, 2021. DOI: <https://doi.org/10.2166/ws.2021.009>

JANSSEN, T.; VELDE, Y. V. D.; HOFHANSL, F.; SEBASTIAAN, L.; NAUDTS, K.; DRIESSEN, B.; FLEISCHER, K.; DOLMAN, H. Drought effects on leaf fall, leaf flushing and stem growth in the Amazon forest: reconciling remote sensing data and field observations. **Biogeosciences**, v. 18, n. 14, p. 4445-4472, 2021. DOI: <https://doi.org/10.5194/bg-18-4445-2021>

KEIM, R. F.; TROMP-VAN MEERVELD, H. J.; MCDONNELL, J. J. A virtual experiment on the effects of evaporation and intensity smoothing by canopy interception on subsurface stormflow generation. **Journal of Hydrology**, v. 327, n. 3-4, p. 352-364, 2006. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2005.11.024>

KELM, E. F.; DA SILVA, J.; SCHILLING, G. E. Hidrologia e drenagem urbana: comparativo de métodos de vazão e aplicação em projeto de drenagem. **Revista Eletrônica Multidisciplinar UNIFACEAR**, v. 1, n. 3, p. 1-15, 2014. DOI: <https://revista.unifacear.edu.br/rem/article/view/40>

KUANG, X.; LIU, J.; SCANLON, B. R.; JIAO, J. J.; JASECHKO, S.; LANCIA, M.; BISKABORN, B. K.; WADA, Y.; LI, H.; ZENG, Z.; GUO, Z.; YAO, Y.; GLEESON, T.; NICOT, J.-P.; LUO, X.; ZOU, Y.; ZHENG, C. M. The changing nature of groundwater in the global water cycle. **Science**, v. 383, n. 6686, p. eadf0630, 2024. DOI: [10.1126/science.adf0630](https://doi.org/10.1126/science.adf0630)

KUNERT, N.; APARECIDO, L. M. T.; WOLFF, S.; HIGUCHI, N.; DOS SANTOS, J.; DE ARAUJO, A. C.; TRUMBORE, S. A revised hydrological model for the Central Amazon: The importance of emergent canopy trees in the forest water budget. **Agricultural and Forest Meteorology**, v. 239, p. 47-57, 2017. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.agrformet.2017.03.002>

LEVIA JR, D. F.; FROST, E. E. A review and evaluation of stemflow literature in the hydrologic and biogeochemical cycles of forested and agricultural ecosystems. **Journal of hydrology**, v. 274, n. 1-4, p. 1-29, 2003. DOI: [https://doi.org/10.1016/S0022-1694\(02\)00399-2](https://doi.org/10.1016/S0022-1694(02)00399-2)

LEVIA D. F.; VAN STAN J. T.; MAGO S. M.; KELLEY-HAUSKE P. W. Temporal variability of stemflow volume in a beech-yellow poplar forest in relation to tree species and size. **Journal of Hydrology**, v. 380, n. 1-2, p. 112-120, 2010. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2009.10.028>

LEVIA, D. F.; GERMER, S. A review of stemflow generation dynamics and stemflow-environment interactions in forests and shrublands. **Reviews of Geophysics**, v. 53, n. 3, p. 673-714, 2015. DOI: <https://doi.org/10.1002/2015RG000479>

LI, X.; YANG, Z.; LI, Y.; LIN, H. Connecting ecohydrology and hydrogeology in desert shrubs: stemflow as a source of preferential flow in soils. **Hydrology and Earth System Sciences**, v. 13, n. 7, p. 1133-1144, 2009. DOI: <https://doi.org/10.5194/hess-13-1133-2009>

LIANG, W.; KOSUGI, K.; MIZUYAMA, T. Characteristics of stemflow for tall Stewartia (*Stewartia monadelphica*) growing on a hillslope. **Journal of Hydrology**, v. 378, n. 1-2, p. 168-178, 2009. DOI: [10.1016/j.jhydrol.2009.09.027](https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2009.09.027)

LORENZON, A. S. **Processos hidrológicos em um fragmento de Floresta Estacional Semidecidual no município de Viçosa, MG**. 2011. 59 f. Dissertação (Mestrado em Ciência Florestal) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG, 2011. Disponível em: <https://poscienciaflorestal.ufv.br/wp-content/uploads/2023/05/Alexandre-Simoes-Lorenzon1.pdf>. Acesso em: 26 out. 2023.

LORENZON, A. S.; DIAS, H. C. T.; TONELLO, K. C. Escoamento da água da chuva pelo tronco das árvores em uma floresta estacional semidecidual. **Revista Árvore**, v. 39, n. 3, p. 423-430, 2015. DOI: <https://doi.org/10.1590/0100-67622015000300002>

MARENGO, J. A.; CUNHA, A. P.; ESPINOZA, J. C.; FU, R.; SCHÖNGART, J.; JIMENEZ, J. C.; COSTA, M. C.; RIBEIRO, J. M.; WONGCHUIG, S.; ZHAO, S. The

drought of Amazonia in 2023-2024. **American Journal of Climate Change**, v. 13, n. 03, p. 567-597, 2024. DOI: [10.4236/ajcc.2024.133026](https://doi.org/10.4236/ajcc.2024.133026)

METZGER, J. C.; SCHUMACHER, J.; LANGE, M.; HILDEBRANDT, A. Neighbourhood and stand structure affect stemflow generation in a heterogeneous deciduous temperate forest. **Hydrology and Earth System Sciences**, v. 23, n. 11, p. 4433-4452, 2019. DOI: <https://doi.org/10.5194/hess-23-4433-2019>

MORAIS, Y. Y. G. A.; FREIRE, F. J.; LIMA, R. B. A.; ASSUNÇÃO, E. A.; LEÃO, S. L. M.; RALPH, L. N. Stemflow Nutrient Input in Trees in a Tropical Forest in Pernambuco, Brazil. **Floresta**, v. 51, n. 3, p. 604-613, 2021. DOI: <https://doi.org/10.5380/rf.v51i3.71464>

NICOLETTI, A. L.; REFOSCO, J. C.; PINHEIRO, A. Interception and surface runoff in different regeneration stages of Atlantic Forest, southern Brazil. **Ciência Florestal**, v. 32, n. 4, p. 2113-2135, 2022. DOI: <https://doi.org/10.5902/1980509866884>

OLIVEIRA, L. O.; CUNHA, A. C.; COSTA, A. C. L.; COSTA, R. F. Sazonalidade e interceptação da chuva na Floresta Nacional em Caxiuanã-Amazônia Oriental. **Scientia Plena**, v. 7, n. 10, p. 1-14, 2011. Disponível em: <http://www.scientiaplena.org.br> Acesso: 20 ago. 2025.

OLIVEIRA, L. L.; DA COSTA, R. F.; SOUSA, F. A. S.; DA COSTA, A. C. L.; BRAGA, A. P. Precipitação efetiva e interceptação em Caxiuanã, na Amazônia Oriental. **Acta Amazonica**, v. 38, p. 723-732, 2008. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0044-59672008000400016>

O'HALLORAN, R. C.; GUERARD, J. J.; LEVIA, D. F. Stemflow dissolved organic matter in mixed temperate forests: temporal and interspecific variation of optical indices and development of a stemflow-specific PARAFAC model. **Biogeochemistry**, v. 167, n. 8, p. 1025-1040, 2024. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10533-024-01158-8>

PAIVA, K.; RAU, P.; MONTESINOS, C.; LAVADO-CASIMIRO, W.; BOURREL, L.; FRAPPART, F. Hydrological response assessment of land cover change in a Peruvian Amazonian Basin impacted by deforestation using the SWAT model. **Remote Sensing**, v. 15, n. 24, p. 5774, 2023. DOI: <https://doi.org/10.3390/rs15245774>

PEREZ-MARIN, A. M.; MENEZES, R. S. C. Ciclagem de nutrientes via precipitação pluvial total, interna e escoamento pelo tronco em sistema agroflorestal com *Gliricidia sepium*. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 32, p. 2573-2579, 2008. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0100-06832008000600034>

PINHEIRO, M. S.; FERREIRA, L. V. Efeito da topografia na florística em uma floresta de terra firme na Amazônia Oriental. **Nature and Conservation**, v. 15, n. 03, p. 17-28, 2022. Disponível em: <https://repositorio.museu-goeldi.br/handle/mgoeldi/2731>

PINOS, J.; FLURY, M.; LATRON, J.; LLORENS, P. Routing stemflow water through the soil via preferential flow: a dual-labelling approach with artificial tracers.

**Hydrology and Earth System Sciences**, v. 27, n. 15, p. 2865-2881, 2023. DOI: <https://doi.org/10.5194/hess-27-2865-2023>

POUDYAL, K. JHA, P.K.; ZOBEL, D. B.; THAPA, C. B. Patterns of leaf conductance and water potential of five Himalayan tree species. **Tree physiology**, v. 24, n. 6, p. 689-699, 2004. DOI: <https://doi.org/10.1093/treephys/24.6.689>

RAUBER, A. L. **A dinâmica da paisagem no estado do Amapá: análise socioambiental para o eixo de influência das rodovias BR-156 e BR-210**. 2019. 229 f. Tese de Doutorado, (Programa de Pós-Graduação em Geografia) - Universidade Federal de Goiás/UFG, 2019. Disponível em: <file:///C:/Users/AcerU/Downloads/Tese%20-%20Alexandre%20Luiz%20Rauber%20-%202019.pdf> Acesso em: 11 abr. 2025

REID, L. M.; LEWIS, J. Rates, timing, and mechanisms of rainfall interception loss in a coastal redwood forest. **Journal of Hydrology**, v. 375, n. 3-4, p. 459-470, 2009. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2009.06.048>

SEIXAS, R. A. S.; FERREIRA, J. F. C.; CUNHA, H. F. A. A sustentabilidade dos municípios do estado do Amapá a partir dos indicadores do Programa Cidades Sustentáveis, Brasil. **Confins. Revue franco-brésilienne de géographie/Revista franco-brasileira de geografia**, n. 55, 2022. DOI: <https://doi.org/10.4000/confins.45795>

SCHOBBER, P.; BOER, C.; SCHWARTE, L. A. Correlation coefficients: appropriate use and interpretation. **Anesthesia & analgesia**, v. 126, n. 5, p. 1763-1768, 2018. DOI: <https://doi.org/10.1213/ANE.0000000000002864>

TER STEEGE, H.; PRADO, P. I.; DE LIMA, R. A. F.; POS, E.; COELHO, L. S.; LIMA FILHO, D. A.; SALOMÃO, R. P.; AMARAL, I. L.; MATOS, F. D. A.; CASTILHO, C. V.; PHILLIPS, O. L.; GUEVARA, J. E.; CARIM, M. J. V.; LÓPEZ, D. C.; MAGNUSSON, W. E.; WITTMANN, F.; MARTINS, M. P.; SABATIER, D.; IRUME, M. V.; ...; PICKAVANCE, G. Biased-corrected richness estimates for the Amazonian tree flora. **Scientific reports**, v. 10, n. 1, e10130, 2020. DOI: <https://doi.org/10.1038/s41598-020-66686-3>

TONELLO, K. C.; VAN STAN, J. T.; ROSA, A. G.; BALBINOT, L.; PEREIRA, L. C.; BRAMORSKI, J. Stemflow variability across tree stem and canopy traits in the Brazilian Cerrado. **Agricultural and Forest Meteorology**, v. 308, e108551, 2021a. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.agrformet.2021.108551>

TONELLO, K. C.; CAMPOS, S. D.; MENEZES, A. J.; BRAMORSKI, J.; MATHIAS, S. L.; LIMA, M. T. How is bark absorbability and wettability related to stemflow yield? Observations from isolated trees in the Brazilian Cerrado. **Frontiers in Forests and Global Change**, v. 4, e650665, 2021b. DOI: <https://doi.org/10.3389/ffgc.2021.650665>

VAN STAN, J. T.; COURTNEY M. SIEGERT, C. M.; LEVIA JR. D. F.; SCHEICK, C. E. Effects of wind-driven rainfall on stemflow generation between codominant tree

species with differing crown characteristics. **Agricultural and Forest Meteorology**, v. 151, n. 9, p. 1277-1286, 2011. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.agrformet.2011.05.008>

VILLELA, Swami Marcondes; MATTOS, Arthur. Hidrologia aplicada. Editora McGraw-Hill do Brasil, 1975.

WANG, X. P.; WANG, Z. N.; BERNDTSSON, R.; ZHANG, Y. F.; PAN, Y. XL. Desert shrub stemflow and its significance in soil moisture replenishment. *Hydrology and Earth System Sciences*, v. 15, n. 2, p. 561-567, 2011. DOI: <https://doi.org/10.5194/hess-15-561-2011>

XIA, C.; LIU, G.; LUO, J. Stable Isotopes Reveal the Effect of Canopy and Litter Layer Interception on Water Recharge in a Subtropical Manmade Forest of Southwest China. **Forests**, v. 14, n. 1, p. 129, 2023. DOI: <https://doi.org/10.3390/f14010129>

YANG, Z. P.; LI, X. Y.; LIU, L. Y.; JIANJUN WU, J. J.; HASI, E.; SUN, Y. L. Characteristics of stemflow for sand-fixed shrubs in Mu Us sandy land, Northwest China. **Chinese Science Bulletin**, v. 53, n. 14, p. 2207-2214, 2008. DOI: [10.1007/s11434-008-0165-0](https://doi.org/10.1007/s11434-008-0165-0).

YANG, T. R.; HSU, Y. H.; KERSHAW, J. A MCGARRIGLE, E.; KILHAM D. Big BAF sampling in mixed species forest structures of northeastern North America: influence of count and measure BAF under cost constraints. **Forestry: An International Journal of Forest Research**, v. 90, n. 5, p. 649-660, 2017. DOI: <https://doi.org/10.1093/forestry/cpx020>

YANG, X.; SHAO, M.; WEI, X. Stemflow production differ significantly among tree and shrub species on the Chinese Loess Plateau. *Journal of hydrology*, v. 568, p. 427-436, 2019. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2018.11.008>

YIN, D.; RODERICK, M. L. Inter-annual variability of the global terrestrial water cycle. **Hydrology and Earth System Sciences**, v. 24, n. 1, p. 381-396, 2020. DOI: <https://doi.org/10.5194/hess-24-381-2020>

ZHANG, Y.; WANG, X.; YANXIA, P.; HU, R.; CHEN N. Global quantitative synthesis of effects of biotic and abiotic factors on stemflow production in woody ecosystems. **Global Ecology and Biogeography**, v. 30, n. 8, p. 1713-1723, 2021. DOI: <https://doi.org/10.1111/geb.13322>

ZHONG, F.; JIANG, S. DIJK, A. I. V.; REN, L.; SCHELLEKENS, J.; MIRALLES, D. G. Revisiting large-scale interception patterns constrained by a synthesis of global experimental data. **Hydrology and Earth System Sciences Discussions**, v. 2022, p. 1-27, 2022. DOI: <https://doi.org/10.5194/hess-26-5647-2022>

## APÊNDICE A

**Tabela 2:** Características dendrométricas e morfológicas individuais e escoamento total do tronco de 52 indivíduos amostradas

Indivíduo	CAP (cm)	Altura (m)	Basal (m <sup>2</sup> )	Copa (m <sup>2</sup> )	Tipo de Casca	Tipo de Tronco	Et (mL)
1	78	8,0	0,05	43,5	Escamosa	Ereto	112
2	32	7,0	0,01	18,9	Rugosa	Inclinado	637
3	30	6,5	0,01	16,1	Rugosa	Ereto	2.300
4	30	6,5	0,01	6,2	Lisa	Ereto	881
5	40	5,0	0,01	2,9	Lisa	Inclinado	3.218
6	40	8,5	0,01	23,7	Rugosa	Ereto	1.816
7	22	5,0	0,00	4,8	Rugosa	Inclinado	687
8	19	5,0	0,00	11,1	Lisa	Inclinado	3.062
9	42	4,2	0,01	9,0	Lisa	Inclinado	968
10	58	7,5	0,03	5,5	Rugosa	Inclinado	534
11	53	7,5	0,02	3,4	Rugosa	Inclinado	362
12	45	7,5	0,02	3,4	Rugosa	Inclinado	2.276
13	34	6,0	0,01	6,6	Rugosa	Inclinado	1.058
14	34	6,5	0,01	9,0	Rugosa	Inclinado	980
15	30	6,0	0,01	7,3	Rugosa	Ereto	1.245
16	39	7,5	0,01	7,5	Rugosa	Ereto	739
17	39	6,0	0,01	14,4	Rugosa	Ereto	666
18	28	3,5	0,01	4,9	Rugosa	Ereto	1.360
19	28	6,0	0,01	8,6	Rugosa	Ereto	140
20	39	7,0	0,01	9,2	Rugosa	Ereto	604
21	32	5,5	0,01	13,8	Rugosa	Ereto	723
22	40	3,0	0,03	12,0	Rugosa	Ereto	226
23	44	5,0	0,02	7,1	Rugosa	Ereto	562
24	21	4,0	0,00	15,1	Lisa	Inclinada	587
25	25	4,0	0,00	16,8	Rugosa	Ereto	712
26	41	6,0	0,02	28,2	Rugosa	Inclinada	380
27	49	4,0	0,02	9,3	Rugosa	Ereto	362
28	61	12,3	0,03	11,8	Rugosa	Ereto	1.175
29	63	10,6	0,03	16,8	Escamosa	Ereto	770
30	42	12,3	0,01	9,2	Rugosa	Ereto	1.499
31	94	14,1	0,07	34,6	Escamosa	Ereto	246
32	44	12,3	0,02	11,1	Lisa	Inclinada	2.558
33	51	12,3	0,02	14,7	Lisa	Ereto	1.579
34	47	12,3	0,02	16,7	Lisa	Ereto	2.803
35	116	15,9	0,11	18,3	Escamosa	Ereto	623
36	70	12,3	0,04	27,0	Rugosa	Inclinada	154
37	57	8,8	0,03	10,8	Rugosa	Ereto	352
38	95	15,9	0,07	31,1	Rugosa	Ereto	443
39	40	14,1	0,01	5,7	Rugosa	Ereto	875
40	45	12,3	0,02	5,7	Escamosa	Ereto	627
41	60	24,7	0,03	17,4	Rugosa	Ereto	2.477
42	66	15,9	0,03	14,5	Rugosa	Ereto	709
43	94	10,6	0,07	68,2	Rugosa	Inclinada	197
44	76	15,9	0,05	21,6	Rugosa	Inclinada	228
45	60	15,9	0,03	12,3	Rugosa	Ereto	1.760
46	47	14,1	0,02	19,7	Lisa	Ereto	473
47	60	17,7	0,03	6,9	Rugosa	Ereto	920
48	67	14,1	0,04	28,4	Lisa	Ereto	830
49	40	14,1	0,01	37,8	Lisa	Ereto	178
50	46	15,9	0,02	9,6	Lisa	Ereto	90
51	60	15,9	0,03	15,3	Escamosa	Inclinada	91
52	65	17,7	0,03	51,0	Escamosa	Inclinado	220

Fonte: Autoria própria (2025)