# UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO ESCOLA DE ENGENHARIA DE SÃO CARLOS

## LÍVIA MALACARNE PINHEIRO ROSALEM

Monitoramento e modelagem do processo de interceptação em área de Cerrado stricto sensu

(VERSÃO CORRIGIDA)

São Carlos

2021

## LÍVIA MALACARNE PINHEIRO ROSALEM

Monitoramento e modelagem do processo de interceptação em área de Cerrado stricto sensu

> Tese apresentada à Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo, como requisito para a obtenção do Título de Doutor em Ciências.

Orientador: Prof. Tit. Edson Wendland

#### AUTORIZO A REPRODUÇÃO TOTAL OU PARCIAL DESTE TRABALHO, POR QUALQUER MEIO CONVENCIONAL OU ELETRÔNICO, PARA FINS DE ESTUDO E PESQUISA, DESDE QUE CITADA A FONTE.

Ficha catalográfica elaborada pela Biblioteca Prof. Dr. Sérgio Rodrigues Fontes da EESC/USP com os dados inseridos pelo(a) autor(a).

 Malacarne Pinheiro Rosalem, Lívia Monitoramento e modelagem do processo de interceptação em área de Cerrado stricto sensu / Lívia Malacarne Pinheiro Rosalem; orientador Edson Wendland. São Carlos, 2021.
Tese (Doutorado) - Programa de Pós-Graduação em Engenharia Hidráulica e Saneamento e Área de Concentração em Hidráulica e Saneamento -- Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo, 2021.
1. Evaporação. 2. Balanço hídrico. 3. Serrapilheira. 4. Modelo de Rutter. 5. Modelo de Gash. 6. Orvalho. I. Título.

Eduardo Graziosi Silva - CRB - 8/8907

2021

### FOLHA DE JULGAMENTO

#### Candidata: Engenheira LÍVIA MALACARNE PINHEIRO ROSALEM.

Título da tese: "Monitoramento e modelagem do processo de interceptação em área de cerrado strictu sensu".

Data da defesa: 15/10/2021.

<u>Comissão Julgadora</u>	<u>Resultado</u>
Prof. Titular Edson Cezar Wendland (Orientador) (Escola de Engenharia de São Carlos/EESC-USP)	_Aprovada
Prof. Dr. <b>Paulo Tarso Sanches de Oliveira</b> (Universidade Federal de Mato Grosso do Sul/UFMS)	_ Aprovada
Profa. Dra. Kelly Cristina Tonello (Universidade Federal de São Carlos/UFSCar)	_ Aprovada
Prof. Dr. Sérgio Koide (Universidade de Brasília/UnB)	_ Aprovada
Dra. <mark>Giselda Durigan</mark> (Instituto de Pesquisas Ambientais do Estado de São Paulo)	_ Aprovada

Coordenador do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Hidráulica e Saneamento: Prof. Dr. Luiz Antonio Daniel

Presidente da Comissão de Pós-Graduação: Prof. Titular **Murilo Araujo Romero** 

À minha família especialmente ao meu querido pai (*in memoriam*)

#### AGRADECIMENTOS

À Deus pelo seu imenso amor e misericórdia por mim a cada dia e pela luz para o Caminho.

Ao meu esposo Lucas por todo o suporte, carinho e companheirismo sem igual. Obrigada pelos abraços fortes nos momentos que preciso e por me encorajar sempre.

À minha querida irmã pelo carinho e apoio imensuráveis que me impulsionam a seguir adiante, e à minha mãe pelo seu grande amor incondicional e exemplo de vida. Vocês são essenciais para mim. Também aos meus sogros, Delson e Miriam, e meu cunhado Maikon por serem tão solícitos e amáveis comigo. Aos meus amados irmãos da IPB de São Carlos, que nos acolheram e cuidaram tão bem durante esse período. Obrigada por todo o carinho e ensinamentos recebidos. Guardo-os em meu coração.

Aos queridos amigos do LHC Alice, Ana Cláudia, Andres (Pipe), Alessandra, Alan, Alex Watanabe, Alex Kobayshi, André (Suave), Camilo, Dulce, Derly, Dimaghi, Davi, Érick, Gabriel, Guilherme Lazzarini, Hélio, Jullian Sone, João Guardabaxo, Kalyl, Luís Bertotto, Murilo, Paulo, Vinícius (Tamar), Yuri, que muito contribuíram para o meu aprendizado durante a pós-graduação e fizeram meus dias muito mais alegres.

Ao meu querido amigo Jean Carlos (o Colômbia) por toda a amizade e parceria. Não tenho palavras suficientes para agradecer toda a paciência. Sem a sua ajuda esse trabalho não seria possível. Também aos meus queridos amigos David e Ana Carolina, por toda a amizade, companheirismo e pelo apoio. Agradeço a Deus por ter colocado vocês no meu caminho.

Aos meus primeiros queridos e para sempre amigos de São Carlos, Nathe, Juju e Jamil. Agradeço a Deus sempre pela graça de tê-los como amigos e por poder ter amigos tão fiéis, amáveis e dispostos. Não consigo expressar o quanto sou grata à vocês três por tudo o que fizeram e fazem por mim. Assim também para a Camila e a Jaqueline, com as quais eu sei que sempre posso contar. Obrigada por sempre me ajudarem e por fazerem os dias difíceis serem muito mais suaves.

Ao Roberto Bérgamo por todo o ensinamento, cuidado e atenção para comigo. Obrigada por ser um técnico sempre disposto e por ter tanta paciência para me ensinar as coisas. Tenho em você um grande amigo e agradeço muito pelas palavras de encorajamento e pelas boas risadas. Também agraço imensamente ao Marcelo Miky que muito me ajudou na instalação dos LIDs e coletas no Cerrado. Meu muito obrigada, inclusive pelos ótimos cafés.

Aos meus amigos de outros laboratórios Aline Zaffani, João Villela, Pedro, Carlos Danilo e Daisy que muito me ajudaram nesse período. E também à professora Dalva Matos e seu grupo de pesquisa do Laboratório de Ecologia e Conservação da UFSCar por toda a ajuda e direcionamento durante esse trabalho. Um agradecimento especial para a Drielli Vergne, por ser essa pessoa determinada, amável e grande amiga, que muito me ajudou e ensinou nesse período. Obrigada por sempre me apoiar, mesmo eu não conseguindo te acompanhar no flag (rs).

Aos meu alunos de iniciação científica Ana Carolina Mira, Melissa Takano, Caique Oliveira e Mariana Rodrigues. Agradeço imensamente por toda a ajuda e contribuição na realização desse trabalho. Também aos queridos professores do CEFER/USP, Gizele e Cris, e as amigas Yara, Liana e Monique pelo grande companheirismo e por não me deixarem desanimar.

Aos amigos Juliana Albuquerque, Carlinha, Alessandra Francesconi, Mileydis, Denice e Miriam Niz. Também aos meus queridos tios, Francisco e Maria, e ao Bruno e a Suelen, aos quais eu sou eternamente grata por sempre me incentivarem e por todo o amor e carinho que têm para comigo.

Ao meu orientador, Professor Edson Wendland, que aceitou o desafio de me orientar no mestrado e, desde lá, tem sempre me ensinado muito. Sou imensamente grata pelas correções e repreensões, mas também pelo abraço e pelas palavras de incentivo nos momentos mais difíceis. Obrigada pelos momentos de descontração e churrascos, e por me delegar sempre o vinagrete.

À Dra. Miriam Gerrits-Coenders da TU Delft, por ser tão atenciosa e amável e por sua orientação e cuidado comigo durante meu período sanduíche na Holanda. Sua ajuda foi imprescindível para alcançar os resultados desse trabalho. Agradeço também aos bons amigos do Water Management Department da TU Delft, David, Dengxiao, Mônica, Juan Carlos, César, Bart e Jessica, que além de me fizeram sentir em casa fizeram dos meus dias em Delft doces lembranças.

Por fim, agradeço imensamente ao pessoal do PPGSHS e da EESC, especialmente a Rosemeire, a Sá, a Priscila, a Fernanda e ao André por todo o suporte e apoio. Aos técnicos da oficina do departamento da Engenharia Mecânica que me ajudaram na construção dos equipamentos, e também aos órgãos financiadores, CNPq, CAPES e FAPESP pelos recursos financeiros que viabilizaram essa pesquisa.

Porque Dele e por Ele, e para Ele, são todas as coisas. Romanos 11:36a

#### RESUMO

ROSALEM, L. M. P. **Monitoramento e modelagem do processo de interceptação em área de Cerrado** *stricto sensu*. 2021. Tese (Doutorado) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2021.

A interceptação da chuva pela floresta e sua subsequente evaporação constitui uma parte importante do ciclo hidrológico. Entretanto, devido principalmente a dificuldade em realizar o monitoramento direto, o processo de interceptação pela serrapilheira tem sido geralmente desconsiderado nos balanços hídricos. Por isso, os modelos de interceptação mais aplicados concentram-se apenas no processo de interceptação do dossel e do caule, e desconsideram a interceptação pela serrapilheira, o que resulta em valores subestimados de evaporação total. O objetivo principal deste trabalho foi analisar os processos de interceptação através da quantificação da interceptação pelo dossel, troncos e pela serrapilheira de uma área experimental de Cerrado stricto sensu a fim de aprimorar o balanço hídrico local. Para isso foram monitorados entre Junho de 2017 a Fevereiro de 2020 algumas variáveis meteorológicas, a precipitação total e interna, a infiltração e o escoamento dos troncos através de uma rede de equipamentos manuais e automáticos, além do monitoramento direto e automático da interceptação pela serrapilheira e evaporação do solo. Ainda, entre outubro de 2018 e setembro 2019 foi realizado o monitoramento da produção mensal de serrapilheira a partir de 37 coletores dispostos em 9 transectos na área de estudo. Como foram observados acréscimos no armazenamento da serrapilheira durante alguns períodos noturnos, foi verificada a possibilidade de interceptação de orvalho pela serrapilheira. Para uma melhor análise dos processos de interceptação nos eventos de precipitação, foram desenvolvidas versões adaptadas dos modelos de interceptação de Rutter e de Gash, denominadas RA e GA, afim de que a interceptação pela serrapilheira fosse incluída. Como resultados do monitoramento, a precipitação interna, a infiltração e o escoamento dos troncos corresponderam a 72%, 60% e <1% da precipitação total, respectivamente. A produção média mensal de serrapilheira foi de 0,065 (±0,030) kg.m<sup>-2</sup>, correspondendo ao total de 7,810 ton.ha<sup>-1</sup>.ano<sup>-</sup> <sup>1</sup>, com pico de produção entre os meses de agosto e setembro. A análise da interceptação de orvalho indicou que esse processo representou em volume a apenas 0,4% da precipitação total no período entre junho de 2017 a maio de 2019, que corresponde a 4,3 % do total de interceptação pela serrapilheira. A interceptação pela vegetação, isto é,

dossel e troncos, correspondeu a 28% da precipitação, sendo a interceptação pela serrapilheira 12% da precipitação ou 29% da interceptação total. Os modelos apresentaram bom desempenho na simulação dos processos de precipitação interna e infiltração, independente se as respostas são analisadas em escala diária, quinzenal ou mensal. Os modelos, principalmente o modelo RA, apresentaram baixa eficiência na simulação dos processos de interceptação em escala diária, mas eficiência satisfatória na modelagem da interceptação total em escalas quinzenal ou mensal para o período de calibração (NSE  $\geq$  0,76). A modelagem com coeficientes sazonais não ocasionou grandes diferenças nas respostas mensais do modelo RA, exceto em relação a significativa melhora nas estimativas de interceptação da copa, enquanto que o modelo GA apresentou desempenho em escala mensal pior com o uso dos coeficientes sazonais, com significativa melhora na estimativa dos totais de evaporação pela serrapilheira tanto na calibração quanto na validação. Os resultados mostraram que o processo de interceptação apresenta grande variabilidade temporal e espacial, e que ambos os modelos, independentemente se coeficientes gerais ou sazonais são usados, apresentaram eficiência menor para a simulação dos processos durante o verão. Os resultados sugerem que a evaporação durante a chuva deve ser maior do que as estimativas de evaporação potencial usadas no modelo RA, que ocasionou por vezes períodos de residência hidráulica mais longos na copa do que os geralmente reportados na Literatura. No geral, os modelos adaptados se mostraram válidos para a modelagem e estudo dos processos de interceptação em áreas florestais como as áreas de Cerrado s.s.. Ambos os modelos resultam em estimativas satisfatórias da interceptação total em escala mensal e podem ser usados para análises interanuais, entretanto para simulações com foco nas respostas sazonais para o Cerrado *s.s.*, o modelo RA parece ser mais apropriado.

Palavras-chave: Evaporação. Balanço hídrico. Serrapilheira. Modelo de Rutter. Modelo de Gash. Orvalho.

#### ABSTRACT

ROSALEM, L. M. P. Monitoring and modeling of the interception process in a Cerrado *stricto sensu* area. 2021. Thesis (Doctoral) – São Carlos School of Engineering, University of São Paulo, 2021.

The rainfall interception on forests is an important part of the hydrologic cycle. However, due mainly to difficulties on carry out direct measurements, the forest floor interception has been usually disregarded on water budgets. Thus, the most applied interception models focus only on the canopy and trunks interception, leading to underestimated values of total evaporation. The main goal of this thesis was to analyze the interception processes through the quantification of the canopy, the trunks and the forest floor interception of a study area of Cerrado stricto sensu forest to improve the local water balance. For that, some meteorological variables, precipitation, throughfall, infiltration and stemflow were monitored through manual and automatic sensors between June 2017 and February 2020. Moreover, the forest floor interception and the soil evaporation were directly monitored. In addition, the monitoring of monthly forest litter production was carried out between October 2018 and September 2019 through 37 collectors arranged in 9 transects in the study area. As some increasing storage on the forest floor occurred during night time, the possibility of dew interception by the forest floor was analyzed. To better assess the processes of rainfall interception, adapted versions of the Rutter and the Gash interception models (called RA and GA models) were developed to include the forest floor interception. As monitoring results, the total throughfall, infiltration, and stemflow corresponded to 72%, 60%, and <1% of total precipitation, respectively. The monthly forest litter production was on average 0.065  $(\pm 0.030)$  kg.m<sup>-2</sup>, with peak production between August and September, and reaching to 7.810 ton.ha<sup>-1</sup>.year<sup>-1</sup>. The dew analysis indicated that the dew intercepted by the forest floor corresponds to a small portion, comparatively just 0.4% of total precipitation and 4.3% of total forest floor interception for the period of June 2017 and May 2019. The total interception by vegetation, which means canopy and trunks interception, was 28% of total precipitation and the total forest floor interception corresponded to 12% of total precipitation or 29% of total interception of the study area. The adapted models presented good performances to simulate throughfall and infiltration, even on daily or biweekly time scale. Both models, mainly the RA model, had low efficiency to estimate each

interception processes on daily basis, but presented better efficiency to model the total interception on biweekly or monthly basis during the calibration period. The modeled results with seasonal coefficients were not much different to RA model, except to the improved results obtained to canopy interception estimations. On the other hand, the GA model generally presented worst estimations and performance on monthly basis when seasonal coefficients were used, but it had significant improvement on total estimation of the forest floor interception on both calibration and validation. The results confirmed the high temporal and spatial variability of the interception process, and both adapted models had bad efficiency to model the total interception during the summer, regardless if general or seasonal coefficients were applied. The results suggest that evaporation during the rainfall events should be bigger than the potential evaporation estimations used on RA model, which leaded to hydraulic residence times of water on the canopy longer than the reported on the Literature. In general, the adapted models showed to be useful tools to analyze the interception processes, mainly the total interception process on monthly basis. These models can be used to inter-annual analysis, but the applications with focus on seasonal interception responses of Cerrado s.s., the RA model seems to be more suitable.

Keywords: Evaporation. Water balance. Forest floor. Rutter model. Gash model. Dew.

## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1. Processos hidrológicos em florestas relacionados ao processo de interceptação,
representados em escala de pontual (árvore)
Figura 2. Localização da área de estudo de Cerrado, com as três estações de monitoramento em círculos vermelhos, no Estado de São Paulo, Brasil
Figura 3. Disposição dos equipamentos utilizados para monitoramento na área de estudo     de Cerrado
<b>Figura 4.</b> Calhas para monitoramento da precipitação interna na área de estudo de Cerrado <i>s.s.</i>
Figura 5. Pluviógrafos usados para monitoramento da precipitação interna na área na área de estudo
<b>Figura 6.</b> Coletores de escoamento dos troncos automáticos instalados na área de estudo em árvores de A) DBH $\leq$ 10 cm, de B) DBH $\geq$ 31 cm e C) coletor manual em árvore do grupo com 5 cm $\leq$ DBH $\leq$ 20 cm
Figura 7. A) Desenho do LID e B) uma foto de um deles construído, e C) instalado na     área de estudo.   63
<b>Figura 8.</b> A) LID1 depois de instalado em campo e os pluviógrafos no cercado de proteção e B) o LID2 também instalado C) com o reservatório de infiltração acoplado lateralmente
<b>Figura 9.</b> Registros do peso da amostra de serrapilheira no LID1 entre às 12h do 29/09/18 até o dia 01/10/18 às 18h com demarcação em cinza do período de possível evaporação pelo critério de convergência (gráfico superior) e os registros de chuva nesse período (gráfico inferior)
<b>Figura 10.</b> Coletores de serrapilheira (área quadrada de 0,16 m <sup>2</sup> ) instalados na área de Cerrado s.s. feitos com base de apoio de ferro e a bandeja de coleta de amostras feita de a) tela de nylon ou de b) plástico
<b>Figura 11.</b> Variação observada na serrapilheira (em lâmina de água - mm) e a precipitação incidente entre os dias 15 de janeiro a 03 de fevereiro de 2018

Figura 12. Variação do conteúdo de água na amostra de serrapilheira (em lâmina de água - mm) e a variação de temperatura na serrapilheira (°C) em período noturno sem chuva no mês de junho (inverno)
Figura 13. Desenho do mini lisímetro (cotas em milímetros) e fotos de um deles com a amostra de solo sendo montado em bancada e depois de instalado em campo próximo a um LID
Figura 14. Estrutura do modelo RA com a inclusão do processo de interceptação da serrapilheira
Figura 15. Frequência da precipitação observada a cada 10 min e em escala diária 83
<b>Figura 16.</b> Relação entre as precipitações diárias monitoradas nas estações IAB1 e IAB2 no período entre 17/07/2015 a 06/02/2020
Figura 17. Relação entre as temperaturas médias diárias acima da copa e na serrapilheira na área de Cerrado s.s
Figura 18. Histogramas das médias diárias de umidade relativa, velocidade do vento, saldo de radiação e fluxo de calor no solo na área de estudo de Cerrado s.s
Figura 19. Período de dados observados disponíveis das medidas de precipitação (P), precipitação interna (Pi), evaporação da serrapilheira (Ef), da infiltração (F) e do escoamento dos troncos (T)
<b>Figura 20.</b> Relação entre os valores de precipitação interna diários observados através dos 3 principais pluviógrafos utilizados
<b>Figura 21.</b> Registros automáticos da precipitação interna pelas calhas e resultados da série de precipitação interna média corrigida em relação a precipitação total observada, em escala diária e de eventos acumulados no período de funcionamento das calhas 91
Figura 22. Relação entre os resultados do monitoramento automático ou manual pelas calhas e a precipitação média calculada
<b>Figura 23.</b> Distribuição acumulada da precipitação ( $P$ ) e da precipitação interna ( $Pi$ ) em mm.dia <sup>-1</sup> observadas nos períodos de calibração e validação
Figura 24. Relação entre o escoamento dos troncos médio e de cada um dos equipamentos (mm.dia <sup>-1</sup> ) e a precipitação (mm.dia <sup>-1</sup> )

Figura 25. Relação entre os resultados do monitoramento automático e manual do Figura 26. Valores do monitoramento da infiltração a partir dos LIDs na área com relação Figura 27. Produção de serrapilheira na área de Cerrado s.s. em escala bimestral e sazonal Figura 28. Boxplots da produção bimestral de serrapilheira observada na área de estudo. Figura 29. Heat Map da produção de serrapilheira observada (g) por ponto de coleta na área de Cerrado s.s. no período entre outubro de 2018 a setembro de 2019, sendo os pontos Figura 30. Percentuais médios das frações folhas inteiras, folhas predadas, galhos e miscelânea da produção mensal de serrapilheira......102 Figura 31. Dados do monitoramento de água nos mini lisímetros (azul claro e escuro) com identificação dos períodos de armazenamento e drenagem (linhas verticais cinza), do volume de água no solo estimado através dos dados de umidade volumétrica com uma sonda a 20 cm de profundidade (vermelho) e o monitoramento do conteúdo de água na Figura 32. Evaporação potencial diária (mm.dia<sup>-1</sup>) e temperatura média (° C) observada Figura 33. Boxplots da evaporação potencial estimada para a área de Cerrado s.s. por Figura 34. Registros de precipitação, precipitação interna média e de infiltração médias a cada 10 minutos entre os dias 07 e 09 de abril de 2019, ocorrendo no dia 08 a máxima interceptação do dossel da série. Os valores acumulados são apresentados no gráfico inferior e a precipitação interna pelo sensor Pi 1, que teve o maior volume registrado nesse evento, também é apresentada.....107 Figura 35. Relação entre a evaporação do dossel (mm.dia<sup>-1</sup>) determinada indiretamente 

<b>Figura 36.</b> Relação entre o percentual de interceptação do dossel e o total de precipitação por evento diário (mm.dia <sup>-1</sup> ) e a duração da precipitação (h) nos eventos
Figura 37. Valores de interceptação do dossel (mm.dia <sup>-1</sup> ) observados na área de estudo.
Figura 38. Boxplots da variação de peso registrada pelas células de carga durante os testes em laboratório.   110
Figura 39. Peso registrado normalizado das células de carga durante o teste em laboratório sobre o efeito da temperatura
Figura 40. Boxplots da variação de peso registrada pelas células de carga no teste em laboratório por grupos de temperatura
Figura 41. Valores de armazenamento médio de água na serrapilheira e de infiltração média durante os períodos noturnos de provável orvalho
Figura 42. Resultados da calibração das células de carga dos três LIDs realizada em campo em agosto de 2019 116
Figura 43. Monitoramento da chuva e da retenção de água na serrapilheira nos três LIDs a cada 10 minutos entre julho de 2019 a outubro de 2019 na área de Cerrado sensu stricto.
Figura 44. Comparação do tipo dupla massa entre as respostas de evaporação e armazenamento pela serrapilheira nos LIDs
Figura 45. Fotografias do dossel acima dos LIDs e as imagens binárias em branco e preto para quantificação da cobertura do dossel acima dos equipamentos
<b>Figura 46.</b> Demarcação dos períodos de armazenamento ou drenagem (em cinza) através do critério de convergência a partir dos dados de variação de peso no LID 1 (verde) e dos registros de precipitação (azul) e infiltração (linha preta tracejada)
Figura 47. Valores observados de peso nos LIDs com linhas verticais coloridas marcando as datas de mudanças (gráfico superior) para o cálculo do armazenamento de água (gráfico inferior)
Figura 48. Boxplots da evaporação diária da serrapilheira no período de estudo por estações do ano

**Figura 55.** Valores diários observados de precipitação e de evaporação pela serrapilheira e os valores estimados pelos modelos RA e GA entre 09 a 29 de agosto de 2017. .... 136

### LISTA DE TABELAS

<b>Tabela 1.</b> Métodos para determinação da interceptação do dossel ou copa.     44
Tabela 2. Instrumentação para o monitoramento de parâmetros meteorológicos e do solo.     59
<b>Tabela 3.</b> Área de projeção das copas das árvores em que foram monitorados osescoamentos de tronco na área de estudo.62
Tabela 4. Especificações do sensor de temperatura utilizado nos ensaios.     66
<b>Tabela 5.</b> Equações para estimativa da interceptação para cada classificação de eventodiário pelo modelo de Gash
<b>Tabela 6.</b> Equações para do modelo GA para a interceptação da serrapilheira para cadaclassificação de evento diário.80
<b>Tabela 7.</b> Valores de correlação de Spearman entre os três principais pontos deamostragem de precipitação interna e a precipitação incidente observada.87
<b>Tabela 8.</b> Métricas estatísticas dos dados de precipitação interna diária na área de Cerrado     por estações
<b>Tabela 9.</b> Valores de acumulados diários do escoamento dos troncos (T) e a média dosequipamentos (T médio), da precipitação interna média, da precipitação total (P) e daintensidade horária máxima dessa precipitação (P máx) observados no período entre 28de janeiro a 06 de fevereiro de 2020
Tabela 10. Informações sobre os seis registros de maior quantidade produzida de serrapilheira (kg.m <sup>-2</sup> .mês <sup>-1</sup> ) em ordem decrescente de total produzido
Tabela 11. Capacidade de armazenamento da serrapilheira observada nas estações do ano através dos dois equipamentos (LID1 e LID2) usados para monitoramento na área de Cerrado s.s.     113
<b>Tabela 12.</b> Resultado da análise da produção de orvalho na serrapilheira no Cerrado s.s.em relação a precipitação e a evaporação da serrapilheira
<b>Tabela 13.</b> Valores de correlação de Spearman para os valores totais diários e mensais dearmazenamento (A) e de evaporação (E) dos LIDs 1 e 2

Tabela 14. Parâmetros obtidos para os modelos RA e GA
Tabela 15. Valores obtidos de Cfmax por períodos de análise das séries de dados dos
LIDs
Tabela 16. Métricas quantitativas das respostas e análise da performance dos modelos
RA e GA para os processos de precipitação interna (Pi), infiltração (F), escoamento dos
troncos (T), evaporação da serrapilheira (Ef), evaporação do dossel (Ec) e interceptação
total (I) em escalas diária (D), quinzenal (Q) e mensal (M) para os períodos de calibração
(Calib.) e validação (Valid.)
Tabela 17. Valores acumulados dos processos de precipitação interna (Tf), infiltração
(F), escoamento dos troncos (T), evaporação da serrapilheira (Ef), evaporação do dossel
(Ec) e interceptação total (I) observados e modelados através dos modelos RA e GA para
os períodos de calibração e validação 138
Tabela 18. Parâmetros sazonais e o número total de eventos diários usados para a
determinação destes parâmetros
Tabela 19. Métricas quantitativas e análise de desempenho de estimativas mensais pelos
modelos RA e GA com parâmetros sazonais durante os períodos de calibração (C) e
validação (V) 144
Tabela 20. Métricas quantitativas da interceptação total mensal estimada pelos modelos
RA e GA para a série completa de dados usando coeficientes sazonais e gerais 145
Tabela 21. Resultados de NSE e R <sup>2</sup> do processo de interceptação total mensal pelos
modelos RA e GA para cada estação usando sazonais e gerais 145
Tabela 22. Indivíduos (árvores) identificadas por espécie que estão localizadas próximas
aos LIDs, em um raio de até 3 m de distância. (Continua)
Tabela 23. Indivíduos (árvores) identificadas por espécie que estão localizadas próximas
aos LIDs, em um raio de até 3 m de distância. (Continuação)
Tabela 24. Resultados de análise de solo da área de estudo de Cerrado sensu stricto41

### LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

Р	—	Precipitação
Pi	_	Precipitação interna
D	_	Drenagem
Т	_	Escoamento dos troncos
F	_	Infiltração
Ι	_	Interceptação total
ET	_	Evapotranspiração
W	_	Água disponível no solo
Е	_	Evaporação total
Ep	_	Evaporação potencial
Ec	_	Evaporação da copa
Et	_	Evaporação dos troncos
Ev	_	Evaporação total da vegetação (Ec + Et)
Ef	_	Evaporação pela serrapilheira
Es	_	Evaporação do solo
LID	_	Litter Interception Device
р	_	Coeficiente de precipitação livre
pt	_	Coeficiente de escoamento dos troncos
pf	_	Coeficiente de infiltração rápida pela serrapilheira
Sc	_	Coeficiente de armazenamento na copa
St	_	Coeficiente de armazenamento nos troncos
Sf	_	Coeficiente de armazenamento na serrapilheira
Cc	_	Coeficiente de armazenamento dinâmico na copa
Cf	_	Coeficiente de armazenamento dinâmico na serrapilheira

Ccmax	_	Coeficiente de armazenamento dinâmico máximo na copa
Cfmax	_	Coeficiente de armazenamento dinâmico máximo na serrapilheira
$\overline{E}$	_	Taxa média de evaporação potencial durante eventos de
precipitação		
$\overline{R}$	_	Taxa média de precipitação durante eventos de precipitação
$P'_g$	—	Volume de precipitação necessária para saturar a copa
$\overline{P}\iota$	_	Taxa média de precipitação interna durante os eventos de
precipitação		
Pi'	_	Volume de precipitação interna necessária para saturar a
serrapilheira		

## LISTA DE SÍMBOLOS

- °C Graus Celsius
- W Watts

## SUMÁRIO

1	INT	TRODUÇÃO				
2	HI	PÓTESES DO TRABALHO E OBJETIVOS PROPOSTOS				
2.1 Hipóteses						
2.2 Objetivo geral						
	2.3	Objetivos específicos				
3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA						
3.1 Cerrado <i>stricto sensu</i>						
	3.2	Processo de interceptação				
	3.2	.1 Interceptação da copa	43			
	3.2	.2 Interceptação dos troncos				
	3.2	.3 Interceptação da serrapilheira				
	3.3	Modelos de interceptação	52			
4	MA	ATERIAL E MÉTODOS	57			
	4.1	Área de estudo	57			
	4.2	Monitoramento	57			
	4.2	.1 Precipitação	59			
	4.2	.2 Precipitação interna	59			
	4.2	.3 Escoamento dos troncos	61			
	4.2	.4 Interceptação da copa e dos troncos	62			
	4.2	.5 Interceptação da serrapilheira e infiltração	63			
	4.2	.6 Produção de serrapilheira	68			
	4.2	.7 Interceptação do orvalho	69			
	4.2	.8 Armazenamento da água no solo e recarga subterrânea				
	4.3	Modelagem do processo de interceptação	74			
	4.3	.1 Modelo de Rutter adaptado (RA)	75			
	4.3	.2 Modelo de Gash adaptado (GA)				

	4.4	Ana	álise estatística	81
	4.4.	1	Dados experimentais	81
	4.4.	2	Dados simulados	81
5	RES	SUL	TADOS E DISCUSSÃO	.83
	5.1	Var	iáveis meteorológicas	83
	5.2	Pre	cipitação interna	87
	5.3	Esc	oamento dos troncos	93
	5.4	Infi	ltração	96
	5.5	Pro	dução de serrapilheira	98
	5.6	Eva	poração no solo 1	02
	5.7	Eva	poração potencial 1	04
	5.8	Inte	erceptação da chuva 1	06
	5.8.	1	Interceptação da copa e do tronco 1	06
	5.8.	2	Interceptação do orvalho 1	10
	5.8.	3	Interceptação da serrapilheira 1	15
	5.9	Inte	erceptação total e o balanço hídrico 1	23
	5.10	Mo	delagem do processo de interceptação 1	26
	5.10	).1	Parâmetros dos modelos e evaporação potencial 1	26
	5.10	).2	Precipitação interna e interceptação da copa 1	27
	5.10	).3	Escoamento dos troncos e interceptação dos troncos 1	31
	5.10	).4	Infiltração e evaporação da serrapilheira 1	33
	5.10	).5	Interceptação total 1	37
	5.10	).6	Sazonalidade 1	42
6	CO	NCL	USÕES1	147
R	EFERÍ	ÈNC	IAS1	151
A	PÊND	ICE	A – Fotos dos LIDs em campo1	179
A	PÊND	ICE	B – Identificação das árvores próximas ao LIDs	.35

APÊNDICE C – Detalhes dos ensaios em laboratório sobre os efeitos da temperatura nos
registros das células de carga37
APÊNDICE D – Sobre a coleta de amostras de solo e instalação dos mini lisímetros39
ANEXO A – Algumas informações sobre as características do solo na área de estudo .41

## 1 INTRODUÇÃO

Na literatura, a interceptação é definida de diferentes maneiras, mas uma maneira mais apropriada seria defini-la como um processo (SAVENIJE, 2004). Para um ecossistema de floresta, ela pode ser definida como (DINGMAN, 2015) um processo pelo qual a chuva cai sobre a superfície vegetal e fica sujeita a evaporação. Apesar de não ser uma das maiores componentes do balanço hídrico, todavia é um processo significativo para o balanço, com papel fundamental na redistribuição da água, proteção do solo e manutenção da umidade nesses ambientes (GARDON et al., 2020; TSIKO et al., 2012; VAN DER ENT et al., 2014).

Segundo Savenije (2004), o impacto no balanço hídrico torna-se mais evidente quando são consideradas séries temporais mais longas, nas quais o fluxo de interceptação pode equiparar-se à mesma ordem de magnitude do fluxo de transpiração; podendo corresponder entre 10 a 50% da precipitação em áreas florestais (GERRITS; PFISTER; SAVENIJE, 2010; KLAASSEN; BOSVELD; DE WATER, 1998). Para os balanços hídricos globais, a interceptação da precipitação tem papel muito relevante (SHEIL, 2018; WANG-ERLANDSSON et al., 2014), especialmente em florestas tropicais, uma vez que 29% da evaporação mundial ocorre em tais florestas (MIRALLES et al., 2010).

Em escala de floresta, a interceptação pode ocorrer na copa das árvores, nos caules (escoamento dos troncos), na serrapilheira e também no solo. As medições de interceptação em áreas florestais geralmente têm sido indiretas, utilizando-se pluviógrafos acima e abaixo do dossel e "colares" envolta de troncos para obter os valores de precipitação, precipitação interna e escoamento dos troncos, respectivamente. A despeito de sua relevância, a evaporação oriunda da serrapilheira e do solo em florestas tem geralmente sido estimada indiretamente, sendo uma das justificativas para isso a dificuldade para se obter tais medidas diretamente *in situ* (BULCOCK; JEWITT, 2012a; GERRITS; PFISTER; SAVENIJE, 2010).

A serrapilheira é a camada que se forma acima do solo, composta por materiais vegetais depositados na superfície do solo tais como folhas, cascas, troncos, gravetos, flores, sementes e frutos (CIANCIARUSO et al., 2006). Ela influencia e regula os processos funcionais que ocorrem em um ecossistema (CAMPOS et al., 2008) e tem um papel fundamental no ciclo de nutrientes, atuando na transferência de matéria orgânica e nutrientes das plantas para a superfície do solo (DON; KALBITZ, 2005). A quantidade dessa cobertura formada na superfície do solo pode variar para um mesmo tipo de vegetação dependendo do grau de

perturbação da área, e também pode variar temporalmente, interferindo assim no processo de interceptação (DODONOV et al., 2017; GERRITS; PFISTER; SAVENIJE, 2010).

Algumas pesquisas em laboratório têm sido realizadas para analisar os impactos da serrapilheira quanto à interferência na geração do escoamento superficial e também início de erosão (DU et al., 2019; LIU et al., 2017; LOWDERMILK, 1930; ZHU et al., 2020), mas, em contrapartida, não existem muitos estudos sobre a importância, ou mesmo determinação da magnitude de impacto da serrapilheira no processo de interceptação da chuva (BULCOCK; JEWITT, 2012a; PUTUHENA; CORDERY, 1996). Sobre seu papel hidrológico, Oliveira et al. (2015a; 2015b) afirmam que as mudanças na cobertura da superfície e na vegetação durante o ano em área de Cerrado *s.s.*, tendem a promover diferentes respostas no processo de interceptação e na rugosidade da superfície do solo, facilitando com isso a retenção de água.

Sabe-se que as mudanças de uso e ocupação do solo afetam os processos hidrológicos, podendo haver redução da capacidade de interceptação, o que é mais evidente na conversão de áreas florestais para áreas de monoculturas (FILOSO et al., 2017; GARDON et al., 2020; SHEIL, 2018; VAN DER ENT et al., 2014). Monoculturas apresentam estrutura uniforme de dossel, o que acarreta um direcionamento mais restrito da água quando comparado com a redistribuição hídrica diversificada de ambientes florestais de vegetação natural (LEVIA et al., 2020). O entendimento acerca da dinâmica da água em áreas florestais contribui para a compreensão dos efeitos das mudanças na vegetação e no clima sobre a manutenção do ciclo hidrológico e dos serviços ecossistêmicos providos por essas áreas.

Diante disso e da atual expansão do setor agropecuário sobre áreas remanescentes de Cerrado (DURIGAN; RATTER, 2006; STRASSBURG et al., 2017), aliados às alterações futuras indicadas pelas projeções do IPCC sobre os regimes hidrológicos na América do Sul (ALTHOFF; RODRIGUES; DA SILVA, 2020; DERECZYNSKI et al., 2020; LYRA et al., 2018), despontam a importância de estudos sobre a disponibilidade, dinâmica e gestão dos recursos hídricos em áreas remanescentes de Cerrado. Para tanto, faz-se necessário analisar o particionamento da evapotranspiração em evaporação e transpiração, que pode elucidar as escalas de armazenamento dos processos hidrológicos, tais como taxas diferenciais de interceptação, evaporação e transpiração na vegetação, possibilitando a separação entre os efeitos abióticos e bióticos desse ecossistema sobre tais processos (SCOTT; BIEDERMAN, 2017).

Para tais estudos sobre o particionamento da evapotranspiração é fundamental o monitoramento em escala local e ecossistêmica. Estudos nessas escalas permitem compreender
melhor os processos de interação terra-atmosfera e então sobre a dinâmica dos processos hidrológicos, contribuindo para aprimoramento de modelos e generalidades em escalas regional ou global (STOY et al., 2019). Em florestas tropicais esses estudos são importantes tanto globalmente, uma vez que essas áreas são responsáveis pela manutenção da umidade atmosférica no ar de grandes áreas, como também localmente, pelo feedback imediato de água e a significativa contribuição na geração de chuvas locais (VAN DER ENT et al., 2014; WANG-ERLANDSSON et al., 2014).

Diante da hipótese de que o processo de interceptação da chuva constitui-se um processo significativo para o balanço hídrico em áreas de Cerrado *sensu stricto* (Cerrado *s.s.*), neste estudo buscou-se quantificar e analisar os processos interceptativos, incluindo a interceptação da serrapilheira. Para tanto, foram monitorados parâmetros meteorológicos e processos hidrológicos, além da produção de serrapilheira, em uma área preservada de Cerrado *s.s.* em Itirapina, São Paulo. Os dados de monitoramento foram analisados e, a partir da modelagem do processo de interceptação por dois modelos adaptados para incluir o processo de interceptação da serrapilheira, buscou-se aprofundar o conhecimento sobre a dinâmica e a sazonalidade desses processos. De maneira geral, pretende-se com este estudo ampliar o entendimento acerca do particionamento da chuva nesses ambientes precisamente importantes para manutenção do ciclo hidrológico e das reservas subterrâneas.

### 2 HIPÓTESES DO TRABALHO E OBJETIVOS PROPOSTOS

### 2.1 Hipóteses

Este trabalho foi pautado sobre a hipótese central de que "a interceptação da precipitação no Cerrado *s.s.* compreende uma parcela significativa do balanço hídrico para essas áreas, com características marcadamente sazonais". Com base em trabalhos realizados em áreas de Cerrado (LILIENFEIN; WILCKE, 2004; QUESADA et al., 2008; TONELLO et al., 2021b), e nos resultados de trabalhos anteriores na mesma área de estudo (ANACHE et al., 2019; OLIVEIRA et al., 2015), para essa hipótese a "parcela significativa" da interceptação total no Cerrado *s.s.*, isto é, a soma da interceptação da copa, dos troncos e pela serrapilheira, corresponderia a até 30% da precipitação anual.

Adicionalmente, com base em resultados de monitoramento da variação de cobertura de serrapilheira ao longo do ano e das estimativas de evaporação anual da serrapilheira (ROSALEM; ANACHE; WENDLAND, 2018), foram estabelecidas as seguintes hipóteses secundárias:

- i. A interceptação pela serrapilheira é um processo significativo no balanço hídrico anual no Cerrado *s.s.*.
- ii. Os principais modelos de interceptação, modelo de Gash (GASH, 1979) e de Rutter (RUTTER et al., 1971; RUTTER; MORTON, 1977; RUTTER; MORTON; ROBINS, 1975), quando adaptados para incluir o processo de interceptação pela serrapilheira, são ferramentas úteis que podem representar suficientemente bem os processos de interceptação em diferentes escalas temporais (GERRITS; PFISTER; SAVENIJE, 2010; LINHOSS; SIEGERT, 2020; SÁ; CHAFFE; OLIVEIRA, 2015; TÁVORA; KOIDE, 2020).

### 2.2 Objetivo geral

Este trabalho teve como objetivo principal avaliar o impacto do processo de interceptação no balanço hídrico para área de Cerrado *s.s.*, através da quantificação experimental da interceptação nos diferentes componentes, *i.e.* copa, troncos e serrapilheira, considerando os possíveis efeitos da sazonalidade sobre tais processos.

### 2.3 Objetivos específicos

- Quantificar a interceptação da precipitação pelas componentes dossel, troncos e serrapilheira;
- Adaptar o modelo analítico de interceptação da chuva desenvolvido por Gash (1979) e o modelo conceitual de Rutter (RUTTER et al., 1971; RUTTER; MORTON, 1977; RUTTER; MORTON; ROBINS, 1975), a fim de incorporar o processo de interceptação da serrapilheira;
- Analisar a dinâmica temporal do processo de interceptação para a área de Cerrado *s.s.* durante o período deste estudo;
- Avaliar o impacto da quantificação do processo de interceptação, especialmente da interceptação pela serrapilheira, no balanço hídrico para a área de Cerrado *s.s.*.

# 3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

### 3.1 Cerrado stricto sensu

O Cerrado brasileiro é considerado a maior e mais rica savana tropical no mundo (RODRIGUES et al., 2020), que ocupa um quarto do território nacional, abrigando um terço da biodiversidade do Brasil e, por seu alto índice de endemismo, é considerada a savana de maior biodiversidade no planeta (SANO et al., 2019; STRASSBURG et al., 2017). O Cerrado concentra 43% das águas superficiais do país fora da Amazônia, contribuindo com 80% da produção energética e 60% da agropecuária no país (MONTEIRO et al., 2020).

Por seus atributos de solo e topografia, avanços tecnológicos e o uso intensivo de fertilizantes químicos, o Cerrado é o cerne da "milagrosa" expansão agrícola do Brasil nas últimas décadas (RADA, 2013; SONE et al., 2020). Devido à sua inegável importância para a produção agropecuária do país, o Cerrado é base para os conflitos inerentes da dualidade entre os impactos positivos e negativos da agricultura (LEMES; DE ANDRADE; LOYOLA, 2020; SANO et al., 2019).

A crescente conversão de áreas naturais de Cerrado para áreas agricultáveis exerce pressão sobre a conservação da biodiversidade e manutenção dos serviços ecossistêmicos em tais regiões (LEMES; DE ANDRADE; LOYOLA, 2020). No caso da ecoregião Basaltos do Paraná, que engloba a região no estado de São Paulo, o total de áreas convertidas já ultrapassa 70%, ocupadas principalmente por culturas perenes. Dentre os estados brasileiros com cobertura vegetal natural de Cerrado, São Paulo é o que apresenta a menor porcentagem, sendo entre 7 a 13% apenas (DOBROVOLSKI et al., 2011; KRONKA et al. (1998) *apud* DURIGAN; RATTER, 2006; SANO et al., 2008, 2019). A despeito disto, as projeções futuras indicam possível conversão de 31-34% das áreas remanescentes de Cerrado no país até 2050 (SOARES-FILHO et al., 2016; STRASSBURG et al., 2017).

As alterações no uso e ocupação da terra trazem efeitos sobre o ciclo hidrológico e com isso sobre a distribuição das áreas mais aptas ao cultivo (LEVIA et al., 2020). No caso específico do Cerrado, por causa das significativas alterações do uso e ocupação do solo nesses últimos anos e por apresentar alta sazonalidade em seu regime de chuvas, são esperados impactos significativos sobre o regime de distribuição de chuvas devido aos efeitos das mudanças climáticas, possíveis de causar alterações até sobre os padrões fenológicos da vegetação natural nessas áreas (SONE et al., 2020; SPERA et al., 2016).

O Cerrado não apresenta uma estrutura uniforme, mas sim diferentes fisionomias nos diferentes climas em que se encontra (SANO et al., 2019). A vegetação é típica de savana xeromórfica com características de resistência à queimadas, podendo ser encontradas também grandes áreas com matas de galeria, florestas decíduas ou semidecíduas em locais de solos mais férteis (DURIGAN; RATTER, 2006). O gradiente de fisionomias do Cerrado varia entre campo limpo, fisionomia predominantemente de gramíneas; campo cerrado, composto por arbustos um pouco mais desenvolvidos; cerrado sensu stricto, que passa ter estrato arbóreo mais desenvolvido, com extrato lenhoso dominante (altura da vegetação alcançando de 3 a 12 m) com dossel descontínuo a um extrato herbáceo mais espalhado; e por fim a fisionomia de cerradão, que apresenta o gradiente florestal mais denso, com indivíduos chegando entre 10 a 15 m de altura e com dossel menos descontínuo do que a fisionomia de cerrado s.s. (CAMARGO et al., 2018; COUTINHO, 1978; DURIGAN; RATTER, 2006; REYS et al., 2013).

É sabido que o clima sazonal influencia a fenologia da população vegetal e que a disponibilidade de água afeta as formações estruturais, ou, fisionomias (CAMARGO et al., 2011; MORELLATO et al., 2000). Estudos recentes têm discutido sobre como a disponibilidade da água nesses ambientes, como por exemplo a profundidade da água subterrânea, afeta a densidade e composição da camada lenhosa no Cerrado (CAMARGO et al., 2011; HONDA; DURIGAN, 2016; LEITE et al., 2018). Não obstante, o papel das queimadas sobre a fisionomia e estrutura das áreas de Cerrado tem também entrado em discussão (DURIGAN, 2020).

Como a fisionomia e composição vegetal tem impacto sobre a biodiversidade desses ecossistemas e por consequência sobre os serviços ecossistêmicos destes, tem se tornado mais evidente a necessidade de compreender os fluxos e os predominantes usos da água nesses ambientes. Para isso, entender a dinâmica da água em áreas florestais engloba o entendimento do processo de interceptação e como as mudanças na vegetação e no clima podem alterar esse e os demais processos hidrológicos nessas áreas.

### 3.2 Processo de interceptação

O processo de interceptação interfere no ciclo hidrológico e na distribuição da água sobre a superfície terrestre. Savenije (2004) define a interceptação como um processo,

compreendendo a chuva que é interceptada pela superfície terrestre e que evapora em certo intervalo de tempo.

A interceptação pode não ser uma das maiores componentes do balanço hídrico, todavia é um processo significativo (ARNELL, 2002; TSIKO et al., 2012), podendo corresponder a até 50% da precipitação em algumas florestas (GERRITS et al., 2007; KLAASSEN; BOSVELD; DE WATER, 1998). Collischonn e Dornelles (2015) apontam que, como a água interceptada torna-se suscetível à evaporação, o principal efeito da interceptação em uma área de vegetação é o aumento da evaporação e a redução do escoamento subsuperficial. O aumento da retenção e evaporação da água nesses ambientes através do processo de interceptação afeta as condições ambientais locais, por vezes aumentando a umidade e a geração de chuvas locais (SHEIL, 2018; VAN DER ENT et al., 2014).

Em florestas tropicais, a estrutura do dossel pode ser complexa e ser composta por estratos arbóreos de diferentes estruturas e camadas, sendo que em florestas com alta umidade o ambiente dentro do dossel apresenta grande variabilidade (JIMÉNEZ-RODRÍGUEZ et al., 2020). A depender da estrutura da vegetação, principalmente do dossel, ocorrem diferentes regimes de trocas gasosas e de energia entre a superfície e a atmosfera, podendo causar conexão ou desconexão (*coupling or decoupling*) entre as camadas do dossel e entre a atmosfera acima do dossel. Esses regimes de fluxo são determinados tanto pela estrutura da floresta quanto pelas condições climáticas do ambiente ao entorno, sendo que em ambientes em que se observa *decoupling* os efeitos sobre as medidas de fluxos acima do dossel devem ser considerados, a fim de evitar estimativas incorretas de fluxos gasosos (*i.e.* CO<sub>2</sub> e evapotranspiração) (JOCHER et al., 2018; SCHILPEROORT et al., 2020b).

Assim, o processo de interceptação ocorre em diferentes componentes de uma floresta, sendo variável no tempo, dependendo das demandas evaporativas locais e das capacidades de armazenamento das superfícies de interceptação, e também variável espacialmente, devido as diferentes superfícies e a distribuição destas no ambiente (COENDERS-GERRITS; SCHILPEROORT; JIMÉNEZ-RODRÍGUEZ, 2020). Como a interceptação é diretamente dependente da precipitação, a sua variabilidade temporal pode ser observada em diferentes escalas, tanto em nível de evento quanto sazonal (BRASIL et al., 2018; GERRITS; PFISTER; SAVENIJE, 2010; HASHINO; YAO; YOSHIDA, 2002; IIDA et al., 2017), uma vez que em algumas regiões a distribuição de chuvas não é uniforme ao longo do ano. Por isso, se afirma que o impacto da interceptação no balanço hídrico torna-

se evidente quando são consideradas séries temporais mais longas, nas quais o fluxo de interceptação pode até equiparar-se à mesma ordem de magnitude do fluxo de transpiração (SAVENIJE, 2004).

Em um ecossistema de floresta, a interceptação da chuva pode ocorrer no dossel, nos troncos e na serrapilheira. Por vezes, de modo a representar os processos de interceptação, estes são representados em nível de indivíduo, ou seja, de uma árvore, sendo dito os processos de interceptação da copa, do tronco e da serrapilheira (Figura 1).

Ocorrendo precipitação (P), parte da precipitação cai diretamente em direção ao chão da floresta como precipitação livre, enquanto outra parte incide sobre a copa. Na copa, parte ficará ali interceptada  $(I_c)$ , estando suscetível ao processo de evaporação  $(E_c)$ , ao passo que o restante ou irá escoar através do tronco (T) ou irá drenar/gotejar da copa (D). A junção de *D* mais a precipitação livre, forma a precipitação interna (*Pi*), que seguirá em direção ao chão da floresta, bem como o fluxo T. A quantia que atinge o chão da floresta, Pi mais T, neste trabalho denominada de precipitação efetiva (TONELLO et al, 2014), representa uma importante parcela da precipitação, principalmente para os estudos de escoamento superficial e erosão (ALVES, 2007; LIMA; NICOLIELO, 1983). Ao alcançar a serrapilheira, a precipitação efetiva torna-se entrada para os processos de escoamento superficial (Q), interceptação pela serrapilheira ( $I_f$ ), e sua consequente evaporação ( $E_f$ ), de infiltração (F), com possível retorno para a atmosfera por evaporação das camadas superficiais do solo de infiltração  $(E_s)$ . Excluindo-se a  $E_s$ , a água que infiltra no solo estará disponível para as plantas, contribuindo para os processos de transpiração e respiração, ou contribuirá para a recarga subterrânea. Dependendo do sistema radicular da floresta, a vegetação pode ter contínuo acesso a água, mesmo durante períodos de seca.

Devido a sua magnitude, a interceptação da copa tem sido o foco nos estudos experimentais em florestas (ASTUTI; SURYATMOJO, 2019; AYDIN; GÜNEŞ ŞEN; CELIK, 2018; CROCKFORD; RICHARDSON, 2000; SADEGHI et al., 2017). Não obstante, as dificuldades para o monitoramento direto da interceptação pela serrapilheira e evaporação do solo, fazem com que as medidas de interceptação geralmente se concentrem apenas na interceptação da copa e do tronco (GERRITS et al., 2007; LI et al., 2017; LI; NIU; XIE, 2013; TSIKO et al., 2012). A maioria dos estudos sobre a perda de água do solo tem analisado o processo de evapotranspiração, visando o uso racional da água na irrigação de diferentes culturas (CARVALHO et al., 2013).



**Figura 1.** Processos hidrológicos em florestas relacionados ao processo de interceptação, representados em escala de pontual (árvore).

Fonte: Autor (2021)

Esforços têm sido empregados para adicionar o processo de interceptação nos modelos globais e regionais (BLYTH; HARDING, 2011; DAVIES-BARNARD et al., 2014; MURRAY, 2014; STOY et al., 2019; VAN DER ENT et al., 2014; WANG-ERLANDSSON et al., 2014). Isso tem levado ao avanço no uso de técnicas de sensoriamento remoto para as estimativas de interceptação do dossel (CUI et al., 2017; HASSAN; GHIMIRE; LUBCZYNSKI, 2017; LI et al., 2017; VAN DER ENT et al., 2014; ZHENG; JIA, 2020). Entretanto, para as técnicas para estimativas de interceptação por sensoriamento remoto das outras componentes é ainda mais limitada.

No Brasil, os estudos de interceptação usualmente focam na interceptação do dossel e dos troncos (BRASIL et al., 2018; FERREIRA; LUIZÃO; DALLAROSA, 2005; IZIDIO et al., 2013; JUNQUEIRA JUNIOR et al., 2019; LLOYD; GASH; SHUTTLEWORTH, 1988; OLIVEIRA et al., 2015). Em uma revisão sobre o monitoramento da interceptação em florestas brasileiras, Giglio e Kobiyama (2013) pontuaram a distribuição desuniforme dos estudos de interceptação nos biomas brasileiros. Segundo os autores, até a época dessa revisão, estudos na Mata Atlântica e Amazônia correspondiam a quase 90% dos estudos de interceptação no país; enquanto que no Cerrado e na Caatinga pouco era conhecido sobre o processo de interceptação. Situação pouco melhor do que para os biomas Pampas e Pantanal, dos quais não se tinham estudos sobre o processo de interceptação.

Nos últimos anos, as pesquisas acerca do processo de interceptação na Mata Atlântica contribuíram tanto para o estudo sobre a aplicação de modelos de interceptação nessas florestas (FERREIRA RODRIGUES et al., 2021; JUNQUEIRA JUNIOR et al., 2019; SÁ; CHAFFE; OLIVEIRA, 2015), quanto para o conhecimento aprofundado do processo de interceptação e o particionamento da precipitação nesses ambientes (SÁ et al., 2016, 2020). De mesmo modo, o mesmo tem ocorrido para estudos realizados na Amazônia (AGUILOS et al., 2019; BINKS et al., 2021; GERMER; ELSENBEER; MORAES, 2006; ROCHA et al., 2004).

Recentemente, importantes estudos sobre os processos de interceptação em áreas de Caatinga foram realizados, não somente para determinação de percentuais em relação a precipitação, mas também sobre a variabilidade temporal desses processos (BRASIL et al., 2018, 2020; DE QUEIROZ et al., 2020; IZIDIO et al., 2013; RIBEIRO et al., 2019). Em contrapartida, ainda existem poucos estudos realizados na região do Pampa (FERRETO et al., 2021; REICHERT et al., 2017; SOUZA et al., 2019) e muito pouco se conhece sobre o processo de interceptação nesse bioma em áreas qe ainda tenham vegetação natural.

Em relação ao Cerrado, algumas pesquisas mais recentes foram feitas sobre os processos de particionamento da precipitação e interceptação do dossel (BESSI; DIAS; TONELLO, 2018; CARVALHO; ASSUNÇÃO; SCOPEL, 2013; TONELLO et al., 2021b), e também sobre recarga nesses bioma (DOS SANTOS et al., 2021; LEITE et al., 2018; OLIVEIRA et al., 2017). Esses estudos objetivaram entender a dinâmica da água nesses ambientes e os efeitos de sua redistribuição para a vegetação e processos hidrológicos. Essas pesquisas não foram apenas em áreas de vegetação de típica de Cerrado, mas também recentemente em Matas de Galeria e em áreas de florestas de regeneração dentro do bioma Cerrado (DE GÊNOVA; HONDA; DURIGAN, 2007; FONTANA, 2020; TÁVORA; KOIDE,

2020; ZIEMBOWICZ, 2018). Ademais, cabe destacar as significativas recentes contribuições para o entendimento dos efeitos das mudanças do uso e ocupação do solo sobre os serviços ecossistêmicos providos pelo Cerrado (HUNKE et al., 2015; PEREIRA et al., 2021; RODRIGUES; JACOBI; FIGUEIRA, 2019; SONE et al., 2020).

Especialmente para área de Cerrado *s.s.*, pesquisas realizadas em áreas remanescentes têm contribuído para o entendimento do particionamento da água nesses ambientes. Alguns desses estudos focaram na interceptação pelo dossel e escoamento dos troncos (ANACHE et al., 2019; CABRAL et al., 2015; HONDA; DURIGAN, 2016; HONDA; MENDONÇA; DURIGAN, 2015; OLIVEIRA et al., 2014, 2015, 2017; OLIVEIRA; NEARING; WENDLAND, 2015), enquanto outros sobre os efeitos das mudanças de fatores bióticos e abióticos sobre tais processos ou sobre os efeitos do processo de interceptação nesses ambientes (ALBERTON et al., 2019; CAMARGO et al., 2018; PEREIRA et al., 2021; TONELLO et al., 2021b).

Acerca do processo de interceptação como um todo, isto é, considerando o processo de interceptação pela serrapilheira, as únicas pesquisas no Brasil, realizadas por Ferreto et al. (2021) e Neto et al. (2012), envolveram áreas de plantação de eucaliptos. Em ambos trabalhos, foram usadas estimativas indiretas da interceptação dessa componente, bem como a estimativa feita da evaporação dessa interceptação para uma área de Cerrado *s.s.* (ROSALEM; ANACHE; WENDLAND, 2018).

### 3.2.1 Interceptação da copa

As medidas de interceptação são geralmente focadas mais na interceptação da copa, justificadas pelo seu significativo impacto sobre o balanço hídrico para algumas florestas. A copa das árvores é o primeiro redistribuidor da precipitação em florestas, afetando significativamente os processos de erosão e escoamento superficial (VAN STAN et al., 2020).

Alguns trabalhos foram feitos para estimar a capacidade máxima de armazenamento da copa, no entanto, a grande maioria estima a interceptação do dossel a partir do cálculo indireto. Para isso, utilizam dados de precipitação total, obtidos com pluviômetros acima da copa das árvores, e dados de precipitação interna, a partir de calhas ou pluviômetros abaixo da copa, como pode ser observado nas pesquisas de Domínguez et al. (2016), Gerrits, Pfister e Savenije (2010) e Sadeghi et al. (2015).

Estudos em que se almejava maior precisão na determinação da capacidade de armazenamento da copa, foram utilizados lisímetros de pesagem, como Li et al. (2016). Emcomparação com o número de estudos sobre esse processo em florestas, existem poucos

trabalhos como o de Guevara-Escobar et al. (2007), Kermavnar e Vilhar (2017) e Yang et al. (2019), que avaliaram a interceptação da chuva em áreas urbanas.

Existem diferentes métodos para a determinação da interceptação do dossel ou copa, com constantes evoluções para as técnicas e para os sensores usados, como pro exemplo o desenvolvimento de transdutores de tensão mais duráveis para aplicações em campo (KLAMERUS-IWAN et al., 2020). Alguns desses métodos são apresentados na Tabela 1. Uma revisão sobre os métodos aplicados à determinação de interceptação da copa foi realizada por Friesen, Lundquist e Van Stan II (2015) e mais informações também podem ser encontradas no trabalho de Van Stan II, Friesen e Gutmann (2020).

Mátada	Alteração Mátado Principio Tipo		Alteração	Deferêncie				
Metodo	Principio	про	do meio	Kelerencia				
Dluviômatros	Palanco	In city	Mínimo	Oliveira et al. (2015); Tonello et al.				
riuvionieuos	metros Baranço în situ Minima	Iviiiiiia	(2021); Yu et al. (2012)					
	Variação do	Ex situ		Levia, D. F.; Wubbena (2006);				
Peso de material	wanaçao ue		Substancial	Guevara-Escobar et al. (2011); Liu				
	massa			(1998); Llorens; Gallart (2000)				
Deformação de celhos	Variação de	In situ	Madarada	Bründl et al. (1999); Hancock;				
Deformação de gamos	massa	III Situ	Moderada	Crowther (1979)				
Lisímetros com árvore	Variação de In situ /		Substancial	$L_{i}$ at al. (2016, 2017)				
inteira	massa	Ex situ	Substancial	Li et al. (2010, 2017)				
Compressão do tropos	Variação de		Minimo	Friesen et al. (2008); Huang; Chen				
Compressão do tronco	essão do tronco In situ Minima massa	Lin (2005); Van Stan II et al. (2011)						
Atonuccão de sincl	Variação de	In situ /	Nonhumo	Guglielmetti et al. (2007);				
Atenuação de sinal	massa	Ex situ	mennunna	Schneebeli et al. (2011)				
Noutrin og/ rodiogão	Variação da			Andresson et al. (2017): Errorg et al				
Neutrinos/ radiação	massa	In situ	Nenhuma	Anureasen et al. (2017); Franz et al.				
gama	d'água			(2013), OISZYCZKA, CIUWIIEI (1981				

Tabela 1. Métodos para determinação da interceptação do dossel ou copa.

Fonte: Autor (2021)

A estrutura do dossel e as características morfológicas da árvore têm efeito não somente sobre a interceptação, mas influenciam fortemente a precipitação interna e o escoamento dos troncos (MALI et al., 2019). Recentemente, o estudo de fatores que afetam a capacidade de armazenamento da copa, particularmente a capacidade de "molhamento" das folhas, tem sido objeto de estudo, assim como o conjunto de fatores que controlam a capacidade das superfícies vegetais em reter água (BRASIL et al., 2020; KEIM; SKAUGSET; WEILER, 2006; KLAMERUS-IWAN; BŁOŃSKA, 2018; ROSADO; HOLDER, 2013). Embora a capacidade de armazenamento da copa (em termo de precipitação líquida), sejam geralmente menores que 4 mm, esse valor pode ser ultrapassado, algumas vezes em eventos de baixa intensidade ou intensos de curta duração (KLAMERUS-IWAN et al., 2020). A capacidade de armazenamento da copa depende de vários fatores, tais como a estrutura e idade das folhas e as características de sua superfície, sazonalidade, condições do evento, dentro outros (KEIM; SKAUGSET; WEILER, 2006; KLAMERUS-IWAN; BŁOŃSKA, 2018; SADEGHI et al., 2018).

Uma vez interceptada na copa, a água retida estará sujeita a ser particionada nos processos de evaporação ou remoção mecânica por vento. Além desses processos, pode ocorrer também a remoção pela captação de água ("*uptake water*") pelas folhas e galhos, que apesar de ainda não haver entendimento total sobre como esse processo ocorre, sabe-se que seu fluxo corresponde a uma pequena parcela, geralmente apenas 10% da transpiração foliar (AUBREY, 2020). Esses processos afetam tanto o período de permanência da água interceptada quanto o direcionamento/caminho que a água irá percorrer.

Alguns estudos têm reportado períodos de residência hidráulica no dossel (*i.e.* não o período de trânsito de uma partícula) entre 8 a 30 min (KEIM; SKAUGSET; WEILER, 2006), podendo ocorrer períodos de residência maiores. Há indícios de que períodos maiores podem ocorrer devido a evaporação parcial e recarga do armazenamento durante o evento, intensificado pela intermitência da precipitação nesses eventos (KEIM; LINK, 2018). Ligado à isso, há o argumento de uma possível capacidade dinâmica de armazenamento na copa, que levaria ao acúmulo maior da retenção, usado para explicar os maiores valores observados durante o evento (KEIM; LINK, 2018; KEIM; SKAUGSET; WEILER, 2006; KEIM; TROMP-VAN MEERVELD; MCDONNELL, 2006; KLAMERUS-IWAN; BŁOŃSKA, 2018). Não obstante, o impacto que a intensidade da precipitação tem sobre a produção de respingos (*"splash droplet formation"*), não pode ser desconsiderado (DUNKERLEY, 2015b, 2009).

Assim, a variação temporal e espacial do armazenamento na copa implica na variação estocástica tanto dos fluxos verticais, no sentido do solo, quanto dos laterais dentro do dossel. O impacto dessa estocasticidade recai sobre a distribuição da precipitação interna abaixo do dossel, e, por conseguinte, sobre os processos hidrológicos decorrentes (KEIM; LINK, 2018; YANG et al., 2020).

Em um trabalho feito em uma floresta de Mata Atlântica, SÁ et al. (2020) confirmaram o importante papel da copa na distribuição da precipitação interna. Os autores identificaram que locais com maior número de camadas na copa apresentam maior potencial para criar caminhos preferenciais e, com isso, maior variabilidade para a precipitação interna pode ser observada, dependendo também das características da precipitação. Para a precipitação interna e interceptação da copa na Mata Atlântica, os valores variam entre 70 - 94% e entre 8 - 21% da precipitação, respectivamente (GIGLIO; KOBIYAMA, 2013; SÁ et al., 2016).

Os estudos indicam que a interceptação pelo dossel no Cerrado, incluindo as suas diferentes fisionomias, varia entre 2,8 a 24,6% da precipitação, enquanto que a precipitação interna varia entre 75,4 a 97,2%. Geralmente o escoamento dos troncos corresponde a uma parcela muito pequena do balanço para o Cerrado, sendo reportados valores entre 0,3 a 2,9% da precipitação (HONDA; DURIGAN, 2016; OLIVEIRA et al., 2015).

### 3.2.2 Interceptação dos troncos

O escoamento dos troncos é compreendido como a parte da precipitação que é direcionada pelo tronco de uma árvore até a sua base no solo (DUNKERLEY, 2014). Segundo a definição de Sadeghi, Gordon e van Stan II (2020), "Escoamento dos troncos é qualquer precipitação canalizada por áreas periféricas do dossel que é drenada para a base do tronco de uma planta individual". Através desse escoamento, ocorre o umedecimento e interceptação da precipitação pelo tronco e galhos da árvore.

Diferentemente da precipitação interna (drenagem da copa mais a precipitação livre) que começa imediatamente com o início da precipitação em um evento, o início do escoamento dos troncos apresenta um "atraso". A explicação teórica para esse atraso é de que o processo inicia-se depois que a estrutura de interceptação da copa está saturada e quando o escoamento é suficiente para saturar o armazenamento dos galhos e maior que a demanda evaporativa durante a precipitação (FRIESEN, 2020).

O escoamento dos troncos geralmente é medido pelo método definido por Horton (1919), que consiste de um colar, concêntrico ou em espiral, envolto ao tronco da árvore, que direciona o volume escoado de chuva para um recipiente de armazenamento ou para um pluviógrafo. A diferença nos trabalhos tem sido nos materiais utilizados para a confecção dos colares e também na automatização (TURNER et al., 2019; YUAN et al., 2019), ou não, da coleta desse escoamento (GERMER; ELSENBEER; MORAES, 2006; RIBEIRO et al., 2019; TONELLO et al., 2021b).

Através da precipitação efetiva, muitos materiais dissolvidos ou em forma particulada são direcionados da vegetação para o solo da floresta. A mudança na composição da precipitação efetiva é resultado de três processos principais: (i) o carreamento de materiais secos depositados no dossel, (ii) a captação ou retenção de materiais pelo dossel ("*uptake*") e (iii) pela lixiviação de materiais presentes no dossel ou produzidos por organismos que ali vivem (PONETTE-GONZÁLEZ; VAN STAN II; MAGYAR, 2020).

O escoamento dos troncos canaliza o fluxo para a área das raízes da árvore, por onde a água pode seguir diferentes caminhos. Para alcançar grandes profundidades, o fluxo deve seguir por caminhos preferenciais ao invés de passar pela matriz insaturada do solo. Esse intenso fluxo que ocorre através dos macroporos e pela própria zona de raízes tem sido chamado de afunilamento duplo ("*double funneling*") do escoamento dos troncos (FRIESEN, 2020; JOHNSON; LEHMANN, 2006; SCHWÄRZEL; EBERMANN; SCHALLING, 2012; SPENCER; MEERVELD, 2016). A área próxima as raízes que recebe esse grande fluxo, é denominada área de infiltração; que também pode receber fluxos intensos oriundos dos pontos de concentração de drenagem da copa ("*drip points*") (FRIESEN, 2020; KLOS et al., 2014). O tamanho dessa área depende de vários fatores como das características do solo e de seu uso/ocupação bem como das características da chuva e do tamanho da zona de raízes da árvore. Por ser uma área muito importante e de tamanho variável, a determinação da área de infiltração também tem sido foco de estudo (FRIESEN, 2020; VAN STAN; GORDON, 2018; VAN STAN; ALLEN, 2020).

Nos estudos sobre a área de infiltração e de totais de infiltração oriundos do escoamento dos troncos e da precipitação interna, diferentes métodos têm sido empregados, tais como lisímetros de pesagem juntamente com balanços hídricos; traçadores químicos ou mesmo naturais; tensiômetros ou sensores de umidade em diferentes profundidades próximos a zona de raízes (FRIESEN, 2020; WANG et al., 2011).

Em relação ao processo de interceptação, usualmente a interceptação pelos galhos e tronco é medida indiretamente. A diferença entre a precipitação e o precipitação efetiva, resulta na medição indireta da interceptação pela vegetação, referida em muitos trabalho como interceptação perdida (*"the interception loss"*). No Brasil, como exemplos podem ser citados os trabalhos de Calux e Thomaz (2012), Giglio, Kobiyama (2013), Junqueira Júnior (2016), Lima e Nicolielo (1983), Lorenzon, Dias e Leite (2013), Moura et al. (2009), Oliveira (2011), Oliveira et al. (2015), Sari, Paiva e Paiva (2015; 2016), Thomaz e Antoneli (2015), Togashi, Montezuma e Leite (2012) e Tonello et al. (2014).

Sobre os estudos de interceptação dos troncos e escoamento dos troncos em áreas de Cerrado, destacam-se os trabalhos recentes de Bessi, Dias e Tonello, (2018), Honda, Durigan, (2016), Honda, Mendonça e Durigan (2015) e Tonello et al. (2021). Como o Cerrado apresenta diferentes fisionomias, com comunidade e estrutura das árvores variáveis, bem como quantidade de biomassa, eram esperadas as diferentes respostas observadas nos particionamentos e interceptações (BESSI; DIAS; TONELLO, 2018). Por isso também que os efeitos de possível aumento na densidade, cobertura ou biomassa no Cerrado, devido aos efeitos de diferentes fatores como alterações do clima ou mesmo no regime do fogo, tem sido objeto de estudo (HONDA; DURIGAN, 2016).

Além dessas diferenças entre fisionomias de Cerrado, a biodiversidade de espécies vegetais faz com, não apenas o particionamento da água apresente variações espaço-temporais, mas também o fluxo de nutrientes da vegetação para o solo. A concentração de elementos transportada pelo escoamento dos troncos é diferente entre as espécies do Cerrado, sendo afetada também pelos diferentes componentes na copa e sua geometria, como também pela morfologia dos galhos e troncos da árvore (TONELLO et al., 2021b).

A magnitude do escoamento dos troncos no Cerrado é baixa quando comparada com o observado em outras florestas, mesmo para algumas de ambientes áridos também, correspondendo em média a 1,2% da precipitação (HONDA; MENDONÇA; DURIGAN, 2015). A eficiência desse escoamento é muito variável entre as espécies do Cerrado, sendo que as árvores com maior eficiência apresentam menor rugosidade na superfície do tronco, crescimento monopodial e troncos mais eretos (HONDA; MENDONÇA; DURIGAN, 2015).

### 3.2.3 Interceptação da serrapilheira

Comparativamente a interceptação pela copa e troncos, existem poucos trabalhos relacionados à determinação da interceptação pela serrapilheira. Isto porque em muitos casos esta é considerada como desprezível para balanços hídricos ou porque é de difícil monitoramento (LI et al., 2017; SATO et al., 2004).

Formada pelos materiais senescentes da vegetação acumulados acima do solo, a serrapilheira liga a produção primária da floresta ao ciclo da matéria orgânica nesses ambientes, sendo uma das fontes mais importantes de nutrientes vegetais para o solo (COSTA et al., 2020; SALES et al., 2020). A estrutura física da serrapilheira é muito heterogênea e seu acúmulo acima do solo também não se distribui equitativamente (LI; LEE; IM, 2020).

Não importante apenas por sua transferência de nutrientes para o solo, a serrapilheira atua como uma barreira de proteção do solo, efetando a obtenção de água pelas raízes das plantas, o processo de evaporação e drenagem da água para o solo. Assim, essa camada influencia na manutenção da umidade do solo, regulando o processo de escoamento superficial

e protegendo o solo de processos erosivos (DU et al., 2019; DUNKERLEY, 2015b; LIU et al., 2017; SUN et al., 2016a).

Geralmente a produção de serrapilheira é maior em ecossistemas tropicais, e aumenta de campos para áreas de floresta, sendo que a produção anual nas florestas de plantas lenhosas, como as diferentes fisionomias do Cerrado, pode ser entre 0,6 a 9,4 Mg.ha<sup>-1</sup> (COSTA et al., 2020; PEREIRA et al., 2017; SILVA et al., 2007). A taxa de produção varia no tempo, apresentando caráter fortemente sazonal em florestas decíduas e semidecíduas, e relativamente mais contínuo em florestas perenes. Essa sazonalidade já foi apontada em vários estudos sobre a produção no Cerrado, dentre esses alguns propuseram também analisar a relação dessa produção com os fatores abióticos do meio (BRASIL et al., 2013; CAMPOS et al., 2008; CIANCIARUSO et al., 2006; DODONOV et al., 2017; SANCHES et al., 2009; VALENTI; CIANCIARUSO; BATALHA, 2008a). Essa grande variação em escalas espacial e temporal da produção é determinada principalmente pelo clima, sazonalidade, topografia e distribuição e espécies. As práticas de manejo ou quais quer alterações na vegetação, até mesmo indiretamente pelas mudanças climáticas, podem aumentar a produção de serrapilheira (CONDIT; HUBBELL; FOSTER, 1996; SAYER, 2006).

Em áreas de Cerrado *s.s.*, a produção de serrapilheira varia ao longo do ano, embora esteja sempre presente acima do solo (CAMPOS et al., 2008; CIANCIARUSO et al., 2006; VALENTI; CIANCIARUSO; BATALHA, 2008b). Essa camada atua como proteção contra processos erosivos e melhora a qualidade do solo e o crescimento vegetativo devido à inserção de matéria orgânica através de sua decomposição (DU et al., 2019; GEDDES; DUNKERLEY, 1999; LOWDERMILK, 1930).

Por ser uma camada de transição, usualmente a serrapilheira é dividida em duas camadas principais: uma camada superior, composta de materiais com origem ainda identificável, e uma camada inferior, que contém material mais decomposto e, por isso, de origem não reconhecível (GUEVARA-ESCOBAR et al., 2007). Por vezes, a camada inferior da serrapilheira é de difícil distinção do horizonte O do solo (ou húmus) (COSTA et al., 2020; KÕLLI, 2018). Mas segundo Sayer (2006), a serrapilheira poderia ter a camada inferior subdivida em "camada de fermentação", em que a serrapilheira não está em estado avançado de decomposição e não está misturada com o solo por organismos que vivem nele; e em "camada de matéria orgânica", na qual o material já está muito decomposto e sua origem não é reconhecível.

Em relação a capacidade de retenção de água nas camadas da serrapilheira, o total armazenado pode diferir entre essas diferentes camadas. Waring, Rogers, Swank (1980)

concordam também que a serrapilheira pode ser dividida em duas camadas principais; uma superior, na qual a capacidade de retenção depende essencialmente da área superficial dos materiais, de maneira similar a retenção na copa; e uma camada inferior, em que a capacidade de retenção é maior devido principalmente à força de capilaridade. Assim, a dinâmica dos processos hidrológicos pode ser diferente nessas camadas, uma vez que a camada inferior, mais próxima a solo, é mais influênciada pela umidade do solo do que a camada mais superficial, a qual está mais fortemente influenciada pelas alterações na atmosfera (ZHAO et al., 2021).

Como é muito difícil a determinação de onde termina a serrapilheira e inicia a parte mineral do solo, algumas pesquisas na área da hidrologia adotam o termo "chão da floresta" (*"the forest floor"*), considerando juntamente com a serrapilheira a primeira camada de solo em contato (GERRITS et al., 2007). Neste trabalho é adotada a definição proposta por Klamerus-Iwan et al. (2020) para a área de interceptação da serrapilheira, tal como "a camada composta pela parte superior do chão da floresta, geralmente livre de raízes, onde o fluxo de água é dominado pela gravidade e evaporação direta, e a transpiração não é um processo significativo", não sendo incluída a primeira camada de solo como parte dessa componente de interceptação.

A interceptação pela serrapilheira depende de fatores relacionados as características da massa da serrapilheira, tais como de sua quantidade, espessura e composição. Não apenas isso, mas as características da chuva, como distribuição, frequência e intensidade, afetam também o armazenamento pela serrapilheira, bem como a demanda evaporativa durante os eventos e a declividade no terreno, sendo que para este último fator ainda haja necessidade de mais confirmação (DUNKERLEY, 2015b; LI et al., 2017; LI; NIU; XIE, 2013).

A dificuldade em realizar o monitoramento direto da interceptação pela serrapilheira, fez com que muitos trabalhos utilizassem métodos indiretos de monitoramento em campo ou mesmo realizassem estimativas a partir de ensaios em laboratório. Os primeiros trabalhos contavam com a coleta de amostras de serrapilheira após eventos de precipitação, que eram secas em laboratório para a determinação do volume de água retido (HELVEY, 1964). Em alguns estudos, a técnica de monitoramento diverge por realizar medidas em campo da variação do conteúdo de água, sendo determinado o peso seco das amostras em laboratório apenas ao final do estudo (KISS et al., 2014). No Brasil, os trabalhos de Ferreto et al., (2021) e Neto et al. (2012) em plantações de eucalipto, usaram técnicas semelhantes e estão dentre os únicos estudos sobre a interceptação pela serrapilheira no país.

Entretanto, a maioria dos estudos em laboratório tem focado na determinação de parâmetros relacionados ao armazenamento de água pela serrapilheira ou mesmo na

mensuração do total armazenado, a fim de estudar os efeitos desse armazenamento sobre outros processos, como nos trabalhos de Du et al. (2019), Dunkerley (2009), Geddes e Dunkerley (1999). Os principais parâmetros estudados referem-se a capacidade de armazenamento transitória ou máxima (Cmax), a qual refere-se a água que é armazenada e mais tarde é drenada, e a capacidade residual ou mínima de armazenamento (Cmin), que refere-se a retida pela serrapilheira que só é removida por evaporação (GUEVARA-ESCOBAR et al., 2007; LI; LEE; IM, 2020; PITMAN, 1989; PUTUHENA; CORDERY, 1996; ROSALEM; WENDLAND; ANACHE, 2019; SATO et al., 2004).

Medidas indiretas *in situ* da interceptação pela serrapilheira envolvem o uso de equipamentos que medem o volume de chuva que passa pela serrapilheira (BULCOCK; JEWITT, 2012a), ou podem envolver, como proposto mais recentemente, o uso de sensores de umidade, permissividade ou de resistência elétrica (ACHARYA; STEBLER; ZOU, 2017; WANG; THROOP; GILL, 2015).

Um método diferente foi aplicado por Grelle et al. (1997) para monitorar a evaporação pela serrapilheira para uma floresta na Suécia. Nesse trabalho, os autores utilizaram uma câmara aberta de acrílico transparente, parecida com uma caixa, de 0,6 m<sup>2</sup> depositada sobre a serrapilheira que permitia a entrada da radiação. A evaporação pela serrapilheira era medida pela variação da concentração de vapor de dentro e fora da caixa através um sistema de sucção de ar que direcionava os fluxos para um analisador gás a uma taxa constante. Com base no monitoramento, a evaporação pela serrapilheira se mostrou a um processo significativo para essa floresta, correspondendo a 15% da evapotranspiração da área.

Outros estudos utilizaram de lisímetros de pesagem para monitorar a evaporação apenas pela serrapilheira (THAMM; WIDMOSER, 1995 *apud* ROSALEM (2017)), pela serrapilheira mais a evaporação da camada mais superficial do solo (GERRITS et al., 2007; GERRITS; PFISTER; SAVENIJE, 2010), ou pela serrapilheira e do solo (SCHAAP; BOUTEN; VERSTRATEN, 1997). Esses estudos encontraram valores de evaporação pela serrapilheira para florestas na Holanda de 22% da precipitação interna (GERRITS; PFISTER; SAVENIJE, 2010) e taxas de evaporação média de 0,23 mm.dia<sup>-1</sup> (SCHAAP; BOUTEN; VERSTRATEN, 1997).

Em um trabalho empregando mesmo equipamento utilizado por Gerrits, Pfister e Savenije (2010), Tsiko et al. (2012) monitorou a interceptação por dois tipos de serrapilheira no Zimbabwe e encontrou valores entre 19 a 26% de interceptação da precipitação total. O equipamento proposto por Rosalem, Wendland e Anache (2019) para monitoramento contínuo também da interceptação apenas da serrapilheira, foi testado em laboratório para determinação de parâmetros de armazenamento da serrapilheira do Cerrado *s.s.*.

No estudo de em uma floresta no Japão, Sun et al. (2016b) usaram lisímetros de pesagem para monitorar o processo de evaporação pela serrapilheira e solo, e também da transpiração das plantas de sub-bosque. Os valores de evapotranspiração do chão da floresta encontrados variaram entre 8,6 a 19,3% da precipitação ao longo do ano.

O uso de sistemas de pesagem para o monitoramento contínuo da interceptação, possibilita a separação e o melhor entendimento de processos hidrológicos relacionados, tais como infiltração, interceptação de orvalho e escoamento superficial. Em trabalhos como o de Sun et al. (2016b), no qual os dias de chuva tiveram que ser desconsiderados nos cálculos por problemas com a técnica adotada, a dificuldade de monitorar adequadamente a interceptação da chuva torna-se maior pois a evaporação em períodos após os eventos de precipitação pode ser significante (CZIKOWSKY; FITZJARRALD, 2009; JIMÉNEZ-RODRÍGUEZ et al., 2020). Além disso, lisímetros com solo e/ou plantas além da serrapilheira, não possibilita estudar o particionamento da água pelos componentes separadamente.

Assim, os métodos citados de monitoramento da interceptação pela serrapilheira através de lisímetros de pesagem e as diferentes adaptações destes, se mostraram muito úteis para o monitoramento *in situ*, apesar de suas limitações. Futuramente, ocorrendo o emprego desses métodos para um número maior florestas, limitações quanto a determinação do escoamento superficial ou quanto a aplicação em áreas com acentuada declividade, podem surgir como novos desafios para o monitoramento direto e contínuo da interceptação por essa componente.

### 3.3 Modelos de interceptação

Os modelos hidrológicos têm sido muito utilizados como ferramentas para planejamento e tomada de decisões ligadas ao gerenciamento dos recursos hídricos. Nesse sentido, a modelagem dos processos hidrológicos em florestas tem auxiliado em avaliações dos impactos causados por distúrbios nesses ambientes, sendo essas de origem diretamente antrópica ou não (FERREIRA RODRIGUES et al., 2021; KISS et al., 2014).

Como o processo de interceptação é importante em balanços hídricos florestais (NÁVAR, 2020), os modelos dos processos de interceptação têm sido amplamente empregados (MUZYLO et al., 2009; NÁVAR, 2017; SADEGHI et al., 2015). Com isso, foram desenvolvidos vários modelos que podem ser divididos em modelos de regressão simples,

empíricos, probabilísticos e os de base física (NÁVAR, 2020); que têm como propósito quantificar o processo de interceptação com enfoque principalmente na interceptação do dossel.

O modelo de base física mais difundido é o proposto por Rutter *et al.* (1971, 1975). Tal modelo calcula a interceptação da copa e do tronco, necessitando como dados de entrada a precipitação, de preferência horária, e alguns parâmetros meteorológicos necessários para estimar a evaporação potencial, além de alguns parâmetros empíricos que são afetados pela vegetação; tendo como dados de saída a evaporação, precipitação interna, escoamento dos troncos (CHAFFE, 2009; MUZYLO et al., 2009). Propondo uma versão analítica para o modelo de Rutter *et al.* (1971, 1975), Gash (1979) objetivou manter o quanto possível a simplicidade de uma equação de regressão em seu modelo analítico, não deixando de lado os fundamentos físicos explícitos contidos no modelo de Rutter. De maneira semelhante, Suzuki et al. (1979) desenvolveram um modelo de interceptação baseado nos mesmo conceito de armazenamento utilizado por Rutter, mas com a diferença de que o escoamento dos troncos era uma parte da precipitação que ocorria apenas depois que o volume precipitado ultrapassava a capacidade de armazenamento da copa (CHAFFE, 2009).

Gash et al. (1995) propuseram uma reformulação para o modelo original de Gash, aprimorando o modelo para as estimativas em florestas esparsas, por incorporar o conceito utilizado por Suzuki (1979). De mesmo modo, Valente et al. (1997) propuseram uma reformulação do modelo de Rutter, pois o modelo original, quando aplicado em estudos em florestas esparsas em que o dossel não é contínuo, acabava superestimando a evaporação da interceptação por não levar em conta essa redução de área de interceptação. Desde então, alguns trabalhos surgiram para aplicar, como Véliz-Chávez et al. (2014), ou até mesmo testar a eficiência dessas reformulações, como Sadeghi et al. (2015).

Posteriormente, van Dijk e Bruijnzeel (2001a, 2001b) modificaram o modelo de Gash reformulado (Gash et al., 1995) a fim de melhorar a descrição do processo de evaporação em de uma floresta na qual exista uma variação forte das características de sua vegetação com o tempo. De mesmo modo, outros trabalhos têm tentado aprimorar ou adaptar o modelo de Gash para diferentes propósitos. Como exemplo disso podem ser citados o trabalho de Pereira *et al.* (2016), que levantaram a discussão sobre a adequação de um outro método para estimar a evaporação potencial usada no modelo de Gash, e o trabalho de Cui e Jia (2014) com a proposta de uma versão modificada do modelo de Gash para estimativas de interceptação em escala regional a partir de observações de sensoriamento remoto.

Ainda como modelos físicos, cita-se o modelo do tipo multicamadas proposto por Liu (1988), que buscou representar o processo de interceptação conectando a estrutura da copa e a natureza física no processo, a fim de ter um modelo que pudesse dar mais informações e uma descrição melhor do processo de interceptação. A diferença fundamental entre esse modelo e o de Rutter (1971; 1975) é por considerar que o umedecimento da copa seja progressivo, causado pela água da chuva que cai de uma camada sobre a outra (MUZYLO et al., 2009). Liu e Liu (2008), elaboraram um modelo baseado no modelo teórico de 1988 (Liu, 1988), a fim de adaptar o modelo para representar mais adequadamente casos em que não há uniformidade no dossel da floresta, continuando a ser um modelo multicamadas.

A fim de diminuir a necessidade de dados empíricos para a determinação de alguns parâmetros requeridos pelos modelos de Rutter e de Gash, Liu (1997) propôs um modelo físico também, baseando-se em vários modelos anteriores. Como diferenças marcantes entre esse modelo e o modelo de Liu (1988), os processos na copa e tronco são considerados simultâneos no modelo, e diferentemente do modelo de Rutter et al. (1975), a drenagem da copa inicia antes da sua saturação (JUNQUEIRA JUNIOR et al., 2019). O modelo foi mais tarde testado para várias florestas do mundo e comparado com os modelos de Rutter e Gash (LIU, 2001). Uma comparação entre esses modelos e suas versões aprimoradas foi realizada por Linhoss e Siegert (2016), por meio de uma análise da sensibilidade e incertezas.

Uma reformulação do modelo de Liu (LIU, 1997) foi feita por Carlyle-Moses e Price (2007), que incorporaram as lacunas das vegetações esparsas, assim como foi realizado por Valente et al. (1997) e Gash et al. (1995). Adicionalmente, Moses, Park e Cameron (2010), testaram essa reformulação com dados de florestas de reflorestamento no Panamá.

Outros modelos de interceptação vêm sendo desenvolvidos com seus mais diversos focos. Um modelo interessante foi proposto por Calder (1986). De carácter estocástico, esse modelo se baseia na distribuição de probabilidade de Poisson. Apesar de ser um modelo simples e descrever muito bem o limite de interceptação, tem a desvantagem de ser difícil transferir da escala de gota para uma escala de floresta, dificultando a aplicabilidade desse modelo (GERRITS, 2010; MUZYLO et al., 2009). Esse modelo ficou conhecido por Calder *one-layer*, enquanto que seu outro modelo proposto ficou conhecido como Calder *two-layer* (CALDER, 1996; CALDER et al., 1996). No modelo Calder *two-layer*, as variantes introduzem as múltiplas camadas da vegetação no processo de interceptação, sendo que a energia cinética das gotas da precipitação interna, que caem sobre a camada inferior, é considerada um elemento importante para avaliar o armazenamento e a drenagem da camada.

Outro modelo estocástico, de representação tridimensional, foi desenvolvido por Xiao et al. (2000), com o propósito de descrever o processo de interceptação da copa de maneira espacial e temporal. Esse modelo diferencia-se dos outros por lidar com a interceptação de apenas uma árvore, e por ser de dificultosa aplicação, requerendo parâmetros muito específicos de cada espécie vegetal e de difícil obtenção. Outro modelo estocástico que deve ser citado é o modelo proposto por Groen e Savenije (2006) para estimativas mensais de interceptação. Esse modelo propõe a combinação de um modelo limite diário, em que um limite diário de interceptação é um parâmetro chave, e a distribuição de probabilidade de precipitação diária em um mês, para obter uma formulação analítica simples para totais de interceptação mensal.

Zeng et al. (2000) desenvolveram um modelo considerando também a variabilidade temporal da chuva, propondo uma fórmula analítica para a obtenção da interceptação evaporada com os dados de precipitação, utilizando para isso características estatísticas de dados empíricos e mantendo a descrição do armazenamento de água na copa e sua evaporação como proposto para o modelo de Rutter.

Murakami (2006) propôs um modelo para o mecanismo de interceptação da copa, considerando que há uma dependência entre a interceptação da copa e a intensidade da chuva. Para Murakami, diferentemente do conceito adotado por Gash, as três fases seriam três processos: primeiro o umedecimento da superfície da copa, seguido pela evaporação dessa superfície e posteriormente pela evaporação das gotas de respingos. Para ele a equação de Penman-Monteith não seria a melhor forma de calcular a evaporação da copa, uma vez que não considera os respingos, que segundo o autor são significativos e mais importantes do que a capacidade de armazenamento quando se analisa a interceptação horária da copa. A desvantagem da aplicação desse modelo é sua natureza empírica. De maneira semelhante a Murakami, Keim et al. (2006) propuseram uma forma diferente de representar os processos de interceptação da copa, considerando suas investigações sobre as relações entre a cobertura florestal e a intensidade-duração-frequência das chuvas no processo de interceptação. Para eles, o armazenamento na copa durante o evento de precipitação seria melhor representado por um modelo simples não linear, como é representado em alguns outros modelos.

Mais recentemente, Návar (2020) propôs uma nova abordagem para a modelagem da interceptação em florestas, em que a interceptação, o armazenamento na copa e a taxa de evaporação durante um evento poderiam ser estimados de maneira independente em função da precipitação ou da duração da precipitação no evento. Acharya et al. (2020) propuseram novo método para estimativas da interceptação total, isto é, incluindo a interceptação pelo chão da

floresta, usando dados meteorológicos, de precipitação e do monitoramento de umidade do solo. Esses autores sugerem que a combinação da estimativa de um parâmetro que representa a capacidade de interceptação de toda a floresta ( $\beta_s$ ) com um modelo de balanço hídrico contínuo, pode prover uma abordagem integrativa para as estimativas de interceptação. O modelo de Liu (2001) foi adotado pelos autores para apresentação das formulações para estimativas, com uma formulação analítica para quantificar a interceptação em diferentes escalas de tempo, isto é, de maneira contínua ou cumulativa. Ademais, a proposta da estimativa do parâmetro ( $\beta_s$ ) a partir do monitoramento da umidade do solo é apontada pelos autores como uma grande vantagem contra os métodos de monitoramento em campo da interceptação, que costumam demandar muito tempo e trabalho (ACHARYA et al., 2020).

No Brasil, algumas pesquisas aplicaram modelos de interceptação para a floresta amazônica, como os de (CUARTAS et al., 2007; GERMER; ELSENBEER; MORAES, 2006; LLOYD; GASH; SHUTTLEWORTH, 1988; OLIVEIRA et al., 2008; UBARANA, 1996; ZENG; SHUTTLEWORTH; GASH, 2000), para Floresta Ombrófila mista e de *Pinus taeda* (CHAFFE, 2009), para Floresta Ombrófila Mista secundária (FERREIRA RODRIGUES et al., 2021; JUNQUEIRA JUNIOR et al., 2019; SÁ; CHAFFE; OLIVEIRA, 2015), também para remanescentes secundários de Floresta Mesófila semidecídua e de Cerrado (TÁVORA; KOIDE, 2020; VIEIRA; PALMIER, 2006) e na Caatinga (LOPES et al., 2020; MEDEIROS; DE ARAÚJO, 2009). Em uma investigação sobre modelos de interceptação aplicados no Brasil, Giglio e Kobiyama (2013) apontaram o menor número de estudos sobre o processo de interceptação em áreas de Cerrado, Caatinga e Pantanal.

A partir dos trabalhos citados é possível perceber que, a maioria dos modelos de interceptação para áreas de floresta desconsidera a interceptação da serrapilheira. Como modelos que consideram essa interceptação, podem ser citados os modelos de Park et al. (2010), de Kiss et al. (2014), e a modificação proposta por Gerrits (2010) para o modelo de Rutter (1971, 1975). O modelo proposto Tamai (2001), diferentemente dos outros dois, não teve como foco o processo de interceptação na serrapilheira, entretanto vale ser ressaltado por estimar a evaporação da serrapilheira a partir de dados simulados de umidade contida no perfil e de dados observados de radiação solar.

No Brasil, os únicos trabalhos realizados com modelagem onde a interceptação da serrapilheira, além da copa e do tronco, é também considerada, foram os trabalhos de Neto et

al. (2012) e Ferreto et al. (2021) para plantações de eucaliptos.

## 4 MATERIAL E MÉTODOS

### 4.1 Área de estudo

A área de Cerrado *stricto sensu* em estudo está localizada no município de Itirapina, São Paulo, Brasil (latitude 22°10' S, longitude 47°52' W), com elevação de 780 m do nível do mar. O clima da região é classificado como Cwa subtropical, sujeita a verões quentes e chuvosos (outubro a março) e inverno seco (abril a setembro) de acordo com a classificação climática de Köppen. A temperatura e precipitação anual medias são 1485 mm e 21,6 °C, respectivamente (CABRERA et al., 2016). O solo da área de estudo, que está inserida no Cerrado Brasileiro, é o Neossolo Quartzarênico órtico (RQo), classe que ocupa aproximadamente 15% da superfície do referido bioma (OLIVEIRA et al., 2016).

Essa área de estudo tem aproximadamente 260 ha de mata preservada (Figura 2), em que a densidade vegetal estimada é de 15.522 indivíduos por hectare (REYS et al., 2013). A cobertura da copa é descontínua, com altura das árvores dominantes entre seis a sete metros; mas apresentando uma cobertura mais fechada em alguns locais, com componente arbóreo dominante alcançando 12 m de altura (CAMARGO et al., 2011; REYS et al., 2013). A área é classificada como Cerrado *stricto sensu*, com vegetação semi-decídua e com abundante presença de *Bauhinia rufa* (Bong.) Steudel, *Xylopia aromatica* (Lam.) Mart., *Miconia rubiginosa* (Bonpl.) A. DC., *Virola sebifera* Aubl., and *Myrcia guianensis* (Aubl.) DC.; com abertura de dossel corresponde em média a 29,7  $\pm$  8,8 % e radiação fotossintética ativa de 1041,8  $\pm$  427,4 µmol.m<sup>-2</sup>.s<sup>-1</sup> (ALBERTON et al., 2019; CAMARGO et al., 2018, 2011; REYS et al., 2013).

### 4.1 Monitoramento

O monitoramento das variáveis meteorológicas e do solo nessa área de estudo foi realizado entre junho de 2017 e fevereiro de 2020. Para tanto, foram usados os dados coletados por sensores conectados à duas estações meteorológicas já instaladas e utilizadas pelo grupo de pesquisa (Tabela 2). Uma dessas estações fica distante 1 km da área de Cerrado (Estação IAB1) e conta com uma estação meteorológica convencional. A outra, mais antiga (Estação IAB2), foi instalada em 2012 dentro da área de Cerrado, e conta com uma plataforma instrumental de 11 m de altura para medições acima e abaixo do dossel. Os dados na Estação IAB1, bem como na Estação IAB2, são registrados em um *datalogger* modelo CR1000 (Campbell, Logan UT, USA)



**Figura 2.** Localização da área de estudo de Cerrado, com as três estações de monitoramento em círculos vermelhos, no Estado de São Paulo, Brasil.

Tabela 2. Instrumentação para o monitoramento de parâmetros meteorológicos e do solo.

Donômotro	Concor	Altura ou	Área	
Farametro	Sensor	profundidade (m)	experimental	
Temperatura (°C) e Umidade relativa (%)	Termohigrômetro HMP45C ou HMP155A	2,0, 11,0 e 16,0	1 e 2 2	
Precipitação (mm)	Pluviômetro Hydrological Services TB4/TB4MM	1,5 e 11,0	1 e 2	
Pressão atmosférica (mbar)	Barômetro Vaisala CS106	1,0	1	
Direção (°) e velocidade do vento (m.s <sup>-1</sup> )	Anemômetro Young 05103	2,0 e 11,0	1 e 2	
Fluxo de radiação solar (MJ.m <sup>-</sup> <sup>2</sup> )	Piranômetro Kipp & Zonen CMP3	2,0	1	
Umidade do solo (%)	Sensor Enviroscan Sentek	0,2; 0,5; 0,7; 1,0 e 1,5	2	
Saldo de radiação (W.m <sup>-2</sup> )	Saldo radiômetro Kipp & Zonen NR-LITE2	11,0	2	
Fluxo de calor no solo (W.m <sup>-2</sup> )	Fluxímetro Hukseflux HFP01	0,1	2	

Área 1: Estação IAB1 instalada em área de pastagem. Área 2: Estação IAB2 instalada na área de Cerrado s.s.

a cada 10 min. Na Estação IAB2 também foi instalado um datalogger modelo CR10X (Campbell, Logan UT, USA) para que pudessem ser armazenados os registros de monitoramento de mais equipamentos que foram instalados para monitorar o processo de interceptação (Figura 3).





Fonte: Autor (2021)

### 4.1.1 Precipitação

Desde setembro de 2012 a precipitação é monitorada pelo grupo de pesquisa através de um pluviógrafo modelo TB 4 com registros a cada 10 min por básculas de 0,254 mm de sensibilidade, em ambas estações, IAB1 e IAB2. Como a maior parte dos instrumentos de monitoramento da interceptação estão instalados próximos à estação IAB2, os dados dessa estação foram priorizados, sendo os dados da outra estação usados apenas para preenchimento e/ou correções da série.

### 4.2.2 Precipitação interna

Considera-se a precipitação efetiva como a soma do escoamento dos troncos (ou escoamento de água pelos troncos) e a precipitação interna (precipitação que passa ou transpassa pelo dossel). O monitoramento manual da precipitação interna na área de estudo já era feito desde novembro de 2014 a partir de 3 calhas de interceptação de forma retangular (com fundo reto) de 6 m de comprimento por 0,1 m de altura e 0,1 m de profundidade. Para melhorar o monitoramento da precipitação interna foram instaladas mais 5 calhas iguais, também fixas, as já instaladas (Figura 4), sendo que em 3 destas foram adicionados pluviógrafos antes dos reservatórios para automatização das medidas. Cabe ressaltar que neste trabalho, o volume de respingos não foi considerado.

Figura 4. Calhas para monitoramento da precipitação interna na área de estudo de Cerrado s.s..



Fonte: Autor (2021)

Além das calhas, foram instalados pluviógrafos abaixo do dossel (Figura 5) a fim de, não somente ampliar a amostragem da precipitação interna, mas também monitorar com mais precisão a precipitação interna que incidia sobre os equipamentos de monitoramento da interceptação da serrapilheira, *i.e.* LIDs, principalmente em eventos pequenos de precipitação. Assim, o monitoramento da precipitação interna foi feito com até 7 pluviógrafos próximos da torre de monitoramento no Cerrado *s.s.*, mas devido a necessidade de utilização de conexão de outros sensores aos dataloggers, apenas 3 desses pluviógrafos foram realmente representativos para série de monitoramento entre junho de 2017 a fevereiro de 2020. Excluindo-se os períodos de mal funcionamento, esses três pluviógrafos operaram dentre 38 a 89% do período de monitoramento enquanto que os demais pluviógrafos funcionaram por menos de 10% do período.



Figura 5. Pluviógrafos usados para monitoramento da precipitação interna na área na área de estudo.

Fonte: Autor (2021)

### 4.2.3 Escoamento dos troncos

Desde 2014 estão instalados 12 coletores para monitoramento manual do escoamento dos troncos de 7 árvores com diâmetro à altura do peito (DBH) entre 5 a 20 cm e 5 árvores com DBH>20 cm (OLIVEIRA et al., 2015). Em julho de 2018 foram instalados mais 6 coletores de escoamento (1 por árvore), conectados em pares à pluviógrafos ligados à reservatórios de 50 L (Figura 6) denominados T1, T2 e T3. As árvores desses novos coletores foram selecionadas considerando 3 categorias, árvores com DBH≤10 cm, 11 cm≤DBH≤30 cm e DBH≥31 cm. Os novos coletores foram colocados próximos também à estação IAB2 para que houvesse conexão com os dataloggers instalados na estação. Bem como para os dados de precipitação interna, dados são coletados a cada 10 min. Os coletores foram confeccionados utilizando mangueiras e mantas plásticas envoltas aos troncos, seladas com adesivo elástico de poliuretano e reservatórios plásticos com tampa.

O cálculo do escoamentos pelos troncos em lâmina d'água (mm) foi feito utilizando as áreas de projeção das copas das árvores com os coletores (Tabela 3), sendo os volumes medidos nos reservatórios (L) dividido por essa área (m<sup>2</sup>). A área foi estimada adimitindo-se que fosse de forma próxima a de um circunferência, com diâmetro médio estimado a partir de três medidas considerando o tronco como centro da área. As áreas dos coletores 13, 14 e 15 referem-se às áreas de projeção dos pares de árvores conectados ao reservatórios T1, T2 e T3. Como estes pares de árvores eram próximos, ocorria a sobreposição das copas, sendo a área paresentada na Tabela 3 para esses casos, a cobertura total de dossel que contribuía para os reservatórios, independente de sobreposição. O valor médio do escoamento dos troncos em lâmina d'água (mm) foi considerado como representativo desse processo no balanço por área (m<sup>2</sup>) da área de estudo. Um detalhe a ser destacado é que as árvores ligadas aos reservatórios T1, T2 e T3 não apresentam períodos de troca de casca.

**Tabela 3.** Área de projeção das copas das árvores em que foram monitorados os escoamentos de tronco na área de estudo.

Coletor	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
Área (m²)	11	6	11	6	6	11	6	11	6	6	6	11	10	6	16

**Figura 6.** Coletores de escoamento dos troncos automáticos instalados na área de estudo em árvores de A) DBH  $\leq 10$  cm, de B) DBH $\geq 31$  cm e C) coletor manual em árvore do grupo com 5 cm  $\leq$  DBH  $\leq 20$  cm.



Fonte: Autor (2021)

4.2.4 Interceptação da copa e dos troncos

Usualmente, a interceptação do dossel e dos troncos é determinada indiretamente pela subtração da precipitação efetiva na precipitação total incidente (FERREIRA; LUIZÃO; DALLAROSA, 2005; SÁ et al., 2016; SARI; PAIVA; PAIVA, 2016). A interceptação do dossel foi estimada pela diferença entre a precipitação e a precipitação interna medida. Já a interceptação dos troncos foi determinada usando o método de Gash e Morton (1978), em que o intercepto da regressão entre a precipitação total e o escoamento dos troncos, representa a capacidade máxima de armazenamento de água no tronco. Essa capacidade máxima é alcançada.

#### 4.2.5 Interceptação da serrapilheira e infiltração

Por causa de sua capacidade de interceptação da chuva, foi desenvolvido um equipamento durante a pesquisa de mestrado (ROSALEM; WENDLAND; ANACHE, 2019), para monitorar a interceptação dessa camada, denominado *Litter Interception Device* (LID) (Figura 7). Esse equipamento permite medições diretas do volume que é armazenado e, posteriormente, evaporado da serrapilheira, *i.e.* volume interceptado, através de seu sistema de pesagem com resolução de 0,001 kg. O primeiro LID, LID1, foi instalado em junho de 2017 na área de estudo. O segundo LID (LID2) foi instalado em fevereiro de 2018, mas devido a problemas com a célula de carga desse equipamento, foram considerados apenas os dados coletados a partir de agosto desse mesmo ano. Para a instalação do terceiro equipamento (LID3) ocorreram problemas com o datalogger e por isso, o equipamento só entrou em operação em novembro de 2018. Mais detalhes sobre os equipamentos instalados em campo são apresentados no Apêndice A.



Figura 7. A) Desenho do LID e B) uma foto de um deles construído, e C) instalado na área de estudo.

Fonte: Autor (2021)

As amostras de serrapilheira foram coletadas em locais próximos aos de instalação dos LIDs, utilizando uma chapa metálica com mesma área da bandeja dos LIDs para obter amostra o máximo indeformada quanto possível. Observou-se nas coletas dessas amostras que o solo abaixo destas era descompactado e com presença de matéria orgânica em decomposição, sendo observada visualmente a presença de muitos fungos e pequenos insetos decompositores. Essa primeira camada de contato apresentava, portanto, materiais em sua maioria não identificáveis e muitas pequenas e micro raízes.

Em dois trabalhos com serrapilheira de Cerrado *s.s.* na cidade de São Carlos (SP), foram encontrados valores bem próximos para a taxa de decomposição da serrapilheira, 28% (VALENTI; CIANCIARUSO; BATALHA, 2008b) e 32% (FREITAS, 2011), no período de um ano. Considerando essas avaliações de decomposição, foi realizada a troca das amostras de serrapilheira na primeira semana de agosto de cada ano durante o período deste trabalho, a fim de que as amostras continuassem representativas para o perfil de serrapilheira.

Foi realizada a identificação das espécies de árvores com altura superior a 1,5 m que a copa se sobrepuseram sobre os LIDs, mesmo que parcialmente, dentro do raio de distância máxima de 3 m dos LIDs. A tabela com a identificação das espécies é apresentada no Apêndice B.

Através dos LIDS também é possível medir o volume que infiltra no solo através do pluviógrafo que fica dentro o equipamento com resolução de 0,03 mm (ROSALEM; WENDLAND; ANACHE, 2019). Entende-se por infiltração a movimentação da água da superfície para a camada superficial do solo (DINGMAN, 2015). No LID 2 foi acoplado um reservatório em uma de suas laterais para armazenar o volume que passa pelo pluviógrafo, com o propósito de ser um dado para verificação dos valores de infiltração dos LIDs (Figura 8). Ao redor de cada LID é levantado um cercado para proteger o equipamento de animais. Nas laterais dos cercados foram instalados os pluviógrafos de monitoramento para registro da precipitação interna, principalmente sobre o início e a duração da chuva que atinge os LIDs.



**Figura 8.** A) LID1 depois de instalado em campo e os pluviógrafos no cercado de proteção e B) o LID2 também instalado C) com o reservatório de infiltração acoplado lateralmente.

Fonte: Autor (2021)

### 4.2.5.1 Calibração e testes em laboratório

Após a construção, o equipamento foi testado em laboratório a partir de ensaios com chuva simulada de diferentes intensidades e também diferentes quantidades de serrapilheira no equipamento (ROSALEM; WENDLAND; ANACHE, 2019). Antes dos ensaios em laboratório, e mesmo antes de serem instalados em campo, as células de carga foram calibradas.

A partir dos dados de monitoramento do LID1 nos primeiros meses de operação, foram observados aumentos de peso no equipamento no período da madrugada. Para verificar se esses aumentos seriam por armazenamento de água ou erro da célula devido à variação da temperatura, foram realizados testes em laboratório entre os dias 30/03/18 a 04/04/18.

Esses ensaios foram realizados em duas etapas, uma de resfriamento e uma de aquecimento. Primeiramente, os ensaios de resfriamento foram realizados utilizando uma geladeira, na qual foram posicionadas as células de carga sobrecarregadas com recipientes fechados, preenchidos com 1 L de água. Entre as células e os recipientes foram colocados suportes de plástico para garantir que a força peso dos recipientes fosse aplicada somente sobre a área da célula adequada para isso. O peso desses suportes fora determinado antes dos ensaios com uma balança de precisão, bem como a tara dos recipientes.

Para monitoramento da temperatura dentro da geladeira, foi utilizado um sensor de temperatura, sensor 107 (nome comercial), cujas especificações são apresentadas na Tabela 4. Tanto as células de carga quanto o sensor 107 foram conectados a dataloggers (modelos CR1000 e CR3000 da Campbell Scientific) para alimentação e registro das leituras feitas a cada 10 min. No total foram utilizadas 5 células, sendo que devido à falta de espaço na geladeira apenas 3 dessas células foram sobrecarregadas com pesos conhecidos. Fotos do experimento são apresentadas no Apêndice C.

BetaTherm 100K6A1IA Thermistor (sensor 107)					
±0.2°C (de 0° a 50°C)					
-35° a +50°C					
-50° a +100°C					

Tabela 4. Especificações do sensor de temperatura utilizado nos ensaios.

Fonte: Autor (2021)

A etapa de aquecimento, foram realizados ensaios em uma estufa para alcançar temperaturas acima de 30 graus. Na estufa as células foram rearranjadas do mesmo modo que na geladeira, para causar menor interferência possível no esquema experimental.

Durante os ensaios em laboratório observou-se que a estufa utilizada para parte do experimento, produzia correntes internas de vento que causava oscilações no posicionamento dos recipientes, uma vez que esses eram apenas apoiados (não fixados) sobre os suportes de plásticos e estes sobre as células. As correntes de ar foram algumas vezes fortes e por isso, o aparato que ficava mais próximo da entrada de vento teve, em duas rodadas de ensaio, o recipiente derrubado de cima da célula. Portanto, devido à grande incerteza dos resultados dos

ensaios na estufa, foram analisados apenas os ensaios na geladeira, que atingiu a temperatura máxima de 25 °C.

Para a análise dos resultados normalizados (subtração nos valores de peso de cada célula do primeiro registro no ensaio - temperatura de 25,25 °C), esses foram separados em categorias de temperatura de 5 em 5 °C. Posteriormente, foram analisadas as relações entre a variação de temperatura e variação de peso registrada pelas células.

### 4.2.5.2 Análise dos dados dos LIDs

Os registros de dados a cada 10 minutos de cada um dos LIDs instalados consistiam de média e desvio padrão de medidas de peso da serrapilheira obtidas a cada 30 segundos e de uma amostra do peso no momento do registro a cada 10 minutos.

Para analisar os dados de peso dos LIDs primeiramente foi aplicado o filtro de LOWESS (ou LOESS) para remoção de "ruídos" na série de dados. Esse filtro baseia-se no método conhecido como regressão polinomial ponderada localmente. Em cada ponto do conjunto de dados, um polinômio de baixo grau é ajustado a um subconjunto de dados usando mínimos quadrados ponderados, dando maior peso aos pontos próximos ao ponto cuja resposta está sendo estimada. Os subconjuntos de dados usados para cada ajuste de mínimos quadrados ponderados são determinados pelo usuário para o procedimento chamado de "largura de banda" ou "parâmetro de suavização", que determina quanto dos dados é usado para ajustar cada polinômio local (NIST/SEMATECH, 2013).

Após o uso do filtro, os dados de variação de peso nas amostras de serrapilheira precisaram ser separados em períodos de evaporação e de armazenamento. Para isso foi utilizado um critério de convergência, pelo qual mudanças acentuadas no peso, *e.g.* oscilações pelos processos de armazenamento ou drenagem durante a chuva, seriam desconsiderados na análise de evaporação ou armazenamento das séries.

Para fazer essa separação, o valor desse critério de convergência correspondia a média de 4 registros seguidos de variação de peso dividido pelo desvio padrão desses mesmos registros. Admitindo um coeficiente de tolerância de 0,1, se o valor do critério de convergência fosse maior ou igual à 1, era identificado como "possível momento de evaporação". A confirmação disso se dava quando ao menos 4 registros consecutivos eram identificados da mesma maneira. A Figura 9 mostra um exemplo do uso desse critério de convergência para diferenciação dos períodos de evaporação nas séries.

Do mesmo modo que para os períodos de evaporação, o critério de convergência foi usado para determinar os períodos de armazenamento, em que foram admitidos apenas os períodos em que não ocorreram oscilações acentuadas; isto é, de maneira semelhante à separação dos períodos de evaporação, considerando o períodos de variações positivas, *i.e.* armazenamento. Nessas análises as variações de peso menores que 0,006 mm (que corresponde à 1g de peso ou, simplificadamente, 1mL), por serem ínfimas, foram consideradas como erros de truncamento e removidas da série.

**Figura 9.** Registros do peso da amostra de serrapilheira no LID1 entre às 12h do 29/09/18 até o dia 01/10/18 às 18h com demarcação em cinza do período de possível evaporação pelo critério de convergência (gráfico superior) e os registros de chuva nesse período (gráfico inferior).



Fonte: Autor (2021)

### 4.2.6 Produção de serrapilheira

Entre março de 2015 e abril de 2016 foi realizado o monitoramento mensal da quantidade de serrapilheira na área de Cerrado *s.s.* (ROSALEM; ANACHE; WENDLAND, 2018). Nesse trabalho foram coletas amostras de diferentes locais, sendo a quantidade mínima e a máxima observadas de 0,60 e 2,97 kg.m<sup>-2</sup>, respectivamente. A fim de monitorar a produção de serrapilheira na área (kg.m<sup>-2</sup>.mês<sup>-1</sup>) no final de agosto de 2018 foram instalados 36 coletores (Figura 10) de 0,16 m<sup>2</sup> (área igual à do LID para amostra de serrapilheira), recobertos por telas de nylon ou feitos de plástico, apoiados sobre um suporte a 40 cm de altura do solo.
**Figura 10.** Coletores de serrapilheira (área quadrada de 0,16 m<sup>2</sup>) instalados na área de Cerrado s.s. feitos com base de apoio de ferro e a bandeja de coleta de amostras feita de a) tela de nylon ou de b) plástico.



Fonte: Autor (2021)

Os coletores foram instalados em 9 transectos na área de estudo, na configuração 0, 5, 15, e 35 m, considerando 0 a posição inicial de referência para os transectos em paralelo. Os transectos foram posicionados com no mínimo 50 m de distância entre si, sendo que escolha da localização destes se deu pela facilidade de acesso a esses pontos de coleta e à proximidade com a estação meteorológica. Apenas no transecto 1, um coletor a mais (ponto 1.5) foi adicionado a 50 m da posição zero, e foi incluído nas análises.

Amostras mensais dos coletores eram levadas para o laboratório onde era realizada a triagem do material. Primeiramente, a amostra de cada coletor era reservada em saco de papel. Os sacos de papel eram então colocados em estufa para secagem a 70°C por aproximadamente 72 horas (DODONOV, 2016). Após a secagem, cada amostra era analisada separadamente, determinando-se as frações isoladas dos componentes da serrapilheira: folhas inteiras, folhas predadas, galhos e miscelânea.

## 4.2.7 Interceptação do orvalho

A partir dos dados de monitoramento com os LIDs, nota-se uma variação diária no peso da amostra de serrapilheira, sendo observados incrementos acentuados quando ocorrem eventos de precipitação. Em época mais quente, como no verão, observa-se que, não havendo chuva, a serrapilheira tende a perder peso regularmente, como entre os dias 15/01 a 03/02 (Figura 11).

**Figura 11.** Variação observada na serrapilheira (em lâmina de água - mm) e a precipitação incidente entre os dias 15 de janeiro a 03 de fevereiro de 2018.



Fonte: Autor (2021)

Por outro lado, em épocas mais frias como no inverno, ao longo de períodos sem eventos de chuva, é possível observar ganhos de peso, principalmente no período noturno (Figura 12). Devido à incerteza do efeito da temperatura sobre as medidas realizadas pelas células de carga, foram realizados os testes com as células (item 4.2.5.1). Como uma hipótese para esse aumento de peso era de que fosse devido ao incremento de orvalho, foi feita uma análise desses períodos noturnos da série. Para fins de análise, foi instalado um termopar no final de abril de 2018 em meio a amostra de serrapilheira do LID1, para monitorar a temperatura no chão da floresta.

Para a análise da ocorrência ou não de orvalho, primeiramente foi calculada a temperatura do ponto de orvalho  $(T_d)$  utilizando a equação de vapor de pressão de saturação (Equação 1) e a relação da umidade relativa (*RH*) com esse valor (Equação 2) (DINGMAN, 2015):

$$e_s = 611 \cdot exp\left(\frac{17,27 \cdot T_d}{T_d + 237,3}\right)$$
 Equação 1

Em que  $e_s$  (Pa) corresponde a vapor de pressão de saturação e  $T_d$  à temperatura do ponto de orvalho (°C).

$$RH = \frac{e_a}{e_s}$$
 Equação 2

Em que RH é a umidade relativa (%) e  $e_a$  corresponde a pressão de saturação real (Pa).

**Figura 12.** Variação do conteúdo de água na amostra de serrapilheira (em lâmina de água - mm) e a variação de temperatura na serrapilheira (°C) em período noturno sem chuva no mês de junho (inverno).



Fonte: Autor (2021)

Foram utilizados os dados de umidade relativa da estação IAB1, os dados de temperatura da serrapilheira no Cerrado e, para o período quando esses não estavam disponíveis, os dados de temperatura da torre meteorológica no Cerrado, isto é, a 11 m de altura. Valores de  $T_d$  foram calculados a cada 10 min e a série de dados foi separada nos períodos entre o pôr e o nascer do sol do dia subsequente, determinados com base no monitoramento da radiação solar.

Foram estipuladas as seguintes condições para que se admitisse o ganho de peso como provável orvalho:

i. A diferença absoluta entre  $T_d$  e a temperatura no cerrado deveria ser menor que 3 °C;

- Não teria ocorrido precipitação ao menos 3 horas antes desse aumento no armazenamento;
- iii. A amplitude de temperatura no período noturno não poderia ser superior a 8 °C.

Após serem determinados os períodos noturnos de "provável orvalho", o aumento de peso registrado foi analisado em comparação com os valores de capacidade máxima de armazenamento da serrapilheira. Desse modo foi possível verificar se nos períodos noturnos em que ocorreram registros de infiltração a capacidade de máxima de armazenamento tinha sido atingida; explicando assim a infiltração observada.

## 4.2.8 Armazenamento da água no solo e recarga subterrânea

O volume armazenado na zona insaturada no solo é uma componente que deve ser considerada nos estudos sobre disponibilidade hídrica. Essa camada insaturada contém a água usada pela zona de raízes da vegetação, a qual pode alcançar uma profundidade considerável no Cerrado (ANACHE et al., 2019; LEITE et al., 2018). A profundidade do aquífero na área é de cerca de 40 m (ANACHE et al., 2019), da Formação Botucatu à qual faz parte do grupo geológico São Bento, do período Mesozoico, com solo da camada superior do aquífero (camada não saturada) formado por sedimentos Cenozoicos (ANACHE et al., 2019; WENDLAND; BARRETO; GOMES, 2007).

Considerando que a evaporação do solo, isto é, a evaporação das camadas superiores do solo, contribui para a evaporação total de uma área florestal, foi proposto neste trabalho monitorar a evaporação do solo da camada mais superficial na área, até 20 cm de profundidade. Para isso foram instalados 2 mini lisímetros de pesagem (ML) (Figura 13), com 15 cm de diâmetro e 20 cm de profundidade, com registros também a cada 10 min desde fevereiro de 2019. O reservatório da amostra, bem como todas as demais peças de suporte que são apoiadas sobre a célula de carga, são de material plástico, sendo toda a parte de estrutura externa dos ML de aço inox. A amostra de solo no ML fica 1 cm acima da altura da tampa, sendo que os equipamentos foram instalados de modo que a estrutura externa de aço inox ficasse 1 cm acima do nível do solo. Assim, o intuito foi evitar a instrusão de escoamento superficial no equipamento e também amostra de solo. A quantidade de ML na área de estudo foi limitada pela disponibilidade de conexões nos *dataloggers* em campo.

Os ML foram instalados próximos aos LIDs na área de estudo cobertos na parte superior com camada de serrapilheira e na parte inferior da amostra de solo com manta geotêxtil de condutividade hidráulica semelhante à do solo. As amostras de solo foram coletadas dos locais onde foram instalados os mini lisímetros posteriormente, buscando-se causar o mínimo de deformação possível nas amostras. Mais informações sobre a condutividade hidráulica e outras características físicas do solo da área de estudo estão apresentadas no Anexo I, e sobre a coleta e instalação dos ML estão disponibilizadas no Apêndice D.

**Figura 13.** Desenho do mini lisímetro (cotas em milímetros) e fotos de um deles com a amostra de solo sendo montado em bancada e depois de instalado em campo próximo a um LID.



Fonte: Autor (2021)

Como o foco deste trabalho é no processo de interceptação, entende-se que o estudo envolva os processos hidrológicos na interface solo atmosfera, e, portanto, os processos de escoamento superficial e infiltração, juntamente com a evaporação, sejam as "saídas" do sistema em estudo. Como, o escoamento superficial na área é negligenciável, cerca de 0,1% da precipitação anual ( $2 \pm 2 \text{ mm.ano}^{-1}$ ) (ANACHE et al., 2019), e as medidas dos LIDs não permitem medir o escoamento superficial, se considerou apenas os processos de interceptação acima do solo, estando os processos da água no solo após a infiltração fora do escopo deste trabalho.

Dessa maneira, a evaporação da camada mais superficial do solo não foi considerada como um processo de interceptação, mas o seu monitoramento teve como objetivo contribuir para a estimativa da evaporação total da área, e desse modo para elucidar o particionamento da evapotranspiração no Cerrado *s.s.*.

Assim, para o balanço hídrico (Equação 3), toda a água que estará disponível no solo (W) (mm), ou seja, água que pode permanecer no solo ou ser utilizada pelas plantas, escoar subsuperficialmente, ou mesmo contribuir para recarga da água subterrânea através de percolação, é obtida pela diferença entre a precipitação (P) (mm), menos a interceptação (I) (mm), menos a evaporação do solo  $(E_s)$  (mm):

$$W = P - I - E_s$$
 Equação 3

Como os resultados de interceptação envolvem os erros das medidas de interceptação em seus diversos componentes, o valor de *W* pode ser melhor melhor estimado pela Equação 4:

$$W = F - E_s$$
 Equação 4

Em que *F* corresponde a infiltração medida (mm).

Como na área, próximo à estação IAB2, ocorre o monitoramento da umidade do solo a partir de uma sonda FDR (Frequency Domain Reflectometry), com sensores em diferentes profundidades até 1,5 m (vide Tabela 2), os dados do sensor a 20 cm de profundidade foi usado para estimar a evapotranspiração dessa camada mais superficial. Essas estimativas de evapotranspiração foram comparadas com as medidas de evaporação dos ML, a fim de abalizar comparativamente a ordem de magnitude dos dados observados.

## 4.3 Modelagem do processo de interceptação

Neste trabalho foram desenvolvidas versões adaptadas para os modelos de Rutter (Rutter et al., 1971, 1975; Rutter e Morton, 1977) em sua versão modificada por Gerrits et al. (2010), e do modelo original de Gash (Gash, 1979), com o propósito de incluir a interceptação da serrapilheira. Para ambos os modelos, buscou-se manter os pressupostos dos modelos originais, com o acréscimo da interceptação pela serrapilheira.

Os parâmetros de capacidade de armazenamento foram determinados conforme procedimento usado por Rutter et al. (1971) e Gash e Morton (1978). Eles são determinados pelo intercepto negativo da linha de envelope superior de uma regressão entre os valores observados de um processo de entrada (por exemplo, precipitação bruta) e seu processo subsequente (por exemplo, precipitação interna) (Robins, 1969, *apud* (Rutter et al., 1971)). Assim, os parâmetros  $S_c \ e \ S_t$  foram determinados pelas curvas de regressão entre os registros de chuva e precipitação interna, e entre os registros de precipitação e escoamento dos troncos, respectivamente (Gash e Morton, 1978; Rutter et al., 1971). Pelo mesmo procedimento, a capacidade de armazenamento da serrapilheira ( $S_f$ ) pôde ser determinada através das curvas de regressão entre os valores de precipitação interna e infiltração. Essas análises de regressão foram realizadas com base em 108 eventos independentes, cada um precedido por pelo menos 24 horas sem chuva, de um total de 236 dias de chuva durante o período de calibração (sobre o período de calibração, veja no item 4.4.2).

## 4.3.1 Modelo de Rutter adaptado (RA)

O modelo de Rutter foi o primeiro modelo conceitual de embasamento físico a representar o processo de interceptação como contínuo (Rutter et al., 1971), caracterizando-se por ser essencialmente um balanço hídrico dinâmico de entrada, armazenamento e saídas de chuva como drenagem e evaporação. A entrada é a precipitação (P), e a copa e o troncos são representados como reservatórios. A porção da entrada de cada reservatório depende do parâmetro precipitação livre (p), que se refere à porção de chuva que não incide sobre a copa, e do parâmetro  $(p_t)$  que denota a porção de água que vai para os troncos. Ambos parâmetros, e também os parâmetros de capacidade de armazenamento da copa e tronco,  $S_c$  e  $S_t$ respectivamente, estão relacionados à estrutura da vegetação. A água de entrada no "reservatório" da copa  $[(1 - p - p_t)P]$  eventualmente evaporará ou se tornará drenagem, que combinada com a precipitação livre atingirão o solo da floresta como precipitação interna. Da mesma forma, a água de entrada nos troncos  $[(p_t)P]$  irá evaporar ou se tornar escoamento dos troncos, que por fim também irá para o chão da floresta. Os processos de evaporação dependem da evaporação potencial (*Ep*), que é reduzida quando a quantidade de água nos reservatórios está abaixo de suas capacidades de armazenamento. Como a evaporação dos troncos é mais lenta que a evaporação da copa, a evaporação potencial do tronco é reduzida pelo fator constante  $\epsilon$ , com valores encontrados variando de 0,01 - 0,04 (RUTTER; MORTON, 1977; VALENTE; DAVID; GASH, 1997). O modelo deve ser executado em passos no mínimo horários, sendo neste trabalho aplicado para intervalos de 10 min, com a evaporação potencial estimada através da equação de Penman (PENMAN; KEEN, 1948; RUTTER et al., 1971; RUTTER; MORTON; ROBINS, 1975).

Para incluir o processo de interceptação da serrapilheira, foi desenvolvida uma versão adaptada do modelo de Rutter (RA) com base na versão proposta por Gerrits et al. (2010). Uma representação da estrutura do modelo por ser vista na Figura 14.

Figura 14. Estrutura do modelo RA com a inclusão do processo de interceptação da serrapilheira.



Fonte: Autor (2021)

Como as observações em campo indicaram que eram necessários alguns dias para a completa evaporação da interceptação dos troncos, o valor de  $\epsilon$  usado foi de 0,01, menor valor utilizado em algumas aplicações do modelo de Rutter (RUTTER; MORTON, 1977; VALENTE; DAVID; GASH, 1997). Além disso, como alguns estudos têm apontado que as estimativas de evaporação potencial durante os eventos de chuva têm sido subestimadas pela aplicação da equação de Penman-Monteith com resistência aerodinâmica da copa igualada a

zero (SAITO et al., 2013; VAN DIJK et al., 2015), o processo de evaporação foi priorizado sobre os demais processos a cada passo de tempo do modelo.

Dados do monitoramento da precipitação apontaram a ocorrência de alta intensidade de precipitação em alguns eventos, isto é, 12 registros de precipitação com intensidade  $\geq$  30 mm.h<sup>-1</sup>. Nesses eventos, a intensidade precipitação interna (mm.h<sup>-1</sup>) variou entre 40 a 90% da intensidade da precipitação. Isso indica a possibilidade de algum armazenamento dinâmico ( $C_c$ ), ou seja, durante a chuva a capacidade de retenção na copa pode ser temporariamente maior do que a capacidade de armazenamento estática (KEIM; LINK, 2018). Klaassen et al. (1998) observaram através do monitoramento com transmissão de microondas para medir a capacidade de armazenamento da copa, que durante a chuva a capacidade dinâmica de armazenamento é afetada pela intensidade da chuva. Os autores observaram que em altas intensidades de precipitação, o armazenamento instantâneo na copa pode ser maior do que ao final do evento. Considerando isso, foi adicionado ao modelo o parâmetro de armazenamento dinâmico máximo ( $C_{cmax}$ ) como um delimitador do volume máximo retido na copa durante o evento.

O processo de drenagem (*D*) foi modelado como um processo limite durante os eventos com precipitação excessiva ( $C_c > C_{cmax}$ ), sendo  $D = C_c - C_{cmax}$ . Nos momentos em que o armazenamento na copa é menor do que o armazenamento dinâmico máximo ( $C_c < C_{cmax}$ ), considerou-se que o processo de drenagem poderia ainda assim ocorrer por gotejamento devido a ação do vento e movimentação da copa, sendo modelado pela equação exponencial da proposta original do modelo de Rutter (GERRITS; PFISTER; SAVENIJE, 2010). Os valores máximos para os coeficientes  $D_s$  e b, foram determinados por balanço na copa na condição de armazenamento dinâmico  $C_c < S_c$ . Depois, esses coeficientes foram calibrados assumindo-se esses valores máximos como valores de condição limite.

Combinados, os processos de drenagem e de precipitação livre, correspondem a precipitação interna (*Pi*) que atinge a serrapilheira. O "reservatório" da serrapilheira é modelado similarmente à copa. Considerando que escoamento dos troncos (*T*) não contribui significativamente para a interceptação da serrapilheira e também que o monitoramento deste processo não incluía a contribuição do *T* ou do escoamento superficial, *Pi* é considerada como única entrada de água para a serrapilheira. O parâmetro  $p_f$  refere-se a parte da *Pi* que transpassa através dos caminhos preferenciais que se formam na camada de serrapilheira, enquanto outra parte transpassa mais lentamente [ $(1 - p_f) \cdot Pi$ ]. Ao passo que a taxa de infiltração aumenta, interceptação da serrapilheira também aumenta, até um certo limite ( $C_{fmax}$ ).

 $C_{fmax}$  refere-se a capacidade máxima de armazenamento da serrapilheira (ROSALEM; WENDLAND; ANACHE, 2019; SATO et al., 2004), acima da qual toda a entrada de água será rapidamente convertida em infiltração ( $C_f - C_{fmax}$ ).  $S_f$  representa a água que não irá se transformar em infiltração, *i.e.* o armazenamento sem a água gravitacional (DUNKERLEY, 2015b; SATO et al., 2004). Como esse conceito se assemelha ao conceito de  $S_c$  e  $S_t$ ,  $S_f$  foi obtido seguindo o mesmo método para obter esses parâmetros de armazenamento. Diferentemente,  $C_{fmax}$  foi obtido com base no monitoramento da interceptação da serrapilheira, sendo a média dos valores mais altos de retenção de água durante o período de monitoramento.

Uma equação exponencial semelhante à usada para o processo de drenagem foi aplicada para a modelagem do processo de infiltração enquanto  $C_f < C_{fmax}$  e  $C_f > S_f$ . Os coeficientes da equação exponencial aplicada  $I_s$  e f foram obtidos do mesmo modo que  $D_s$  e b para o processo de drenagem.

# 4.3.2 Modelo de Gash adaptado (GA)

Gash (1979) apresentou um modelo analítico de interceptação, sendo uma versão simplificada do modelo de Rutter. Embora tenha algumas premissas de equações de regressão linear para a representação dos processos de interceptação, este modelo mantém a base física do modelo de Rutter. A entrada do modelo, precipitação (P), é assumida como eventos discretos em base diária. Nesses eventos, o processo de interceptação ocorre em três fases distintas. Primeiramente, na "fase de umedecimento" os reservatórios de interceptação começam a ser enchidos desde o início da precipitação até o início da "fase saturada", em que os reservatórios atingem a capacidade de armazenamento. Esta segunda fase é seguida pela "fase de secagem", fase final na qual o processo de evaporação é dominante.

As principais premissas simplificadoras do modelo de Gash são que (1) há intervalos suficientemente longos para os reservatórios de interceptação secarem completamente entre os eventos; (2) as condições meteorológicas prevalecentes nas fases de não saturação são semelhantes as condições nas duas fases subsequentes, podendo ser considerada como constante; (3) a taxa de drenagem antes da saturação da copa é muito pequena, de modo que pode ser desprezada; após o término da precipitação, a drenagem acontece rapidamente, sempre deixando na copa a quantidade mínima necessária para saturação ( $S_c$ ).

Considerando as duas primeiras premissas, Gash (1979) apontou que uma evaporação constante para todo um evento diário de precipitação poderia ser obtida usando a taxa média de

evaporação potencial para os eventos ( $\overline{E}$ ). Ao assumir que uma taxa média de precipitação ( $\overline{R}$ ) também pode ser considerada como representativa, assim como para  $\overline{E}$ , e também que não há drenagem antes da saturação da copa, Gash (1979) adicionou ao modelo o parâmetro referente a quantidade de chuva bruta necessária para saturar a copa ( $P'_g$ ) (Equação 5). Assim, além dos parâmetros de estrutura p,  $S_c$ ,  $p_t$ , e  $S_t$  também necessários ao modelo de Rutter, o modelo de Gash requer também o cálculo de  $P'_g$ :

$$P'_{g} = -\frac{\bar{R}}{\bar{E}}S_{c} \ln\left[1 - \frac{\bar{E}}{(1 - p - p_{t})\bar{R}}\right]$$
 Equação 5

Em que  $\overline{E}$  e  $\overline{R}$  referem-se a taxas de evaporação e precipitação médias durante um evento ( $P_a \ge 0.5 \text{ mm.h}^{-1}$ ), respectivamente.

Com base em uma série horária de eventos de precipitação, Gash propôs que os valores de  $\overline{E}$  e  $\overline{R}$  fossem calculados para períodos de quatro semanas, selecionando para isso os registros horários em que  $P \ge 0.5$  mm, quando já teríasse alcançado a fase de saturação do evento. Os valores calculados são então usados para estimar  $P'_g$  para o periodo. Por assumir que ocorre apenas um evento de precipitação por dia, os eventos são separados em dias n, nos quais o volume necessário para saturação da copa é alcançado ( $P \ge P'_g$ ) e dias m, nos quais a condição de saturação não é atingida ( $P < P'_g$ ). A mesma distinção entre eventos é feita também para os troncos, isto é, nos dias q quando a saturação ocorre ( $P \ge S_t/p_t$ ), e nos demais dias, dias (m + n - q), quando não ocorre a saturação ( $P < S_t/p_t$ ). Os equacionamentos aplicados para cada classificação de eventos diários estão apresentados na Tabela 5.

 Tabela 5. Equações para estimativa da interceptação para cada classificação de evento diário pelo modelo de Gash.

Classificação dos eventos diários	Interceptação
Dias $m$ (eventos pequenos, insuficientes para saturar a copa)	$(1-p-p_t)\sum_{j=1}^m P_j$
Dias $n$ (eventos grandes o suficiente para saturar a copa)	$n(1-p-p_t)P'_g + \frac{\overline{E}}{\overline{R}}\sum_{j=1}^n (P_j - P'_g)$
Dias $q$ (eventos em que ocorre saturação dos troncos)	$qS_t$
Demais dias $(m + n - q)$ (eventos em que não ocorre saturação dos troncos)	$p_t \sum_{j=1}^{m+n-q} P_j$

Fonte: Adaptada de Valente et al. (1997)

Baseado nessas soluções analíticas, o total de precipitação interna (Equação 6) e escoamento dos troncos (Equação 7) podem ser estimados.

$$T_{f} = p \sum_{j=1}^{m+n} P_{g,j} + \left[ (1 - p - p_{t}) - \frac{\overline{E}}{\overline{R}} \right] \sum_{j=1}^{n} (P_{g,j} - P'_{g})$$
Equação 6
$$T = p_{t} \sum_{j=1}^{q} P_{g,j} - qS_{t}$$
Equação 7

Admitindo-se as mesmas premissas da versão original do modelo de Gash (GASH, 1979), nesta versão adaptada chamada de modelo GA, a taxa média de precipitação interna  $\overline{P}i$  é calculada do mesmo modo que  $\overline{R}$ , usando os dados observados de precipitação interna. Do mesmo modo que para o "reservatório" da copa, o volume de água para saturar a serrapilheira (*Pi'*) foi determinada (Equação 8) usando os parâmetros relacionados à estrutura da serrapilheira  $p_f$  e  $S_f$  determinados anteriormente.

$$Pi' = -\frac{\overline{P}i}{\overline{E}}S_f \ln\left[1 - \frac{\overline{E}}{(1 - p_f)\overline{P}i}\right]$$
Equação 8

Similarmente a modelagem da interceptação da copa, a interceptação da serrapilheira foi modelada pela entrada de Pi diária. Os dias v correspondem aos dias em que a condição de saturação da serrapilheira ( $Pi \ge Pi'$ ) é alcançada e os dias z referem-se aos dias em que essa condição de saturação não é alcançada (Pi < Pi'). Um resumo das equações usadas para os dias v e z é dada na Tabela 6.

**Tabela 6.** Equações para do modelo GA para a interceptação da serrapilheira para cada classificação de evento diário.

Classes de eventos diários	Interceptação da serrapilheira
Dias $z$ (eventos pequenos insuficientes para saturar a serrapilheira)	$(1-p_f)\sum_{j=1}^z Pi_j$
Dias $v$ (eventos grandes suficientes para saturar a serrapilheira)	$(1-p_f)\sum_{j=1}^{\nu}Pi'_j + \frac{\overline{E}}{\overline{P}\iota}\sum_{j=1}^{\nu}(Pi_j - Pi'_j)$

Fonte: Autor (2021)

A infiltração (F) é calculada (Equação 9) igualmente Pi, e a interceptação total estimada pela inclusão da interceptação da serrapilheira (Equação 10).

$$F = p_f \sum_{j=1}^{\nu+z} Pi'_j + \left[ \left(1 - p_f\right) - \frac{\overline{E}}{\overline{Pi}} \right] \sum_{j=1}^{\nu} (Pi_j - Pi'_j)$$
Equação 9

$$I = (1 - p - p_t) \sum_{j=1}^{n} P'_g + \frac{\bar{E}}{\bar{R}} \sum_{j=1}^{n} (P_j - P'_g) + (1 - p - p_t) \sum_{j=1}^{m} P_j + qS_t$$
  
+  $p_t \sum_{j=1}^{m+n-q} P_j + (1 - p_f) \sum_{j=1}^{z} Pi_j + (1 - p_f) \sum_{j=1}^{v} Pi'$  Equação 10  
+  $\frac{\bar{E}}{\bar{P}t} \sum_{j=1}^{v} (Pi_j - Pi')$ 

### 4.4 Análise estatística

### 4.4.1 Dados experimentais

Primeiramente foram feitas análises de estatística descritiva (média, mediana, moda, variância, desvio padrão e coeficiente de variação) dos dados de monitoramento meteorológico e dos processos hidrológicos e verificada a hipótese de normalidade no intervalo de confiança de 95% pelo teste de Shapiro-Wilk.

As correlações entre as diferentes variáveis do balanço hídrico foram verificadas utilizando a matriz de correlação de Pearson, nos casos em que a normalidade dos dados era confirmada, e utilizando a matriz de correlação de Spearman, para os casos negativos. Os coeficientes de variação de quartis (CQV) também foram usados como métrica alternativa para descrever a distribuição de algumas variáveis (METZGER et al., 2017; VAN STAN et al., 2020).

As análises estatísticas foram realizadas em Python, principalmente pelas bibliotecas Scipy, Statistics, Statsmodels e Scikit Learn, que são de código fonte livre, sendo possível serem adaptados por seus utilizadores de acordo com as demandas individuais.

### 4.4.2 Dados simulados

A série de dados foi separada em duas partes. O período entre junho de 2017 a maio de 2019 foi destinado a calibração dos modelos aplicados, enquanto que a última parte, de junho de 2019 a 07 de fevereiro de 2020 foi usada para validação. A relação entre os dados observados e os simulados foi verificada através da correlação de Spearman. Métricas quantitativas também foram aplicadas para analisar o desempenho dos modelos, tais como erro médio quadrático (RMSE, Equação 11), tendência média do erro (MBE, Equação 12), erro médio normalizado

(NME, Equação 13), (JUNQUEIRA JÚNIOR, 2016; SADEGHI et al., 2015) e o coeficiente de Nash-Sutcliffe (NSE, Equação 14), (GUPTA et al., 2009).

$$RMSE = \left[\frac{1}{N}\sum_{i=1}^{N}(Ei - Oi)^{2}\right]^{0.5}$$
Equação 11
$$MBE = \frac{1}{N}\sum_{i=1}^{N}(Ei - Oi)$$
Equação 12

$$NMPE = \frac{\sum_{i=1}^{N} |Ei - Oi|}{\sum_{i=1}^{N} O_i}$$
Equação 13

$$NSE = 1 - \frac{\sum_{i=1}^{N} (E_i - O_i)^2}{\sum_{i=1}^{N} (O_i - \overline{O_i})^2}$$
 Equação 14

Em que: *Ei* é o valor estimado, *Oi* é valor observado e *N* o número total de pares de observações. Os valores de RMSE, MBE e NMPE quando próximos a zero, indicam que o modelo está sendo bem ajustado às variáveis de interesse na análise (SADEGHI et al., 2015). Já para o valor de NSE, quanto mais próximo de 1, melhor a performance do modelo.

As performances foram avaliadas em escalas temporais diárias, quinzenais e mensais, por agregação dos resultados. Apesar do modelo RA ser rodado em passos de 10 minutos, o modelo GA é aplicado em escala no mínimo diária, sendo essa, para fins de comparação entre as respostas dos modelos, a menor escala de analise usada.

# 5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 5.1 Variáveis meteorológicas

Nos 981 dias da série de monitoramento, 319 desses houve precipitação, acumulando um total de 3824 mm. Analisando os totais anuais, o ano de 2018 teve menor total de precipitação (1054,1 mm), quando comparado aos anos de 2017 (1306,3 mm) e 2019 (1679,2 mm). Entretanto, considerando os anos hidrológicos no período de estudo, isto é, entre setembro e agosto, o total de precipitação para o ano 2017-2018 (1170,9 mm) é próxima do observado no ano hidrológico 2018-2019, de 1290,6 mm. Isso indica que no final de 2017 e início de 2019 houve precipitação significativa.

A precipitação média foi de 0,8 ( $\pm$  1,4) mm.10min<sup>-1</sup>, e 10,1 ( $\pm$  13,1) mm.dia<sup>-1</sup> (Figura 15). Em relação a intensidade da precipitação, foram observados 28 registros de precipitação maior do que 10 mm a cada 10 min, ocorrendo todos esses na primavera ou verão e sendo a máxima intensidade observada de 17,5 mm.10min<sup>-1</sup> durante o verão em janeiro de 2020. A maioria dos eventos diários (62%) apresentou pouca precipitação (<10 mm), correspondendo a apenas 15% do total de chuva. Já os eventos com mais de 30 mm de chuva (11% dos dias de chuva) corresponderam a 43% do volume total de chuva.



Figura 15. Frequência da precipitação observada a cada 10 min e em escala diária.

Fonte: Autor (2021)

A intensidade diária foi maior durante o verão (13,1 mm.dia<sup>-1</sup>), mas os dois maiores eventos de 85,34 e 80,00 mm.dia<sup>-1</sup> ocorreram durante a primavera. A análise da intensidade horária da série indicou 13 registros de intensidades superiores a 30 mm.h<sup>-1</sup>, sendo que a maior intensidade observada (57,40 mm.h<sup>-1</sup>) ocorreu no terceiro dia de maior precipitação total diária. Desses 13 registros, apenas 2 ocorreram no mesmo evento diário, em 04 de janeiro de 2020 entre às 21 e 22 horas. Essas precipitações com intensidades maiores que 30 mm.h<sup>-1</sup> tendem a aumentar muito a variabilidade do processo de interceptação, conforme Germer, Elsenbeer e Moraes (2006) apontaram em seu estudo sobre a redistribuição da chuva em uma área florestal em Rondônia – BR.

Os dados diários de precipitação das duas estações, IAB1 e IAB2, apresentaram boa correlação para o período entre julho de 2015 a fevereiro de 2020 (Figura 16), o que justificou o uso dos dados da estação IAB1 para preenchimento da série de chuva da área de Cerrado quando necessário.

**Figura 16.** Relação entre as precipitações diárias monitoradas nas estações IAB1 e IAB2 no período entre 17/07/2015 a 06/02/2020.



Fonte: Autor (2021)

A umidade relativa do ar é em média 67%, com médias variando entre 57% durante o inverno a 75% no verão. Devido a problemas com o sensor de umidade acima da copa do Cerrado, foram usados os dados da estação IAB1 para o período de estudo. A diferença média entre os sensores não é geralmente muito grande; considerando os dados disponíveis no ano de

2015 a umidade relativa no Cerrado acima da copa foi em média 6% maior do que a na estação IAB1, com fator de correlação de Pearson 0,98.

As diferentes respostas observadas das variáveis monitoradas entre as estações meteorológicas sãos ocasionadas pelas diferenças de vegetação, que por suas diferentes estruturas vegetais e processos associados à isso, altera as condições climáticas e os processos hidrológicos locais (COENDERS-GERRITS; SCHILPEROORT; JIMÉNEZ-RODRÍGUEZ, 2020; JIMÉNEZ-RODRÍGUEZ et al., 2020; SCHILPEROORT et al., 2020a). Isso pôde ser evidenciado pela diferença observada entre os valores de temperatura acima da copa e a 2 m de altura das suas estações ( $R^2 = 0.999$ ), também entre os valores acima da copa e na serrapilheira ( $R^2 = 0.93$ ) (Figura 17). Enquanto a temperatura média diária acima da copa foi de 21,41° (± 3,02°) C, na serrapilheira foi de 19,82° (±2,77°) C com mínima de 6,82° C durante o inverno e 2,41° C na estação IAB, e máxima de 39,42° C durante o outono e 36,47° C na estação IAB1.

**Figura 17.** Relação entre as temperaturas médias diárias acima da copa e na serrapilheira na área de Cerrado *s.s.* 



Os dados de velocidade do vento da estação IAB1 (2m de altura) são geralmente maiores do que da estação IAB2 acima da copa (11m de altura). Analisando o período de monitoramento da velocidade do vento desde novembro de 2012, a relação entre as séries de dados das duas estações é em geral de 0,8. Para preenchimento da série da estação IAB2 de velocidade do vento acima da copa, foram utilizados os dados da estação IAB1 multiplicados pelo fator de relação encontrado. Para o período considerado nesse trabalho, a velocidade média observada foi de 1,19 ( $\pm$  0,67) m.s<sup>-1</sup>, terceiro quartil de 1,62 m.s<sup>-1</sup> e máxima de 5,27 m.s<sup>-1</sup>. Considerando a variação noturna, isto é, entre às 18h e 06h, a velocidade média do vento foi menor (0,98 ±0,61 m.s<sup>-1</sup>) do que a média diurna (1,39 ±0,67 m.s<sup>-1</sup>).

O saldo de radiação no Cerrado, em escala horária, variou no período entre -0,42 e 3,58 MW.m<sup>-2</sup>, com média de 0,46 MW.m<sup>-2</sup>. O saldo diário de radiação foi em média de 11,1 ( $\pm$ 4,6) MW.m<sup>-2</sup>, sendo a mínima de -0,7 e máxima de 22,6 MW.m<sup>-2</sup> (Figura 18). No período de estudo, apenas em quatro dias o saldo diário de radiação foi negativo, três desses no início do mês de agosto com valores entre -0,69 e -0,41 MW.m<sup>-2</sup>, nos dias 03 e 06 em 2018 e dia 04 em 2019, e o quarto menor saldo, -0,39 MW.m<sup>-2</sup> no dia 14 de setembro de 2018.

Para esses dias em específico, a contribuição do fluxo de calor do solo foi bem expressiva, sendo que no dia de maior saldo negativo diário, ou seja, quando para a saída de calor do Cerrado na forma de energia foi maior do que a entrada pela radiação solar, esse fluxo correspondeu no total a 89% (-0,61 MW.m<sup>-2</sup>) do saldo. Semelhantemente à umidade relativa, o saldo de radiação diário mínimo foi observado durante o inverno e o máximo durante o verão.





O fluxo de calor no solo no Cerrado é geralmente muito baixo, em média -0,14 ( $\pm$ 0,26) MW.m<sup>-2</sup>, como esperado para áreas florestais (OGÉE et al., 2001). As maiores "perdas" diárias de calor do solo foram observadas durante o outono, com máxima de -1,5 MW.m<sup>-2</sup>. Os "ganhos" diários de calor ocorreram com mais frequência durante primavera, sendo o máximo ganho

Fonte: Autor (2021)

diário observado de 0,54 MW.m<sup>-2</sup> (primavera). Para investigar os motivos dessa diferença sazonal, deve-se considerar além do efeito da maior radiação de entrada durante a primavera e verão, o efeito da proteção que a serrapilheira sobre essa camada mais superficial do solo.

De maneira geral, o número de dias em que o fluxo de calor diário tem saldo positivo é bem menor do que de dias de fluxo de calor negativo, correspondendo a apenas 30% dos 981 dias do período em estudo, ocorrendo 70% destes durante a primavera e verão.

# 5.2 Precipitação interna

O monitoramento da precipitação interna foi feito com 7 pluviógrafos espalhados pela área de estudo, próximos da torre de monitoramento na estação IAB 2. Entretanto, devido a necessidade de utilização de conexão de outros sensores aos dataloggers, apenas 3 desses pluviógrafos foram realmente representativos para série de monitoramento entre junho de 2017 a fevereiro de 2020. Excluindo-se os períodos de mal funcionamento, esses três pluviógrafos operaram dentre 38 a 89% do período de monitoramento enquanto que os demais pluviógrafos funcionaram por menos de 10% do período.

Analisando com base na separação da série para a posterior modelagem, do total de 730 dias do período de calibração, em 14% (104 dias) há falha na série dos registros de *Pi* devido a problemas com os sensores. Na Figura 19 é possível ver os períodos de falhas por processo hidrológico monitorado. Considerando escala diária para análise, as medidas de Pi desses 3 pluviógrafos (Pi 1, Pi 2 e Pi 3) apresentaram boa correlação entre si (Figura 20) e com as medidas de precipitação pelo método de Spearman (Tabela 7).

	Pi 1	Pi 2	Pi 3	Precipitação
Pi 1	1	0,956	0,939	0,956
<b>Pi 2</b>	0,956	1	0,942	0,979
<b>Pi 3</b>	0,939	0,942	1	0,947
Precipitação	0,956	0,979	0,947	1

**Tabela 7.** Valores de correlação de Spearman entre os três principais pontos de amostragem de precipitação interna e a precipitação incidente observada.

Fonte: Autor (2021)

Para esses 3 sensores, apesar das pequenas diferenças nos valores de correlação, esses indicaram correlação igual ou maior com a precipitação do que os sensores entre si. Os valores altos para o coeficiente de variação para as observações diárias dos sensores (> 170%) e os altos coeficientes de variação de quartis (CQV), entre 79 a 90%, confirmam a distribuição espacial

desuniforme da precipitação interna, que pode ser ocasionada tanto pela própria heterogeneidade espacial da chuva quanto pelos fatores estruturais da vegetação.

**Figura 19.** Período de dados observados disponíveis das medidas de precipitação (P), precipitação interna (Pi), evaporação da serrapilheira (Ef), da infiltração (F) e do escoamento dos troncos (T).



Fonte: Autor (2021)

**Figura 20.** Relação entre os valores de precipitação interna diários observados através dos 3 principais pluviógrafos utilizados.



Essa heterogeneidade espacial da precipitação pôde ser confirmada também pelos 24 dias em que foram registradas precipitações, mas ocorreram registros de precipitação interna (<1,27 mm.dia<sup>-1</sup>) nos pluviógrafos. O efeito da estrutura da vegetação sobre a distribuição da precipitação interna pôde ser confirmada também através dos 10 eventos diários em que a precipitação interna média foi maior do que a precipitação, em média apenas 0,58 mm.dia<sup>-1</sup> maior e máxima diferença de 3,04 mm.dia<sup>-1</sup>.

Eventos com registros de precipitação interna maior do que a precipitação em alguns pontos têm sido mais comumente notificados nos estudos em florestas tropicais (GERMER; ELSENBEER; MORAES, 2006; LLOYD; GASH; SHUTTLEWORTH, 1988; ZIMMERMANN; ZIMMERMANN; ELSENBEER, 2009). No estudo de Germer (2006) em uma floresta ombrófila Aberta no Brasil, dos 97 eventos monitorados, em 18 foram volume de precipitação interna maior do que a precipitação. Como explicação para tal distribuição enviesada, são apontados a morfologia das folhas, que podem formar pequeno canais, e a estrutura do dossel, por exemplo pela inclinação dos galhos, contribuem na formação dos pontos de maior drenagem e gotejamento do dossel ("drip points" e "drip tips") (VAN STAN et al., 2020; ZIMMERMANN; ZIMMERMANN; ELSENBEER, 2009).

Analisando os eventos diários (com P > 0) em que os sensores Pi 1, Pi 2 e Pi 3 registraram precipitação interna maior do que a precipitação, a diferença percentual média em relação à precipitação variou entre 44 a 75%, sendo as máximas diferenças percentuais observadas nos sensores Pi 1 e Pi 2 de 185% (6,60 mm.dia<sup>-1</sup>) e 176% (8,38 mm.dia<sup>-1</sup>), respectivamente. O sensor Pi 3 apresentou apenas 1 evento com precipitação interna maior do que a precipitação (com P > 0), que representou a máxima diferença percentual observada entre os sensores, 200% maior que a precipitação, mas com a menor diferença quantitativa (0,508 mm.dia<sup>-1</sup>) entre as máximas diferenças observadas por esses sensores. Essas máximas diferenças observadas em Pi 1, Pi 2 e Pi 3 ocorreram em eventos de baixa intensidade de precipitação diária, 3,55, 12,44 e 0,25 mm.dia<sup>-1</sup>, e horária também, 3,55, 4,32 e 0,25 mm.h<sup>-1</sup>, respectivamente. Com isso, evidencia-se a necessidade de um refinamento do monitoramento da persistência espacial da distribuição na área estudo e do estudo dos efeitos da intensidade da precipitação sobre essa distribuição.

A partir de outubro de 2018 foram obtidas medidas automáticas de precipitação interna a partir de 3 calhas. Devido a problemas de falha nos sensores e também de obstruções para registros, a série de monitoramento das calhas é pequena e com muitas falhas. Apesar dos problemas, considerando apenas a série com valores maiores que zero, os dados apresentaram alta correlação com a precipitação pelo método de Spearman em escala diária, 0,87, e significante na escala a cada 10 min, 0,65 (ZHANG et al., 2021).

A série de precipitação interna média foi obtida então considerando os dados de todos os pluviógrafos usados no período, sendo o valor médio dos dados disponíveis das calhas de monitoramento automático usados ao invés da média dos pluviógrafos apenas para registros a cada 10 minutos superiores a 3 mm (34 registros no total). Para essa série de média das calhas, foi considerado apenas do período entre início de funcionamento das calhas até outubro de 2019 e apenas as calhas 1 e 3, pois nesse período essas calhas funcionaram mais adequadamente, enquanto que a calha 2 teve muitos entupimentos, confirmados nas visitas a campo.

Na Figura 21 é possível ver a precipitação interna observada pelos pluviógrafos e pelas calhas automatizadas na escala diária e a média das calhas e os valores da série de precipitação interna média na escala de eventos acumulados para o período em que as calhas foram usadas para o cálculo dessa série. Eventos acumulados correspondem ao intervalos entre as datas de coletas manuais em campo. Os resultados do monitoramento manual da precipitação interna nas calhas apresentou significante correlação, tanto em relação aos resultados do monitoramento automático pelas calhas (excluindo-se os zeros da série), quanto em relação a série de precipitação interna média, com coeficiente de correlação de Spearman igual a 0,74 para ambas correlações (Figura 22). Já a correlação entre o monitoramentos automático pelas calhas e a precipitação interna média foi baixa (< 0,42 para o coeficiente de correlação de Spearman).

Entre junho de 2017 e fevereiro de 2020 a precipitação interna diária foi em média 7,2 ( $\pm 10,9$ ) mm.dia<sup>-1</sup> e a máxima observada foi de 68 mm.dia<sup>-1</sup> durante a primavera (Tabela 8). Durante os eventos, a precipitação interna média foi de 0,6 ( $\pm 1,2$ ) mm.10min<sup>-1</sup> e a intensidade máxima de 13,9 mm.10min<sup>-1</sup>, também na primavera.

Analisando os dados de precipitação interna por estações pode-se notar que durante a primavera, apesar de ocorrer apenas um pouco mais do que a metade do número total de eventos que ocorreram durante o verão, os eventos foram mais intensos, o que se observa pelos valores de média e desvio padrão maiores quando comparados com os valores para o verão.

**Figura 21.** Registros automáticos da precipitação interna pelas calhas e resultados da série de precipitação interna média corrigida em relação a precipitação total observada, em escala diária e de eventos acumulados no período de funcionamento das calhas



Fonte: Autor (2021)

Figura 22. Relação entre os resultados do monitoramento automático ou manual pelas calhas e a precipitação média calculada.



Fonte: Autor (2021)

Estações						
Verão	Outono	Inverno	Primavera			
8,51	6,85	3,19	9,62			
12,05	10,19	5,09	14,95			
0,08	0,13	0,13	0,08			
0,64	0,76	0,25	0,34			
3,47	1,27	1,46	2,79			
12,13	7,24	3,05	11,58			
62,74	40,64	21,08	68,07			
100	29	18	55			
	Verão 8,51 12,05 0,08 0,64 3,47 12,13 62,74 100	Verão         Outono           8,51         6,85           12,05         10,19           0,08         0,13           0,64         0,76           3,47         1,27           12,13         7,24           62,74         40,64           100         29	VerãoOutonoInverno8,516,853,1912,0510,195,090,080,130,130,640,760,253,471,271,4612,137,243,0562,7440,6421,081002918			

Tabela 8. Métricas estatísticas dos dados de precipitação interna diária na área de Cerrado por estações.

Fonte: Autor (2021)

Embora mais curto, o período de validação apresentou proporcionalmente mais eventos intensos do que o período de calibração (Figura 23), correspondendo a 35% do total de chuvas monitoradas neste estudo. Durante os períodos de calibração e validação, a *Pi* correspondeu a 67% e 69% da precipitação, respectivamente. Esses valores são próximos daqueles encontrados por Vieira e Palmier (2006) (67%) para uma floresta mista de Cerrado e Floresta Ombrófila no Brasil. Porém, os valores são inferiores aos valores encontrados por Honda e Durigan (2016) para uma floresta de Cerrado *s.s.* (75,4%) e por Távora e Koide (2020) (75,3%) para matas ciliares na área de Cerrado.

**Figura 23.** Distribuição acumulada da precipitação (P) e da precipitação interna (Pi) em mm.dia<sup>-1</sup> observadas nos períodos de calibração e validação.



Fonte: Autor (2021)

Com o objetivo de verificar esses valores percentuais de precipitação interna média, esta foi estimada como residual do balanço hídrico a partir dos dados observados de outros processos, isto é, de infiltração, evaporação pela serrapilheira e escoamento dos troncos (item 5.8.1). A verificação indicou que a precipitação interna média monitorada pode estar subestimada entre 3 a 5%.

Apesar dessa subestimativa representar um volume significativo, por se tratar de uma floresta tropical heterogênea a amostragem da precipitação interna requer mais recursos do que no caso de florestas de zonas temperadas, sendo apontado que mesmo em estudos com monitoramento de longo prazo os erros nas estimativas podem corresponder a mais de 20% (ZIMMERMANN; ZIMMERMANN, 2014). Assim, considerando a subestimativa observada, pelo resultado da verificação a Pi média seria em média 72,4% da precipitação, valor muito próximo dos encontrados por Lima e Nicolielo (1983) para uma floresta de Cerradão (72,7%), e por Oliveira (2014b) para uma floresta estacional semidecidual (72,7%) em área de Cerrado. Esse valor percentual médio seria ainda inferior aos encontrados para a floresta amazônica (CUARTAS et al., 2007) e para a Mata Atlântica (SÁ; CHAFFE; OLIVEIRA, 2015; SARI; PAIVA; PAIVA, 2015, 2016).

### 5.3 Escoamento dos troncos

No balanço hídrico de florestas, o escoamento dos troncos é geralmente o componente de menor volume. Os resultados de monitoramento indicaram a mesma magnitude (0,3% da precipitação) encontrada por Honda e Durigan (2016) e por Oliveira et al. (2015). As árvores do Cerrado não parecem estar adaptadas para conduzir uma grande quantidade de água da chuva para suas bases (HONDA; MENDONÇA; DURIGAN, 2015). Em vez disso, árvores do Cerrado usam outras estratégias de adaptação, como um sistema de raízes profundas (Anache et al., 2019; Leite et al., 2018) e um forte controle de superfície conjuntamente com períodos sem folhas para otimizar seu uso de água (CABRAL et al., 2015; OISHI et al., 2010).

Os três equipamentos usados para monitoramento automático do escoamento dos troncos, T1, T2 e T3, apresentaram médias por eventos acumulados, de 0,24, 0,31 e 0,17 mm.eventos<sup>-1</sup>, próximos do valor médio obtido pelo monitoramento manual, 0,23 mm.eventos<sup>-1</sup>. O máximo escoamento dos troncos diário foi observado no T2, 1,28 mm.dia<sup>-1</sup> (Figura 24), no último dia da série de monitoramento (06-02-2020), que correspondia ao último dia de uma série de quatro dias consecutivos de precipitações, com totais diários maiores que 25 mm.dia<sup>-1</sup>.



**Figura 24**. Relação entre o escoamento dos troncos médio e de cada um dos equipamentos (mm.dia<sup>-1</sup>) e a precipitação (mm.dia<sup>-1</sup>).

Fonte: Autor (2021)

Ao olhar para os dez últimos dias da série (Tabela 9), poderia se supor que a condição de umedecimento anterior ao evento pudesse ser uma das justificativas para as pequenas diferenças observadas para o T2 nos dias 03 e 05 de fevereiro. Entretanto, os valores obtidos pelos outros equipamentos (T1 e T3), não corroboram essa suposição. Os valores menores observados em T1 e T3 no dia 04, em comparação com os observados no dia 06, apontam que para a variabilidade do processo está atrelada a diversos fatores, dentre eles os efeitos da estrutura da vegetação, uma vez que o escoamento foi maior em T2, que apresenta o menor DBH médio entre os três equipamentos.

Como pode ser visto na Figura 24, o escoamento dos troncos parece ter uma relação direta com a precipitação e, aparentemente, inversa com o DBH. Entretanto, outros fatores devem possivelmente explicar melhor essa aparente relação inversa observada, uma vez que estudos mostram que maiores escoamentos de tronco são frequentemente associados com grandes árvores (ANDRÉ; JONARD; PONETTE, 2008; GARCIA-ESTRINGANA; ALONSO-BLÁZQUEZ; ALEGRE, 2010; HONDA; MENDONÇA; DURIGAN, 2015). Como as árvores do Cerrado apresentam em sua maioria pequeno porte comparando-se com florestas

Data	Р	T1	T2	T3	T médio	Pi média	P máx.
Data			(mr	n.dia <sup>-1</sup> )			$(mm.h^{-1})$
28-01-2020	0	0	0	0	0	0	0
29-01-2020	5,33	0	0	0	0	3,39	5,33
30-01-2020	9,14	0	0,03	0,01	0,01	4,32	7,37
31-01-2020	5,33	0	0	0	0	3,05	1,52
01-02-2020	35,56	0,08	0,28	0,02	0,13	23,03	28,19
02-02-2020	0	0,00	0	0	0	0	0
03-02-2020	28,70	0,03	0,15	0,02	0,07	20,7	18,54
04-02-2020	48,00	0,34	0,74	0,05	0,38	42,29	39,88
05-02-2020	26,67	0,03	0,17	0,02	0,08	17,40	15,24
06-02-2020	49,02	0,23	1,28	0,03	0,52	35,94	23,37

**Tabela 9.** Valores de acumulados diários do escoamento dos troncos (T) e a média dos equipamentos (T médio), da precipitação interna média, da precipitação total (P) e da intensidade horária máxima dessa precipitação (P máx) observados no período entre 28 de janeiro a 06 de fevereiro de 2020.

Fonte: Autor (2021)

de outros ecossistemas, é esperado que a geração de escoamento dos troncos seja menor nestas. Apesar disso, particularmente para essas áreas de Cerrado, a área basal parece ser o parâmetro que mais se relaciona com o fluxo pelo tronco (HONDA; DURIGAN, 2016), enquanto que a profundidade do lençol freático e as propriedades do solo têm forte efeito na estrutura lenhosa nessas florestas (DURIGAN; RATTER, 2006; HONDA; DURIGAN, 2016; LEITE et al., 2018).

Gonzalez-Ollauri et al. (2020) descobriram que o rendimento do fluxo do tronco está relacionado à estrutura da copa das árvores e também que troncos finos e pequenas copas podem aumentar não apenas o rendimento do fluxo pelos troncos, mas também o processo de afunilamento. Nas florestas do Cerrado, o escoamento dos troncos é mais eficiente para capturar e canalizar a água da chuva até a base da árvore em árvores menores com copas compactas (HONDA; MENDONÇA; DURIGAN, 2015).

Pesquisas recentes têm investigado a relação entre a capacidade de absorção e molhamento dos troncos, a quantidade de liguinina com a produção de escoamento dos troncos. A partir de estudo com algumas espécies do Cerrado, Tonello et al. (2021a) descobriram que a estrutura da superíficie casca não tem efeito maioritário sobre a geração de escoamento do tronco, como há muito tempo se acreditou; os autores também descobriram que a capacidade de absorção e molhamento dos troncos é dependente da espécie e que a classificação quanto à capacidade de molhamento é importante, pois, esse parâmetro tem considerável sobre a geração de escoamento do tronco.

Em relação à precipitação, os equipamentos apresentaram correlação significantemente alta para escala diária (coeficiente de Spearman r  $\ge 0,75$ ) e significante em escala de eventos acumulados ( $0,43 \le r \le 0,76$ ). O monitoramento manual apresentou correlação significante com monitoramento automático (r = 0,53) e com a precipitação (r = 0,71) (Figura 25).

Considerando o efeito da intensidade das chuvas na produção de escoamento dos troncos (DUNKERLEY, 2014), estudos de campo que analisem esse efeito em relação à estrutura lenhosa e área basal podem esclarecer como esse processo ocorre ao longo do gradiente fisionômico sucessional do Cerrado.

**Figura 25.** Relação entre os resultados do monitoramento automático e manual do escoamento dos troncos com o total de precipitação por eventos acumulados.





### 5.4 Infiltração

A série de infiltração média foi obtida com base nos pluviógrafos usados para monitoramento da infiltração dentro dos LIDs, LID1 e LID2. A infiltração no LID3 apresentou valores sempre maiores do que os demais dispositivos, registrando em alguns eventos valores maiores do que a precipitação (Figura 26). Essa diferença pode ser causada pela própria estrutura e morfologia da vegetação acima do dispositivo, podendo ser este um local de maior drenagem e gotejamento do dossel. Uma análise e discussão mais detalhada sobre os motivos para essa diferença local é feita no item 5.8.3.

A infiltração correspondeu em média a 60% da precipitação total no período de estudo. Com base nos dados de precipitação total e interna e infiltração diárias, o coeficiente de correlação de Spearman indicou forte correlação entre ambas precipitações e os valores de infiltração monitorados (0,94 para ambas correlações). A forte correlação é corroborada pelo valor de correlação Kendall para a estatística tau-b, de 0,81 e 0,83 em relação à precipitação total e interna, respectivamente; com probabilidade significativa de relação por meio de teste de significância com valor  $\alpha$  de 0,05 (valores de p  $\leq$  5,59.10<sup>-33</sup>).

Figura 26. Valores do monitoramento da infiltração a partir dos LIDs na área com relação a precipitação diária.



Fonte: Autor (2021)

A infiltração correspondeu em média a 2,06 ( $\pm$  6,05) mm.dia<sup>-1</sup> no período e a 7,13 ( $\pm$  9,55) mm.dia<sup>-1</sup> quando os dias sem precipitação não são considerados, com máxima diária observada de 59,79 mm.dia<sup>-1</sup>. A infiltração média diária apresentou coeficiente de variação um pouco menor (293%) do que a precipitação interna média (336%), valores menores para esses coeficientes, 133% e 152% respectivamente, quando apenas dias em que houve precipitação (319 dias) são considerados.

# 5.5 Produção de serrapilheira

Entre outubro de 2018 a setembro de 2019, a produção média mensal de serrapilheira foi de 0,065 ( $\pm$ 0,030) kg.m<sup>-2</sup>, correspondendo ao total de 7,810 ton.ha<sup>-1</sup>.ano<sup>-1</sup>. A produção anual está dentro da faixa de valores esperada para uma área de Cerrado *s.s.*, entre 1,05 – 9,41 ton.ha<sup>-1</sup>.ano<sup>-1</sup> (COSTA et al., 2020); e próximo dos valores encontrados por Pedro et al. (2019) e Valenti et al. (2008), 6,4 ton.ha<sup>-1</sup>.ano<sup>-1</sup> e 5,6 ton.ha<sup>-1</sup>.ano<sup>-1</sup>, respectivamente. Deve-se levar em conta que a produção depende das espécies presentes, sua distribuição e idade, além dos fatores meteorológicos. Apesar do trabalho de Valenti et al. (2008) ser em uma área em São Carlos (SP), não tão distante de Itirapina, a área estudada pelos autores era muito menor, apenas 32 ha, em comparação com a deste Cerrado *s.s.* deste estudo.

Em relação a produção mensal, a amplitude de variação foi menor, entre 313 a 1.091 kg.ha<sup>-1</sup>.mês<sup>-1</sup>, do que a encontrada por Pedro et al. (2019), entre 139 e 1.464 kg.ha<sup>-1</sup>.mês<sup>-1</sup>. O trabalho de Alberton et al. (2019) na mesma área de estudo indicou que o período o período seco atua como um fator chave incitando a transição fenológica da vegetação, sendo o período de pico da cobertura foliar antes do início do período de chuvas (CAMARGO et al., 2018). Os autores observaram que entre as espécies do Cerrado *s.s.* foi possível identificar duas principais estratégias de brotamento: ou as espécies respondem as primeiras chuvas que ocorrem entre o período seco para o chuvoso, ou o brotamento ocorre mesmo no período seco. Esta última estratégia corrobora com a hipótese de que as espécies têm acesso a água subterrânea através de raízes profundas ou de que usam a água das folhas do último ciclo por algum mecanismo de reidratação (ALBERTON et al., 2019; CAMARGO et al., 2018; EAMUS; PRIOR, 2001; GOLDSTEIN et al., 2008).

O período de pico da produção de serrapilheira ocorreu entre os meses de agosto e setembro (Figura 27), o que fez com que maior produção fosse observada durante o inverno seguido pela primavera. Pela distribuição da produção acumulada por bimestres (Figura 28), observa-se a maior produção no bimestre agosto-setembro, entretanto com o maior valor registrado no bimestre abril-maio.

Analisando os dados observados por ponto de coleta (Figura 29), é possível confirmar que o pico da produção de serrapilheira ocorreu nos meses de agosto e setembro, sendo menor a produção nos demais meses do período seco. Nota-se que, excluindo-se os pontos sem dados (em cinza) na linha 1 nos meses de março e abril devido a presença de abelhas e os demais por problemas com os coletores, os maiores valores de produção observados ocorreram em alguns pontos de coleta fora do período agosto-setembro.



**Figura 27.** Produção de serrapilheira na área de Cerrado *s.s.* em escala bimestral e sazonal em kg de serrapilheira por  $m^2$  de área.

1 011001 (1001)

Figura 28. Boxplots da produção bimestral de serrapilheira observada na área de estudo.



Fonte: Autor (2021)







Os dois maiores registros observados, em outubro de 2018 e abril de 2019, tiveram grande contribuição percentual de galhos na serrapilheira produzida, o mesmo tendo ocorrido para o 4° e o 5° maiores registros de produção observados (Tabela 10). Para o caso do 3° e 6° maiores registros, a fração total de folhas, isto é, fração folhas inteiras mais fração de folhas predadas, foi maior do que a fração galhos. Como comentado por (CAMARGO et al., 2018), as diferentes espécies decíduas, semidecíduas e sempre-verdes, presentes no Cerrado *s.s.* fazem não somente com que a produção de serrapilheira seja constante ao longo do ano, mas também com que alguns picos de brotamento e de senescência ocorram fora do período mais pronunciado, que no Cerrado *s.s.* é na transição do período seco para período chuvoso.

Classificação	Mês de	Ponto de	Peso total	Percentual de	Percentual médio
	produção	coleta	(kg/m²)	galhos (%)	de galhos (%)
1°	Out/2018	1.4	0,2887	68	31
$2^{\circ}$	Abr/2019	4.1	0,2772	67	15
3°	Abr/2019	9.3	0,2711	4	18
4°	Jul/2019	8.4	0,2411	39	9
$5^{\circ}$	Jul/2019	6.1	0,2343	81	10
$6^{\circ}$	Out/2018	6.3	0,2204	11	15

**Tabela 10.** Informações sobre os seis registros de maior quantidade produzida de serrapilheira (kg.m<sup>-2</sup>.mês<sup>-1</sup>) em ordem decrescente de total produzido.

Fonte: Autor (2021)

A partir dos dados de produção de serrapilheira por suas frações médias (folhas inteiras, folhas predadas, galhos e miscelânea), nota-se que a fração de miscelânea foi decrescendo ao longo do ano de monitoramento, sendo o pico de maior percentual médio no mês de novembro (Figura 30). Isso pode ser explicado uma vez que o brotamento entre os meses de agosto e setembro, poderia levar a observação de frações maiores de miscelânea nos meses subsequentes. O pico da produção de folhas foi observado no mês de setembro, puxado pelo pico observado da fração de folhas predadas. Esse resultado confirma o que foi dito por Camargo et al. (2018) sobre o Cerrado *s.s.*, que após a fase de brotamento no período de transição período seco-chuvoso, a atuação dos insetos poderia ser mais intensa nas folhas jovens num período mais tardiamente durante o período seco (MARQUIS; DINIZ; MORAIS, 2001).

De maneira geral, a fração de folhas inteiras corresponderam ao maior percentual da produção mensal de serrapilheira, 36% ( $\pm$ 8%), seguido pela fração de folhas predadas, 30% ( $\pm$ 8%), miscelânea 19% ( $\pm$ 7%) e galhos 15% ( $\pm$ 7%).



**Figura 30**. Percentuais médios das frações folhas inteiras, folhas predadas, galhos e miscelânea da produção mensal de serrapilheira.

5.6 Evaporação no solo

Apesar de existirem diferentes tipos de lisímetros, como de drenagem e de nível de lençol freático constante, os de pesagem são os mais empregados no meio científico (SENTELHAS, 1998; SILVA, 1996). Um dos motivos para isso é a alta precisão que pode ser obtidas com tais lisímetros (CARVALHO et al., 2013; FARIA; CAMPECHE; CHIBANA, 2006; QUAGLIA, 2005).

Os mini lisímetros instalados tiveram respostas diferentes, com coeficiente de correlação de Spearman igual a 0,45 entre os totais diários de evaporação (Figura 31). Entretanto, as correlações Spearman entre as evaporações diária do LIS 1 e do LIS 2 e a evaporação estimada através do monitoramento pela sonda FDR a 20 cm de profundidade (igual a profundidade dos mini lisímetros), foram maiores, de 0,83 e 0,54, respectivamente. Isso indica que a evaporação medida pelos mini lisímetros é muito diferente, apresentando uma relação maior quando comparadas com as estimativas de evapotranspiração pela sonda. Pela variação de água nos mini lisímetros mostrada na Figura 31 já é possível observar que o conteúdo de água nas amostras foi sempre maior no LIS 2, o qual apresentou também variações maiores quando comparado ao LIS 1. O conteúdo de água no LIS 2 apenas se tornou menor do que no LIS 1 em fevereiro 2020.

**Figura 31.** Dados do monitoramento de água nos mini lisímetros (azul claro e escuro) com identificação dos períodos de armazenamento e drenagem (linhas verticais cinza), do volume de água no solo estimado através dos dados de umidade volumétrica com uma sonda a 20 cm de profundidade (vermelho) e o monitoramento do conteúdo de água na serrapilheira através dos LIDs (amarelo claro e escuro).



Fonte: Autor (2021)

Para comparar as estimativas de evaporação pelo sensor de umidade do solo com as medidas dos mini lisímetros, foi necessário estimar o volume para a área correspondente a dos mini lisímetros e considerar apenas os períodos em que esses estavam funcionando. Além disso, foi necessário separar os processos de drenagem e armazenamento, dos períodos de registro de evaporação. Para isso, foram considerados os períodos selecionados a partir do critério de convergência com os dados dos LIDs, explicado no item 4.2.5.2, os quais correspondem ao períodos em que não estava ocorrendo infiltração, ou seja, sem chuva ou drenagem pela serrapilheira.

Assim, foi possível comparar estimativas de 133 dias de monitoramento, sendo a evaporação observada no LIS 1 nesse período (7,4 mm) mais próximo do estimado pelo sensor de umidade (16,9 mm), em relação ao total observado no LIS 2 (38,7 mm). Valores maiores na estimativa pelo sensor de umidade eram esperados, uma vez que as estimativas referem-se ao processo de evapotranspiração, e não apenas evaporação do solo. Não obstante, erros

intrínsecos ao método de medição através de mini lisímetros pode ter causado impacto significativo nas respostas obtidas.

Erros podem ocorrer nas medições em campo com mini lisímetros quando o conteúdo de água ou a temperatura da amostra é significativamente diferente do solo ao entorno. Sendo que as principais fontes de erros podem ocorrer pela barreira ao fluxo de água na base do mini lisímetro, pela descontinuação de extração de água através de raízes, uma vez que o solo é isolado no mini lisímetro, pelos distúrbios no solo no momento de sua extração e também pela condução de calor através do material do reservatório da amostra no mini lisímetro (DAAMEN et al., 1993).

Para o caso dos mini lisímetros usados, a falta de monitoramento do volume drenado das amostras inviabilizou a confirmação dos períodos de início de evaporação do solo e também da maior variação de armazenamento e drenagem no LIS 2, em comparação do LIS 1. O LIS 2 está instalado próximo ao LID3, o qual apresentou valores diferenciados em relação aos demais LIDs. Uma discussão sobre os motivos para tais diferenças nesses dois equipamentos, é feita no item 5.8.3.

Devido ao curto período de dados de evaporação dos mini lisímetros e a grande diferença observada entre tais medidas, a evaporação do solo foi acrescida na estimativa da água adicionada ao solo. Assim não foi estimado o volume de água disponível no solo, como proposto na Equação 4 apresentada no item 4.2.8, mas sim o total de água adicionada ao solo, o que corresponde ao total de infiltração monitorada. Assim, o volume adicionado ao solo no período de estudo correspondeu a em 2314,1 mm, 60,5% da precipitação total (3824,9 mm).

# 5.7 Evaporação potencial

A evaporação potencial (*Ep*) foi calculada a cada 10 minutos através da equação de Penman-Monteith com o coeficiente de resistência da cultura igualado à zero (GASH, 1979; RUTTER; MORTON; ROBINS, 1975; VALENTE; DAVID; GASH, 1997). A evaporação potencial máxima estimada foi 1,12 mm.h<sup>-1</sup> e a média de 0,20 mm.h<sup>-1</sup>. A taxa média de evaporação durante os eventos de precipitação ( $\overline{E}$ ) variou de 0,017 a 0,089 mm.h<sup>-1</sup>, que foi igualmente baixa como a estimada por Cabral et al. (2015) (média = 0,08 mm.h<sup>-1</sup>) para uma área de Cerrado *s.s.* também no sudeste do Brasil. A radiação solar, como um dos principais fatores indutores do processo de evaporação, tem o mesmo padrão de variação que a evaporação potencial estimada (Figura 32).


**Figura 32.** Evaporação potencial diária (mm.dia<sup>-1</sup>) e temperatura média (° C) observada no local do estudo.

A *Ep* média durante a primavera  $(5,51 \pm 1,82 \text{ mm.dia}^{-1})$  foi um pouco maior do que durante o verão  $(5,34 \pm 1,79 \text{ mm.dia}^{-1})$ , mas a máxima *Ep* foi observada no verão (Figura 33). Apesar da mínima *Ep* ter ocorrido no outono, maior número de dias com *Ep* menor que 1 mm.dia<sup>-1</sup> foram observados durante o inverno e a primavera.

Fonte: Autor (2021)



Figura 33. Boxplots da evaporação potencial estimada para a área de Cerrado s.s. por estações do ano.

Fonte: Autor (2021)

5.8 Interceptação da chuva

### 5.8.1 Interceptação da copa e do tronco

A interceptação do dossel observada correspondeu em média a 33% da precipitação total. Em 38 dos 172 eventos nos quais a evaporação do dossel (Ec) pôde ocorrer, a Ec diária total foi maior que 6 mm.dia<sup>-1</sup>. A máxima interceptação do dossel observada, isto é (P - Pi - T), foi de 23,1 mm.dia<sup>-1</sup> (Figura 34) e 10 eventos tiveram Ec maior que 12 mm.dia<sup>-1</sup>. Embora isso corresponda a um volume considerável, estudos apontam que ainda existe muita incerteza sobre os processos de controle dos fluxos que atuam sobre a evaporação da interceptação do dossel, tais como, os fluxos de advecção horizontal local, fluxos descendentes de calor (*downward*), o também sobre o possível transporte ascendente (*upward*) de pequenas gotas de chuva (VAN DIJK et al., 2015) que podem ter um efeito importante sobre o volume total interceptado.

**Figura 34.** Registros de precipitação, precipitação interna média e de infiltração médias a cada 10 minutos entre os dias 07 e 09 de abril de 2019, ocorrendo no dia 08 a máxima interceptação do dossel da série. Os valores acumulados são apresentados no gráfico inferior e a precipitação interna pelo sensor Pi 1, que teve o maior volume registrado nesse evento, também é apresentada.



Fonte: Autor (2021)

O que se observa pelos dados de interceptação pelo dossel observada, é que existe uma relação positiva com o volume de precipitação dos eventos, tendendo a um limite de interceptação diária (Figura 35). Entretanto, seriam necessários mais dados de eventos de grande precipitação para atestar o valor máximo de interceptação. Não obstante, o percentual da precipitação interceptado pelo dossel apresenta uma relação inversa com o total de precipitação e com a duração dessa precipitação nos eventos (Figura 36).



**Figura 35.** Relação entre a evaporação do dossel (mm.dia<sup>-1</sup>) determinada indiretamente e o total de precipitação (mm.dia<sup>-1</sup>).

Fonte: Autor (2021)

**Figura 36.** Relação entre o percentual de interceptação do dossel e o total de precipitação por evento diário (mm.dia<sup>-1</sup>) e a duração da precipitação (h) nos eventos.



Fonte: Autor (2021)

Para verificar esses valores, a interceptação pela vegetação, ou o total evaporado pela vegetação  $(E_v)$ , que corresponderia a soma da  $E_c$  mais a evaporação do tronco  $(E_t)$ , foi calculada como um resíduo do balanço hídrico para todo o período usando outros dados

observados, como precipitação (*P*), infiltração (*F*), escoamento dos troncos (*T*) e evaporação da serrapilheira ( $E_f$ ) (Equação 15).

$$E_v = P - F - T - E_f$$
 Equação 15

Como resultado, a soma correspondeu em média de 28% do total de precipitação. Esses valores indicam que a evaporação pela vegetação com base nas medidas diretas de precipitação interna e de escoamento dos troncos, com os medidores fixos (calhas, pluviógrafos e os pluviógrafos ligados aos troncos), pode ter superestimado a evaporação pela vegetação em quase 6%. Deve-se considerar que nesse percentual estão incluídos os erros sistemáticos e aleatórios do monitoramento.

Analisando os dados, a interceptação foi em média de 3,7 ( $\pm$  4,1) mm.dia<sup>-1</sup>, com coeficiente de variação de 111% e QVC de 83%. Quando o processo é analisado sazonalmente, verifica-se que menores valores de interceptação do dossel foram observados durante o inverno (Figura 37), período em que ocorreu o menor número de eventos e estes menos intensos, isto é, apenas 7% da precipitação ocorreu durante o inverno. O evento de maior interceptação ocorreu durante o outono, estação em que foi possível monitorar a interceptação do dossel em 31 eventos diários.



Figura 37. Valores de interceptação do dossel (mm.dia<sup>-1</sup>) observados na área de estudo.

Por o escoamento dos troncos corresponder a um pequeno percentual da precipitação e pelo grande percentual de interceptação do dossel estimado através dos pluviógrafos e calhas, estima-se que a evaporação total dos troncos seja relativamente muito menor que interceptação do dossel.

### 5.8.2 Interceptação do orvalho

Para a análise da possível adição de orvalho nos LIDs, primeiramente foi verificado o efeito da temperatura sobre a variação de peso monitorada pelas células de carga instaladas nos LIDs.

Os resultados dos testes em laboratório indicaram pouca diferença quanto à variação de peso registrada entre as células de carga (Figura 38). Nos testes, os registros de peso variaram entre -0,9 g (célula 9) a 16 g (célula 2), com desvio padrão máximo dentre as células de  $\pm 0,0039$  kg). A diferença entre os valores máximos observados entre as células foi de até 5 g, para amplitude de temperatura entre -3,78° e 25,10° C, e a variação de temperatura foi em média de  $0,03^{\circ}$  C.h<sup>-1</sup> com máxima variação horária de 7° C.





Fonte: Autor (2021)

Como os dados não apresentaram distribuição normal, foram aplicados 2 testes estatísticos não-paramétricos: Kruskall-Wallis, considerando que as distribuições dos grupos (células) tiveram formas semelhantes; e o teste de Mood para a mediana, indicado para casos

em que não se tem certeza de que os grupos possuem distribuições semelhantes. Como resultado para ambos os testes estatísticos, as hipóteses nulas foram negadas, confirmando, desse modo, que as células não tiveram o mesmo comportamento.

Na Figura 39 observa-se que apesar de apresentarem comportamentos diferentes, todas as células apresentaram tendências inversas à temperatura, ou seja, o aumento da temperatura gerou diminuição no peso. Entre às 06h do dia 01/04 até às 06h de 02/04, nota-se que apesar de haver um aumento de quase 5° C no período, não houve alterações no peso registrado pelas células. Isso aponta que o perfeito funcionamento das células é mais afetado quando ocorrem variações intensas de temperatura.





Fonte: Autor (2021)

Para melhor analisar a variação no registro de peso, foram criadas categorias de temperatura com intervalos de 5 °C. Na Figura 40 estão apresentados os boxplots das variações de peso em comparação ao registro inicial do teste (à temperatura de 25,25° C) registrado por cada célula, em relação a variação de temperatura a cada 5° C.



**Figura 40.** Boxplots da variação de peso registrada pelas células de carga no teste em laboratório por grupos de temperatura.

Os resultados do teste das células de carga foram considerados para a análise da produção de orvalho. A partir da análise dos períodos noturnos de provável orvalho, como melhor explicado no item 4.2.7, foram identificados 647 períodos noturnos em que a temperatura do ponto de orvalho foi alcançada. Desses, 605 períodos estiveram dentro dos critérios estabelecidos para separação dos períodos com as condições mais favoráveis à geração de orvalho. A variação média da temperatura nesses períodos noturnos foi de 1,80 ( $\pm$ 1,44)° C.

Para alguns períodos foram observados registros de infiltração nos LIDs e, por isso, foi verificado se a capacidade de armazenamento da serrapilheira havia sido superada nesses casos. Teoricamente, não havendo a introdução de volume considerável à uma taxa maior que a capacidade de retenção da serrapilheira, toda a água deveria ficar retida na serrapilheira até que a sua capacidade de armazenamento fosse superada.

Considerando isso, foi analisada a série de monitoramento da serrapilheira dos dois LIDs para encontrar valores médios de capacidade de armazenamento ( $S_f$ ). Foram obtidos os valores de volume retido na serrapilheira logo após o encerramento do processo de drenagem para todos os eventos monitorados. Como foi constatada a sazonalidade da produção de serrapilheira na área de Cerrado s.s., foram separados valores médios de  $S_f$  por estações do ano (Tabela 11), uma vez que a quantidade de serrapilheira está diretamente relacionada à sua

Fonte: Autor (2021)

capacidade de armazenamento (PITMAN, 1989; ROSALEM; WENDLAND; ANACHE, 2019; SATO et al., 2004).

 - 1											
Estações	Outono		Ve	rão	Inve	erno	Primavera				
Equipamento	LID1	LID2	LID1	LID2	LID1	LID2	LID1	LID2			
Média (mm)	2,644	3,388	3,734	4,062	2,403	2,751	3,137	3,885			
Desvio padrão (mm)	1,201	0,866	0,906	1,157	1,140	1,284	0,819	1,203			
Máximo (mm)	4,681	4,499	5,281	6,148	4,547	5,505	5,475	6,492			
N*	37	17	120	87	38	27	88	72			

**Tabela 11.** Capacidade de armazenamento da serrapilheira observada nas estações do ano através dos dois equipamentos (LID1 e LID2) usados para monitoramento na área de Cerrado *s.s.* 

N\* corresponde ao número de dados analisados na análise estatística descritiva. Fonte: Autor (2021).

 $S_f$  foi em média de 3,32 (±1,11) mm e o máximo valor observado foi de 6,49 mm. Esses resultados confirmam a sazonalidade da produção de serrapilheira na área que, devido à alta produção observada entre agosto e outubro, contribuiu para a maior retenção durante a primavera juntamente com o início do período chuvoso.

Ao comparar a quantidade de água retida na serrapilheira com os registros de infiltração, observa-se que nem sempre que a capacidade média de armazenamento é ultrapassada ocorrem registros de infiltração (Figura 41). A relação entre esses dados é muito baixa, 0,34 pela correlação de Spearman, o que confirma a correlação positiva fraca. Entretanto, deve ser considerado que a comparação é feita com valores médios de  $S_f$  por estação, os quais representam uma condição aproximada de armazenamento.

Além disso, dos 74 registros de infiltração na série de dados, apenas 28 tem registros disponíveis de aumento do peso na serrapilheira. Entende-se que como os pluviógrafos para monitoramento da infiltração estão muito bem protegidos dentro dos LIDs instalados em campo, os registros noturnos só poderiam ser ocasionados por drenagem nos LIDs. Apesar do pequeno número de eventos desse tipo, os aumentos de peso observados nos períodos noturnos corroboram a hipótese dos registros de infiltração serem ocasionados por orvalho.

No período analisado, o volume de orvalho observado na serrapilheira durante os períodos noturnos foi em média de 0,04 ( $\pm$  0,06) mm, e os máximos observados foram de 0,42 e 0,70 mm pelos LIDs 1 e 2, respectivamente, e ocorreram durante a primavera. No total, o orvalho correspondeu a apenas 0,4% da precipitação total no período entre junho de 2017 a maio de 2019. Em relação a interceptação pela serrapilheira, o orvalho correspondeu a 4,3 % do total (Tabela 12).



**Figura 41.** Valores de armazenamento médio de água na serrapilheira e de infiltração média durante os períodos noturnos de provável orvalho.

Fonte: Autor (2021)

**Tabela 12.** Resultado da análise da produção de orvalho na serrapilheira no Cerrado *s.s.* em relação a precipitação e a evaporação da serrapilheira.

	Período	Orvalho na serrapilheira (mm)	Evaporação da serrapilheira (Ef) (mm)	Orvalho em relação a Ef (%)	Precipitação (mm)	
	01-06-2017 : 31-05-2018	5,34*	153,65*	3,47	1103,61	
	01-06-2018 : 31-05-2019	6,85 (±0,64)	126,25 (±7,90)	5,42	1274,80	
Cantas A						

Fonte: Autor (2021)

A partir dos resultados obtidos observa-se que o volume de orvalho na serrapilheira não representa um volume significativo para o balanço hídrico anual da área. Apesar de representar um pequeno percentual da evaporação da serrapilheira, essa análise permitiu reduzir os erros do balanço hídrico na serrapilheira, representando um aumento da relevância da serrapilheira no total de interceptação da área nos eventos de precipitação.

Este trabalho não incluiu a interceptação do orvalho pelo dossel, o que pode representar uma parcela considerável da interceptação (SCHNEEBELI et al., 2011). Para tal monitoramento, estudos têm aplicado diferentes técnicas dentre as quais se destaca pelo grande número de aplicações o uso de sensores de umidade das folhas (BINKS et al., 2021; GERLEIN-SAFDI et al., 2018; KABELA et al., 2009; SCHNEEBELI et al., 2011). Estudos como o de Aparecido et al. (2016), Binks et al. (2021) e Gerlein-Safdi et al. (2018), têm mostrado que o orvalho impacta significativamente os processos de interceptação e transpiração de um ecossistema, afetando até mesmo as medições por sensoriamento remoto de importantes variáveis (KABELA et al., 2009). Outro ponto é que, apesar de ainda estar em estudo, há

indícios de que a estrutura vertical da floresta afeta a formação de orvalho, isto é, pode haver uma relação entre a altura e a formação de orvalho (BINKS et al., 2021).

Como em florestas tropicais o dossel intercepta grande parte da radiação solar, *e.g.* até 95% da radiação solar de entrada para uma floresta (JIMÉNEZ-RODRÍGUEZ et al., 2020), cria-se um gradiente de temperatura entre o dossel e o chão da floresta. Em uma floresta de *Douglas fir* na Holanda, Schilperoort et al. (2020b) usaram perfis verticais de DTS para estudar a estratificação térmica dentro da floresta e descobriram que o processo de convecção local ocorria acima da serrapilheira mas raramente excedia 5 m de altura durante a noite e 15 m durante o dia. Isso indica que para áreas de Cerrado *s.s.* deve-se considerar que pode haver grande diferença entre as condições meteorológicas próximo ao dossel e a serrapilheira no período noturno, afetando a geração e interceptação de orvalho.

Assim, além da heterogeneidade horizontal no Cerrado *s.s.*, estudos que elucidem as implicações da estrutura vertical sobre os processos ecossistêmicos bióticos e abióticos serão de grande contribuição para melhor entendimento das interações dinâmicas planta-atmosfera. Esse melhor entendimento pode auxiliar na melhor representatividade das medidas de fluxo acima dessas florestas (SCHILPEROORT et al., 2020b), como é o caso da área de estudo deste trabalho.

# 5.8.3 Interceptação da serrapilheira

As séries de dados dos LIDs tiveram comprimentos diferentes devido as diferentes datas de instalação dos equipamentos em campo e também devido à problemas de operação. As medidas de evaporação e armazenamento nos LIDs 2 e 3 foram consideradas após 02/08/2018, quando foram inseridas novas amostras de serrapilheira em todos os LIDs.

As células de carga foram calibradas em laboratório antes de serem instaladas em campo nos LIDs. Apesar disso, após ser instalada em campo em janeiro de 2018, a célula usada no LID2 teve problemas nos primeiros meses de medições e necessitou ser trocada. O LID 3 foi instalado em julho, mas como todas as amostras de serrapilheira foram trocadas no dia 02 de agosto de 2018, as medidas dos LIDs 2 e 3 foram consideradas a partir dessa data.

As células de carga foram calibradas em campo também, no dia 09 agosto de 2019, e mostraram bom ajuste (Figura 42), continuando a apresentarem sensibilidade para variações de 0,001 kg. Entretanto, os registros do LID 3 tiveram muitas falhas e apresentaram muito mais ruído de sinal do que os demais LIDs, como no exemplo apresentado na Figura 43. Nessa figura é possível ver que as variações diurnas registradas no LID 3 eram muito discrepantes em

comparação com os outros dois LIDs. Além disso, os registros do LID 3 apresentavam falhas recorrentes em horários específicos (por volta do meio dia) e oscilações diárias em períodos sem chuva maiores do que o observado nos outros LIDs.



**Figura 42.** Resultados da calibração das células de carga dos três LIDs realizada em campo em agosto de 2019.

Fonte: Autor (2021)

**Figura 43.** Monitoramento da chuva e da retenção de água na serrapilheira nos três LIDs a cada 10 minutos entre julho de 2019 a outubro de 2019 na área de Cerrado *sensu stricto*.



Fonte: Autor (2021)

Na Figura 44 é possível ver claramente como esse comportamento diferenciado nos registros de peso no LID 3 ocasionou considerável diferença nos valores de armazenamento e evaporação em comparação com os demais LIDs. Nessa figura a comparação de dupla massa entre os as respostas dos equipamentos é feita apenas para os períodos que ambos os equipamentos estavam em operação e, portanto, não representam os valores acumulados totais para o LID 1 que teve período maior de operação.

**Figura 44.** Comparação do tipo dupla massa entre as respostas de evaporação e armazenamento pela serrapilheira nos LIDs.



Fonte: Autor (2021)

A fim de tentar corrigir esses problemas com os registros do LID 3, além da formatação do datalogger e dos códigos utilizados, foi construído um controlador de voltagem em arduíno, para controlar melhor a voltagem de excitação da célula na tentativa de sanar os problemas. Infelizmente não pôde ser encontrado a solução desses problemas e por isso, os dados

observados do LID 3 foram desconsiderados nas análises do processo de interceptação da serrapilheira na área.

Diferenças quanto aos outros LIDs foram observadas tanto para as medidas de conteúdo de água na serrapilheira quanto para as medidas de infiltração. Como comentado no item 5.4, os registros de infiltração no LID 3 foram muito maiores dos demais LIDs, sendo que no período em que o LID 3 funcionou adequadamente, a infiltração neste equipamento correspondeu a 73% da precipitação, enquanto que para o LID 1 e LID2 correspondeu a 54% e 52%, respectivamente.

Assim, como a quantidade de água que passa pelo LID3 parece ser maior, a cobertura do dossel acima dos LIDs foi verificada. Fotos digitais do dossel acima dos LIDs foram tiradas em junho de 2021 e o percentual de cobertura foi analisado. Para isso, as fotografias foram analisadas usando o software ImageJ, no qual estas foram transformadas em imagens binárias e feita a quantificação do percentual total de cobertura (Figura 45).

**Figura 45.** Fotografias do dossel acima dos LIDs e as imagens binárias em branco e preto para quantificação da cobertura do dossel acima dos equipamentos.



Fonte: Autor (2021)

Pela análise das imagens pode-se observar que o dossel acima do LID 3 tem maior cobertura percentual (79%) do que acima do LID 1 (77%) e do LID 2 (71%). Nota-se que a estrutura da cobertura acima do LID 3 apresenta troncos inclinados que concentram as copas acima do LID 3. Uma hipótese que justificaria o maior fluxo de precipitação interna sobre o LID 3 é que nesse ponto central de encontro das copas favoreça a formação de um local de maior drenagem e gotejamento do dossel ("*drip points*" e "*drip tips*") (VAN STAN et al., 2020; ZIMMERMANN; ZIMMERMANN; ELSENBEER, 2009). Segundo Keim e Link (2018),

esses *drip points*, que canalizam água para pontos de grande acumulação, não têm sido muito observados em florestas de regiões temperadas. O que ainda não se sabe é se o grande acúmulo de precipitação nesses pontos é mais afetada pela morfologia ou pela estrutura da copa. Curiosamente, Gerrits, Pfister e Savenije (2010) analisaram o motivo dos *drip points* observados que encontraram em seu trabalho em uma floresta em Luxemburgo e confirmaram que em um desses pontos o grande fluxo foi determinado muito mais pela estrutura dos galhos do que pela estrutura do dossel.

Assim, como mencionado anteriormente, os dados do LID 3 foram então desconsiderados nas análises. Para as séries dos demais LIDs, a partir do uso do critério de convergência (item 4.2.5.2), foi possível fazer a separação adequada dos dados de monitoramento dos LIDs em períodos de evaporação e de armazenamento. A Figura 46 mostra um exemplo do uso desse critério de convergência para a separação dos dados dos LIDs dos períodos de evaporação.

**Figura 46.** Demarcação dos períodos de armazenamento ou drenagem (em cinza) através do critério de convergência a partir dos dados de variação de peso no LID 1 (verde) e dos registros de precipitação (azul) e infiltração (linha preta tracejada).



Fonte: Autor (2021)

Devido às diferentes amostras usadas em cada LID ao longo do período de estudo, o peso seco da amostra também era diferente. O peso seco da amostra era necessário para a separação da quantidade de água na serrapilheira dos dados do monitoramento do peso das

amostras. Ao observar os gráficos dos registros de peso dos LIDs, nas séries notam-se visualmente acréscimos de peso que indicam mudanças significativas, possivelmente algum acréscimo de serrapilheira além da água da chuva. Por isso, além das datas de troca das amostras de serrapilheira, foram demarcadas essas datas de importantes mudanças (Figura 47).

A evaporação diária média da serrapilheira é de 0,42 ( $\pm$ 0,33) mm.dia<sup>-1</sup>, com máxima observada de 2,03 mm.dia<sup>-1</sup>. Em escala mensal, o LID 2 evaporou mais (12,95  $\pm$  6,16 mm.mês<sup>-1</sup>) do que o LID 1 (9,35  $\pm$  7,36 mm.mês<sup>-1</sup>), com máximas mensais de 25,41 e 25,89 mm.mês<sup>-1</sup> em dezembro e novembro, respectivamente. Em média a evaporação correspondeu a 12,60  $\pm$  7,40 mm.mês<sup>-1</sup>, com mínima de 2,26 no mês de junho. Anualmente, a evaporação pela serrapilheira correspondeu a 12% da precipitação total e para o período todo de estudo correspondeu a 11%.

**Figura 47.** Valores observados de peso nos LIDs com linhas verticais coloridas marcando as datas de mudanças (gráfico superior) para o cálculo do armazenamento de água (gráfico inferior).



Fonte: Autor (2021)

A evaporação média diária durante o verão e a primavera foram próximas, 0,62 e 0,61 mm.dia<sup>-1</sup> respectivamente; enquanto que a média no outono (0,26 mm.dia<sup>-1</sup>) foi mais próxima da média durante o inverno (0,21 mm.dia<sup>-1</sup>) (Figura 48). Os valores maiores na primavera podem ser explicados pela maior produção de serrapilheira nos meses de agosto e setembro, seguido pelo início do período chuvoso na primavera.

Apesar das taxas diárias de evaporação pela serrapilheira serem maiores no verão e na primavera, nessas estações o volume de precipitação é muito maior e o percentual relativo da evaporação, 8 e 12 % do total de precipitação respectivamente, é menor do que no outono (17%) e inverno (21%). Analisando os coeficientes de variação de quartis, nota-se que no outono e inverno a variação de quartis é muito maior, CQV igual a 59 e 57% respectivamente, quando comparados com os coeficientes para a primavera e verão, com CQV igual a 43 e 28% respectivamente. Assim, observa-se que no verão quando ocorre o maior número de eventos de precipitação, a distribuição da evaporação pela serrapilheira é mais próxima da média do que nas demais estações.



Figura 48. Boxplots da evaporação diária da serrapilheira no período de estudo por estações do ano.

Fonte: Autor (2021)

Os valores diários e mensais de armazenamento pela serrapilheira nos LIDs 1 e 2 (Tabela 13), indicaram significativa correlação (r > 0,7) entre as mesmas medidas obtidas nos

dois LIDs. Em relação a evaporação, a correlação mensal entre os equipamentos foi bem menor (r = 0,51) do que em escala diária (r = 0,73) e menor até do que a correlação entre o armazenamento e a evaporação de equipamentos distintos em escala mensal (-0,62  $\le$  r  $\le$  -0,66). Entretanto, a correlação mensal entre medidas distintas (A *versus* E) para um mesmo equipamento foram altas (r  $\ge$  -0,84).

Tabela	13.	Valores	de	correlação	de	Spearman	para	os	valores	totais	diários	e	mensais	de
armazen	armazenamento (A) e de evaporação (E) dos LIDs 1 e 2.													

		Valores	diários	Valores mensais				
	LID1 – A	LID2 - A	LID1 - E	LID2-E	LID1 – A	LID2 - A	LID1 - E	LID2 - E
LID1 - A	1	0,78	-0,21	0,19	1	0,77	-0,95	-0,62
LID2 - A	0,78	1	0,03	-0,04	0,77	1	-0,66	-0,84
LID1 - E	-0,21	0,03	1	0,73	-0,95	-0,66	1	0,51
LID2 - E	0,19	-0,04	0,73	1	-0,62	-0,84	0,51	1

Fonte: Autor (2021)

Com isso podemos inferir que a diferença entre as amostras de serrapilheira nos LIDs e na estrutura e morfologia da vegetação acima e ao entorno dos LIDs, afeta mais o processo de evaporação do que o de armazenamento na serrapilheira. Nas correlações diárias entre medidas distintas (A *versus* E), os valores foram baixos e negativos, o que era esperado pois os registros de evaporação foram marcados com sinal negativo e, além disso, apesar desses processos serem dependentes, não são na maior parte do tempo concomitantes. Isso indica que a análise do processo de interceptação pela serrapilheira em escala diária deve ser cautelosa, pois pode não incluir todo o processo em questão.

Analisando os efeitos das variáveis monitoradas e a evaporação da serrapilheira, notase que o coeficiente de correlação de Spearman com a precipitação (0,73), evaporação potencial (0,73) e infiltração (0,70), é maior do que em relação a precipitação interna (0,65) e ao escoamento dos troncos (0,56). Diferentemente dos demais processos, os resultados dos efeitos do escoamento dos troncos sobre a serrapilheira não podem ser considerados neste trabalho, uma vez que a contribuição desse escoamento para a serrapilheira não foi monitorada pelos LIDs.

Quando considerados os dias de precipitação, como a precipitação interna média apresentou grande variabilidade espacial e também temporal (CQV = 95%), maior do que da precipitação (CQV = 85%), era possível que o coeficiente de correlação entre a precipitação e a evaporação pela serrapilheira fosse maior do que com relação a precipitação interna. O mesmo se dá com o processo de infiltração, que apresentou menor variação (CQV = 93%) do que a precipitação interna.

## 5.9 Interceptação total e o balanço hídrico

A interceptação total (*I*) pela vegetação foi obtida pela diferença entre a precipitação e a infiltração e escoamento dos tronco monitorados. Para o período de estudo *I* correspondeu em média a 40% da precipitação. Considerando apenas os dias de precipitação, a média diária de *I* foi de 5,15 ( $\pm$  5,85) mm.dia<sup>-1</sup>, com máxima 31,8 mm, observada em um dia durante o verão com precipitação total de 60,7 mm com duração de 2h10min. O coeficiente de variação foi de 113%, com valor do CQV (81%) menor se comparado com o mesmo coeficiente para a precipitação, precipitação interna ou infiltração.

Em escala mensal, *I* foi em média 39,6 (± 34,3) mm.mês<sup>-1</sup>, com máxima de 136,9 mm em janeiro durante o verão e mínima de 1,8 mm em julho durante o inverno. De acordo com o comportamento sazonal observado para a interceptação do dossel e pela serrapilheira, a interceptação total refletiu o mesmo padrão de médias diárias durante o período mais chuvoso maiores, verão ( $6,2 \pm 6,2 \text{ mm.dia}^{-1}$ ) e primavera ( $5,5 \pm 6,1 \text{ mm.dia}^{-1}$ ), do que no período mais seco, outono ( $3,8 \pm 5,4 \text{ mm.dia}^{-1}$ ) e inverno ( $3,1 \pm 3,9 \text{ mm.dia}^{-1}$ ) (Figura 49).





Fonte: Autor (2021).

A partir dos valores diários observados, três principais problemas podem ser citados. Primeiro, a discretização dos eventos em escala diária não permite muitas vezes a análise completa do evento, da duração e intermitência da precipitação. Como tem sido apontado em alguns estudos, a determinação do Intervalo Mínimo Entre Eventos (*Minimum inter-event time, MIT*) interfere diretamente na análise dos processos ecohidrológicos (DUNKERLEY, 2008, 2015a; MOLINA-SANCHIS et al., 2016; NOJUMUDDIN; YUSOF; YUSOP, 2018).

Um segundo problema observado é que a agregação dos resultados em escala diária limita a observação da evaporação total do evento e a possível recarga do armazenamento da copa durante os eventos (IIDA et al., 2017). Apesar da diferença entre os totais de precipitação e de precipitação efetiva corresponder ao total interceptado pela vegetação no evento, essa informação não contribui para maior compreensão de alguns processos, como de armazenamento, drenagem, recarga do armazenamento, variação da taxa de evaporação, e outros envolvidos no processo de interceptação durante os eventos, necessários para o aprimoramento de modelos (KEIM; LINK, 2018; KLAMERUS-IWAN et al., 2020; KLAMERUS-IWAN; BŁOŃSKA, 2018).

O terceiro problema que é possível perceber é que muitas vezes a evaporação diária não corresponde ao total interceptado, uma vez que a serrapilheira ainda leva dias para evaporar o volume interceptado (COENDERS-GERRITS; SCHILPEROORT; JIMÉNEZ-RODRÍGUEZ, 2020). A evaporação pela serrapilheira pode levar vários dias, como foi mostrado na Figura 46 no item 5.8.3, em que depois do evento no dia 21 o processo de evaporação ocorreu continuamente por quase 5 dias até a estabilização do peso no dia 26.

Apesar dos problemas, *I* em escala diária torna possível ver que o processo é muito significativo para o balanço hídrico no Cerrado *s.s.*, e também que a capacidade de armazenamento das componentes não corresponde ao máximo possivelmente interceptado pelas componentes durante os eventos, como também confirmado por IIDA et al. (2017). Do total interceptado, Ev parece contribuir com quase três quartos do total de *I* no Cerrado *s.s.*; isto porque as medidas diretas da interceptação pela serrapilheira indicam que esse processo contribui com 27% do total.

Como *I* corresponde ao somatório dos diferentes processos interceptação em um floresta, os diferentes tempos de residência hidráulica nas componentes de interceptação devem ser levados em consideração (ALLEN et al., 2020; COENDERS-GERRITS; SCHILPEROORT; JIMÉNEZ-RODRÍGUEZ, 2020; KEIM; TROMP-VAN MEERVELD; MCDONNELL, 2006). Assim, pelo seu significativo impacto no total interceptado, as estimativas de *I* devem considerar o tempo do processo de interceptação pela serrapilheira.

124

Na Figura 50 é apresentada uma síntese dos percentuais obtidos para a área de Cerrado *s.s.* referente ao balanço hídrico com as medidas realizadas. Não foram incluídas algumas saídas do balanço, isto é, o processo de escoamento superficial, de evaporação do solo e de transpiração vegetal.

**Figura 50.** Percentuais do balanço hídrico para os processos hidrológicos no Cerrado s.s., não incluindo as saídas através dos processos de escoamento superficial, evaporação do solo e transpiração vegetal.



Fonte: Autor (2021)

- 5.10 Modelagem do processo de interceptação
  - 5.10.1 Parâmetros dos modelos e evaporação potencial

Os parâmetros adotados nos modelos de Rutter (RUTTER et al., 1971; RUTTER; MORTON; ROBINS, 1975) e de Gash (GASH, 1979) estão relacionados não apenas aos processos que ocorrem durante os eventos (*e.g.* drenagem e precipitação livre), mas também às características da vegetação da área em estudo. Com isso, os valores dos coeficientes encontrados na Literatura apresentam grande variação (LINHOSS; SIEGERT, 2016; MUZYLO et al., 2009).

Sá, Chaffe e Oliveira (2015b) aplicaram os modelos de Rutter e de Gash para uma Floresta Ombrófila Mista no Brasil e encontraram resultados melhores de interceptação total usando valores calibrados para os parâmetros dos modelos. O valor de  $S_c$  encontrado pelos autores após a calibração é muito próximo do encontrado neste estudo para o Cerrado *s.s.* Na Tabela 14 são apresentados os coeficientes encontrados com base em curvas de relação entre processos (GASH; MORTON, 1978; RUTTER et al., 1971). Além disso, são apresentados também os novos coeficientes,  $S_f$ ,  $p_f$ ,  $I_s$ , f,  $C_{cmax}$ ,  $C_{fmax}$ , adicionados à versão adaptada do modelo de Rutter.

Parâmetro	Valor	Parâmetro	Valor
Sc	3,80 mm *	Ccmax	7,90 mm
р	0,35 (-) *	Cfmax	5,25 mm
Sf	1,80 mm **	Ds	0,001 mm/10 min
pf	0,45 (-) **	b	0,38 mm <sup>-1</sup>
St	0,02 mm ***	Is	0,001 mm/10 min
pt	0,0029 (-) ***	f	0,38 mm <sup>-1</sup>
E	0,01 (-)		

Tabela 14. Parâmetros obtidos para os modelos RA e GA.

Com base em 76 (\*), 74 (\*\*) ou 44 (\*\*\*) eventos diários. Fonte: Autor (2021).

O valor de  $C_{fmax}$  refere-se a capacidade máxima de armazenamento média da serrapilheira, sendo que acima dessa capacidade toda a entrada de água será rapidamente convertida em infiltração. A partir dos dados de monitoramento de peso nos LIDs, foram observadas mudanças notáveis no peso da serrapilheira em alguns momentos indicando possível mudança do peso seco das amostras, como foi demonstrado anteriormente na Figura 47. O valor médio de  $C_{fmax}$  foi então determinado a partir dos valores de  $C_{fmax}$  encontrados para cada um desses perídos (Tabela 15). O valor médio encontrado foi maior do que os estimados por testes em laboratório (1,1 – 3,1 mm) (ROSALEM; WENDLAND; ANACHE, 2019), o que era esperado, uma vez que nas medidas diretas em campo a amostra de serrapilheira pode ter capacidade de reter mais água devido ao gradiente de decomposição ao longo de suas camadas até o solo (ZHAO et al., 2021). Ainda assim, o valor de  $C_{fmax}$  encontrase dentro da faixa de valores na Literatura para o armazenamento na serrapilheira (0,6 – 8,0 mm) (COENDERS-GERRITS; SCHILPEROORT; JIMÉNEZ-RODRÍGUEZ, 2020). Deve-se ressaltar aqui que a faixa de valores apontada por esses autores provavelmente é com base em valores que são conceitualmente mais semelhantes a  $S_f$  do que  $C_{fmax}$ .

Identificação	Período	$C_{fmax}$ – LID1	$C_{fmax}$ – LID2	Média
1	01-06-2017: 01-05-2018	6,57	-	6,57
2	02-05-2018: 02-08-2018	3,27	-	3,27
3	03-08-2018: 14-02-2019	4,52	5,72	5,12
4	15-02-2019: 09-08-2019	4,87	5,31	5,09
5	09-08-2019: 08-11-2019	7,73*	8,24	7,99
6	09-11-2019: 18-02-2020	-	8,66	8,66

**Tabela 15**. Valores obtidos de  $C_{fmax}$  por períodos de análise das séries de dados dos LIDs.

Período sem dados (-). Fonte: Autor (2021)

O valor de  $S_f$  refere-se a água que não irá se transformar em infiltração, estando sujeita à evaporação. Como é semelhante conceitualmente ao parâmetro  $S_c$ , o parâmetro  $S_f$  foi determinado pelo mesmo método. O valor de  $S_f$  encontrado é semelhante ao obtido por Gerrits, Pfister e Savenije (2010) (1,8 – 2,8 mm) para uma floresta em Luxemburgo.

### 5.10.2 Precipitação interna e interceptação da copa

Tanto o modelo de RA quanto o modelo GA foram capazes de modelar bem a precipitação interna em escala de tempo diária, tanto para o período de calibração ( $R^2 = 0.91 - 0.96$ ) quanto para o período de validação ( $R^2 = 0.94 - 0.98$ ). O modelo GA subestimou a Tf total em -5,42 mm (-1% do observado) durante a calibração e superestimou a Tf em 103,50 mm (+17% do observado) durante a validação. De modo contrário, o modelo RA superestimou durante a calibração, em 10,40 mm (+1% do observado), e também o total durante o período de validação, em 68,74 mm (+ 11%).

Na Figuras 51 são apresentados os valores acumulados estimados pelos modelos RA e GA em comparação com os valores observados de precipitação interna nos períodos de calibração (até o evento 220) e validação (entre os eventos 221 e 316). Os totais acumulados não presentam os totais dos períodos devido as muitas falhas no monitoramento. São apresentados também os gráficos de dispersão entre os valores diários observados e os estimados pelos dois modelos, mostrando a boa correlação diárias entre eles (R<sup>2</sup> ≥0,91).

**Figura 51.** Relação entre os valores de precipitação e precipitação interna diários e acumulados observados e estimados pelos modelos RA (cinza) e GA (vermelho) para os períodos de calibração e validação.



Fonte: Autor (2021)

Pelos gráficos acima pode-se notar que as métricas quantitativas indicaram que o modelo GA teve melhor desempenho do que o modelo RA na escala diária, tanto para calibração (NSE = 0,92) quanto para validação (NSE = 0,94), com valores RMSE e NMPE mais baixos e apenas com valor MBE ligeiramente maior para a validação. Pela análise de escala de tempo quinzenal e mensal, ambos os modelos tiveram valores próximos de NSE, RMSE e MBE, com valores de NMPE mais baixos pelo modelo de Rutter do que pelo modelo de Gash. Os resultados quantitativos de todas as métricas analisadas são apresentados na Tabela 16.

**Tabela 16.** Métricas quantitativas das respostas e análise da performance dos modelos RA e GA para os processos de precipitação interna (Pi), infiltração (F), escoamento dos troncos (T), evaporação da serrapilheira (Ef), evaporação do dossel (Ec) e interceptação total (I) em escalas diária (D), quinzenal (Q) e mensal (M) para os períodos de calibração (Calib.) e validação (Valid.).

		Mode	elo de Ga	ash adap	tado (C	GA)	Modelo de Rutter adaptado (RA)					
Processo	Escala de tempo	Período	RMSE	MBE	NMPE	NSE	R²	RMSE	MBE	NMPE	NSE	R²
	( <b>t</b> )		(mm	.[ <b>t</b> ] <sup>-1</sup> )	(%)	(-)	(-)	(mm.	$[t]^{-1}$	(%)	(-)	(-)
	D	Calib.	1,26	+0,06	29	0,92	0,96	1,74	+0,12	37	0,85	0,91
	D	Valid.	2,05	+0,43	25	0,94	0,98	2,25	+0,36	29	0,92	0,94
р.	0	Calib.	14,24	-8,74	11	0,91	0,98	10,67	-4,78	10	0,91	0,98
Pi	Q	Valid.	9,93	+4,86	17	0,94	0,99	6,78	+2,97	11	0,97	0,98
		Calib.	14,87	+5,82	15	0,88	0,98	14,83	+7,06	13	0,89	0,98
	М	Valid.	20,85	+15,70	14	0,92	0,99	12,34	+7,97	8	0,97	0,99
		Calib.	1,87	-0,03	37	0,84	0,91	2,06	-0,08	45	0,81	0,85
	D	Valid.	3,30	+0,73	38	0,82	0,97	2,95	+0,43	36	0,86	0,93
		Calib.	10,12	+0,58	22	0,84	0,88	8,61	+0,03	22	0,85	0,88
F	Q	Valid.	17,71	+9,23	26	0,89	0,99	13,26	+5,73	19	0,94	0,98
		Calib.	11,99	-2,93	15	0,91	0,92	12,00	-4,16	15	0,91	0,92
	М	Valid.	27,05	+19,72	21	0,87	0,99	18,55	+11,96	13	0,94	0,99
	D	Calib.	0,02	-0,01	57	0,63	0,79	0,02	-0,01	52	0,64	0,82
		Valid.	0,04	-0,01	54	0,56	0,67	0,04	-0,01	57	0,42	0,48
T	0	Calib.	0,12	-0,07	56	0,46	0,53	0,08	-0,03	54	0,51	0,59
Т	Q	Valid.	0,21	-0,09	48	0,53	0,82	0,24	-0,10	52	0,41	0,70
	М	Calib.	0,22	-0,18	48	0,42	0,69	0,13	-0,06	45	0,48	0,73
		Valid.	0,26	-0,15	22	0,73	0,82	0,17	-0,15	23	0,70	0,78
	Л	Calib.	0,83	-0,06	140	-5,75	0,03	0,72	+0,00	108	-4,12	0,19
	D	Valid.	0,96	-0,05	154	-5,55	0,01	0,83	+0,04	118	-3,80	0,17
Ef	0	Calib.	3,34	-0,76	44	0,09	0,55	3,05	+0,02	42	0,25	0,66
	×	Valid.	4,58	-0,75	59	-0,63	0,29	3,46	+0,47	43	0,07	0,60
	М	Calib.	5,41	-1,78	34	0,42	0,67	5,20	+0,11	28	0,46	0,73
		Valid.	5,79	-1,58	41	0,43	0,58	4,25	+1,00	23	0,69	0,87
	D	Calib.	6,62	-1,56	72	0,20	0,44	6,88	-1,47	100	0,04	0,01
		Valid.	9,08	-2,31	73	0,14	0,54	9,59	-2,23	97	0,01	0,02
Ec	Q	Calib.	0,55	-0,00	27	0,72	0,04	4,70	-0,17	23	0,72	0,75
		Valid.	10,08	-4,99	39 25	0,39	0,87	10,51	-4,23	37	0,62	0,82
	М	Calib.	17,53	-9.65	25 26	0,74	0,74	13,50	+1,42	33 24	0,05	0,08
		Valid.	5.05	0.72	60	0,70	0,77	6.23	-0,10	110	0,02	0,01
	D		6.02	-0,72	56	0,30	0,40	7 30	-0,02	113	0.02	0,02
		Vallu.	8.02	-1.08	26	0,55	0,57	633	-0.14	27	0.80	0,01
Ι	Q	Valid	19.42	-10.80	42	0.60	0.92	20.26	-8.97	40	0.56	0.79
		Calib	10.08	+0.38	19	0,85	0,85	12.73	+1.99	25	0,77	0,78
	М	Valid.	28,10	-20,05	30	0,63	0,97	24,15	-13,12	23	0,73	0,89

Fonte: Autor (2021). (-) Adimensional

O desempenho dos modelos para estimar a evaporação do dossel em diferentes escalas de tempo foi analisado usando os valores de interceptação pelo dossel observados indiretamente a partir dos registros precipitação efetiva. Ambos os modelos sempre subestimaram a evaporação acumulada da copa, com subestimativas maiores pelo modelo RA (Figura 52). Durante a calibração, o modelo RA subestimou os valores de Ec total em -43% e o modelo GA em -23%. E durante o período de validação, os valores de Ec foram mais subestimados do que durante a calibração por ambos, com subestimativas de -42% e -56%, para os modelos GA e RA respectivamente. Na escala de tempo diária, ambos os modelos tiveram desempenhos ruins (NSE  $\leq 20$  e R<sup>2</sup>  $\leq 0,54$ ), mas com desempenho consideravelmente melhor para ambos se a análise for para valores agrupados em escalas quinzenais ou mensais, por exemplo, NSE entre 0,59 - 0,82 e R<sup>2</sup> entre 0,67 - 0,87.

**Figura 52.** Relação entre os valores de precipitação e interceptação pelo dossel diários e acumulados observados e estimados pelos modelos RA (cinza) e GA (vermelho) para os períodos de calibração e validação.



130

Fonte: Autor (2021).

Por meio da análise de cinco modelos principais de interceptação, Linhoss e Siegert (2016) apontaram que a capacidade de armazenamento da copa é um dos parâmetros mais importantes dos modelos, juntamente com a precipitação, radiação solar e duração do evento. Seus resultados também indicaram que o armazenamento na copa e a evaporação subsequente podem ser maiores do que os modelos de interceptação analisados por eles poderiam simular, como observado neste trabalho. Além disso, estudos que usaram diferentes abordagens encontraram maior armazenamento do dossel, como Friesen et al. (2008) (> 6 mm) e Iida et al. (2017) (até 7,2 mm), o que destaca os desafios relacionados à determinação empírica da capacidade de armazenamento do dossel.

Como foi observado maior número de eventos de alta intensidade de precipitação durante a validação, uma performance pior do que durante a calibração era esperada. Apesar das limitações de ambos os modelos RA e GA em modelar picos de interceptação, a adição de  $C_{c max}$  no modelo RA permitiu retardar o processo de drenagem e, assim, reter mais água no dossel durante a chuva. No entanto, devido aos baixos valores de  $E_p$  durante a chuva, ao alto valor de  $S_c$  e também ao fator de restrição de evaporação ( $E_p \cdot C_c/S_c$ ), o processo de evaporação demorou em geral mais de 2 dias para secar completamente o dossel. Por isso, o modelo RA não teve um bom desempenho em escala diária. Ao usar o fator de taxas médias ( $\overline{E}/\overline{R}$ ), o modelo GA reduziu os problemas mencionados de evaporação do dossel do modelo RA e teve melhor desempenho em escala diária.

Entretanto, diferentemente do modelo RA, o modelo GA não permite a simulação da recarga do armazenamento na copa. Além disso, as principais suposições do modelo GA, de que há apenas um evento por dia e que há tempo suficiente entre um evento e outro para que o processo de evaporação seque completamente as componentes de interceptação, podem levar a superestimações e valores irreais na escala de tempo diária.

#### 5.10.3 Escoamento dos troncos e interceptação dos troncos

Os modelos tiveram desempenho muito semelhante na estimativa de escoamento dos troncos para os períodos de calibração e validação (Figura 53). Ambos os modelos, GA e RA, subestimaram o escoamento dos troncos total para a calibração, em 1,69 mm (-49%) e 1,60 mm (-46%), respectivamente. Da mesma forma, para o período de validação, ambos os modelos subestimaram o volume total, -44% pelo modelo GA e -48% pelo modelo RA.



**Figura 53**. Valores acumulados de escoamento dos troncos (SF) observado e estimado, pelos modelos RA (cinza) e GA (vermelho), em escala diária para os períodos de calibração e validação.

Fonte: Autor (2021)

Apesar das subestimativas percentualmente altas, a diferença estimada é muito pequena em volume, isto é, menos de 2 mm. Deve-se mencionar que o volume total de *T* na validação foi maior (0,38% da precipitação) do que na calibração (0,33% da precipitação). Em relação ao *T* modelado, ambos os modelos tiveram desempenhos razoáveis na calibração e validação na escala de tempo mensal, com NSE  $\geq$  0,70. Na escala de tempo diária, os valores de NSE foram entre 0,42 - 0,64, com altos valores de NMPE ( $\geq$  52%). Comparando-os, o modelo RA teve um desempenho ligeiramente melhor para o período de calibração, enquanto o modelo GA teve para a validação.

Gonzalez-Ollauri et al. (2020) descobriram que o rendimento do fluxo de T está relacionado à estrutura da copa das árvores; também que troncos finos e pequenas copas podem aumentar não apenas o rendimento do fluxo de T, mas também o processo de afunilamento. Nas florestas do Cerrado, a vegetação é mais eficiente para capturar e canalizar a água da chuva

até a base de árvores menores com copas compactas; entretanto, as árvores do Cerrado não parecem estar adaptadas para direcionar grande quantidade (HONDA; MENDONÇA; DURIGAN, 2015). Em vez disso, as florestas do Cerrado usam outras estratégias de adaptação, como um sistema de raízes profundas (ANACHE et al., 2019; LEITE et al., 2018) e um forte controle de evaporação superficial correlacionado aos períodos sem folhas para otimizar seu uso de água (CABRAL et al., 2015; OISHI et al., 2010).

Particularmente nas áreas de Cerrado, a área basal parece ser o parâmetro mais relacionado ao escoamento do tronco (HONDA; DURIGAN, 2016) enquanto que a profundidade do lençol freático e as propriedades do solo têm forte efeito na estrutura lenhosa dessas florestas (DURIGAN; RATTER, 2006; HONDA; DURIGAN, 2016; OLIVEIRA et al., 2017). Considerando o efeito da intensidade das chuvas na produção de *T*, estudos como o de Dunkerley (2014) em campo, que analisem esse efeito em relação à estrutura lenhosa e área basal poderiam esclarecer como esse processo ocorre ao longo do gradiente fisionômico sucessional do Cerrado.

A evaporação total do tronco foi responsável por menos de 5 mm para os períodos de calibração e validação. Como não há valores de campo observados para comparar ou avaliar o desempenho dos modelos, e os valores são bastante insignificantes em relação ao total de precipitação, não é possível discutir com mais detalhes esses resultados. Apesar disso, a evaporação do tronco foi considerada para a análise de interceptação total.

## 5.10.4 Infiltração e evaporação da serrapilheira

A infiltração foi subestimada por ambos os modelos durante a calibração e superestimada durante a validação (Figura 54). Como para os modelos os resultados de infiltração não são independentes, as estimativas de precipitação interna do modelo afetam as estimativas de infiltração e, por conseguinte, a interceptação da serrapilheira.

Durante o período de calibração, o modelo RA estimou -56,27 mm menos do que o observado (-5%), enquanto o modelo GA subestimou -25,35 mm (-2%). Os resultados durante a validação foram mais discrepantes entre os modelos, com maior superestimativa pelo modelo GA (+24%, igual a 182,29 mm) do que pelo modelo RA (+14%, igual a 109,61 mm).

Ambos os modelos tiveram um bom desempenho na escala diária, com NSE  $\geq$  0,81 e RMSE  $\leq$  3,30 mm.dia<sup>-1</sup>. No entanto, em escalas de análise quinzenais e mensais, o modelo RA teve um desempenho melhor do que o GA, principalmente durante o período de validação.



**Figura 54.** Relação entre os valores de precipitação e infiltração diários observados e estimados pelos modelos RA (cinza) e GA (vermelho) e os valores acumulados para os períodos de calibração e validação.

Essas superestimativas durante a validação podem ser parcialmente explicadas pela superestimação da precipitação interna modelada durante a validação. Apesar desses valores superestimados, ambos os modelos tiveram um bom desempenho, mesmo quando analisados em escala diária (NSE  $\geq$  0,82).

Em relação a evaporação pela serrapilheira, o modelo RA apresentou estimativas de totais melhores que o modelo GA durante a calibração, +2,74 mm (+1%) e -42,87 mm (-14%), e validação, +9,78 mm (+8%) e -13,47 mm (-12%), respectivamente. As superestimativas de precipitação interna durante a validação poderiam explicar parcialmente a maior superestimativa pelo modelo RA e a menor da subestimação pelo modelo GA (Figura 55).

Fonte: Autor (2021)





Fonte: Autor (2021)

Ambos os modelos tiveram desempenhos ruins em escala diária, mas em escala mensal ambos tiveram desempenhos consideravelmente melhores, sendo o modelo RA o que resultou em melhores estimativas, ou seja, valores das métricas MAE, RMSE, MBE e NMPE menores. Apesar de que na escala quinzenal os valores estimados ainda não terem apresentado uma boa correlação com os valores observados, ao menos o modelo RA apresentou melhor correlação e tendência mais nítida ( $R^2 \ge 0,60$ ).

Devido ao fator de taxa média de evaporação  $(\overline{E}/\overline{R})$ , o modelo GA pôde simular valores maiores do que o modelo RA durante a chuva. No modelo RA a evaporação do dossel e do tronco são priorizadas em relação à evaporação da serrapilheira, pois o potencial de evaporação abaixo do dossel é menor do que acima, devido às diferentes condições climáticas próximas ao sub-bosque (COENDERS-GERRITS; SCHILPEROORT; JIMÉNEZ-RODRÍGUEZ, 2020; JIMÉNEZ-RODRÍGUEZ et al., 2020). Além disso, o solo e o dossel da floresta diferem na estrutura física, disponibilidade de recursos e condições bióticas (STAN et al., 2017; YANOVIAK; KASPARI, 2000), o que implica em diferentes fluxos de energia e água. Portanto, a modelagem da evaporação da copa durante a chuva foi dominante sobre a evaporação da serrapilheira, o que causou *delay* para o início deste último processo nos eventos. Na Figura 56 é possível ver essa diferença na evaporação pela serrapilheira simulada pelos modelos em escala diária de eventos.

**Figura 56.** Valores diários observados de precipitação e de evaporação pela serrapilheira e os valores estimados pelos modelos RA e GA entre 09 a 29 de agosto de 2017.



Embora o modelo GA pudesse simular maior evaporação pela serrapilheira durante a chuva, o principal problema reside na premissa do modelo de que há tempo suficiente entre os eventos para secar completamente a serrapilheira e a copa. Apesar dessa suposição não ser um grande problema para a evaporação da copa, a qual deve levar apenas algumas horas (GERRITS; PFISTER; SAVENIJE, 2010; KLAMERUS-IWAN et al., 2020; RUTTER; MORTON, 1977), é um problema para evaporação pela serrapilheira, já que observou-se que o processo leva mais do que apenas um dia, sendo mais provável a evaporação completa durante a estação seca.

O  $S_f$  estimado para a área de estudo, 1,8 mm, está na faixa dos valores da Literatura (0,6 - 8,0 mm) (COENDERS-GERRITS; SCHILPEROORT; JIMÉNEZ-RODRÍGUEZ, 2020;

KLAMERUS-IWAN et al., 2020), bem como também o  $C_{c max}$  médio observado (5,2 mm). A evaporação diária máxima observada foi de 2,0 mm.dia<sup>-1</sup>, enquanto os valores máximos modelados foram 4,0 mm.dia<sup>-1</sup> e 5,5 mm.dia<sup>-1</sup> para os modelos RA e GA, respectivamente.

Outros estudos mediram diretamente a evaporação da serrapilheira (GERRITS et al., 2007; SCHAAP; BOUTEN; VERSTRATEN, 1997; TSIKO et al., 2012), ou indiretamente por meio de diferentes abordagens (BULCOCK; JEWITT, 2012a; PARK; FRIESEN; SERRUD, 2010; PITMAN, 1989; PUTUHENA; CORDERY, 1996; YANG et al., 2018). Até onde se sabe, não há outro estudo no Brasil com medidas diretas de evaporação da serrapilheira.

Neto et al. (2012) aplicaram o modelo de Rutter a uma plantação de eucaliptos no Brasil e estimaram a interceptação da serrapilheira usando o modelo de tanque (*Tank Model*). Os autores encontraram baixo valor de interceptação da serrapilheira observada e modelada, 2,1% e 2,4% da precipitação, respectivamente. Embora também em uma região tropical, os valores não são comparáveis devido à diferente composição da serrapilheira e diferentes abordagens de medição. No entanto, é possível comparar os valores estimados com as estimativas de interceptação feitas com base nos resultados de ensaios em laboratório com a serrapilheira da área de estudo (ROSALEM; ANACHE; WENDLAND, 2018), em que foram obtidos valores de Cmax e Cmin (o último conceitual semelhante a  $S_f$ ). Comparando os resultados, a evaporação da serrapilheira a partir dos ensaios em laboratório foi ligeiramente subestimada, isto é, seria em média 8,5% da precipitação, enquanto o monitoramento indicou 10,7% da precipitação anual.

### 5.10.5 Interceptação total

A interceptação total foi obtida pela diferença entre a precipitação e a infiltração mais o escoamento dos troncos, enquanto a interceptação modelada correspondeu à soma das evaporações da copa, do tronco e da serrapilheira. Para a calibração, a interceptação total correspondeu a 39% da precipitação, e o modelo RA superestimou a interceptação total em + 4%, enquanto o modelo GA subestimou em -5%. Para o período de validação, a interceptação observada correspondeu a 41% da precipitação total, e ambos os modelos subestimaram a interceptação total, -39% (-210,52 mm) pelo modelo GA e -31% (-166,67 mm) pelo modelo RA (Figura 57). Como no período de validação a precipitação interna e a infiltração foram superestimadas pelos modelos, era esperado que a interceptação total apresenta-se valores subestimados. Na Tabela 17 são apresentados os erros percentuais e totais entre os observados e os estimados para esse e os demais processos modelados.



**Figura 57.** Valores acumulados de interceptação total observada e estimadas pelos modelos RA e GA para os períodos de calibração e validação.

Fonte: Autor (2021)

Os resultados em escala mensal e quinzenal indicam que a interceptação modelada total teve um erro médio normalizado alto (19 - 42%), o que inclui também os erros da modelagem relacionados as diferentes componentes de interceptação. Ambos os modelos tiveram razoável desempenho em escala mensal ( $0,63 \le NSE \ge 0,85$ ) sendo que o modelo GA teve um desempenho ligeiramente melhor para a calibração. Todavia, o modelo RA apresentou melhor desempenho na validação, confirmado pelo maior valor de NSE e os menores valores de RMSE, NMPE e MBE.

A interceptação total da serrapilheira tem um impacto significativo no processo de interceptação total do Cerrado *s.s.*. Para essa floresta, esse processo correspondeu a 36% e 21% da interceptação total, nos períodos de calibração e validação, respectivamente. Esta diferença percentual pode ser explicada pelo curto período de validação, que não incluiu uma estação

seca inteira, quando é mais provável que a serrapilheira seque completamente e a estação de perda de folhas aconteça, aumentando o percentual relativo da interceptação da serrapilheira na interceptação total.

**Tabela 17.** Valores acumulados dos processos de precipitação interna (Pi), infiltração (F), escoamento dos troncos (T), evaporação da serrapilheira (Ef), evaporação do dossel (Ec) e interceptação total (I) observados e modelados através dos modelos RA e GA para os períodos de calibração e validação.

Processo	Período	Modelo d adaptado	le Gash o (GA)	Modelo de Rutter adaptado (RA)			
		Erro (mm)	Erro (%)	Erro (mm)	Erro (%)		
Di	Calibração	-5,42	-0,7	+10,40	+1,3		
11	Validação	+103,50	+17,3	+68,74	+11,5		
F	Calibração	-25,35	-2,4	-56,27	-5,4		
ľ	Validação	+182,29	+24,1	+109,61	+14,5		
т	Calibração	-1,69	-48,9	-1,60	-46,5		
I	Validação	-1,77	-44,6	-1,91	-47,9		
Ff	Calibração	-42,87	-14,2	+2,74	+0,9		
E	Validação	-13,47	-11,7	+9,78	+8,5		
Fe	Calibração	-83,63	-22,8	-158,70	-43,4		
EC	Validação	-115,94	-42,5	-153,01	-56,1		
т	Calibração	-34,05	-5,2	+29,90	+4,5		
1	Validação	-210,52	-39,3	-166,67	-31,1		

Fonte: Autor (2021)

A maioria dos estudos de interceptação em florestas tem enfoque na interceptação do dossel e tronco, uma vez que a interceptação da serrapilheira é mais difícil de ser monitorada. Assim, não há resultados de interceptação total em florestas tropicais, que incluam a interceptação da serrapilheira e que poderiam ser comparados diretamente aos encontrados neste estudo. Além disso, mesmo para um mesmo tipo de floresta, poderiam ser obtidos valores diferentes para a interceptação total (IZIDIO et al., 2013; JUNQUEIRA JUNIOR et al., 2019; MEDEIROS; DE ARAÚJO, 2009; SÁ; CHAFFE; OLIVEIRA, 2015; SARI; PAIVA; PAIVA, 2015). Isso pode ocorrer devido à diferentes condições meteorológicas, por exemplo frequência de distribuição, duração e intensidade das chuvas (BRASIL et al., 2018; GERRITS; PFISTER; SAVENIJE, 2010; IIDA et al., 2017), devido à estrutura da vegetação (JIMÉNEZ-RODRÍGUEZ et al., 2020) e suas mudanças sazonais (FATHIZADEH et al., 2020; HAKIMI et al., 2018; SADEGHI et al., 2015, 2018), as quais a amostragem está sujeita.

Os modelos de Gash e Rutter são amplamente aplicados para florestas em todo o mundo, com relativo sucesso para prever a interceptação (dossel e troncos) (CUI; JIA, 2014; MUZYLO et al., 2009; PRASAD GHIMIRE et al., 2017; RINGGAARD; HERBST; FRIBORG, 2014; SADEGHI et al., 2015). No entanto, como apontado por Linhoss e Siegert (2020), existem poucos estudos que comparam o desempenho desses modelos e analisam a precisão das estimativas em escala de evento; os que o fazem, indicam maiores erros e pobre relação entre valores estimados e observados.

Os resultados sugerem que os modelos não puderam modelar os eventos de maior interceptação em escala diária. O modelo GA apresentou uma relação razoável na escala diária ( $R^2$  de calibração = 0,48 e  $R^2$  de validação = 0,57), ao contrário do modelo RA (valores de  $R^2$  menores que 0,03). No entanto, deve-se notar que a interceptação total observada na escala diária não leva em consideração o tempo de residência dos diferentes processos incluídos, como anteriormente comentado sobre a interceptação da serrapilheira.

Independentemente dos problemas com os dados do monitoramento, o modelo RA atingiu em média valores de interceptação diária maiores (1,36 mm.dia<sup>-1</sup>) do que o GA (1,23 mm.dia<sup>-1</sup>) (Figura 58). No entanto, enquanto o modelo RA apresentou valores diários abaixo da evaporação potencial máxima, o modelo GA chegou a estimar evaporação da interceptação de até 12,05 mm para um dia. Isso pode ter ocorrido com o modelo GA porque a modelagem da evaporação considera a taxa de evaporação igual para todos os reservatórios. Isso não correspondeu a um problema para o modelo de Gash original em escala diária devido aos valores geralmente mais baixos de evaporação do tronco. Entretanto, para esta versão adaptada, ao incluir o reservatório da serrapilheira, o efeito da interrelação das diferentes componentes de interceptação sobre a evaporação potencial deveria ser levada em consideração na modelagem.

Embora a evaporação das diferentes componentes de interceptação seja concomitante (independentemente de suas diferentes taxas), devido à menor evaporação potencial durante o evento de precipitação e ao grande  $S_c$  obtido, os processos de evaporação no modelo RA foram quase dissociados. O tempo mais longo para secar o dossel causou um atraso considerável no início da evaporação da serrapilheira. Para 43% (138 dias) dos eventos, a precipitação ocorreu durante a noite, o que implica em menores valores de evaporação potencial, contribuindo para a má previsão diária pelo modelo adaptado. Apesar disso, se considerarmos todos os eventos diários sem a separação entre período de calibração e validação, o modelo RA previu melhor a interceptação total acumulada com subestimação de apenas 136,77 mm (-11% da interceptação
total), enquanto o modelo GA subestimou em -244,57 mm (-20%). A Figura 59 mostra os valores acumulados de interceptação total dos modelos e os observados, excluindo-se os períodos de falhas.

**Figura 58.** Boxplots dos valores diários observados e estimados pelos modelos RA e GA de interceptação total e os valores diários estimados de evaporação potencial nos períodos de calibração e validação.



**Figura 59.** Valores acumulados observados e modelados pelos modelos GA e RA de interceptação total para todos os eventos da série.



Fonte: Autor (2021)

## 5.10.6 Sazonalidade

Para investigar a variabilidade dos processos de interceptação ao longo das estações, foram aplicados os modelos adaptados utilizando parâmetros sazonais (Tabela 18) obtidos similarmente aos parâmetros gerais com base nos dados de cada estação. Os parâmetros Ds, b, Is, f, e  $C_{fmax}$  foram mantidos iguais. De mesmo modo o parâmetro  $C_{cmax}$  foi mantido, sendo um adicional constante de 3,8 mm ao  $S_c$ . Devido aos poucos dias de chuva durante o inverno, foi pequeno o número de eventos que satisfizeram as condições para serem incluídos nesta análise. Assim, os valores de  $S_c$ ,  $S_f$  e p não puderam ser determinados para o inverno. Como as estações de outono e inverno representam o período seco na região, os valores do outono foram mantidos para a estação de inverno.

**Tabela 18.** Parâmetros sazonais e o número total de eventos diários usados para a determinação destes parâmetros.

Parâmetro	Verão	Outono	Inverno	Primavera	
Sc (mm)	2,9	2,0	2,0*	2,5	
p (-)	0,35	0,52	0,52*	0,45	
Sf (mm)	2,0	2,0	2,0	1,8	
pf (-)	0,30	0,40	0,65	0,50	
St (mm)	0,020	0,030	0,023	0,010	
pt (-)	0,003	0,002	0,003	0,002	
N° de eventos	47	20	8	33	

Fonte: Autor (2021). \*Valor do Outono

O valor  $S_c$  para o inverno inferior ao das outras estações era esperado, uma vez que o Cerrado *s.s.* tem pico de queda de folhas marcadamente sazonal na estação seca (que inclui inverno) (ALBERTON et al., 2019; CAMARGO et al., 2018). Por outro lado, pelo mesmo motivo, o inverno  $S_f$  era maior que os demais  $S_f$ . No entanto, devido aos poucos dias chuvosos e à baixa intensidade de chuva observada durante o inverno (apenas 11% dos eventos e 7% do volume de chuva para todo o conjunto de dados ocorreu durante o inverno), o  $S_f$  estimado se refere mais à água retida observada do que a capacidade estática máxima da serrapilheira para armazenar água.

Os resultados da modelagem indicam que o modelo GA teve pior desempenho quando os coeficientes sazonais foram usados, *i.e.* para todos os processos, exceto para a modelagem de *T* e *Ef*, os erros totais foram sempre maiores do que para a modelagem com os coeficientes gerais, tanto para a calibração quanto para a validação (Tabela 19). Os erros percentuais nas estimativas de Ef reduziram significativamente para a calibração, redução na subestimativa de

-14,2% para -2%, e para validação, com redução de -11,7% de subestimativa para menos de +1%. Apesar dessa melhora na estimativa dos totais, o desempenho na modelagem desse processo em escala mensal foi também bastante reduzido, com redução do NSE de 0,42 para 0,21 e 0,43 para 0,38, na calibração e validação, respectivamente.

Já para o modelo RA, o uso dos coeficientes sazonais contribuiu para as melhores estimativas totais durante a calibração da *Pi* (erro de +1,3% para menos de +1%), de *F* (erro de -5,4% para -2%) e de *I* (erro de +4,5% para menos de +1%). Para esses três processos, houve aumento do erro nas estimativas totais para o período de validação, mas com aumento  $\leq 3\%$  de erro. Reduções maiores de erro foram observadas nas estimativas de totais de Ec, tanto para a calibração (erro de -43,4% para -15%, correspondendo a uma diferença de 103,83 mm) quanto para a validação (erro de -56,1% para -40%, que corresponde a uma diferença de 43,24 mm).

Diferentemente do modelo GA, as estimativas do modelo RA de totais de *T* (calibração e validação) e *Ef* apresentaram erros percentuais maiores do que quando obtidas com os coeficientes gerais. Entretanto, o aumento de erro nas estimativas totais de *Ef* para os período de calibração e validação foram também  $\leq 3\%$  de acréscimo.

O modelo RA apresentou tendências semelhantes quanto ao acúmulo de valores independentemente dos coeficientes usados. Já o modelo GA apresentou mudanças de subestimativas para superestimativas de totais para os processos de Pi e F durante a calibração, e para Ef durante a validação. Em geral, os valores de NSE não tiveram grandes mudanças, exceto no modelo RA para o processo T em ambos os períodos e Ef na calibração, e no modelo GA para os processos Ef e Ec na calibração e Ec e I na validação.

O desempenho dos modelos RA e GA analisados em escala mensal para todo o conjunto de dados (Tabela 20), ou seja, sem dividi-lo em períodos de calibração e validação, revela que os coeficientes sazonais não causaram diferenças consideráveis para o modelo RA. Entretanto, a modelagem da interceptação total mensal pelo modelo GA foi pior com os coeficientes sazonais.

			Modelo de	Gash adapt	ado				Modelo de I	<b>Rutter adapt</b>	ado		
Processo	Periodo	Erro	RMSE	MBE	NMPE	NSE	$\mathbb{R}^2$	Erro	RMSE	MBE	NMPE	NSE	$\mathbb{R}^2$
		(wm) (%)	(mm/mês)	(mm/mês)	(%)	-	$\widehat{}$	(%) (uuu)	(mm/mês)	(mm/mês)	(%)	-	-
ä	Calibração	+83,58 (11%)	20,42	+10,30	19	0,78	0,98	+29,44 (0%)	16,05	+8,10	14	0,87	0,98
L	Validação	+149,70 (25%)	27,49	+22,13	19	0,85	0,99	+82,22 (14%)	15,31	+10,38	6	0,96	0,98
ĥ	Calibração	+75,24 (7%)	12,33	+1,71	14	0,91	0,93	-28,00 (2%)	11,12	-2,57	13	0,92	0,93
4	Validação	+229,65 (30%)	32,99	+25,16	26	0,83	0,99	+125,50(16%)	19,72	+13,60	15	0,94	0,99
ŀ	Calibração	-1,60 (46%)	0,21	-0,18	46	0,47	0,75	-1,92 (55%)	0,15	-0,08	55	0,22	0,48
-	Validação	-1,57 (39%)	0,22	-0,11	21	0, 81	0,84	-2,31(58%)	0,28	-0,24	29	0,50	0,78
Ъ£	Calibração	-5,29 (2%)	6,34	-0,22	37	0,21	0,63	+12,99 (4%)	5,92	+0,54	31	0,31	0,71
121	Validação	+0,14~(0%)	6,02	-0,06	41	0,38	0,60	+10,68 (9%)	4,63	$^{+1,10}$	26	0,63	0,87
с Ц	Calibração	-130,16 (35%)	14,26	+4,56	25	0,61	0,65	-54,87 (15%)	13,65	+0,34	31	0,64	0,66
DI	Validação	-158,92 (58%)	23,87	-16,34	37	0,46	0,75	-109,77 (40%)	15,82	-8,54	25	0,76	0,79
F	Calibração	-132,17 (20%)	11,72	-4,50	19	0, 81	0,84	+1,53 (0%)	11,86	+0,54	22	0,80	0,81
-	Validação	-256,35(48%)	33,92	-25,66	38	0,46	0,96	-184,07 (34%)	24,12	-15,30	25	0,71	0,90
Fonte: Auto	r (2021). (–) Ad	imenssional											

Tabela 19. Métricas quantitativas e análise de desempenho de estimativas mensais pelos modelos RA e GA com parâmetros sazonais durante os períodos de calibração (C) e validação (V).

Modelo	Coeficientes	RMSE (mm.mês <sup>-1</sup> )	MBE (mm.mês <sup>-1</sup> )	NMPE (%)	NSE (-)
Cost along to de (CA)	Sazonais	21,19	-11,01	33	0,66
Gash adaptado (GA)	Gerais	17,70	-5,91	29	0,76
$\mathbf{D}_{\mathbf{r}}$	Sazonais	17,08	-4,33	28	0,78
Rutter adaptado (KA)	Gerais	17,08	-2,65	29	0,78

**Tabela 20.** Métricas quantitativas da interceptação total mensal estimada pelos modelos RA e GA para a série completa de dados usando coeficientes sazonais e gerais.

Fonte: Autor (2021). (-) Adimensional

Os resultados de ambos os modelos quando analisados por estações (Tabela 21) confirmam que o modelo GA teve pior desempenho (isto é, valores mais baixos de NSE) quando são aplicados os coeficientes sazonais. No entanto, o modelo RA teve desempenho semelhante, com valores de NSE e R<sup>2</sup> pouco maiores no inverno e na primavera, e valores de NSE pouco menores no verão e no outono. O que se observa por esses resultados é que a modelagem do processo de interceptação total teve desempenho ruim no verão, independentemente dos coeficientes usados, e desempenho apenas razoável (NSE  $\leq$  0,74) nas demais estações.

Modelo	Casficiantes	Ve	Verão		Outono		Inverno		Primavera	
	Coefficientes	R²	NSE	R <sup>2</sup>	NSE	R <sup>2</sup>	NSE	R <sup>2</sup>	NSE	
Gash adaptado	Sazonais	0,68	0,09	0,99	0,52	0,74	0,66	0,73	0,37	
	Gerais	0,72	0,31	0,99	0,74	0,71	0,71	0,72	0,61	
Rutter adaptado	Sazonais	0,59	0,33	0,97	0,69	0,71	0,69	0,74	0,73	
	Gerais	0,59	0,34	0,97	0,72	0,68	0,60	0,72	0,72	

**Tabela 21.** Resultados de NSE e R<sup>2</sup> do processo de interceptação total mensal pelos modelos RA e GA para cada estação usando sazonais e gerais.

Fonte: Autor (2021). Coeficientes adimensionais.

A evaporação pela serrapilheira e a interceptação total modeladas pelo modelo RA tiveram valores muito próximos entre as estimativas com coeficientes sazonais e gerais (Figura 60). As estimativas pelo modelo GA foram bem diferentes, sendo as estimativas com os coeficientes sazonais melhores para a evaporação pela serrapilheira e piores para a interceptação total. No trabalho de Bulcock e Jewitt (2012b) foi aplicada uma modificação do modelo de Gash para a modelagem da interceptação da copa e da serrapilheira para florestas de Acácia, Pinus e Eucalipto e, comparativamente, os erros relativos da modelagem da interceptação pela serrapilheira para florestas de sertapilheira para florestas de modelagem a modelagem da interceptação pela serrapilheira foram entre 10,7 a 18,8%, enquanto que neste trabalho as estimativas para esse processo resultaram em erros relativos de no máximo 14,2%,

independentemente do modelo, se período de calibração ou validação ou dos coeficientes usados.

**Figura 60.** Valores acumulados de interceptação total e evaporação pela serrapilheira estimadas pelos modelos RA e GA com coeficientes gerais e sazonais para todo o período de estudo.



Considerando que a modelagem da interceptação total inclui os erros na modelagem dos processos de interceptação nas diferentes componentes, as estimativas pelos modelos GA com coeficientes gerais e RA com os coeficientes gerais ou sazonais produziram estimativas totais razoáveis, isto é, com erros relativos  $\leq 20\%$ . Apesar do resultado do modelo RA com coeficientes gerais ter apresentado menor erro relativo (11% de subestimação) do que com os sazonais (15% de subestimação), deve-se notar a significativa melhora que foi obtida nas estimativas de interceptação pela copa.

## 6 CONCLUSÕES

A interceptação pela vegetação é uma função direta da precipitação total, mas não exclusiva. Fatores bióticos e abióticos interferem nesse processo, como intensidade, duração e distribuição da chuva, tamanho e formato das superfícies de interceptação, afetando diretamente as capacidades de armazenamento. Desse modo, este é um processo hidrológico com variabilidade tanto temporal quanto espacial, sendo um processo significativo no balanço hídrico em florestas.

Por isso, neste trabalho o processo de interceptação em uma floresta de Cerrado *s.s.* foi monitorado, incluindo não apenas a interceptação pela vegetação (dossel e troncos), mas também a interceptação pela serrapilheira na área de estudo. O monitoramento foi realizado entre junho de 2017 e fevereiro de 2020, sendo monitorados diretamente os processos de precipitação, precipitação interna, escoamento dos troncos, armazenamento e evaporação de água pela serrapilheira, evaporação do solo e infiltração; além de variáveis meteorológicas tais como velocidade do vento, umidade relativa e temperatura acima do dossel e na serrapilheira. Não apenas através de medições automáticas, o monitoramento dos troncos, dados que auxiliaram na verificação e validação do dados do monitoramento automático a cada 10 min. Além disso, durante um ano foi realizado o monitoramento mensal da produção de serrapilheira local, através de 37 coletores dispostos em 9 transectos.

A fim de entender melhor a dinâmica e a sazonalidade dos processos de interceptação, foram aplicados dois modelos de interceptação, modelo de Rutter e modelo de Gash, adaptados neste trabalho para incluir o processo de interceptação pela serrapilheira. As respostas sazonais dos modelos foram analisadas a partir dos resultados do uso de coeficientes para cada estação do ano, obtidos com base nos dados observados.

A partir do monitoramento foram observados 3824 mm de precipitação, em 319 eventos diários. A precipitação interna, infiltração e escoamento dos troncos corresponderam a 72%, 60% e < 1% da precipitação, respectivamente. As diferenças observadas em algumas variáveis meteorológicas apontam que a vegetação do Cerrado *s.s.* tem efeito sobre tais variáveis, como por exemplo pelas diferenças observadas na velocidade dos ventos e umidade relativa entre as estações IAB 1 e IAB 2. O saldo diário de radiação solar na área é predominantemente positivo, sendo que em todo o período de monitoramento em apenas em 4 dias foram observados saldos negativos, nos quais o fluxo de calor do solo teve grande contribuição relativa. Saldos diários

positivos de fluxo de calor da camada mais superficial do solo ocorreram em apenas 30% do período de monitoramento e com maior frequência durante a primavera, enquanto que os maiores saldos negativos foram observados no outono.

Essas distintas respostas de saldo de fluxos de calor predominantes na primavera e outono, podem ter sido influenciadas pela quantidade de serrapilheira acima do solo, uma vez que o monitoramento da produção de serrapilheira na área indicou pico de produção entre os meses de agosto e setembro e menor produção durante o outono. Como resultado a produção média mensal foi de 0,065 ( $\pm$ 0,030) kg.m<sup>-2</sup>, correspondendo ao total de 7,810 ton.ha<sup>-1</sup>.ano<sup>-1</sup>. Dentre os diversos materiais que compõem a serrapilheira, das frações analisadas a fração de folhas inteiras correspondeu em média ao maior percentual, 36% ( $\pm$ 8%), seguido pela fração de folhas predadas, 30% ( $\pm$ 8%), miscelânea 19% ( $\pm$ 7%) e galhos 15% ( $\pm$ 7%).

A análise de interceptação de orvalho pela serrapilheira indicou que apesar de ocorrer, essa interceptação corresponde a um volume muito pequeno, cerca de 0,4% do total de precipitação nos dois anos analisados. Entretanto, por corresponder em média a 4,6% da interceptação anual pela serrapilheira, este representa um processo importante para a obtenção de medidas mais acuradas.

Os resultados do monitoramento mostraram que o processo de interceptação corresponde a cerca de 40% da precipitação total, sendo cerca de 28% desse percentual interceptado pela vegetação e em média 12% pela serrapilheira. Assim, com percentual maior do que o estimado, a hipótese de que o processo de interceptação é significativo para o balanço hídrico do Cerrado *s.s.* foi confirmada, bem como que esse processo apresenta variações sazonais, observadas tanto para a interceptação do dossel quanto pela serrapilheira. O mesmo se deu com a hipótese secundária de que a interceptação pela serrapilheira é um processo importante, correspondendo um percentual maior do que os 10% da precipitação estimados.

O monitoramento a partir dos mini lisímetros teve que ser desconsiderado, devido a pequena série de dados e por serem apenas 2 equipamentos impossibilitou a verificação dos valores de evaporação. Sendo assim, não foi possível estimar a evaporação total na área, sendo recomendado futuramente, além da instalação de mais alguns mini lisímetros, o monitoramento do volume drenado desses equipamento, para fins de verificação por balanço e separação dos processos de drenagem e evaporação.

A modelagem dos processos de interceptação através dos modelos de Rutter e de Gash adaptados apresentaram bom desempenho em escala diária apenas para os processos de precipitação interna e infiltração, com resultados um pouco melhores pelo modelo RA. A simulação do processo de interceptação pela serrapilheira apresentou desempenho apenas razoável em escala mensal (NSE  $\leq 0,69$ ), mas com erros relativos baixos pelos modelos, entre 0,9% e 8,5% pelo modelo RA. As piores estimativas foram referentes ao processo de interceptação da copa para ambos os modelos, com erros relativos entre 23% e 56%. As estimativas de interceptação total foram muito melhores para o período de calibração por ambos os modelos, com performance um pouco melhor pelo modelo GA. Entretanto, os modelos RA e GA tiveram piores estimativas no período de validação, com valores de NSE de 0,73 e 0,63, e erros totais relativos de 31% e 39%, respectivamente.

Ao aplicar valores sazonais ao coeficientes dos modelos, estes apresentaram respostas distintas. O uso de tais coeficientes não causou alterações grandes nas respostas dos processos pelo modelo RA, exceto para a interceptação da copa para a qual foram obtidas melhores estimativas e melhor performance em escala mensal. Já o modelo GA apresentou piores estimativas para os processos simulados, exceto para o processo de interceptação pela serrapilheira para o qual, apesar de estimativas totais melhores, apresentou performance pior do que quando os coeficientes gerais são aplicados. De maneira geral, independentemente de coeficientes gerais ou sazonais, ambos os modelos apontaram para baixa eficiência na simulação da interceptação total durante o verão. Além disso, pelas diferentes performances dentre os períodos de calibração e validação, há o indicativo de que os modelos de interceptação apresentam maiores limitações para simular adequadamente eventos de maiores intensidades de precipitação.

Além disso, os resultados sugerem que a evaporação durante a chuva deve ser maior do que as estimativas usadas no modelo RA, o que causou às vezes períodos de residência hidráulica mais longos na copa (mais de um dia). Assim, um melhor entendimento dos fluxos de energia durante eventos de precipitação, como os controles sobre o fluxo de calor descendente e advecção horizontal local (VAN DIJK et al., 2015), considerando também a estrutura da vegetação, *e.g.* fluxos de energia sobre e sob o dossel (JIMÉNEZ-RODRÍGUEZ et al., 2020), podem ser úteis para melhorar a modelagem da evaporação.

No geral, os modelos adaptados se mostraram ferramentas válidas para a modelagem e estudo dos processos de interceptação em áreas florestais como as áreas de Cerrado *s.s.*. Ambos os modelos são adequados para estimar a interceptação total em escala mensal e podem ser usados para análises interanuais, mas para diferenças sazonais no Cerrado *s.s.* o modelo RA se mostrou mais apropriado. Não obstante, como estudos mostraram que transições fenológicas vegetativas no Cerrado *s.s.* não seguem estritamente as estações do ano (ALBERTON et al., 2019; CAMARGO et al., 2018), em futuras aplicações de modelagem seria interessante levar esse fato em consideração.

## REFERÊNCIAS

ACHARYA, B. S.; STEBLER, E.; ZOU, C. B. Monitoring litter interception of rainfall using leaf wetness sensor under controlled and field conditions. Hydrological Processes, v. 31, n. 1, p. 240–249, 2017.

ACHARYA, S.; MCLAUGHLIN, D.; KAPLAN, D; COHEN, M. J. A proposed method for estimating interception from near-surface soil moisture response. Hydrology and Earth System Sciences, v. 24, n. 4, p. 1859–1870, 15 abr. 2020.

AGUILOS, M.; STAHL, C.; BURBAN, B.; HÉRAULT, B.; COURTOIS, E.; COSTE, S.; WAGNER, F.; ZIEGLER, C.; TAKAGI, K.; BONAL, D. et al. Interannual and Seasonal Variations in Ecosystem Transpiration and Water Use Efficiency in a Tropical Rainforest. Forests, v. 10, n. 1, p. 14, jan. 2019.

ALBERTON, B.; SILVA TORRES, R.; ROCHA, H. R.; MOURA, M. S.B.; MORELLATO, L. P. C. Leafing Patterns and Drivers across Seasonally Dry Tropical Communities. Remote Sensing, v. 11, n. 19, p. 2267, jan. 2019.

ALLEN, S. T.; AUBREY, D. P.; BADER, M. Y. COENDERS-GERRITS, M.; FRIESEN, J.; GUTMANN, E. D.; GUILLEMETTE, F.; JIMÉNEZ-RODRÍGUEZ, C.; KEIM, R. F.; KLAMERUS-IWAN, A.; MENDIETA-LEVIA, G.; PORADA, P.; QUALLS, R. G.; SCHILPEROORT, B.; STUBBINS, A.; VAN STAN II, J. T.; Key Questions on the Evaporation and Transport of Intercepted Precipitation. In: VAN STAN, I., John T.; GUTMANN, E.; FRIESEN, J. (Eds.). Precipitation Partitioning by Vegetation: A Global Synthesis. Cham: Springer International Publishing, 2020. p. 269–280.

ALTHOFF, D.; RODRIGUES, L. N.; DA SILVA, D. D. Impacts of climate change on the evaporation and availability of water in small reservoirs in the Brazilian savannah. Climatic Change, v. 159, n. 2, p. 215–232, 1 mar. 2020.

ALVES, R. Avaliação da precipitação efetiva de um fragmento de Mata Atlântica em diferentes estágios de regeneração no município de Viçosa, MG. Ambiente e Agua - An Interdisciplinary Journal of Applied Science, v. 2, n. 1, p. 83–93, 31 abr. 2007.

ANACHE, J. A. A.; WENDLAND, E.; ROSALEM, L. M. P.; YOULTON, C.; OLIVEIRA, P. T. S. Hydrological trade-offs due to different land covers and land uses in the Brazilian Cerrado. Hydrology and Earth System Sciences, v. 23, n. 3, p. 1263–1279, 7 mar. 2019.

ANDREASEN, M. et al. Examining the canopy interception at a forest field site using cosmicray neutron detection. v. 2017, p. H41D-1481, 1 dez. 2017.

APARECIDO, L. M. T. et al. Comparison of tree transpiration under wet and dry canopy conditions in a Costa Rican premontane tropical forest. Hydrological Processes, v. 30, n. 26, p. 5000–5011, 2016.

ASTUTI, H. P.; SURYATMOJO, H. Water in the forest: rain-vegetation interaction to estimate canopy interception in a tropical borneo rainforest. IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, v. 361, p. 012035, dez. 2019.

AUBREY, D. P. Relevance of Precipitation Partitioning to the Tree Water and Nutrient Balance. In: VAN STAN, I., John T.; GUTMANN, E.; FRIESEN, J. (Eds.). . Precipitation Partitioning by Vegetation: A Global Synthesis. Cham: Springer International Publishing, 2020. p. 147–162.

AYDIN, M.; GÜNEŞ ŞEN, S.; CELIK, S. Throughfall, stemflow, and interception characteristics of coniferous forest ecosystems in the western black sea region of Turkey (Daday example). Environmental Monitoring and Assessment, v. 190, n. 5, p. 316, 30 abr. 2018.

BESSI, D.; DIAS, H. C. T.; TONELLO, K. C. RAINFALL PARTITIONING IN FRAGMENTS OF CERRADO VEGETATION AT DIFFERENT STAGES OF CONDUCTION OF NATURAL REGENERATION. Revista Árvore, v. 42, 18 out. 2018.

BINKS, O.; FINNIGAN, J.; COUGHLIN, I.; DISNEY, M.; CALDERS, K.; BURT, A.; VACARI, M. B.; DA COSTA, A. L.; MENCUCCINI, M.; MEIR, P. Canopy wetness in the Eastern Amazon. Agricultural and Forest Meteorology, v. 297, p. 108250, 15 fev. 2021.

BLYTH, E.; HARDING, R. J. Methods to separate observed global evapotranspiration into the interception, transpiration and soil surface evaporation components. Hydrological Processes, v. 25, n. 26, p. 4063–4068, 2011.

BRASIL, J. B.; ANDRADE, E. M.; PALÁCIO, H. A. Q.; MEDEIROS, P. H. A.; SANTOS, J. C. N. Characteristics of precipitation and the process of interception in a seasonally dry tropical forest. Journal of Hydrology: Regional Studies, v. 19, p. 307–317, 1 out. 2018.

BRASIL, J. B.; ANDRADE, E. M.; PALÁCIO, H. A.Q.; SANTOS, J. C. V.; MEDEIROS, P.H.A. Temporal variability of throughfall as a function of the canopy development stage: from seasonal to intra-event scale. Hydrological Sciences Journal, v. 65, n. 10, p. 1640–1651, 26 jul. 2020.

BRASIL, L. S. et al. Efeito de borda sobre a camada de serapilheira em área de cerradão no leste de Mato Grosso. Biotemas, v. 26, n. 3, p. 37–47, 16 abr. 2013.

BRÜNDL, M. et al. Measuring branch deflection of spruce branches caused by intercepted snow load. Hydrological Processes, p. 2357–2369, 1999.

BULCOCK, H. H.; JEWITT, G. P. W. Field data collection and analysis of canopy and litter interception in commercial forest plantations in the KwaZulu-Natal Midlands, South Africa. Hydrology and Earth System Sciences, v. 16, n. 10, p. 3717–3728, 19 out. 2012a.

BULCOCK, H. H.; JEWITT, G. P. W. Modelling canopy and litter interception in commercial forest plantations in South Africa using the Variable Storage Gash model and idealised drying curves. Hydrology and Earth System Sciences, v. 16, n. 12, p. 4693–4705, 18 dez. 2012b.

CABRAL, O. M. R.; ROCHA, H. R.; GASH, J. H.; FREITAS, H. C.; LIGO, M. A. V.Water and energy fluxes from a woodland savanna (cerrado) in southeast Brazil. Journal of Hydrology: Regional Studies, v. 4, p. 22–40, 1 set. 2015.

CALDER, I. R. A stochastic model of rainfall interception. Journal of Hydrology, v. 89, n. 1, p. 65–71, 15 dez. 1986.

CALDER, I. R. Dependence of rainfall interception on drop size: 1. Development of the twolayer stochastic model. Journal of Hydrology, v. 185, n. 1, p. 363–378, 1 nov. 1996.

CALDER, I. R.; HALL, R. L.; ROSIER, P. T. W.; BASTABLE, H. G.; PRASANNA, K. T. Dependence of rainfall interception on drop size: 2. Experimental determination of the wetting functions and two-layer stochastic model parameters for five tropical tree species. Journal of Hydrology, v. 185, n. 1, p. 379–388, 1 nov. 1996.

CALUX, J.; THOMAZ, E. L. INTERCEPTAÇÃO E PRECIPITAÇÃO INTERNA: COMPARAÇÃO ENTRE FLORESTA OMBRÓFILA MISTA E Pinus elliottii var. elliotti? Geoambiente On-line, n. 19, p. 01-16 pág., 2012.

CAMARGO, M. G. G.; CARVALHO, G. H.; ALBERTON, B. C.; REYS, P.; MORELLATO, L. P. C.. Leafing patterns and leaf exchange strategies of a cerrado woody community. Biotropica, v. 50, n. 3, p. 442–454, 2018.

CAMARGO, M. G. G.; SOUZA, R. M.; REYS, P.; MORELLATO, L. P. C. Effects of environmental conditions associated to the cardinal orientation on the reproductive phenology of the cerrado savanna tree Xylopia aromatica (Annonaceae). Anais da Academia Brasileira de Ciências, v. 83, n. 3, p. 1007–1020, set. 2011.

CAMPOS, E. H.; ALVEZ, R. R.; SERATO, D. S.; FILISBINO, J.; RODRIGUES, S. C. ACÚMULO DE SERRAPILHEIRA EM FRAGMENTOS DE MATA MESOFÃ?TICA E CERRADO STRICTO SENSO EM UBERLÂNDIA-MG / The accumulation of organic material under different natural vegetation in Uberlândia - MG. Sociedade & Natureza, v. 20, n. 1, 14 ago. 2008.

CARLYLE-MOSES, D. E.; PRICE, A. G. Modelling canopy interception loss from a Madrean pine-oak stand, northeastern Mexico. Hydrological Processes, v. 21, n. 19, p. 2572–2580, 2007.

CARVALHO, F.; ASSUNÇÃO, H. F. DA; SCOPEL, I. PARTIÇÃO PLUVIOMÉTRICA EM FITOFISIONOMIAS DO CERRADO (partition rainfall in the savanna vegetation types). Mercator, v. 12, n. 27, p. 135 a 147–135 147, 11 abr. 2013.

CARVALHO, H. DE P.; MELO, B.; ATARASSI, R. T.; CAMARGO, R.; SILVA, C. R.; MORAES, M. R. B. Desenvolvimento de lisímetros de pesagem na cultura do café. Bioscience Journal, v. 29, n. 6, 10 set. 2013.

CHAFFE, P. L. B. Monitoramento e modelagem do processo chuva-vazão de uma pequena bacia florestal com ênfase em interceptação. Florianópolis: UFSC, 2009.

CIANCIARUSO, M. V.; PIRES, J. S. R.; DELITTI, W. B. C.; SILVA, E. F. L. P.. Produção de serapilheira e decomposição do material foliar em um cerradão na Estação Ecológica de Jataí, município de Luiz Antônio, SP, Brasil. Acta Botanica Brasilica, v. 20, n. 1, p. 49–59, mar. 2006.

COENDERS-GERRITS, M.; SCHILPEROORT, B.; JIMÉNEZ-RODRÍGUEZ, C. Evaporative Processes on Vegetation: An Inside Look. In: VAN STAN, I., John T.; GUTMANN, E.; FRIESEN, J. (Eds.). Precipitation Partitioning by Vegetation: A Global Synthesis. Cham: Springer International Publishing, 2020. p. 35–48.

CONDIT, R.; HUBBELL, S. P.; FOSTER, R. B. Assessing the Response of Plant Functional Types to Climatic Change in Tropical Forests. Journal of Vegetation Science, v. 7, n. 3, p. 405–416, 1996.

COSTA, A. N.; BARTIMACHI, A.; VASCONCELOS, H. L.; BRUNA, E. M.; VIEIRA-NETO, E. Hm. Annual litter production in a Brazilian Cerrado woodland savanna. Southern Forests: a Journal of Forest Science, v. 82, n. 1, p. 65–69, 2 jan. 2020.

COUTINHO, L. M. O conceito de cerrado. Revista Brasileira de Botânica, v. 1, p. 17-23, 1978.

COLLISCHONN, W.; DORNELLES, F. Hidrologia para engenharia e ciências ambientais --Porto Alegre : 2<sup>a</sup> Edição revisada e ampliada, Associação Brasileira de Recursos, Hídricos (ABRH), 2015. 336p. ISBN: 978-85-88686-34-2

CROCKFORD, R. H.; RICHARDSON, D. P. Partitioning of rainfall into throughfall, stemflow and interception: effect of forest type, ground cover and climate. Hydrological Processes, v. 14, n. 16–17, p. 2903–2920, 2000.

CUARTAS, L. A.; TOMASELLA, J. NOBRE, A. D.; HODNETT, M.G.; WATERLOO, M. J.; MÚNERA, J. C. Interception water-partitioning dynamics for a pristine rainforest in Central Amazonia: Marked differences between normal and dry years. Agricultural and Forest Meteorology, v. 145, n. 1, p. 69–83, 9 jul. 2007.

CUI, Y.; ZHAO, P.; YAN, B.; XIE, H.; YU, P.; WAN, W.; FAN, W.; HONG, Y. Developing the Remote Sensing-Gash Analytical Model for Estimating Vegetation Rainfall Interception at Very High Resolution: A Case Study in the Heihe River Basin. Remote Sensing, v. 9, n. 7, p. 661, jul. 2017.

CUI, Y.; JIA, L. A Modified Gash Model for Estimating Rainfall Interception Loss of Forest Using Remote Sensing Observations at Regional Scale. Water, v. 6, n. 4, p. 993–1012, abr. 2014.

CZIKOWSKY, M. J.; FITZJARRALD, D. R. Detecting rainfall interception in an Amazonian rain forest with eddy flux measurements. Journal of Hydrology, v. 377, n. 1, p. 92–105, 20 out. 2009.

DAAMEN, C. C.;. Use of microlysimeters to measure evaporation from sandy soils. Agricultural and Forest Meteorology, v. 65, n. 3, p. 159–173, 1 ago. 1993.

DAVIES-BARNARD, T.; VALDES, P.J.; JONES, C. D.; SINGARAYER, J. S. Sensitivity of a coupled climate model to canopy interception capacity. Climate Dynamics, v. 42, n. 7, p. 1715–1732, 1 abr. 2014.

DE GÊNOVA, K. B.; HONDA, E. A.; DURIGAN, G. PROCESSOS HIDROLÓGICOS EM DIFERENTES MODELOS DE PLANTIO DE RESTAURAÇÃO DE MATA CILIAR EM REGIÃO DE CERRADO. São Paulo, v. 19, n. 2, p. 12, 2007.

DE QUEIROZ, M. G.; DA SILVA, T. G. F.; ZOLNIER, S.; DE SOUZA, C. A. A.; DE SOUZA, L. S. B.; DO NASCIMENTO ARAÚJO, G.; JARDIM, A. M. R. F.; DE MOURA, M. S. B. Partitioning of rainfall in a seasonal dry tropical forest. Ecohydrology & Hydrobiology, v. 20, n. 2, p. 230–242, 1 abr. 2020.

DELPHIS F. LEVIA, JR.; WUBBENA, N. P. Vertical Variation of Bark Water Storage Capacity of Pinus strobus L. (Eastern White Pine) in Southern Illinois. Northeastern Naturalist, v. 13, n. 1, p. 131–137, 2006.

DERECZYNSKI, C.; CHAN CHOU, S.; LYRA, A.; SONDERMANN, M.; REGOTO, P.; TAVARES, P.; CHAGAS, D.; GOMES, J. L.; RODRIGUES, D. C.; SKANSI, M. M. Downscaling of climate extremes over South America – Part I: Model evaluation in the reference climate. Weather and Climate Extremes, v. 29, p. 100273, 1 set. 2020.

DINGMAN, S. L. Physical Hydrology. 3. ed. Long Grove, Illinois: Waveland Press Inc., 2015.

DOBROVOLSKI, R.; LOYOLA, R. D.; MARCO JÚNIOR, P.; DINIZ-FILHO, J. A. F. Agricultural Expansion Can Menace Brazilian Protected Areas During the 21st Century. Natureza & Conservação, v. 9, n. 2, p. 208–213, 2011.

DODONOV, P.; BRAGA, A. L.; HARPER, K. A., MATOS, D. M. S. Edge influence on plant litter biomass in forest and savanna in the Brazilian cerrado. Austral Ecology, v. 42, n. 2, p. 187–197, 2017.

DOMÍNGUEZ, C. G.; PRYET, A.; GARCÍA VERA, M.; GONZALEZ, A.; CHAUMONT, C.; TOURNEBIZE, J.; VILLACIS, M.; D'OZOUVILLE, N.; VIOLETTE, S. Comparison of deep percolation rates below contrasting land covers with a joint canopy and soil model. Journal of Hydrology, v. 532, p. 65–79, 1 jan. 2016.

DON, A.; KALBITZ, K. Amounts and degradability of dissolved organic carbon from foliar litter at different decomposition stages. Soil Biology and Biochemistry, v. 37, n. 12, p. 2171–2179, 1 dez. 2005.

DOS SANTOS, R. M.; KOIDE, S.; TÁVORA, B. E.; ARAÚJO, D. L. Groundwater Recharge in the Cerrado Biome, Brazil—A Multi-Method Study at Experimental Watershed Scale. Water, v. 13, n. 1, p. 20, jan. 2021.

DU, J.; NIU, J.; GAO, Z.; CHEN, X.; ZHANG, L.; LI, X.; VAN DOORN, N. S.; LUO, Z.; ZHU, Z. Effects of rainfall intensity and slope on interception and precipitation partitioning by forest litter layer. CATENA, v. 172, p. 711–718, 1 jan. 2019.

DUNKERLEY, D. Identifying individual rain events from pluviograph records: a review with analysis of data from an Australian dryland site. Hydrological Processes, v. 22, n. 26, p. 5024–5036, 2008.

DUNKERLEY, D. Stemflow on the woody parts of plants: dependence on rainfall intensity and event profile from laboratory simulations. Hydrological Processes, v. 28, n. 22, p. 5469–5482, 2014.

DUNKERLEY, D. Intra-event intermittency of rainfall: an analysis of the metrics of rain and no-rain periods. Hydrological Processes, v. 29, n. 15, p. 3294–3305, 2015a.

DUNKERLEY, D. Percolation through leaf litter: What happens during rainfall events of varying intensity? Journal of Hydrology, v. 525, p. 737–746, 1 jun. 2015b.

DUNKERLEY, D. L. Evaporation of impact water droplets in interception processes: Historical precedence of the hypothesis and a brief literature overview. Journal of Hydrology, v. 376, n. 3, p. 599–604, 15 out. 2009.

DURIGAN, G. Zero-fire: Not possible nor desirable in the Cerrado of Brazil. Flora, v. 268, p. 151612, 1 jul. 2020.

DURIGAN, G.; RATTER, J. A. SUCCESSIONAL CHANGES IN CERRADO AND CERRADO/FOREST ECOTONAL VEGETATION IN WESTERN SÃO PAULO STATE, BRAZIL, 1962–2000. Edinburgh Journal of Botany, v. 63, n. 1, p. 119–130, mar. 2006.

EAMUS, D.; PRIOR, L. Ecophysiology of trees of seasonally dry tropics: Comparisons among phenologies. In: Advances in Ecological Research. [s.l.] Elsevier, 2001. v. 32p. 113–197.

FARIA, R. T. DE; CAMPECHE, F. DE S. M.; CHIBANA, E. Y. Construção e calibração de lisímetros de alta precisão. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, v. 10, p. 237–242, mar. 2006.

FATHIZADEH, O.; SADEGHI, S. M. M.; HOLDER, C. D.; SU, L. Leaf Phenology Drives Spatio-Temporal Patterns of Throughfall under a Single Quercus castaneifolia C.A.Mey. Forests, v. 11, n. 6, p. 688, jun. 2020.

FERREIRA RODRIGUES, A.; ROGÉRIO DE MELLO, C.; NEHREN, U.; RIBEIRO, J. P. C.; MANTOVANI, V. A.; MELLO, J. M. Modeling canopy interception under drought conditions: The relevance of evaporation and extra sources of energy. Journal of Environmental Management, v. 292, p. 112710, 15 ago. 2021.

FERREIRA, S. J. F.; LUIZÃO, F. J.; DALLAROSA, R. L. G. Precipitação interna e interceptação da chuva em floresta de terra firme submetida à extração seletiva de madeira na Amazônia Central. Acta Amazonica, v. 35, n. 1, p. 55–62, 2005.

FERRETO, D. O. C.; REICHERT, J. M.; CAVALCANTE, R. B. L.; SRINIVASAN, R. Rainfall partitioning in young clonal plantations Eucalyptus species in a subtropical environment, and implications for water and forest management. International Soil and Water Conservation Research, v. 9, n. 3, p. 474–484, 1 set. 2021.

FILOSO, S.; BEZERRA, M. O.; WEISS, K. C. B.; PALMER, M. A. Impacts of forest restoration on water yield: A systematic review. PLOS ONE, v. 12, n. 8, p. e0183210, 17 ago. 2017.

FONTANA, R. B. Identifying and assessing vegetation behaviour in riparian zones at large scale in the Brazilian Savannah. 2020.

FRANZ, T. E.; ZREDA, M.; ROSOLEM, R.; HORNBUCKLE, B. K.; IRVIN, S. L.; ADAMS, H.; KOLB, T. E.; ZWECK, C.; SHUTTLEWORTH, W. J. Ecosystem-scale measurements of biomass water using cosmic ray neutrons. Geophysical Research Letters, v. 40, n. 15, p. 3929–3933, 2013.

FREITAS, J. R. DE. Diversidade funcional e funcionamento da comunidade : teste em uma área de cerrado. 3 mar. 2011.

FRIESEN, J.; BEEK, C. VAN, SELKER, J.; SAVENIJE, H. H. G.; GIESEN, N. VAN DE. Tree rainfall interception measured by stem compression. Water Resources Research, v. 44, n. 4, 2008.

FRIESEN, J. Flow Pathways of Throughfall and Stemflow Through the Subsurface. In: VAN STAN, I., John T.; GUTMANN, E.; FRIESEN, J. (Eds.). Precipitation Partitioning by Vegetation: A Global Synthesis. Cham: Springer International Publishing, 2020. p. 215–228.

FRIESEN, J.; LUNDQUIST, J.; STAN, J. T. V. Evolution of forest precipitation water storage measurement methods. Hydrological Processes, v. 29, n. 11, p. 2504–2520, 2015.

GARDON, F. R.; TOLEDO, R. M.; BRENTAN, B. M.; SANTOS, R. F. Rainfall interception and plant community in young forest restorations. Ecological Indicators, v. 109, p. 105779, 1 fev. 2020.

GASH, J. H. C. An analytical model of rainfall interception by forests. Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society, v. 105, n. 443, p. 43–55, 1979.

GASH, J. H. C.; LLOYD, C. R.; LACHAUD, G. Estimating sparse forest rainfall interception with an analytical model. Journal of Hydrology, v. 170, n. 1, p. 79–86, 1 ago. 1995.

GASH, J. H. C.; MORTON, A. J. An application of the Rutter model to the estimation of the interception loss from Thetford Forest. Journal of Hydrology, v. 38, n. 1, p. 49–58, 1 jul. 1978.

GEDDES, N.; DUNKERLEY, D. The influence of organic litter on the erosive effects of raindrops and of gravity drops released from desert shrubs. CATENA, v. 36, n. 4, p. 303–313, 1 ago. 1999.

GERLEIN-SAFDI, C.; KOOHAFKAN, M. C.; CHUNG, M.; ROCKWELL, F. E.; THOMPSON, S.; CAYLOR, K. K. Dew deposition suppresses transpiration and carbon uptake in leaves. Agricultural and Forest Meteorology, v. 259, p. 305–316, 15 set. 2018.

GERMER, S.; ELSENBEER, H.; MORAES, J. M. Throughfall and temporal trends of rainfall redistribution in an open tropical rainforest, south-western Amazonia (Rondônia, Brazil). Hydrology and Earth System Sciences, v. 10, n. 3, p. 383–393, 2 jun. 2006.

GERRITS, A. M. J.; SAVENIJE, H. H. G.; HOFFMANN, L.; PFISTER, L. New technique to measure forest floor interception – an application in a beech forest in Luxembourg. Hydrology and Earth System Sciences, v. 11, n. 2, p. 695–701, 17 jan. 2007.

GERRITS, A. M. J. The role of interception in the hydrological cycle. The Netherlands: TU Delft, 2010.

GERRITS, A. M. J.; PFISTER, L.; SAVENIJE, H. H. G. Spatial and temporal variability of canopy and forest floor interception in a beech forest. Hydrological Processes, v. 24, n. 21, p. 3011–3025, 2010.

GIGLIO, J.; KOBIYAMA, M. Interceptação da Chuva: Uma Revisão com Ênfase no Monitoramento em Florestas Brasileiras. Revista Brasileira de Recursos Hídricos, v. 18, n. 2, p. 297–317, 2013.

GOLDSTEIN, G.; MEINZER, F. C.; BUCCI, S. J.; SCHOLZ, F. G.; FRANCO, A. C.; HOFFMANN, W. A. Water economy of Neotropical savanna trees: six paradigms revisited. Tree Physiology, v. 28, n. 3, p. 395–404, 1 mar. 2008.

GONZALEZ-OLLAURI, A.; STOKES, A.; MICKOVSKI, S. B. A novel framework to study the effect of tree architectural traits on stemflow yield and its consequences for soil-water dynamics. Journal of Hydrology, v. 582, p. 124448, 1 mar. 2020.

GRELLE, A.; LUNDBERG, A.; LINDROTH, A.; MORÉN, A. S.; CIENCIALA, E. Evaporation components of a boreal forest: variations during the growing season. Journal of Hydrology, v. 197, n. 1, p. 70–87, 1 out. 1997.

GROEN, M. M. DE; SAVENIJE, H. H. G. A monthly interception equation based on the statistical characteristics of daily rainfall. Water Resources Research, v. 42, n. 12, 2006.

GUEVARA-ESCOBAR, A.; GONZALEZ-SOSA, E.; RAMOS-SALINAS, M.; HERNANDEZ-DELGADO, G. D. Experimental analysis of drainage and water storage of litter layers. Hydrology and Earth System Sciences, v. 11, n. 5, p. 1703–1716, 25 out. 2007.

GUEVARA-ESCOBAR, A.; CERVANTES-JIMÉNEZ, M.; SUZÁN-AZPIRI, H.; GONZÁLEZ-SOSA, E.; HERNÁNDEZ-SANDOVAL, L.; MALDA-BARRERA, G.; MARTÍNEZ-DÍAZ, M. Fog interception by Ball moss (Tillandsia recurvata). Hydrology and Earth System Sciences, v. 15, n. 8, p. 2509–2518, 12 ago. 2011.

GUGLIELMETTI, M.; SCHWANK, M.; MATZLER, C.; OBERDORSTER, C.; VANDERBORGHT, J.; FLUHLER, H. Measured microwave radiative transfer properties of a deciduous forest canopy. Remote Sensing of Environment, v. 4, n. 109, p. 523–532, 2007.

GUPTA, H. V.; KLING, H.; YILMAZ, K. K.; MARTINEZ, G. F. Decomposition of the mean squared error and NSE performance criteria: Implications for improving hydrological modelling. Journal of Hydrology, v. 377, n. 1, p. 80–91, 20 out. 2009.

HAKIMI, L.; SADEGHI, S. M. M.; VAN STAN, J. T.; PYPKER, T. G.; KHOSROPOUR, E. Management of pomegranate (Punica granatum) orchards alters the supply and pathway of rain water reaching soils in an arid agricultural landscape. Agriculture, Ecosystems & Environment, v. 259, p. 77–85, 1 maio 2018.

HANCOCK, N. H.; CROWTHER, J. M. A technique for the direct measurement of water storage on a forest canopy. Journal of Hydrology, v. 41, n. 1, p. 105–122, 1 abr. 1979.

HASHINO, M.; YAO, H.; YOSHIDA, H. Studies and evaluations on interception processes during rainfall based on a tank model. Journal of Hydrology, v. 255, n. 1, p. 1–11, 2 jan. 2002.

HASSAN, S. M. T.; GHIMIRE, C. P.; LUBCZYNSKI, M. W. Remote sensing upscaling of interception loss from isolated oaks: Sardon catchment case study, Spain. Journal of Hydrology, v. 555, p. 489–505, 1 dez. 2017.

HELVEY, J. D. Rainfall Interception by Hardwood Forest Litter in the Southern Appalachians. Res. Pap. SE-8. Asheville, NC: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Southeastern Forest Experiment Station. 11 p., v. 008, 1964. HONDA, E. A.; DURIGAN, G. Woody encroachment and its consequences on hydrological processes in the savannah. Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences, v. 371, n. 1703, p. 20150313, 19 set. 2016.

HONDA, E. A.; MENDONÇA, A. H.; DURIGAN, G. Factors affecting the stemflow of trees in the Brazilian Cerrado. Ecohydrology, v. 8, n. 7, p. 1351–1362, 2015.

HORTON, R. E. RAINFALL INTERCEPTION. Monthly Weather Review, v. 47, n. 9, p. 603–623, 1 set. 1919.

HUANG, Y. S.; CHEN, S. S.; LIN, T. P. Continuous monitoring of water loading of trees and canopy rainfall interception using the strain gauge method. Journal of Hydrology, v. 311, n. 1–4, p. 1–7, set. 2005.

HUNKE, P.; MUELLER, E. N.; SCHRODER, B.; ZEILHOFER, P. The Brazilian Cerrado: assessment of water and soil degradation in catchments under intensive agricultural use. Ecohydrology, v. 8, n. 6, p. 1154–1180, set. 2015.

II, J. T. V. S.; J. M. T.; JR DELPHIS, F. L.; FRIESEN, J. Instrumental method for reducing error in compression-derived measurements of rainfall interception for individual trees. Hydrological Sciences Journal, v. 56, n. 6, p. 1061–1066, 1 ago. 2011.

IIDA, S.; LEVIA, D. F.; SHIMIZU, A.; SHIMIZU, T.; TAMAI, K.; NOBUHIRO, T.; KABEYA, N.; NOGUCHI, S.; SAWANO, S.; ARAKI, M. Intrastorm scale rainfall interception dynamics in a mature coniferous forest stand. Journal of Hydrology, v. 548, p. 770–783, 1 maio 2017.

IZIDIO, N. S. DE C.; PALÁCIO, H. A. Q.; ANDRADE, E. M.; NETO, J. R. A.; BATISTA, A. A. Interceptação da chuva pela vegetação da caatinga em microbacia no semiárido cearense. REVISTA AGRO@MBIENTE ON-LINE, v. 7, n. 1, p. 44–52, 2 maio 2013.

JIMÉNEZ-RODRÍGUEZ, C. D.; COENDERS-GERRITS, M.; WENNINGER, J.; GONZALEZ-ANGARITA, A.; SAVENIJE, H. Contribution of understory evaporation in a tropical wet forest during the dry season. Hydrology and Earth System Sciences, v. 24, n. 4, p. 2179–2206, 30 abr. 2020.

JOCHER, G.; MARSHALL, J. NILSSON, M. B.; LINDER, S.; SIMON, G.; HORNLUND, T.; LUNDMARK, T.; NASHOLM, T.; LOFVENIUS, M. O.; TARVAINEN, L.; WALLIN, G.; PEICHL; M. Impact of Canopy Decoupling and Subcanopy Advection on the Annual Carbon Balance of a Boreal Scots Pine Forest as Derived From Eddy Covariance. Journal of Geophysical Research: Biogeosciences, v. 123, n. 2, p. 303–325, 2018. JOHNSON, M. S.; LEHMANN, J. Double-funneling of trees: Stemflow and root-induced preferential flow. Écoscience, v. 13, n. 3, p. 324–333, 1 jan. 2006.

JUNQUEIRA JÚNIOR, J. A. Monitoramento e modelagem da interceptação da precipitação e da umidade do solo em fragmento de Mata Atlântica. 30 jun. 2016.

JUNQUEIRA JUNIOR, J. A.; MELLO, J. M.; SCOLFORO, H. F.; BESKOW, S.; MCCARTER, J. Rainfall partitioning measurement and rainfall interception modelling in a tropical semi-deciduous Atlantic forest remnant. Agricultural and Forest Meteorology, v. 275, p. 170–183, 15 set. 2019.

KABELA, E. D.; HORNBUCKLE, B. K.; COSH, M. H.; ANDERSON, M. C.; GLEASON, M. L. Dew frequency, duration, amount, and distribution in corn and soybean during SMEX05. Agricultural and Forest Meteorology, v. 149, n. 1, p. 11–24, 4 jan. 2009.

KEIM, R. F.; LINK, T. E. Linked spatial variability of throughfall amount and intensity during rainfall in a coniferous forest. Agricultural and Forest Meteorology, v. 248, p. 15–21, 15 jan. 2018.

KEIM, R. F.; SKAUGSET, A. E.; WEILER, M. Storage of water on vegetation under simulated rainfall of varying intensity. Advances in Water Resources, v. 29, n. 7, p. 974–986, 1 jul. 2006.

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, p. 352–364, 20 ago. 2006.

KERMAVNAR, J.; VILHAR, U. Canopy precipitation interception in urban forests in relation to stand structure. Urban Ecosystems, v. 20, n. 6, p. 1373–1387, 1 dez. 2017.

KISS, K. A. Z.; KALIC, P.; CSÁFORDI, P.; GRIBOVSZKI, Z. Forest Litter Interception Model for a Sessile Oak Forest. Acta Silvatica et Lignaria Hungarica, v. 10, n. 1, p. 91–101, 12 set. 2014.

KLAASSEN, W.; BOSVELD, F.; DE WATER, E. Water storage and evaporation as constituents of rainfall interception. Journal of Hydrology, v. 212–213, p. 36–50, 1 dez. 1998.

KLAMERUS-IWAN, A.; LINK, T. E.; KLEIM, R. F.; VAN STAN II, J. T. Storage and Routing of Precipitation Through Canopies. In: VAN STAN, I., John T.; GUTMANN, E.; FRIESEN, J. (Eds.). . Precipitation Partitioning by Vegetation: A Global Synthesis. Cham: Springer International Publishing, 2020. p. 17–34. KLAMERUS-IWAN, A.; BŁOŃSKA, E. Canopy storage capacity and wettability of leaves and needles: The effect of water temperature changes. Journal of Hydrology, v. 559, p. 534–540, 1 abr. 2018.

KLOS, P. Z.; CHAIN-GUADARRAMA; A.; LINK, TThroughfall heterogeneity in tropical forested landscapes as a focal mechanism for deep percolation. Journal of Hydrology, v. 519, p. 2180–2188, 27 nov. 2014.

KÖLLI, R. Dynamics of annual falling debris decomposition and forest floor accumulation. Applied Soil Ecology, HUMUSICA 3 - Reviews, Applications, Tools. v. 123, p. 447–450, 1 fev. 2018.

LEITE, M. B.; XAVIER, R. O.; OLIVEIRA, P.T.S.; SILVA, F. K. G.; MATOS, D. M. S. Groundwater depth as a constraint on the woody cover in a Neotropical Savanna. Plant and Soil, v. 426, n. 1, p. 1–15, 1 maio 2018.

LEMES, L.; DE ANDRADE, A. F. A.; LOYOLA, R. Spatial priorities for agricultural development in the Brazilian Cerrado: may economy and conservation coexist? Biodiversity and Conservation, v. 29, n. 5, p. 1683–1700, 1 abr. 2020.

LEVIA, D. F.; CREED, I. F.; HANNAH, D. M.; NANKO, K.; BOYER, E. W.; CARLYLE-MOSES, D. E.; VAN DE GIESEN, N.; GRASSO, D.; GUSWA, A. J.; HUDSON, J. E.; HUDSON, S. A.; IIDA, S.; JACKSON, R. B.; KATUL, G. G.; KUMAGAI, T.; LLORENS, P.; RIBEIRO, F. L.; PATAKI, D. E.; PETERS, C. A.; CARRETERO, D. S.; SELKER, J. S.; TETZLAFF, D.; ZALEWSKI, M.; BRUEN, M. Homogenization of the terrestrial water cycle. Nature Geoscience, v. 13, n. 10, p. 656–658, out. 2020.

LI, Q.; LEE, Y. E.; IM, S. Characterizing the Interception Capacity of Floor Litter with Rainfall Simulation Experiments. Water, v. 12, n. 11, p. 3145, nov. 2020.

LI, X.; XIAO, Q.; NIU, J.; DYMOND, S.; VAN DOORN, N. S.; YU, X.; XIE, B.; LV, X.; ZHANG, K.; LI, J. Process-based rainfall interception by small trees in Northern China: The effect of rainfall traits and crown structure characteristics. Agricultural and Forest Meteorology, v. 218–219, p. 65–73, mar. 2016.

LI, X.; XIAO, Q.; NIU, J.; DYMOND, S.; MCPHERSON, E. G.; DOORN, N.; YU, X.; XIE, B.; ZHANG, K.; LI, J. Rainfall interception by tree crown and leaf litter: An interactive process. Hydrological Processes, v. 31, n. 20, p. 3533–3542, 2017.

LI, X.; NIU, J.; XIE, B. Study on Hydrological Functions of Litter Layers in North China. PLOS ONE, v. 8, n. 7, p. e70328, 30 jul. 2013.

LILIENFEIN, J.; WILCKE, W. Water and element input into native, agri- and silvicultural ecosystems of the Brazilian savanna. Biogeochemistry, v. 67, p. 183–212, 2004.

LIMA, W. P.; NICOLIELO, N. PRECIPITAÇÃO EFETIVA E INTERCEPTAÇÃO EM FLORESTAS DE PINHEIROS TROPICAIS E EM RESERVA DE CERRADÃO. IPEF, n. 24, p. 43–46, 1983.

LINHOSS, A. C.; SIEGERT, C. M. A comparison of five forest interception models using global sensitivity and uncertainty analysis. Journal of Hydrology, v. 538, p. 109–116, 1 jul. 2016.

LINHOSS, A. C.; SIEGERT, C. M. Calibration reveals limitations in modeling rainfall interception at the storm scale. Journal of Hydrology, v. 584, p. 124624, 1 maio 2020.

LIU, J. A theoretical model of the process of rainfall interception in forest canopy. Ecological Modelling, v. 42, n. 2, p. 111–123, 1 ago. 1988.

LIU, L.; LIU, J. A rainfall interception model for inhomogeneous forest canopy. Frontiers of Forestry in China, v. 3, n. 1, p. 50–57, 1 mar. 2008.

LIU, S. A new model for the prediction of rainfall interception in forest canopies. Ecological Modelling, v. 99, n. 2–3, p. 151–159, jun. 1997.

LIU, S. Estimation of rainfall storage capacity in the canopies of cypress wetlands and slash pine uplands in North-Central Florida. Journal of Hydrology, v. 207, n. 1, p. 32–41, 5 jun. 1998.

LIU, S. Evaluation of the Liu model for predicting rainfall interception in forests world-wide. Hydrological Processes, v. 15, n. 12, p. 2341–2360, 2001.

LIU, W.; LUO, Q.; LU, H.; WU, J.; DUAN, W. The effect of litter layer on controlling surface runoff and erosion in rubber plantations on tropical mountain slopes, SW China. CATENA, v. 149, p. 167–175, 1 fev. 2017.

LLORENS, P.; GALLART, F. A simplified method for forest water storage capacity measurement. Journal of Hydrology, v. 240, n. 1, p. 131–144, 31 dez. 2000.

LLOYD, C. R.; GASH, J. H. C.; SHUTTLEWORTH, W. J. The measurement and modelling of rainfall interception by Amazonian rain forest. Agricultural and Forest Meteorology, v. 43, p. 277–294, 1988.

LOPES, D. DE C.; NETO, A. J. S.; QUEIROZ, M. G.; SOUZA, L. S. B.; ZOLNIER, S.; SILVA, T.G.F. Sparse Gash model applied to seasonal dry tropical forest. Journal of Hydrology, v. 590, p. 125497, 1 nov. 2020.

LORENZON, A. S.; DIAS, H. C. T.; LEITE, H. G. Precipitação efetiva e interceptação da chuva em um fragmento florestal com diferentes estágios de regeneração. Revista Árvore, v. 37, p. 619–627, ago. 2013.

LOWDERMILK, W. C. Influence of Forest Litter on Run-Off, Percolation, and Erosion. Journal of Forestry, v. 28, n. 4, p. 474–491, 1 abr. 1930.

LYRA, A.; TAVARES, P.; CHOU, S. C.; SUEIRO, G.; DERECZYNSKI, C.; SONDERMANN, M.; SILVA, A.; MARENGO, J.; GIAROLLA, A. Climate change projections over three metropolitan regions in Southeast Brazil using the non-hydrostatic Eta regional climate model at 5-km resolution. Theoretical and Applied Climatology, v. 132, n. 1, p. 663–682, 1 abr. 2018.

MALI, S. S.; SARKAR, P. K.; NAIK, S.K.; BHATT, B. P. Predictive models for stemflow and throughfall estimation in four fruit tree species under hot and sub-humid climatic region. Hydrology Research, v. 51, n. 1, p. 47–64, 19 nov. 2019.

MARQUIS, R. J.; DINIZ, I. R.; MORAIS, H. C. Patterns and correlates of interspecific variation in foliar insect herbivory and pathogen attack in Brazilian cerrado. Journal of Tropical Ecology, v. 17, n. 1, p. 127–148, jan. 2001.

MEDEIROS, P. H. A.; DE ARAÚJO, J. C. Interception measurements and assessment of Gash model performance for a tropical semi-arid region. Rev. Ciênc. Agron., v. 40, n. 2, p. 11, 2009.

METZGER, J. C.; WUTZLER, T.; VALLE, N. D.; FILIPZIK, J.; GRAUER, C.; LEHMANN, R.; ROGGENBUCK, M.; SCHELHORN, D.; WECKMULLER, J.; KUSEL, K.; TOTSCHE, K. U.; TRUMBORE, S.; HILDERBRANDT, A. Vegetation impacts soil water content patterns by shaping canopy water fluxes and soil properties. Hydrological Processes, v. 31, n. 22, p. 3783–3795, 2017.

MIRALLES, D. G.; GASH, J. H.; HOMES, T.R.H.; JEU, R.A.M.; DOLMAN, A. J. Global canopy interception from satellite observations. Journal of Geophysical Research: Atmospheres, v. 115, n. D16, 2010.

MOLINA-SANCHIS, I.; LÁZARO, R.; ARNAU-ROSALÉN, E.; CALVO-CASES, A. Rainfall timing and runoff: The influence of the criterion for rain event separation. Journal of Hydrology and Hydromechanics, v. 64, n. 3, p. 226–236, 8 jul. 2016.

MONTEIRO, L. M.; BRUM, F. T.; PRESSEY, R. L.; MORELLATO, L. P. C.; SOARES-FILHO, B.; LIMA-RIBEIRO, M. S.; LOYOLA, R. Evaluating the impact of future actions in minimizing vegetation loss from land conversion in the Brazilian Cerrado under climate change. Biodiversity and Conservation, v. 29, n. 5, p. 1701–1722, 1 abr. 2020.

MORELLATO, L. P.; TALORA, D. C.; TAKASI, A.; BENCKE, C. C.; ROMERA, E. C.; ZIPPARRO, V. B. Phenology of Atlantic Rain Forest Trees: A Comparative Study1. Biotropica, v. 32, n. 4b, p. 811–823, 2000.

MOURA, A. E. S. S.; CORREA, M. M.; SILVA, E. R.; FERREIRA, R. L. C.; FIGUEIREDO, A. C.; POSSAS, J. M. C. Interceptação das chuvas em um fragmento de floresta da Mata Atlântica na Bacia do Prata, Recife, PE. Revista Árvore, v. 33, p. 461–469, jun. 2009.

MURAKAMI, S. A proposal for a new forest canopy interception mechanism: Splash droplet evaporation. Journal of Hydrology, v. 319, n. 1, p. 72–82, 15 mar. 2006.

MURRAY, S. J. Trends in 20th century global rainfall interception as simulated by a dynamic global vegetation model: implications for global water resources. Ecohydrology, v. 7, n. 1, p. 102–114, 2014.

MUZYLO, A.; LLORENS, P.; VALENTE, F.; KEIZER, J.J.; DOMINGO, F.; GASH, J. H. C. A review of rainfall interception modelling. Journal of Hydrology, v. 370, n. 1, p. 191–206, 30 maio 2009.

NÁVAR, J. Fitting rainfall interception models to forest ecosystems of Mexico. Journal of Hydrology, v. 548, p. 458–470, 1 maio 2017.

NÁVAR, J. Modeling rainfall interception loss components of forests. Journal of Hydrology, v. 584, p. 124449, 1 maio 2020.

NETO, A. J. S.; RIBEIRO, A.; LOPES, D. C.; NETO, O. B. S.; SOUZA, W. G.; SANTANA, M. O. Simulation of Rainfall Interception of Canopy and Litter in Eucalyptus Plantation in Tropical Climate. Forest Science, v. 58, n. 1, p. 54–60, 1 fev. 2012.

NIST/SEMATECH. NIST/SEMATECH e-Handbook of Statistical Methods. Disponível em: <a href="https://www.itl.nist.gov/div898/handbook/toolaids/pff/index.htm">https://www.itl.nist.gov/div898/handbook/toolaids/pff/index.htm</a>>. Acesso em: 16 mar. 2021.

NOJUMUDDIN, N. S.; YUSOF, F.; YUSOP, Z. Determination of minimum inter-event time for storm characterisation in Johor, Malaysia. Journal of Flood Risk Management, v. 11, n. S2, p. S687–S699, 2018.

OGÉE, J.; LAMAUD, E.; BRUNET, Y.; BERBIGIER, P.; BONNEFOND, J. M. A long-term study of soil heat flux under a forest canopy. Agricultural and Forest Meteorology, v. 106, n. 3, p. 173–186, 3 fev. 2001.

OISHI, A. C.; OREN, R.; NOVICK, K. A.; PALMROTH, S.; KATUL, G. G. Interannual Invariability of Forest Evapotranspiration and Its Consequence to Water Flow Downstream. Ecosystems, v. 13, n. 3, p. 421–436, 1 abr. 2010.

OLIVEIRA, L. L.; COSTA, R. F.; COSTA, A. C. L.; SOUSA, F. A. S.; BRAGA, A. P. Modelagem da interceptação na Floresta Nacional de Caxiuanã, no Leste da Amazônia. Revista Brasileira de Meteorologia, v. 23, p. 318–326, set. 2008.

OLIVEIRA, P. T. S. Water balance and soil erosion in the Brazilian Cerrado. Tese de Doutorado — São Carlos - SP. Universidade de São Paulo, 12 dez. 2014a.

OLIVEIRA, L. D. Determinação da interceptação da chuva pelo dossel de mata atlântica ripária no distrito federal. Bachelor thesis—Planaltina - DF: Universidade de Brasília, 2014b.

OLIVEIRA, L. LEÃO. Sazonalidade e interceptação da chuva na Floresta Nacional em Caxiuanã - Amazônia Oriental. Scientia Plena, v. 7, n. 10, 24 nov. 2011.

OLIVEIRA, P. T. S.; NEARING, M. A.; MORAN, M. S.; GOODRICH, D. C.; WENDLAND, E.; GUPTA, H. V. Trends in water balance components across the Brazilian Cerrado. Water Resources Research, v. 50, n. 9, p. 7100–7114, 2014.

OLIVEIRA, P. T. S.; WENDLAND, E.; NEARING, M. A.; SCOTT, R. L.; ROSOLEM, R.; ROCHA, H. R. The water balance components of undisturbed tropical woodlands in the Brazilian cerrado. Hydrology and Earth System Sciences, v. 19, n. 6, p. 2899–2910, 22 jun. 2015.

OLIVEIRA, P. T. S.; LEITE, M. B.; MATTOS, T.; NEARING, M. A.; SCOTT, R. L.; XAVIER, R. O.; MATOS, D. M. S.; WENDLAND, E. Groundwater recharge decrease with increased vegetation density in the Brazilian cerrado. Ecohydrology, v. 10, n. 1, p. e1759, 2017.

OLIVEIRA, P. T. S.; NEARING, M. A.; WENDLAND, E. Orders of magnitude increase in soil erosion associated with land use change from native to cultivated vegetation in a Brazilian savannah environment. Earth Surface Processes and Landforms, v. 40, n. 11, p. 1524–1532, 2015.

OLSZYCZKA, B.; CROWTHER, J. M. The Application Of Gamma-Ray Attenuation To The Determination Of Canopy Mass And Canopy Surfacewater Storage. Journal of Hydrology, v. 49, n. 3, p. 355–368, 1 fev. 1981.

PARK, A.; FRIESEN, P.; SERRUD, A. A. S. Comparative water fluxes through leaf litter of tropical plantation trees and the invasive grass Saccharum spontaneum in the Republic of Panama. Journal of Hydrology, v. 383, n. 3, p. 167–178, 30 mar. 2010.

PEDRO, C. M.; SILVA, F. C. S.; BATISTA, A. C.; VIOLA, M. R.; COELHO, M. C. B.; GIONGO, M. SUPPLYING AND DECOMPOSITION OF BURLAP IN A FRAGMENT OF CERRADO SENSU STRICTO. FLORESTA, v. 49, n. 2, p. 237–246, 29 mar. 2019.

PENMAN, H. L.; KEEN, B. A. Natural evaporation from open water, bare soil and grass. Proceedings of the Royal Society of London. Series A. Mathematical and Physical Sciences, v. 193, n. 1032, p. 120–145, 22 abr. 1948.

PEREIRA, D. N.; MARTINS, W. B. R.; ANDRADE, V. M. S.; OLIVEIRA, F. A. Influence of litter removal in the content of phosphorus and potassium in Eastern Amazon. Revista Brasileira de Ciências Agrárias, v. 12, n. 3, p. 380–385, 30 set. 2017.

PEREIRA, F. L.; VALENTE, F.; DAVID, J. S.; JACKSON, N. MINUNNO, F.; GASH, J. H. Rainfall interception modelling: Is the wet bulb approach adequate to estimate mean evaporation rate from wet/saturated canopies in all forest types? Journal of Hydrology, v. 534, p. 606–615, 1 mar. 2016.

PEREIRA, L. C.; BALBINOT, L.; LIMA, M. T.; BRAMORSKI, J.; TONELLO, K. C. Aspects of forest restoration and hydrology: linking passive restoration and soil–water recovery in Brazilian Cerrado. Journal of Forestry Research, 26 fev. 2021.

PITMAN, J. I. Rainfall interception by bracken litter — Relationship between biomass, storage and drainage rate. Journal of Hydrology, v. 111, n. 1–4, p. 281–291, jan. 1989.

PONETTE-GONZÁLEZ, A. G.; VAN STAN II, J. T.; MAGYAR, D. Things Seen and Unseen in Throughfall and Stemflow. In: VAN STAN, I., John T.; GUTMANN, E.; FRIESEN, J. (Eds.). Precipitation Partitioning by Vegetation: A Global Synthesis. Cham: Springer International Publishing, 2020. p. 71–88.

PRASAD GHIMIRE, C.; BRUIJNZEEL, L. A.; LUBCZYNSKI, M. W.; RAVELONA, M.; ZWATENDIJK, B. W.; VAN MEERVELD, H. J. Measurement and modeling of rainfall interception by two differently aged secondary forests in upland eastern Madagascar. Journal of Hydrology, v. 545, p. 212–225, 1 fev. 2017.

PUTUHENA, W. M.; CORDERY, I. Estimation of interception capacity of the forest floor. Journal of Hydrology, v. 180, n. 1, p. 283–299, 15 maio 1996.

QUAGLIA, L. Calibração de um lisímetro de pesagem para monitoramento da evaporação do solo sem cobertura vegetal. text—[s.l.] Universidade de São Paulo, 14 abr. 2005.

QUESADA, C. A.; HODNETT, M. G.; BREYER, L. M.; SANTOS, A. J. B.; ANDRADE, S.; MIRANDA, H. S.; MIRANDA, A. C.; LLOYD, J. Seasonal variations in soil water in two woodland savannas of central Brazil with different fire histories. Tree Physiology, v. 28, n. 3, p. 405–415, 1 mar. 2008.

RADA, N. Assessing Brazil's Cerrado agricultural miracle. Food Policy, v. 38, p. 146–155, 1 fev. 2013.

REICHERT, J. M.; RODRIGUES, M. F.; PELÁEZ, J. J. Z.; LANZA, R.; MINELLA, J. P. G.; ARNOLD, J. G.; CAVALCANTE, R. B. L. Water balance in paired watersheds with eucalyptus and degraded grassland in Pampa biome. Agricultural and Forest Meteorology, v. 237–238, p. 282–295, 1 maio 2017.

REYS, P., CAMARGO, M. G. G.; GROMBONE-GUARATINI, M. T.; TEIXEIRA, A. P.; ASSIS, M. A.; MORELLATO, L. P. C. Estrutura e composição florística de um Cerrado sensu stricto e sua importância para propostas de restauração ecológica. Hoehnea, v. 40, n. 3, p. 449–464, set. 2013.

RIBEIRO, J. C.; LEMOS, L. C. A.; SANTOS, J. C. N.; BRASIL, J. B.; PALÁCIO, H. A. Q. Partitioning of rainfall into throughfall, stemflow, and interception loss in the Brazilian Northeastern Atlantic Forest. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, v. 23, p. 21–26, jan. 2019.

RINGGAARD, R.; HERBST, M.; FRIBORG, T. Partitioning forest evapotranspiration: Interception evaporation and the impact of canopy structure, local and regional advection. Journal of Hydrology, v. 517, p. 677–690, 19 set. 2014.

ROCHA, H. R.; GOULDEN, M. L.; MILLER, S. D.; MENTON, M. C.; PINTO, L. D. V. O.; FREITAS, H. C.; FIGUEIRA, A. M. S. Seasonality of Water and Heat Fluxes Over a Tropical Forest in Eastern Amazonia. Ecological Applications, v. 14, n. sp4, p. 22–32, 2004.

RODRIGUES, E. L.; JACOBI, C. M.; FIGUEIRA, J. E. C. Wildfires and their impact on the water supply of a large neotropical metropolis: A simulation approach. Science of the Total Environment, v. 651, p. 1261–1271, 2019.

RODRIGUES, J. A. M.; VIOLA, M. R.; ALVARENGA, L. A.; MELLO, C. R.; OLIVEIRA, V. A.; UDDAMERI, V.; MORAIS, M. A. V. Climate change impacts under representative

concentration pathway scenarios on streamflow and droughts of basins in the Brazilian Cerrado biome. International Journal of Climatology, v. 40, n. 5, p. 2511–2526, 2020.

ROSADO, B. H. P.; HOLDER, C. D. The significance of leaf water repellency in ecohydrological research: a review. Ecohydrology, v. 6, n. 1, p. 150–161, 2013.

ROSALEM, L. M. P. Invento para determinação da interceptação de chuva pela serrapilheira em ecossistemas florestais. text—[s.l.] Universidade de São Paulo, 29 mar. 2017.

ROSALEM, L. M. P.; ANACHE, J. A. A.; WENDLAND, E. Determining forest litter interception in an area of the Cerrado sensu stricto. RBRH, v. 23, 2018.

ROSALEM, L. M. P.; WENDLAND, E. C.; ANACHE, J. A. A. Understanding the water dynamics on a tropical forest litter using a new device for interception measurement. Ecohydrology, v. 12, n. 2, p. e2058, 2019.

RUTTER, A. J.; KERSHAW, K. A.; ROBINS, P. C.; MORTON, A. J. A predictive model of rainfall interception in forests, 1. Derivation of the model from observations in a plantation of Corsican pine. Agricultural Meteorology, v. 9, p. 367–384, 1 jan. 1971.

RUTTER, A. J.; MORTON, A. J. A Predictive Model of Rainfall Interception in Forests. III. Sensitivity of The Model to Stand Parameters and Meteorological Variables. Journal of Applied Ecology, v. 14, n. 2, p. 567–588, 1977.

RUTTER, A. J.; MORTON, A. J.; ROBINS, P. C. A Predictive Model of Rainfall Interception in Forests. II. Generalization of the Model and Comparison with Observations in Some Coniferous and Hardwood Stands. Journal of Applied Ecology, v. 12, n. 1, p. 367–380, 1975.

SÁ, J. H. M.; CHAFFE, P. L. B.; QUILLET, M. J. J. The influence of the interception process on the precipitation quality in a catchment covered by subtropical Atlantic Forest. RBRH, v. 21, n. 4, p. 742–751, dez. 2016.

SÁ, J. H. M.; OLIVEIRA, D. Y.; GIGLIO, J.; KOBIYAMA, M.; CHAFFE, P. L. B. THROUGHFALL PATTERNS AND CANOPY COVER INDICES IN A HIGHLY HETEROGENEOUS FOREST. [s.l.] Preprints, 26 maio 2020. Disponível em: <https://www.authorea.com/users/326455/articles/454289-throughfall-patterns-and-canopycover-indices-in-a-highly-heterogeneous-

forest?commit=377466a538881f71f964ab18062d96250023f39d>. Acesso em: 18 mar. 2021.

SÁ, J. H. M.; CHAFFE, P.; OLIVEIRA, D. Análise comparativa dos modelos de Gash e de Rutter para a estimativa da interceptação por Floresta Ombrófila Mista. Revista Brasileira de Recursos Hídricos, v. 20, n. 4, p. 1008–1018, 2015.

SADEGHI, S. M. M.; ATTAROD, P.; VAN STAN, J. T.; PYPKER, T. G.; DUNKERLEY, D. Efficiency of the reformulated Gash's interception model in semiarid afforestations. Agricultural and Forest Meteorology, v. 201, p. 76–85, 15 fev. 2015.

SADEGHI, S. M. M.; VAN STAN, J. T.; PYPKER, T. G.; FRIESEN, J. Canopy hydrometeorological dynamics across a chronosequence of a globally invasive species, Ailanthus altissima (Mill., tree of heaven). Agricultural and Forest Meteorology, v. 240–241, p. 10–17, 15 jun. 2017.

SADEGHI, S. M. M.; VAN STAN, J. T.; PYPKER, T. G.; TAMJIDI, J.; FRIESEN, J.; FARAHNAKLANGROUDI, M. Importance of transitional leaf states in canopy rainfall partitioning dynamics. European Journal of Forest Research, v. 137, n. 1, p. 121–130, 1 fev. 2018.

SADEGHI, S. M. M.; GORDON, D. A.; VAN STAN II, J. T. A Global Synthesis of Throughfall and Stemflow Hydrometeorology. In: VAN STAN, I., John T.; GUTMANN, E.; FRIESEN, J. (Eds.). Precipitation Partitioning by Vegetation: A Global Synthesis. Cham: Springer International Publishing, 2020. p. 49–70.

SAITO, T.; MATSUDA, H.; KOMATSU, M.; XIANG, Y.; TAKAHASHI, A.; SHINOHARA, Y.; OTSUKI, K. Forest canopy interception loss exceeds wet canopy evaporation in Japanese cypress (Hinoki) and Japanese cedar (Sugi) plantations. Journal of Hydrology, v. 507, p. 287–299, 12 dez. 2013.

SALES, M. C. G. et al. Aporte de serapilheira em ambientes de cerrado, cerradão e floresta na Amazônia, Brasil - DOI:10.5039/agraria.v15i2a7383. Revista Brasileira de Ciências Agrárias (Agrária), v. 15, n. 2, p. 7383, 22 jun. 2020.

SANCHES, L.; VALENTINI, C. M. A.; BIUDES, M. S.; NOGUEIRA, J. S. Dinâmica sazonal da produção e decomposição de serrapilheira em floresta tropical de transição. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, v. 13, p. 183–189, abr. 2009.

SANO, E. E.; ROSA, R.; BRITO, J. L. S.; FERREIRA, L. G. Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento (205): Mapeamento da Cobertura Vegetal do Bioma CerradoPlanaltina, DF: Embrapa Cerrados, , 2008.

SANO, E. E.; RODRIGUES, A. A.; MARTINS, E. S.; BETTIOL, G. M.; BRUSTAMANTE, M. M. C.; BEZERRA, A. S.; COUTO, A. F.; VASCONCELOS, V.; SCHULER, J.; BOLFE, E. L. Cerrado ecoregions: A spatial framework to assess and prioritize Brazilian savanna environmental diversity for conservation. Journal of Environmental Management, v. 232, p. 818–828, 15 fev. 2019.

SARI, V.; PAIVA, E.; PAIVA, J. Precipitação interna em Floresta Atlântica: comparação entre os sistemas de monitoramento fixo e móvel /Throughfall in the Atlantic Forest: comparison between fixed and mobile monitoring systems. Revista Brasileira de Recursos Hídricos, v. 20, n. 4, p. 849–861, 2015.

SARI, V.; PAIVA, E.; PAIVA, J. Interceptação da chuva em diferentes formações florestais na região sul do Brasil. Revista Brasileira de Recursos Hídricos, v. 21, n. 1, p. 65–79, 25 fev. 2016.

SATO, Y.; KUMAGAI, T.; KUME, A.; OTSUKI, K.; OGAWA, S. Experimental analysis of moisture dynamics of litter layers? the effects of rainfall conditions and leaf shapes. Hydrological Processes, v. 18, n. 16, p. 3007–3018, nov. 2004.

SAVENIJE, H. H. G. The importance of interception and why we should delete the term evapotranspiration from our vocabulary. Hydrological Processes, v. 18, n. 8, p. 1507–1511, 2004.

SAYER, E. J. Using experimental manipulation to assess the roles of leaf litter in the functioning of forest ecosystems. Biological Reviews, v. 81, n. 1, p. 1–31, 2006.

SCHAAP, M. G.; BOUTEN, W.; VERSTRATEN, J. M. Forest floor water content dynamics in a Douglas fir stand. Journal of Hydrology, v. 201, n. 1, p. 367–383, 20 dez. 1997.

SCHILPEROORT, B.; COENDERS-GERRITS, M.; JIMENÉS-RODRÍGUEZ, C.; VAN DER TOL, C.; VAN DER WIEL, B.; SAVENIJE, H. Decoupling of a Douglas fir canopy: a look into the subcanopy with continuous vertical temperature profiles. Biogeosciences Discussions, p. 1–25, 24 jun. 2020a.

SCHNEEBELI, M.; WOLF, S.; KUNERT, N.; EUGSTER, W.; MATZLER, C. Relating the X-band opacity of a tropical tree canopy to sapflow, rain interception and dew formation. Remote Sensing of Environment, v. 115, n. 8, p. 2116–2125, 15 ago. 2011.

SCHWÄRZEL, K.; EBERMANN, S.; SCHALLING, N. Evidence of double-funneling effect of beech trees by visualization of flow pathways using dye tracer. Journal of Hydrology, v. 470–471, p. 184–192, 12 nov. 2012.

SCOTT, R. L.; BIEDERMAN, J. A. Partitioning evapotranspiration using long-term carbon dioxide and water vapor fluxes. Geophysical Research Letters, v. 44, n. 13, p. 6833–6840, 2017.

SENTELHAS, P. C. Estimativa diária da evapotranspiração de referência com dados de estação meteorológica convencional e automática. Tese de Doutorado – Piracicaba - SP. Universidade de São Paulo, out. 1998.

SHEIL, D. Forests, atmospheric water and an uncertain future: the new biology of the global water cycle. Forest Ecosystems, v. 5, n. 1, p. 19, 20 mar. 2018.

SILVA, C. J.; SANCHES, L.; BLEICH, M. E.; LOBO, F. A.; NOGUEIRA, J. S. Produção de serrapilheira no Cerrado e Floresta de Transição Amazônia-Cerrado do Centro-Oeste Brasileiro. Acta Amazonica, v. 37, p. 543–548, 2007.

SILVA, F. C. Uso de dispositivos lisimétricos para medida da evapotranspiração de referência. Dissertação de mestrado—Piracicaba - SP. Universidade de São Paulo, 24 jun. 1996.

SOARES-FILHO, B.; RAJÃO, R.; MERRY, F.; RODRIGUES, H.; DAVIS, J.; LIMA, L.; MACEDO, M.; COE, M.; CARNEIRO, A.; SANTIAGO, L. Brazil's Market for Trading Forest Certificates. PLOS ONE, v. 11, n. 4, p. e0152311, 4 jun. 2016.

SONE, J. S.; OLIVEIRA, P. T. S.; EUCLIDES, V. P. B.; MONTAGNER, D. B.; ARAUJO, A. R.; ZAMBONI, P. A. P.; VIEIRA, N. O. M.; CARVALHO, G. A.; SOBRINHO, T. A. Effects of Nitrogen fertilisation and stocking rates on soil erosion and water infiltration in a Brazilian Cerrado farm. Agriculture, Ecosystems & Environment, v. 304, p. 107159, 1 dez. 2020.

SOUZA, H. P.; MOMOLLI, D. R.; LUDVICHAK, A. A.; SCHUMACHER, M. V.; MALHEIROS, A. C. Linear Regression of Incident Precipitation Explains the Throughfall, Stemflow and Interception by the Eucalyptus Canopy under Different Fertilization Management. Journal of Experimental Agriculture International, p. 1–11, 1 abr. 2019.

SPENCER, S. A.; MEERVELD, H. J. VAN. Double funnelling in a mature coastal British Columbia forest: spatial patterns of stemflow after infiltration. Hydrological Processes, v. 30, n. 22, p. 4185–4201, 2016.

SPERA, S. A.; GALFORD, G. L.; COE, M. T.; MACEDO, M. N.; MUSTARD, J. F. Land-use change affects water recycling in Brazil's last agricultural frontier. Global Change Biology, v. 22, n. 10, p. 3405–3413, 2016.

STAN, J. T. V.; COENDERS-GERRITS, M.; DIBBLE, M.; BOGEHOLZ, P.; NORMAN, Z. Effects of phenology and meteorological disturbance on litter rainfall interception for a Pinus

elliottii stand in the Southeastern United States. Hydrological Processes, v. 31, n. 21, p. 3719–3728, 2017.

STOY, P. C.; EL-MANDANY, T. S.; FISHER, J. B.; GENTINE, P.; GERKEN, T.; GOOD, S. P.; KLOSTERHALFEN, A.; LIU, S.; MIRALLES, D. G.; PEREZ-PRIEGO, O.; RIGDEN, A. J.; SKAGGS, T. H.; WOHLFAHRT, G.; ANDERSON, R. G.; COENDERS-GERRITS, A. M. J.; JUNG, M.; MAES, W. H.; MAMMARELLA, I.; MAUDER, M.; MIGLIAVACCA, M.; NELSON, J. A.; POYATOS, R.; REICHSTEIN, M.; SCOTT, R. L.; WOLF, S. Reviews and syntheses: Turning the challenges of partitioning ecosystem evaporation and transpiration into opportunities. Biogeosciences, v. 16, n. 19, p. 3747–3775, 1 out. 2019.

STRASSBURG, B. B. N.; BROOKS, T.; FELTRAN-BARBIERI, R.; IRIBARREM, A.; CROUZEILLES, R.; LOYOLA, R.; LATAWIEC, A. E.; OLIVEIRA FILHO, F. J. B.; SCARAMUZZA, C.A. M.; SCARANO, F. R.; SOARES-FILHO, B.; BALMFORD, A. Moment of truth for the Cerrado hotspot. Nature Ecology & Evolution, v. 1, n. 4, p. 1–3, 23 mar. 2017.

SUN, L., ZHANG, G.; LIU, F.; LUAN, L. Effects of incorporated plant litter on soil resistance to flowing water erosion in the Loess Plateau of China. Biosystems Engineering, v. 147, p. 238–247, 1 jul. 2016a.

SUN, X.; ONDA, Y.; OTSUKI, K.; KATO, H.; GOMI, T. The effect of strip thinning on forest floor evaporation in a Japanese cypress plantation. Agricultural and Forest Meteorology, v. 216, p. 48–57, 15 jan. 2016b.

SUZUKI, M.; KATO, H.; TANI, M.; FUKUSHIMA, Y. Throughfall, stemflow and rainfall interception in the Kiryu Experimental Catchment (II). Journal of the Japanese Forestry Society, v. 61, n. 11, p. 391–398, 1979.

TAMAI, K. Estimation model for litter moisture content ratio on forest floor. Proceedings of a symposium held during the Sixth IAHS Scientific Assembly at Maastricht. Anais... In: SOIL-VEGETATION-ATMOSPHERE TRANSFER SCHEMES AND LARGE-SCALE HYDROLOGICAL MODELS. The Netherlands: IAHS, jul. 2001.

TÁVORA, B. E.; KOIDE, S. Event-Based Rainfall Interception Modeling in a Cerrado Riparian Forest—Central Brazil: An Alternative Approach to the IS Method for Parameterization of the Gash Model. Water, v. 12, n. 8, p. 2128, ago. 2020. THAMM, F.; WIDMOSER, P. Zur hydrologischen Bedeutung der organischen Auflage im Wald: Untersuchungsmethoden und erste Ergebnisse. Zeitschrift für Pflanzenernährung und Bodenkunde, v. 158, n. 3, p. 287–292, 1995.

THOMAZ, E. L.; ANTONELI, V. RAIN INTERCEPTION IN A SECONDARY FRAGMENT OF ARAUCARIA FOREST WITH FAXINAL, GUARAPUAVA-PR. CERNE, v. 21, p. 363– 369, set. 2015.

TOGASHI, H. F.; MONTEZUMA, R. DE C. M.; LEITE, A. F. Precipitação incidente e fluxo de atravessamento das chuvas em três estágios sucessionais de floresta atlântica no maciço da Pedra Branca, Rio de Janeiro. Revista Árvore, v. 36, p. 907–918, out. 2012.

TONELLO, K. C.; GASPAROTO, E. A. G.; SHINZATO, E. T.; VALENTE, R. O. A.; DIAS, H. C. T. Precipitação efetiva em diferentes formações florestais na floresta nacional de ipanema. Revista Árvore, v. 38, p. 383–390, abr. 2014.

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, p. 1-15, mai. 2021.

TONELLO, K. C.; ROSA, A. G.; PEREIRA, L. C.; MATUS, G. N.; GUANDIQUE, M. E. G.; NAVARRETE, A. A. Rainfall partitioning in the Cerrado and its influence on net rainfall nutrient fluxes. Agricultural and Forest Meteorology, v. 303, p. 108372, 15 jun. 2021.

TSIKO, C. T.; MAKURIRA, H.; GERRITS, A. M. J.; SAVENIJE, H. H. G. Measuring forest floor and canopy interception in a savannah ecosystem. Physics and Chemistry of the Earth, Parts A/B/C, Recent Advances in Water Resources Management. v. 47–48, p. 122–127, 1 jan. 2012.

TURNER, B.; HILL, D. J.; CARLYLE-MOSES, D. E.; RAHMAN, M. Low-cost, high-resolution stemflow sensing. Journal of Hydrology, v. 570, p. 62–68, 1 mar. 2019.

UBARANA, V. N. Observations and modelling of rainfall interception at two experimental sites in Amazonia. In: Amazonian Deforestation and Climate. Chichester, UK: Wiley, 1996. p. 151–162.

VALENTE, F.; DAVID, J. S.; GASH, J. H. C. Modelling interception loss for two sparse eucalypt and pine forests in central Portugal using reformulated Rutter and Gash analytical models. Journal of Hydrology, v. 190, n. 1, p. 141–162, 1 mar. 1997.

VALENTI, M. W.; CIANCIARUSO, M. V.; BATALHA, M. A. Seasonality of litterfall and leaf decomposition in a cerrado site. Brazilian Journal of Biology, v. 68, p. 459–465, ago. 2008a.

VALENTI, MW.; CIANCIARUSO, MV.; BATALHA, MA. Seasonality of litterfall and leaf decomposition in a cerrado site. Brazilian Journal of Biology, v. 68, n. 3, p. 459–465, ago. 2008b.

VAN DER ENT, R. J.; WANG-ERLANDSSON, L.; KEYS, P. W.; SAVENIJE, H. H. G. Contrasting roles of interception and transpiration in the hydrological cycle – Part 2: Moisture recycling. Earth System Dynamics, v. 5, n. 2, p. 471–489, 5 dez. 2014.

VAN DIJK, A. I. J. M.; GASH, J. H.; VAN GORSEL, E.; BLANKEN, P. D.; CESCATTI, A.; EMMEL, C.; GIELEN, B.; HARMAN, I. N.; KIELY, G.; MERBOLD, L.; MONTAGNANI, L.; MOORS, E.; SOTTOCORNOLA, M.; VARLAGIN, A.; WILLIAMS, C. A.; WOHLFAHRT, G. Rainfall interception and the coupled surface water and energy balance. Agricultural and Forest Meteorology, v. 214–215, p. 402–415, 15 dez. 2015.

VAN DIJK, A. I. J. M.; BRUIJNZEEL, L. A. Modelling rainfall interception by vegetation of variable density using an adapted analytical model. Part 1. Model description. Journal of Hydrology, v. 247, n. 3, p. 230–238, 2 jul. 2001a.

VAN DIJK, A. I. J. M.; BRUIJNZEEL, L. A. Modelling rainfall interception by vegetation of variable density using an adapted analytical model. Part 2. Model validation for a tropical upland mixed cropping system. Journal of Hydrology, v. 247, n. 3, p. 239–262, 2 jul. 2001b.

VAN STAN II, J. T.; FRIESEN, J.; GUTMANN, E. Precipitation Partitioning by Vegetation -A Global Synthesis. [s.l: s.n.].

VAN STAN, J. T.; HILDEBRANDT, A.; FRIESEN, J.; METZGER, J. C.; YANKINE, S. A.; VAN STAN II, J. T.; GUTMANN, E.; FRIESEN, J. Spatial Variability and Temporal Stability of Local Net Precipitation Patterns. In: VAN STAN, I., John T.; GUTMANN, E.; FRIESEN, J. (Eds.). Precipitation Partitioning by Vegetation: A Global Synthesis. Cham: Springer International Publishing, 2020. p. 89–104.

VAN STAN, J. T.; GORDON, D. A. Mini-Review: Stemflow as a Resource Limitation to Near-Stem Soils. Frontiers in Plant Science, v. 9, 2018.

VAN STAN, J. T. I.; ALLEN, S. T. What We Know About Stemflow's Infiltration Area. Frontiers in Forests and Global Change, v. 3, 2020.
VÉLIZ-CHÁVEZ, C.; MASTACHI-LOZA, C. A.; GONZÁLEZ-SOSA, E.; BECERRIL-PINA, R.; RAMOS-SALINAS, N. M. Canopy Storage Implications on Interception Loss Modeling. American Journal of Plant Sciences, v. 5, n. 20, p. 3032–3048, 24 set. 2014.

VIEIRA, C.; PALMIER, L. Medida e Modelagem da Interceptação da Chuva em uma Área Florestada na Região Metropolitana de Belo Horizonte, Minas Gerais. Revista Brasileira de Recursos Hídricos, v. 11, n. 3, p. 101–112, 2006.

WANG, L.; THROOP, H. L.; GILL, T. A novel method to continuously monitor litter moisture – A microcosm-based experiment. Journal of Arid Environments, v. 115, p. 10–13, 1 abr. 2015.

WANG, X. P.; WANG, Z. N.; BERNDTSSON, R.; ZHANG, Y. F.; PAN, Y. X. Desert shrub stemflow and its significance in soil moisture replenishment. Hydrology and Earth System Sciences, v. 15, n. 2, p. 561–567, 11 fev. 2011.

WANG-ERLANDSSON, L.; VAN DER ENT, R. J.; GORDON, L. J.; SAVENIJE, H. H. G. Contrasting roles of interception and transpiration in the hydrological cycle – Part 1: Temporal characteristics over land. Earth System Dynamics, v. 5, n. 2, p. 441–469, 5 dez. 2014.

WARING, R. H.; ROGERS, J. J.; SWANK, W. T. Water relations and hydrologic cycles. In: Dynamic properties of forest ecosystems. New York: Cambridge University Press, 1980.

WENDLAND, E.; BARRETO, C.; GOMES, L. H. Water balance in the Guarani Aquifer outcrop zone based on hydrogeologic monitoring. Journal of Hydrology, v. 342, n. 3, p. 261–269, 1 set. 2007.

XIAO, Q.; MCPHERSON, E. G.; USTIN, S. L.; GRISMER, M. E. A new approach to modeling tree rainfall interception. Journal of Geophysical Research: Atmospheres, v. 105, n. D23, p. 29173–29188, 2000.

YANG, B.; LEE, D. K.; HEO, H. K.; BIGING, G. The effects of tree characteristics on rainfall interception in urban areas. Landscape and Ecological Engineering, v. 15, n. 3, p. 289–296, 1 jul. 2019.

YANG, B.; ZHANG, W.; MENG, X.; SINGH, A. K.; ZAKARI, S.; SONG, L.; LIU, W. Effects of a funnel-shaped canopy on rainfall redistribution and plant water acquisition in a banana (Musa spp.) plantation. Soil and Tillage Research, v. 203, p. 104686, set. 2020.

YANG, X.; YU, Y.; HU, H.; SUN, L. Moisture content estimation of forest litter based on remote sensing data. Environmental Monitoring and Assessment, v. 190, n. 7, p. 421, 23 jun. 2018.

YANOVIAK, S. P.; KASPARI, M. Community structure and the habitat templet: ants in the tropical forest canopy and litter. Oikos, v. 89, n. 2, p. 259–266, 2000.

YU, K.; PYPKER, T. G.; KEIM, R. F.; CHEN, N.; YANG, Y.; GUO, S.; LI, W.; WANG, G. Canopy rainfall storage capacity as affected by sub-alpine grassland degradation in the Qinghai–Tibetan Plateau, China. Hydrological Processes, v. 26, n. 20, p. 3114–3123, 2012.

YUAN, C.; GAO, G.; FU, B.; HE, D.; DUAN, X.; WEI, X. Temporally dependent effects of rainfall characteristics on inter- and intra-event branch-scale stemflow variability in two xerophytic shrubs. Hydrology and Earth System Sciences, v. 23, n. 10, p. 4077–4095, 1 out. 2019.

ZENG, N.; SHUTTLEWORTH, J. W.; GASH, J. H. C. Influence of temporal variability of rainfall on interception loss. Part I. Point analysis. Journal of Hydrology, v. 228, n. 3, p. 228–241, 13 mar. 2000.

ZHANG, Y.; WU, Z.; SINGH, V. P.; HE, J.; HE, H.; ZHANG, Y. Coupled hydrology-crop growth model incorporating an improved evapotranspiration module. Agricultural Water Management, v. 246, p. 106691, 1 mar. 2021.

ZHAO, L.; YEBRA, M.; VAN DIJK, A. I. J. M.; CARY, G. J.; MATTHEWS, S.; SHERIDAN, G. The influence of soil moisture on surface and sub-surface litter fuel moisture simulation at five Australian sites. Agricultural and Forest Meteorology, v. 298–299, p. 108282, 15 mar. 2021.

ZHENG, C.; JIA, L. Global canopy rainfall interception loss derived from satellite earth observations. Ecohydrology, v. 13, n. 2, p. e2186, 2020.

ZHU, H.; WANG, G.; YINGLAN, A.; LIU, T. Ecohydrological effects of litter cover on the hillslope-scale infiltration-runoff patterns for layered soil in forest ecosystem. Ecological Engineering, v. 155, p. 105930, 1 ago. 2020.

ZIEMBOWICZ, T. Plant Diversity and hydrological relations to groundwater in the riparian zone of Cerrado in Mato Grosso (Brazil). 12 abr. 2018.

ZIMMERMANN, A.; ZIMMERMANN, B. Requirements for throughfall monitoring: The roles of temporal scale and canopy complexity. Agricultural and Forest Meteorology, v. 189–190, p. 125–139, 1 jun. 2014.

ZIMMERMANN, A.; ZIMMERMANN, B.; ELSENBEER, H. Rainfall redistribution in a tropical forest: Spatial and temporal patterns. Water Resources Research, v. 45, n. 11, 2009.

#### APÊNDICE A - Fotos dos LIDs em campo

O LID é contruído com diferentes materiais, com área de 0,16 m2 para a amostra de serrapilheira, devido à área da bandeja quadrada apresentar 40 cm de aresta. A caixa externa é de aço inoxidável, com 42 cm de largura e de profundidade, por 47 cm de altura. A estrutura possui 2 apoios soldados em duas laterais internas para a peça de suporte do pluviógrafo. Possui ainda furos no fundo da caixa para permitir a saída da água que passa pelo pluviógrafo para as pedras britadas colocadas em campo abaixo do equipamento. A bandeja, onde é acondicionada

a amostra, foi confeccionada em plástico e o seu fundo possui uma leve inclinação para direcionar qualquer volume de água que passa pela serapilheira para o furo feito ao centro. Esse furo concêntrico direciona o volume para o pluviógrafo e, por isso, foi acoplado ao furo um filtro para impedir que fragmentos da serrapilheira entupam o pluviógrafo. Nas laterais da bandeja, há furos para permitir a passagem do vento sobre a amostra de serrapilheira e desta forma, estabelecer condições mais próximas às observadas no processo natural de evaporação. O suporte da bandeja foi construído em alumínio e os furos na base dessa peça permitem o escoamento de água caso ocorra algum transbordamento ou vazamento no pluviógrafo. O pluviógrafo. Esse suporte foi construído com material resistente à umidade (em aço inoxidável), para direcionar o volume de água que passa pelo pluviógrafo para as laterais da caixa, funcionando como uma calha. Mais detalhes sobre o equipamento podem ser encontrados em Rosalem (2017) e Rosalem, Wendland e Anache (2019).

A seguir são apresentadas algumas fotos das instalações dos LIDs em campo. Na Figura 60 são apresentadas fotos que mostram as partes do LID quando instalado em campo e na Figura 61 é possível ver a cerca de proteção que foi instalada em volta de cada um deles em campo. Nessa última figura é possível ver o crescimento de um pequeno cogumelo na amostra dentro do LID 2 (Figura 61D), o que comprova que amostra estava, semelhantemente à serrapilheira da área, em constante decomposição.

**Figura 61**. Instalação de um dos LIDs em campo, sendo primeiramente posicionada A) a "caixa" do equipamento que possui apoios nas laterais e um apoio na base para a célula de carga, e depois posicionado dentro do LID a B) peça de suporte que funciona como uma calha, para o C) pluviógrafo que é instalado logo abaixo do D) bandeja que contém a amostra de serrapilheira.



Fonte: Autor (2021)

**Figura 62.** Fotos do A) momento de instalação de uma das B) cercas de proteção dos LIDs, e uma foto do C) LID 2 com seu reservatório de PVC na lateral, após um tempo da instalação do LIS1 próximo à ele e, D) uma foto com zoom na serrapilheira dentro do LID 2.



Fonte: Autor (2021)

#### APÊNDICE B – Identificação das árvores próximas ao LIDs

Foram identificadas as árvores de porte superior a 1,5 m de altura localizadas próximas aos LIDs e que, portanto, podem contribuir para o acúmulo de serrapilheira nesses equipamentos. A Tabela 21 apresenta a família à qual o indivíduo é pertencente, sendo que para alguns foi possível determinar a nível de gênero e espécie.

LID mais próximo	Indivíduo	Família	Gênero	Espécie
LID 1	1	Annonacea	-	-
LID 1	2	Primulaceae	Myrsine	Myrsine guianenses
LID 1	3	Melastomataceae	-	-
LID 1	4	Melastomataceae	-	-
LID 1	5	Melastomataceae	-	-
LID 1	6	Vochysiaceae	Qualea	Qualea sp
LID 1	7	Melastomataceae	-	-
LID 1	8	Moraceae	Ficus	Ficus sp
LID 1	9	Moraceae	Ficus	Ficus sp
LID 1	10	Moraceae	Ficus	Ficus sp
LID 1	11	Fabaceae	Anadenanthera	Anadenanthera colubrina
LID 1	12	Euphorbiaceae	cf. Pera	cf. Pera sp
LID 1	13	Nyctaginaceae	Guapira	Guapira sp
LID 1	14	Myrtaceae	-	-
LID 1	15	Fabaceae	Copaifera	Copaifera langsdorffii
LID 1	16	Melastomataceae	-	-
LID 2	17	Lauraceae	Ocotea	Ocotea sp
LID 2	18	Vochysiaceae	Qualea	Qualea sp
LID 2	19	Myrtaceae	-	-
LID 2	20	Fabaceae	Anadenanthera	Anadenanthera colubrina
LID 2	21	Moraceae	Ficus	Ficus sp
LID 2	22	Myrtaceae	-	-
LID 2	23	Myrtaceae	-	-
LID 2	24	Primulaceae	Myrsine	Myrsine guianenses
LID 2	25	Myrtaceae	-	-
LID 2	26	Santalanaceae	Phoradendron	cf. Phoradendron crassifolium
LID 2	27	Myrtaceae	-	-
LID 2	28	Lauraceae	-	-
LID 2	29	Moraceae	-	-

**Tabela 22**. Indivíduos (árvores) identificadas por espécie que estão localizadas próximas aos LIDs, em um raio de até 3 m de distância. (Continua)

\_

LID mais próximo	Indivíduo	Família	Gênero	Espécie
LID 2	30	Myrtaceae	-	-
LID 2	31	Melastomataceae	-	-
LID 2	32	Myrtaceae	-	-
LID 3	33	Santalanaceae	Phoradendron	cf. Phoradendron crassifolium
LID 3	34	Melastomataceae	-	-
LID 3	35	Annonacea	-	-
LID 3	36	Melastomataceae	-	-
LID 3	37	Fabaceae	Pterodon	Pterodon pubescens
LID 3	38	Myrtaceae	-	-
LID 3	39	Moraceae	-	-
LID 3	40	Melastomataceae	-	-
LID 3	41	Vochysiaceae	Qualea	Qualea sp
LID 3	42	Fabaceae	-	-
LID 3	43	Lamiaceae	Vitex	Vitex sp
LID 3	44	Myrtaceae	-	-
LID 3	45	Siparunaceae	Siparuna	Siparuna guianensis
LID 3	46	Lauraceae	Ocotea	Ocotea sp
LID 3	47	Araliaceae	Schefflera	Schefflera vinosa
LID 3	48	Moraceae	-	-
LID 3	49	Lauraceae	Ocotea	Ocotea sp
LID 3	50	Lauraceae	-	-
LID 3	51	Primulaceae	Myrsine	Myrsine sp
LID 3	52	Moraceae	-	-
LID 3	53	Fabaceae	Anadenanthera	Anadenanthera colubrina
LID 3	54	Myrtaceae	-	-

**Tabela 23**. Indivíduos (árvores) identificadas por espécie que estão localizadas próximas aos LIDs, em um raio de até 3 m de distância. (Continuação)

Fonte: Autor (2021)

# APÊNDICE C – Detalhes dos ensaios em laboratório sobre os efeitos da temperatura nos registros das células de carga

A seguir é apresentada uma foto do esquema experimental usado para avaliação dos efeitos da temperatura sobre os registros de peso das células de carga que seriam utilizadas nos LIDs em campo. Na Figura 62 é possível visualizar as 5 células que foram colocar na geladeira, estando as três células avaliadas (células 2, 5 e 9) posicionadas com béckers de peso previamente determinado em balança de alta precisão. Nessa foto é possível ver também a posição do sensor de temperatura utilizado.

**Figura 63**. Posicionamento das células de carga dentro da geladeira com o sensor de temperatura (sensor 107) instalado atrás dos recipientes.



Fonte: Autor (2021).

### APÊNDICE D – Sobre a coleta de amostras de solo e instalação dos mini lisímetros

A seguir são apresentados mais detalhes sobre a coleta das amostras de solo (Figura 63) dos mini lisímetros LIS 1 e LIS 2, sendo possível observar tanto na Figura 63 quanto na 64 a presença de muitas raízes pequenas e mais superficiais, que tornou mais difícil a retirada das amostras indeformadas.

**Figura 64.** Fotos da coleta das amostras dos A) mini lisímetro 2 e B) mini lisímetro 1 e uma foto mostrando como foi o C) acondicionamento e transporte das amostras para o laboratório.



Fonte: Autor (2021)

**Figura 65.** Detalhes do solo das amostras na parte inferior dos mini lisímetros A) LIS 2 e B) LIS 1 e da peça com furos acoplada na parte inferior para a drenagem da água através da manta geotêxtil usada sobre os furos.



Fonte: Autor (2021)

Em algumas visitas à campo, foram observadas algumas plantas crescendo nas amostras dentro dos mini lisímetros e sendo, portanto, removidas sempre inteiramente com as raízes (Figura 65).

**Figura 66.** Montagem de A) um dos mini lisímetros em laboratório e uma B) foto após um tempo instalado em campo, mostrando a necessária manutenção em campo para não ocorrer o surgimento de plantas nas amostras (65D e 65E).



Fonte: Autor (2021)

## ANEXO A – Algumas informações sobre as características do solo na área de estudo

As informações usadas sobre características do solo na área de Cerrado *s.s.* foram obtidas a partir do trabalho de Oliveira (2014a) e são apresentadas na (Tabela 22). Os resultados são referentes as análises de solo feitas no laboratório do Departamento de Ciência do Solo da ESALQ (Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz").

Amostra	Densidade (g/cm <sup>3</sup> )	Porosidade total (%)	Condutividade hidráulica (mm.h <sup>-1</sup> )*
01 (20 cm)	1,69	36	102,279
02 (50 cm)	1,80	32	11,302
03 (100 cm)	1,77	33	19,813

Tabela 24. Resultados de análise de solo da área de estudo de Cerrado sensu stricto.

\*do solo saturado.

Fonte: (OLIVEIRA, 2014a)