

INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS DA AMAZÔNIA
MINISTÉRIO DA CIÊNCIA, TECNOLOGIA E INOVAÇÕES - MCTI
PROGRAMA DE PÓS GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS DE FLORESTAS TROPICAIS

**EFEITO DA UMIDADE DO SOLO NAS CARACTERÍSTICAS DA VEGETAÇÃO
SOB DIFERENTES PERÍODOS SAZONAIS EM UMA FLORESTA DE TERRA
FIRME NA AMAZÔNIA CENTRAL**

EGLISON SOUZA BARBOSA

Manaus-AM

2023

EGLISON SOUZA BARBOSA

EFEITO DA UMIDADE DO SOLO NAS CARACTERÍSTICAS DA VEGETAÇÃO SOB
DIFERENTES PERÍODOS SAZONAIS EM UMA FLORESTA DE TERRA FIRME NA
AMAZÔNIA CENTRAL

Orientador: Dr. Adriano Lima

Co-orientador: Dr. Bruno O. Gimenez

Dissertação apresentada ao Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia como parte dos requisitos para obtenção do título de Mestre em Ciências de Florestas Tropicais, na área de concentração Manejo Florestal.

Manaus-AM

2023

S729e Souza Barbosa, Eglison

Efeito da umidade do solo nas características da vegetação sob diferentes períodos sazonais em uma floresta de terra firme na Amazônia Central / Eglison Souza Barbosa; orientador Adriano José Nogueira Lima; coorientador Bruno Oliva Gimenez. - Manaus: [s.l.], 2023.

1,84 MB

59p. : il. color.

Dissertação (Mestrado - Programa de Pós-Graduação em Ciências de Florestas Tropicais) - Coordenação do Programa de Pós-Graduação, INPA, 2023.

1. Manejo Florestal. 2. Ecofisiologia Florestal. 3. Mudança do Clima. I. Lima, Adriano José Nogueira. II. Gimenez, Bruno Oliva. III. Título

CDD 577.57

AGRADECIMENTOS

Á Deus primeiramente. Pelo dom da vida e por conceder-me bençãos que não posso descrever em palavras ;

Ao Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia e o Programa de Pós graduação em Ciências de florestas tropicais, pela oportunidade de adquirir conhecimento e experiência de vida cursando o mestrado ;

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico- CNPq pela concessão da bolsa de estudos de mestrado ;

Ao Laboratório de Manejo Florestal- LMF/INPA por todo apoio logístico e intelectual para desenvolver esta pesquisa no contexto da pandemia de COVID-19 ;

Ao Programa de Grande Escala da Biosfera- Atmosfera Amazônia por conceder acesso a dados fundamentais para esta pesquisa ;

Ao Programa NGEE-Tropics por todo o conhecimento repassado e auxílio metodológico fundamentais para este trabalho ;

Ao Dr. Adriano Lima e Dr. Bruno O. Gimenez pela orientação, co-orientação e apoio durante todo o processo de desenvolvimento deste trabalho, de forma humana e profissional com palavras de incentivo e empatia.

Aos colegas de laboratório que me auxiliaram no andamento do trabalho, em especial a Flávia Ranara e Hanna Kássia por todo apoio e carinho durante o curso de mestrado .

Por fim e primordial, á minha família. Principalmente meu filho e minha esposa, Emanuel Barbosa e Stefany Santos, sem vocês eu não teria forças para mais essa conquista. Tudo por vocês e para vocês.

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	10
2. OBJETIVOS	13
a. GERAL	13
b. ESPECÍFICOS.....	13
3. HIPÓTESES CIENTÍFICAS	14
4. REFERENCIAL TEÓRICO	15
a. UMIDADE DO SOLO	15
b. DINÂMICA DA FLORESTA	16
c. FENOLOGIA E DINÂMICA DA SERAPILHEIRA	18
5. Material e Métodos	20
a. <i>Local do estudo</i>	20
b. <i>Vegetação e clima</i>	21
c. <i>Solos e topografia</i>	21
5.1. Coleta de dados	21
5.1.a. Serapilheira.....	21
5.1.b. Incremento em diâmetro	23
5.1.d. Umidade do solo	23
5.1.e. Precipitação.....	24
5.2. Análise dos dados	25
6. RESULTADOS E DISCUSSÃO	27
a. Serapilheira	27
b. Precipitação	31
c. Incremento em diâmetro	34
d. Umidade do solo.....	39
d.1. <i>Umidade do solo e precipitação</i>	41
d.2. <i>Umidade do solo e incremento em diâmetro</i>	42
d.3. <i>Umidade do solo e Serapilheira</i>	45
d.4. <i>Umidade do solo e produção de serapilheiras por partes</i>	47
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	50

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Mapa de localização da área de estudo.	20
Figura 2: Esquema de disposição dos coletores de serapilheira na área de estudo.	22
Figura 3: Estufa de secagem (A); Balança de analítica de precisão (B); material particionado armazenado em sacos de papel (C e D).	23
Figura 4: Bandas dendrométricas e medições com paquímetro digital.	23
Figura 5: Localização e estrutura do poço profundo instalado na área experimental (Adaptado de Negrón-Juárez et al. 2020)	24
Figura 6: Produtividade de serapilheira (erro padrão: 0,09) na área de estudo no período de dezembro/2020 a novembro/2021.	28
Figura 7: Produtividade de serapilheira nos períodos de 2012-2013 e do presente estudo na mesma área de estudo.	29
Figura 8: Variação na produção de frações de serapilheira no período do estudo.	30
Figura 9: Precipitação acumulada para o período de estudo (2020-2021) e série histórica da região.	33
Figura 10: Produtividade de serapilheira e precipitação acumulada no período de dezembro/2020 a novembro/2021.	34
Figura 11: Incremento em diâmetro de árvores com bandas dendrométricas no platô no período de 2020-2021 (em destaque o período seco), com barras de $IC \pm 0,09$	35
Figura 12: Produtividade de serapilheira e incremento em diâmetro de árvores do platô no período de estudo 2020-2021 (erro padrão: 0,1 e 0,21, respectivamente.)	36
Figura 13: Produtividade de serapilheira, incremento em diâmetro e precipitação acumulada no período de estudo (2020/2021), em destaque o período mais seco.	38
Figura 14: Variação mensal do conteúdo de umidade do solo nas profundidades de 0,025 a 0,5m (a), 0,8 a 4,8m(b) e 6,4 a 15m (c).	40
Figura 15: Distribuição sazonal da umidade do solo nas camadas superficiais (linhas vermelhas) e incremento médio mensal (barras) correlações (r) e probabilidades (p)	43
Figura 16: Relação da umidade do solo em camadas profundas com o incremento em diâmetro.	45
Figura 17: Distribuição gráfica da relação entre umidade do solo nas camadas mais profundas (linhas vermelhas) e produtividade de serapilheira (linhas azuis).	46
Figura 18: Matriz de correlações de Pearson ($IC=0,1$) para as variáveis ambientais e climáticas deste estudo.	49

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Média mensal histórica do período de 1980 - 2016 de precipitação na região próxima do sítio de estudo da Embrapa Amazônia Ocidental.	25
Tabela 2: Resumo das correlações analisadas	26
Tabela 3: Termos indicados pelo IPCC para as probabilidades avaliadas.	26
Tabela 4: Série histórica da média da precipitação acumulada mensal (1980 – 2016) e do período da atual pesquisa.....	32
Tabela 5: Matriz de correlações de Pearson (r) da umidade do solo em todas as profundidades com a precipitação acumulada (IC=95%).	41
Tabela 6: Correlações de Pearson significativas encontradas entre as partes de serapilheira e umidade do solo.....	47

RESUMO

A comunidade científica internacional tem se debruçado sobre a ocorrência de eventos extremos mais intensos, e em menor espaço de tempo, como tempestades e secas prolongadas. A floresta amazônica, por sua vez, se torna um importante objeto de estudo em função do seu importante papel na troca de CO₂ e H₂O com a atmosfera. Nesse sentido, a relação entre a umidade do solo e a produção de biomassa acima do solo (serapilheira e incremento em diâmetro das árvores) é de fundamental importância para a parametrização dos modelos climáticos atuais. Assim, o objetivo deste estudo foi relacionar a umidade do solo em diferentes profundidades com a produção de serapilheira e o incremento em diâmetro de árvores durante o período de um ano (dezembro de 2020 a novembro de 2021) na Amazônia Central. A área de estudo está localizada em uma área de platô dentro dos limites da Estação Experimental de Silvicultura Tropical (E.E.S.T) do INPA. Os valores de umidade do solo foram obtidos por meio de sensores localizados em um poço profundo com posições variando entre 0,025 e 15 m em relação à superfície. A quantificação da serapilheira foi realizada utilizando-se coletores suspensos com dimensões de 0,5 x 0,5 x 1 m de altura (0,25 m² de área de coleta). As coletas de serapilheira foram realizadas sempre nos dias 15 e 30 de cada mês durante o período de um ano, sendo as frações coletadas separadas em folhas, galhos e material reprodutivo. No laboratório o material foi seco em estufa a 65°C±2°C por 72 horas ou até manter peso constante. O incremento em diâmetro das árvores localizadas nas adjacências dos coletores de serapilheira foi obtido por meio da medição mensal de bandas dendrométricas instaladas em 67 indivíduos. Foram coletados também dados de precipitação utilizando um pluviômetro instalado na área de estudo. A correlação de Pearson (r) entre os valores mensais de umidade do solo e as variáveis incremento diâ métrico e pluviosidade foi feita utilizando-se a probabilidade de Bonferroni. Para o período que abrangeu este estudo a produção total anual de serapilheira foi de 8,81 ± 0,11 Mg.ha⁻¹.ano⁻¹ (IC=95%), com o pico de produção ocorrido no mês de setembro (1,21± 0,11 Mg.ha⁻¹.ano⁻¹) com coeficiente de correlação com precipitação de r= -0,70 (p<0,05). A queda de folhas contribuiu com 76,62% do total de aporte de serapilheira anual, seguido da fração galhos (13,84%) e material reprodutivo (4,86%). É improvável que o incremento em diâmetro seja influenciado pela precipitação regional, havendo apenas uma relação fraca entre essas duas variáveis (r= 0,37; p= 0,23). A correlação da umidade do solo mensal e a serapilheira foi, de modo geral, fraca nas camadas superficiais do solo, mas variou de modo significativo nas camadas mais profundas. Quando analisada apenas as frações de serapilheira folhas e os galhos, estas se correlacionaram de forma negativa com a umidade do solo nas profundidades mais altas. O material reprodutivo apresentou relação positiva com a umidade do solo, tendo sua maior produção quando se há maior teor de água no solo. O incremento em diâmetro das árvores e a umidade do solo obtiveram correlações fracas na maioria das profundidades, com correlações negativas nas camadas superiores e positivas nas camadas mais profundas. Conclui-se que a umidade do solo nas camadas mais superficiais apresenta um grau de variação elevado quando comparada com as variáveis ambientais e de incremento em diâmetro, ocasionando em relações mais fracas para o período de estudo, O incremento médio mensal foi maior quando houve maior teor de água no solo em diferentes profundidades. A produção de serapilheira total diminuiu quando houve aumento na umidade do solo nas maiores profundidades.

Palavras-chave: La Niña; Produtividade de serapilheira; Umidade do solo.

ABSTRACT

The international scientific community has been focusing on the occurrence of more intense extreme events over a shorter period of time, such as storms and prolonged droughts. The Amazon rainforest, in turn, has become an important object of study due to its important role in the exchange of CO₂ and H₂O with the atmosphere. In this sense, the relationship between soil moisture and the production of above-ground biomass (litter and tree diameter increment) is of fundamental importance for the parameterization of current climate models. The aim of this study was to relate soil moisture at different depths to litter production and tree diameter increment over a one-year period (December 2020 to November 2021) in the Central Amazon. The study area is located on a plateau within the boundaries of INPA's Tropical Silviculture Experimental Station (E.E.S.T). Soil moisture values were obtained using sensors located in a deep well with positions varying between 0.025 and 15 m from the surface. The litter was quantified using suspended collectors measuring 0.5 x 0.5 x 1 m in height (0.25 m² of collection area). The litter was collected on the 15th and 30th of each month for a period of one year, and the fractions collected were separated into leaves, branches and reproductive material. In the laboratory, the material was dried in an oven at 65°C±2°C for 72 hours or until it reached a constant weight. The increase in diameter of the trees located adjacent to the litter collectors was obtained by measuring monthly dendrometric bands installed in 67 individuals. Rainfall data was also collected using a rain gauge installed in the study area. Pearson's correlation (r) between monthly soil moisture values and the variables diameter increase and rainfall was calculated using Bonferroni's probability. For the period covered by this study, total annual litter production was 8.81 ± 0.11 Mg.ha⁻¹.year⁻¹ (CI=95%), with peak production occurring in September (1.21± 0.11 Mg.ha⁻¹.year⁻¹) with a correlation coefficient with rainfall of r= -0.70 (p<0.05). Leaf fall contributed 76.62% of the total annual litterfall, followed by branches (13.84%) and reproductive material (4.86%). It is unlikely that the increase in diameter is influenced by regional rainfall, with only a weak relationship between these two variables (r= 0.37; p= 0.23). The correlation between monthly soil moisture and litter was generally weak in the superficial soil layers, but varied significantly in the deeper layers. When only the leaf and twig litter fractions were analyzed, they were negatively correlated with soil moisture at higher depths. Reproductive material showed a positive relationship with soil moisture, with its highest production when there is a higher water content in the soil. The increase in tree diameter and soil moisture showed weak correlations at most depths, with negative correlations in the upper layers and positive correlations in the deeper layers. It can be concluded that soil moisture in the more superficial layers shows a high degree of variation when compared to the environmental and diameter increment variables, resulting in weaker relationships for the study period. The average monthly increment was higher when there was a higher water content in the soil at different depths. Total litter production decreased when there was an increase in soil moisture at greater depths.

Keywords: La Niña; Litterfall productivity; Soil moisture.

1. INTRODUÇÃO

A floresta amazônica possui um papel importante na regulação do clima tanto em escala local, como em escala global. As folhas presentes na cobertura vegetal, por exemplo, realizam o processo de fotossíntese convertendo a luz solar em energia na forma de açúcares e, posteriormente, em biomassa. O dossel florestal também é responsável por trocas gasosas e por gerar vapor d'água por meio da transpiração, contribuindo com mais de 50% da água que retorna para a atmosfera e compondo aproximadamente 37% de toda a precipitação anual da região amazônica (KUNERT *et al.*, 2017). A interceptação da precipitação pelo dossel da floresta também melhora as condições de drenagem do solo, o escoamento superficial, e a infiltração, influenciando na absorção de água pelos sistemas radiculares da vegetação (COSTA *et al.*, 2007; OLIVEIRA *et al.*, 2008; LOWMAN *et al.*, 2008; MALHI *et al.*, 2008).

A interceptação da água da chuva pelo dossel da floresta e sua posterior evaporação, é parte importante para o processo de evapotranspiração, com contribuição significativa para o balanço hídrico (GERRIT, 2010; DANTAS *et al.*, 2011), e se soma ao processo de transpiração da vegetação propriamente dita (KUNERT *et al.*, 2017). A função da floresta na reciclagem de água na bacia amazônica foi confirmada por Salati *et al.* (1979) em um estudo pioneiro utilizando a técnica de fracionamento isotópico, sendo que estudos posteriores corroboraram com essa pesquisa e relacionaram a dinâmica hídrica da floresta aos processos fisiológicos de crescimento e desenvolvimento de vegetais, além do ciclo energético e biogeoquímico (DANTAS *et al.*, 2011; KUNERT *et al.*, 2017; NEGRÓN-JUÁREZ *et al.*, 2020).

Devido a heterogeneidade da floresta e a escassez de estudos que correlacionem os processos hidrológicos que ocorrem acima e abaixo do nível do solo nestes ambientes diversos (TOMASELLA, 2008), atualmente há uma necessidade de estudos que levem em consideração as diversas partes que compõe o ciclo hidrológico (como a dinâmica da água no solo e na vegetação, por exemplo) (KUNERT *et al.*, 2017). A precipitação e a evapotranspiração são os dois principais componentes do balanço hídrico terrestre, porém a quantificação da contribuição da floresta nesses processos além das interações planta-solo precisam ser considerados para melhorar os modelos climáticos atuais (KUNERT *et al.*, 2017; APARECIDO *et al.*, 2016). Todavia, ainda existe muita dificuldade em executar este tipo de estudo, devido a

diversidade de espécies e a necessidade de se amostrar uma grande quantidade de árvores (GRANIER *et al.*, 1996b).

A umidade do solo é uma variável importante para a quantificação da captação de água subterrânea pela vegetação, além de ser uma medida fundamental para se determinar as taxas de infiltração e percolação da água entre as zonas saturadas e não saturadas (SHEFFIELD & WOOD, 2008; NEGRÓN-JUÁREZ *et al.*, 2020). Além disso, as características da vegetação e a quantidade de chuva possuem uma relação direta com a água que infiltra e percola no solo (DANTAS *et al.*, 2011; BROEDEL, 2012). Nesse sentido, a relação da dependência entre as características edáficas e ambientais com a umidade do solo são importantes aspectos a serem considerados para previsões futuras sobre temperatura, atividades microbianas e ciclos de nutrientes tanto em nível local como global (AUSTIN *et al.*, 2004; ROBOCK, 2015; NEGRÓN-JUÁREZ *et al.*, 2020).

A infiltração e percolação de água no solo são processos diferentes. O primeiro está associado ao transporte de água no momento em que esta atinge a superfície do solo (infiltração) e o segundo é o movimento descendente de água no interior do solo, das camadas mais superficiais para as mais profundas (LIMA, 2008; BROEDEL *et al.*, 2012; RAMOS., 2019). Nesse contexto, a umidade do solo é entendida como a água presente nos macroporos do solo e prontamente disponível para as plantas, sendo que a água oclusa nos microporos e indisponível para as plantas não é contabilizada (NEGRÓN-JUÁREZ *et al.*, 2020). A quantificação da umidade do solo em áreas de floresta pode ajudar a entender melhor a dinâmica da vegetação, assim como os processos hidrológicos abaixo e acima do solo que ocorrem de forma simultânea nestes ambientes, além de fornecer dados para auxiliar os modelos climáticos e hidrológicos aplicados para a Amazônia (REICHARDT & TIMM, 2012; CHRISTIPHERSEN *et al.*, 2012; KOYEN *et al.*, 2020; NEGRÓN-JUÁREZ *et al.*, 2020).

As variações nos padrões de umidade do solo causadas por características edáficas, além da precipitação e a utilização da água pela vegetação podem ser melhor entendidas com dados obtidos em maiores profundidades (NEGRÓN-JUÁREZ *et al.*, 2020). Apesar da influência na composição florestal (le ROUX; AALTO & LUOTO, 2013), pouco se sabe precisamente sobre a dinâmica da umidade do solo em maiores profundidades, haja vista a demanda desigual de transpiração nas diferentes camadas do solo de ecossistemas florestais (BROEDEL; TOMASELLA;

CANDIDO & von RANDOW, 2017; SPANNER et al., 2022). Com isto, a caracterização da variação da umidade do solo em profundidade e a sua variação sazonal é de extrema importância.

Alguns traços funcionais da floresta também podem influenciar a variação da umidade do solo. Entender o grau da relação entre o incremento em diâmetro, a biomassa e a serapilheira, por exemplo, com a dinâmica da água no solo podem permitir uma melhor explicação sobre as diferentes respostas das árvores aos eventos de seca e chuva intensa (OURIQUE *et al.*, 2016). A captação da água presente nas camadas superficiais do solo por raízes finas e a associação com fungos micorrízicos (VITOUSEK, 1986; LUIZAO, 1989) além da senescência das folhas em períodos de seca (LOPES et al., 2016) são aspectos importantes a serem considerados. Alguns estudos verificaram um elevado grau de correlação entre a quantidade de água e elevados índices de área foliar mesmo em períodos de seca na Amazônia (NEPSTAD *et al.*, 1994,2004; SALESKA *et al.*, 2003; ASNER *et al.*, 2004; ROCHA *et al.*, 2004). Além disso, a água contida nos espaços vazios do solo, localizados mais próximo da superfície, influenciam em características como a decomposição da serapilheira, lixiviação e disponibilidade de nutrientes (ALVES; SUZUKI & SUZUKI *et al.*, 2007; DANTAS *et al.*, 2011; COSTA *et al.*, 2013), o que demonstra que a dinâmica da vegetação e a umidade do solo estão intimamente conectados

Assim, o presente estudo foi conduzido utilizando sensores de umidade do solo de alta tecnologia instalados em diferentes profundidades do solo, de modo concomitante à informações obtidas por meio de coletores de serapilheira conforme estudo de Ourique et al. (2016), bandas dendrométricas, dados de inventário florestal, além de dados de precipitação no período de 12 meses (abrangendo os anos de 2020 e 2021). O estudo concentrou-se exclusivamente em uma área de platô dentro dos limites da parcela permanente conhecida como “Transecto Norte-Sul, na Amazônia Central (SILVA *et al.*,2009). Além disso, os dados coletados pelo presente estudo abrangeram um período considerado atípico de evento climático com chuvas acima da média histórica (La Niña), além dos desafios e restrições ocasionados pela pandemia de Covid-19 que abrangeu todo o período de coleta de dados deste estudo. Por fim, este estudo visou responder a seguinte pergunta central: Como a umidade do solo influencia a dinâmica da vegetação de uma floresta de terra-firme na Amazônia central durante um evento atípico de La Niña?

2. OBJETIVOS

a. GERAL

Investigar a relação entre a umidade do solo e a dinâmica de crescimento da vegetação em uma área de platô de uma floresta de terra-firme na Amazônia Central, em diferentes períodos sazonais durante um evento de La Niña.

b. ESPECÍFICOS

- Quantificar a umidade do solo, a produção de serapilheira e o incremento em DAP em uma rede parcelas permanentes localizadas em uma área de platô.
- Correlacionar dados de umidade do solo medidos em diferentes profundidades com o incremento em DAP e a produção de serapilheira de árvores localizadas no platô, em diferentes períodos sazonais.

3. HIPÓTESES CIENTÍFICAS

Visando responder à questão científica e aos objetivos propostos, as seguintes hipóteses foram testadas:

- I. Partindo do pressuposto de que a precipitação influencia na dinâmica da floresta, podemos prever que a umidade do solo também influencia na variação do incremento em diâmetro de árvores em uma área de platô.

H0: A umidade do solo não possui correlação com incremento em DAP.

H1: A umidade do solo possui correlação com o incremento em DAP de árvores localizadas no platô.

- II. Segundo pesquisas realizadas na mesma área de estudo (e.g. OURIQUE *et al.*, 2016) e em uma área de floresta primária no estado de Rondônia (e.g. FREIRE *et al.*, 2020), a produção de serapilheira possui correlação negativa com a precipitação. Assim, espera-se que a umidade do solo possua a mesma correlação com a produção de serapilheira e queda de folhas na área de platô.

H0: A umidade do solo não possui correlação com a produção de serapilheira e queda de folhas.

H1: A umidade do solo possui correlação significativa com a produção de serapilheira e a queda de folhas em árvores no platô.

4. REFERENCIAL TEÓRICO

a. UMIDADE DO SOLO

A relação da umidade do solo com os ciclos de chuvas à nível local, regional além da regulação do clima global é significativa. Neste sentido, o papel da Amazônia no contexto climático é fundamental, uma vez que a cobertura florestal intercepta grande quantidade da água que cai das chuvas (cerca de 25%) (SHUTTLEWORTH, 1988; CHAMBERS *et al.*, 2002; FEARNESIDE, 2008; MALHI *et al.*, 2008). Além disso, o processo de evapotranspiração mediado pela vegetação, por ser um ponto chave no entendimento do ciclo hidrológico terrestre, precisa ser constantemente elucidado sendo que a umidade do solo representa um papel importante neste aspecto (SHUTTLEWORTH, 1988; ELTAHIR, 1998; ZREDA, 2012; LEI; CROW; HOLMES; HAIN & HANDERSON, 2018). Apesar da quantidade de água total no solo ser menor quando comparada à quantidade armazenada nos oceanos, os fluxos de água existente em sistemas terrestres contribuem de modo significativo para a troca de energia da superfície terrestre com a atmosfera (ZREDA, 2012).

A umidade do solo se refere à água presente nos espaços dos poros existentes no solo (NEGRÓN-JUAREZ *et al.*, 2020). A infiltração e posterior percolação da água no solo influenciam na umidade do solo em diferentes camadas, ocorrendo primeiro na camada superficial do solo (infiltração) e a outra nas camadas mais profundas do solo (percolação), respectivamente (TOMASELLA; HODNETT, 1996; BROEDEL, 2012). Além disso, fatores ambientais como a sazonalidade, estrutura da floresta, textura do solo, porosidade e topografia são importantes preditores da variação na umidade do solo (CHAUVEL *et al.*, 1992; COSTA *et al.*, 2013). Com isso, o esclarecimento das relações entre a umidade do solo e as condições ambientais, além das características do solo, pode ser útil para a realização de previsões climáticas e de fluxos de água em nível de bacias com um maior grau de precisão (ROBOCK, 2015; NEGRÓN-JUAREZ *et al.*, 2020). Porém as informações sobre a variação da umidade do solo em florestas tropicais e em diferentes profundidades ainda são escassas, dada a dificuldade logística e operacional em estabelecer experimentos nestas regiões, em particular nas florestas intactas da Amazônia Central.

Apesar de sua importância significativa já supracitada, a umidade do solo ainda é pouco conhecida em escalas espaciais e temporais maiores. Mesmo com o aumento

do número de pesquisadores que atuam nesta área do conhecimento, o entendimento do papel da umidade do solo no meio ambiente ainda é incipiente (ZREDA, 2012). Este paradoxo que envolve os estudos de umidade do solo se potencializa devido à sua elevada dinâmica, constituindo grande desafio para prevê-lo no espaço e no tempo (YOO & KIM, 2004; NEGRÓN-JUAREZ *et al.*, 2020). Neste sentido, muitos métodos para determinar a umidade do solo remotamente têm sido difundidos a fim de se obter medidas precisas para avaliar e melhorar os modelos que abrangem a superfície da terra em várias escalas (BROCCA; MORBIDELLI; MELONE & MORAMARCO, 2007; DORIGO *et al.*, 2011) e para prever possíveis tendências do Sistema Global de Observação Climática (GCOS, *sigla em inglês*) (WMO, GCOS, 2016).

Sendo assim, medidas que utilizam instrumentos de alta tecnologia e com um alto grau de precisão possibilitam, além do entendimento da dinâmica da floresta, verificar possíveis respostas da floresta aos eventos de seca e chuva. Neste sentido, projetos de cooperação científica internacional, tal como o projeto *Next Generation Ecosystem Experiments- Tropics* (NGEE-Tropics) que visa compreender o efeito das secas na vulnerabilidade das florestas tropicais, como estresse hídrico e trocas de água dentro do contínuo solo-planta-atmosfera, são de grande importância (FONTES *et al.*, 2018; GIMENEZ *et al.*, 2019). Uma vez que os processos que ocorrem abaixo e acima do solo possuem relações diretas e indiretas com a umidade do solo, onde a água utilizada pelo processo de transpiração durante períodos de seca, por exemplo, pode ser fornecida por períodos anteriores (como advento de chuvas ocorridas em anos anteriores) demonstra um pouco o tamanho desta complexidade. Isso é devido a capacidade da água em permanecer no solo por semanas e até meses, aumentando o desafio de se estudar esse sistema (SENEVIRATNE & KOSTER, 2012; NEGRÓN-JUÁREZ *et al.*, 2007).

b. DINÂMICA DA FLORESTA

Estudos sobre a dinâmica da floresta amazônica constituem um grande desafio para pesquisadores. De modo geral, as fontes de dados para desenvolver este tipo de pesquisa são provenientes de parcelas permanentes instaladas através de um grande esforço técnico, logístico e financeiro sendo muitas vezes alocadas de forma

tendenciosa (próximas à rios e cursos d'água ou locais com infraestrutura já implementada, por exemplo) com poucas repetições e com pouco tempo de monitoramento. Essa última afirmação, referente ao tempo de monitoramento, baseia-se na idade estimada de árvores com DAP ≥ 50 cm realizada por Chambers *et al.* (1998) onde foram encontradas árvores com idades entre 200 e 1400 anos. Assim, apesar das dificuldades logísticas e operacionais, o acompanhamento e o monitoramento do crescimento em diâmetro da floresta ajudam a compreender melhor a dinâmica da vegetação (WAGNER *et al.*, 2014a).

A coleta de dados por meio de inventários florestais também pode auxiliar nas estimativas do crescimento das árvores nas florestas. A utilização de modelos alométricos que possuem poucas variáveis independentes, como o DAP e a altura total (HT) pode ser uma maneira eficiente para estimar o incremento de maneira precisa e confiável na Amazônia Central. Porém, a incerteza que está atrelada aos cálculos precisa ser explicada de forma clara (HIGUCHI *et al.*, 1998; SILVA, 2007), principalmente a incerteza associada à média estimada conforme sugerido no guia do IPCC sobre a incerteza (*uncertainty*)- *Guideline for National Greenhouse Gas Inventories* (IPCC, 2006).

De modo geral, estudos sobre a dinâmica da floresta estão associados ao balanço de carbono e ao incremento em biomassa. No processo de fotossíntese o carbono assimilado constitui a Produtividade Primária Bruta (PPB), que uma vez descontado o que é perdido pela respiração resulta na Produtividade Primária Líquida (PPL), representando o total de biomassa investida pela planta (em tecidos como a madeira, por exemplo) (MALHI *et al.*, 2014). O carbono assimilado e fixado nos tecidos da planta pode ser quantificado, de modo geral, por meio do aumento do incremento diamétrico e o recrutamento de novos indivíduos, além do que sai do sistema pela taxa de mortalidade da floresta (SILVA, 2007). Diante disto, a quantificação de biomassa acima do solo para árvores em pé tem sido estimada de acordo com métodos diretos e indiretos, apesar de haverem muitas controvérsias e informações desencontradas mesmo quando utilizados o mesmo banco de dados (BROWN *et al.*, 1989; FEARNside *et al.*, 1993; HIGUCHI *et al.*, 1994; FOSTER BROWN *et al.*, 1995). Estes autores utilizaram estes métodos aplicados a inventários florestais, onde as variáveis utilizadas eram DAP e densidade da madeira, sendo a biomassa estimada pelo volume de madeira (SILVA *et al.*, 2007).

Entre os pesquisadores que trabalham com biomassa, o consenso que prevalece é o de não ter possibilidade de estimar a biomassa de todas as árvores pelo método direto com dados de inventários florestais. Com isso, a utilização de modelos ajustados para a realidade da Amazônia central nas estimativas de biomassa tem sido bastante praticada, como o proposto para a região de Manaus (AM) por Higuchi *et al.* (1998) e validado posteriormente por Araújo *et al.* (1999) em Tomé-açu (PA) e por Silva *et al.* (2007) na região de Manaus (AM). Todos esses estudos apresentaram resultados estatisticamente satisfatórios, ou seja, coeficientes de determinação altos ($> 0,95$), erro padrão da estimativa baixo ($< 10\%$) além de uma distribuição dos resíduos uniforme e sem tendências.

Realizar a prognose do incremento em biomassa da floresta possibilita quantificar os efeitos da sazonalidade de secas em sua dinâmica. De modo geral, uma vez que em eventos de seca ocorre um decréscimo no ganho de biomassa acima do solo (AGB) e aumento na mortalidade, resultando em maior emissão no balanço de carbono (PHILLIPS *et al.*, 2009, 2010; LEWIS *et al.*, 2011; DOUGHTY *et al.*, 2015; FELDPAUSCH *et al.*, 2016), estudos que envolvam os aspectos sazonais são de extrema importância. Um elevado estresse hídrico durante as secas mais prolongadas resultam na diminuição no incremento diamétrico das árvores devido à baixa assimilação de carbono realizada na fotossíntese, e conseqüentemente, afetando processos biogeoquímicos e atmosféricos (WORBES, 1999; BRANDO *et al.*, 2008; McMAHON *et al.*, 2010; MALHI *et al.*, 2011; WAGNER *et al.*, 2014a).

c. FENOLOGIA E DINÂMICA DA SERAPILHEIRA

A fenologia busca tradicionalmente fornecer informações sobre a periodicidade dos fenômenos dos seres vivos e a sua relação com os fatores ambientais e biológicos (LIETH, 1974). A fenologia também visa compreender os processos de crescimento e reprodução dos organismos vegetais buscando relacioná-los com os fatores internos e externos que podem ser influenciados pela época do ano, o período e o ciclo de vida dos vegetais. E como itens adicionais à própria fenologia, estão os estudos sobre os períodos de floração, frutificação, perda de folhas e produção de novas folhas, que são as fenofases ou fases fenológicas (NEWSTROM *et al.*, 1994; SHWARTZ, 2003; ALEIXO *et al.*, 2019).

Muitas espécies na Amazônia possuem estratégias de adaptação a períodos de seca e a constantes aumentos na temperatura. Estas estratégias podem variar desde a perda das folhas até a produção de flores, buscando evitar altas taxas de transpiração, melhorando assim sua resistência à seca (BORCHERT 2004; NELSON *et al.*, 2014). Nelson *et al.* (2014) estudando a fenologia em uma área de platô em floresta de terra firme na Amazônia central inferiram que entre o final do período seco (outubro) e metade da estação chuvosa (março) se tem maior abundância de folhas altamente eficientes, ou seja, com idade de 2 a 6 meses e taxa máxima de carboxilação.

A sazonalidade bem definida, típica de ambientes tropicais, pode ser relevante para a produção de folhas novas. Porém, Reich (1995) observou que a produção de folhas novas é contínua nestes ambientes, sendo corroborado posteriormente pelo mesmo autor e colaboradores (Reich *et al.* (2004)) por meio do monitoramento mensal de folhas de 23 espécies na Amazônia venezuelana em um período de 10 anos, onde constataram que o lançamento de novas folhas e a taxa de queda de folhas não foi sazonal. Na Amazônia central, as mudanças sazonais na insolação diária controlam as trocas de folhas em diversos sítios, uma vez que na ausência do sinal de insolação diurna, o curso anual da insolação diária foi o principal sinal percebido (BORCHERT *et al.*, 2015; ALEIXO, 2019).

Muitas espécies têm a sua produção de folhas associada de forma simultânea com a floração, sendo induzidas pela insolação atmosférica (BORCHERT *et al.*, 2005). Os nutrientes fornecidos pela decomposição da serapilheira podem ser fator importante para a produção de folhas novas com o objetivo de maximizar a absorção destes logo após o início do período chuvoso (van SCHAIK *et al.*, 1993). Assim, a precipitação e a umidade do solo podem ser tomadas como fatores de influência na produção e queda de folhas que está diretamente relacionada com a produção de serapilheira.

Os picos de produção de serapilheira em períodos de menor precipitação podem ser estratégias para economia de água (OURIQUE *et al.*, 2016). Van Schaik *et al.* (1993) afirmam que a diminuição da umidade do solo pode fazer com que as árvores dispersem as folhas velhas como estratégia para menor transpiração. Estudos com análises de imagens de satélite em uma floresta madura na Amazônia, utilizando o índice de área foliar, sugerem que a sazonalidade da radiação influencia a troca de

folhas mais que a precipitação (MYNENI *et al.*), porém os autores mencionam que períodos sem chuva maior que 5 dias podem ocasionar altos valores de queda de folhas. Assim, a produção de serapilheira pela queda das folhas pode ser influenciada pela distribuição das chuvas (LUIZÃO, 1989), e também pela dinâmica da umidade do solo, onde o presente estudo tem como foco.

5. Material e Métodos

a. Local do estudo

O estudo foi executado na Estação Experimental de Silvicultura Tropical do Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia (E.E.S.T/INPA, também conhecida como ZF2) (2.45-2.66° S, 60.02-60.32° W). A E.E.S.T está localizada à aproximadamente 90 km ao noroeste de Manaus, Amazonas, Brasil, na região da Amazônia Central (**Figura 1**). O acesso é por meio de estrada de terra com entrada na altura do km 934 da rodovia BR-174 (antigo km - 50) que interliga a capital Manaus - AM a Boa Vista - RR. A E.E.S.T abrange 21.000 hectares de extensão (ANDRADE & HIGUCHI, 2009).

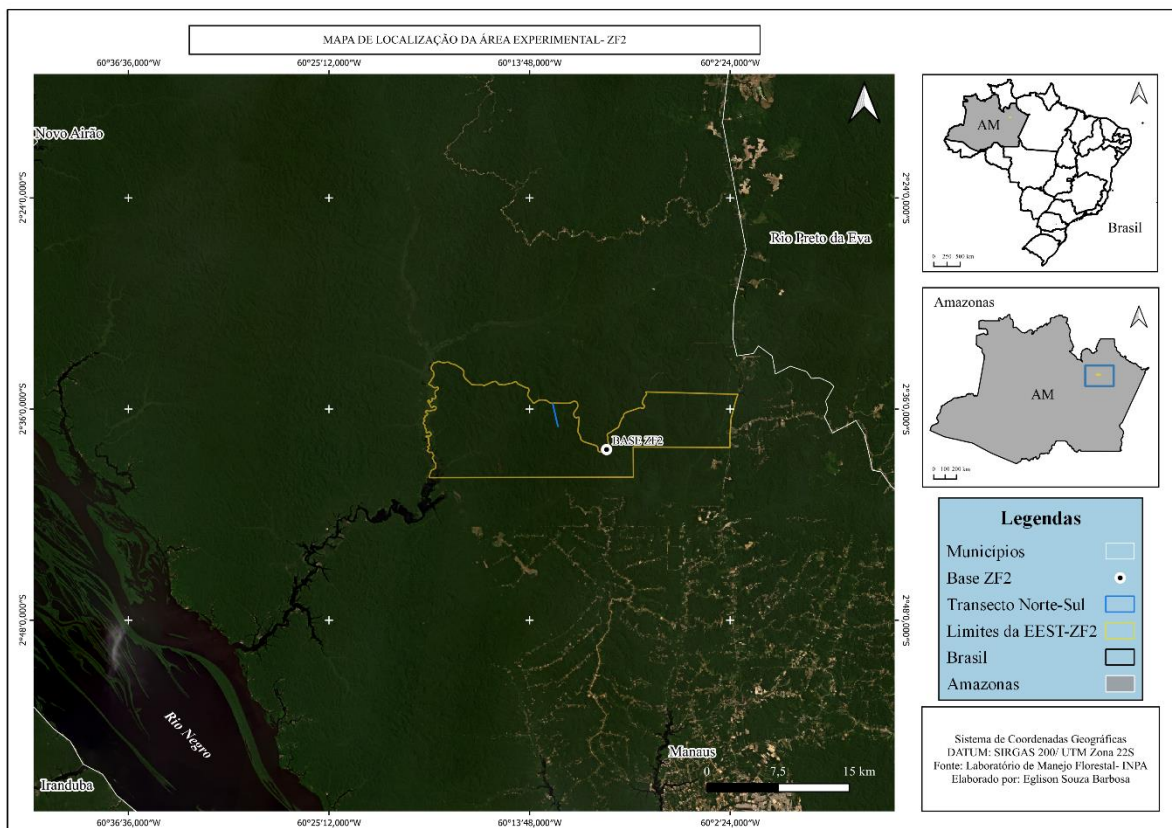


Figura 1: Mapa de localização da área de estudo.

O transecto Norte-Sul está situado no km 32 da estrada vicinal ZF2. Trata-se de uma parcela permanente na forma de um transecto na direção Norte-Sul instalada em 1996 pelo Projeto Jacaranda, um acordo entre a *Japan International Cooperation Agency* (JICA) e o INPA. O transecto Norte-Sul possui dimensões de 20 x 2500 m (5 hectares), sendo dividido em subparcelas contíguas medindo 20 x 20 m (OURIQUE *et al.*, 2016; SILVA *et al.*, 2001). Para este estudo foram selecionadas 30 subparcelas localizadas exclusivamente numa área de platô para a instalação de coletores de serapilheira, totalizando 1,2 hectares monitorados.

b. Vegetação e clima

A vegetação é característica de floresta úmida de terra-firme com cobertura vegetal de floresta madura e altura média de 28,65 m (desvio padrão: $\pm 0,46$ m) (ANDRADE & HIGUCHI, 2009; ARAÚJO, 2019), além de elevada quantidade de espécies arbóreas (HIGUCHI *et al.*, 1997). As famílias mais abundantes na área de estudo são Lecythidaceae, Sapotaceae, Fabaceae, Chrysobalanaceae, Burseraceae, Annonaceae, Moraceae e Euphorbiaceae (CARNEIRO *et al.*, 2005; HIGUCHI *et al.*, 1997), destacando-se no platô as famílias Lecythidaceae, Sapotaceae, Burseraceae e Fabaceae (CARNEIRO, 2004).

c. Solos e topografia

O solo predominante na ZF-2 possui característica distrófica com baixos níveis de fósforo, cálcio, magnésio, sódio e potássio e elevado teor de alumínio (QUESADA *et al.*, 2010; TEIXEIRA *et al.*, 2014). A classificação do solo é feita de acordo com a topossequência, sendo as áreas de platô com predominância de latossolo amarelo rico em argila, onde também se tem maior disponibilidade de nutrientes como Fe, Mn e Cu (FERRAZ *et al.*, 1998), nas encostas a textura varia para arenoso-argiloso, e no baixio observam-se solos hidromórficos com elevada mistura de areia e matéria orgânica (TELLES *et al.*, 2004). Nesse sentido, as características dos solos na Amazônia Central tais como textura, teor de umidade, teor de matéria orgânica, pH e concentrações de C e N variam de acordo com o gradiente topográfico (LUIZAO *et al.*, 2004).

5.1. Coleta de dados

5.1.a. Serapilheira

Para a quantificação da produção de serapilheira no transecto N-S foram instalados 30 coletores (um coletor no centro de cada subparcela). Os coletores de serapilheira foram confeccionados com as medidas de 0,5 m x 0,5 m (0,25 m²) de

largura e 0,8 m de altura a partir do solo. Essas dimensões foram calculadas a fim de se evitar danos nos coletores ou perda de material pela ação de decompositores como fungos, bactérias e pequenos invertebrados. A estrutura foi feita de tubos PVC de 20 mm e tela de nylon com malha de 0,1 mm (**Figura 2**). As coletas de serapilheira foram realizadas quinzenalmente, sempre que possível, nos dias 15 e 30 de cada mês, visando evitar perda de material por decomposição dentro dos coletores. O período total de coleta ocorreu entre dezembro de 2020 e novembro de 2021.

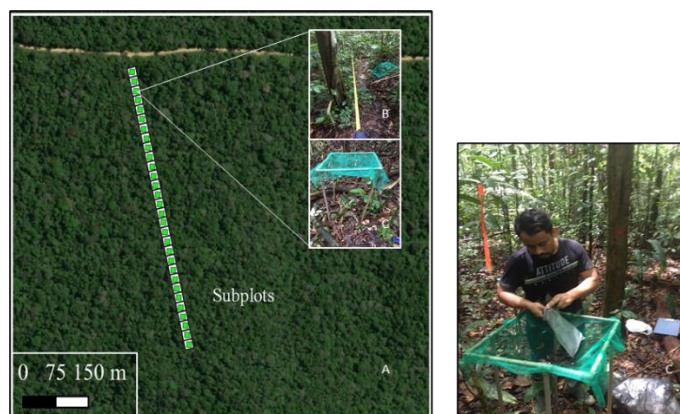


Figura 2: Esquema de disposição dos coletores de serapilheira na área de estudo.

Em campo, a serapilheira armazenada em cada coletor foi acondicionada em sacos plásticos previamente identificados e numerados, sendo posteriormente transferidos para sacos de papel para serem encaminhados para secagem a $65^{\circ}\text{C} \pm 2$ em estufa de circulação forçada, instalada nas dependências do Laboratório de Manejo Florestal (LMF-INPA) (**Figura 3**), por 72 horas ou até manter peso constante. Após a secagem foi feita triagem do material com separação das seguintes frações: folhas, galhos (finos e grossos), material reprodutivo (flores, frutos e sementes) e miscelânea (material orgânico não identificado) (**Figura 3**) seguindo de pesagem em balança analítica com precisão de 0,0001 g (**Figura 3**).



Figura 3: Estufa de secagem (A); Balança de analítica de precisão (B); material particionado armazenado em sacos de papel (C e D).

5.1.b. Incremento em diâmetro

O incremento em diâmetro foi obtido com a medição em bandas dendrométricas instaladas em árvores distribuídas ao longo do gradiente topográfico (**Figura 4**) presente nas áreas dos transectos Norte-Sul e Leste-Oeste (acompanhando o gradiente topográfico de platô, encosta e baixio) (SILVA *et al.*, 2003). Entretanto, para esta pesquisa foram coletados dados de incremento apenas dos indivíduos localizados no platô, totalizando 105 árvores com DAP >10 cm. As medições foram realizadas sempre entre os dias 25 e 30 de cada mês. As bandas dendrométricas medem a expansão do crescimento do caule por meio do deslocamento provocado em uma mola de retorno. O deslocamento promove movimento na posição da abertura da fita metálica que posteriormente é medido por um paquímetro digital com precisão de 0,01 mm (SILVA *et al.*, 2003).



Figura 4: Bandas dendrométricas e medições com paquímetro digital.

5.1.d. Umidade do solo

No ano de 2018, sensores TDR do tipo CS655 (*Campbell Scientific*) foram instalados horizontalmente no poço profundo como parte do projeto NGEE- *Tropics*, nas respectivas profundidades: 0,025; 0,05; 0,15; 0,3; 0,5; 0,8; 1,6; 2,4; 3,2; 4,8; 6,4; 8,8; 14,3 e 15 m. O poço profundo possui uma tampa de metal de dimensões de 1,2 x 1,8 m, que fica vedada para impedir ações de intempéries da natureza (**Figura 5**).

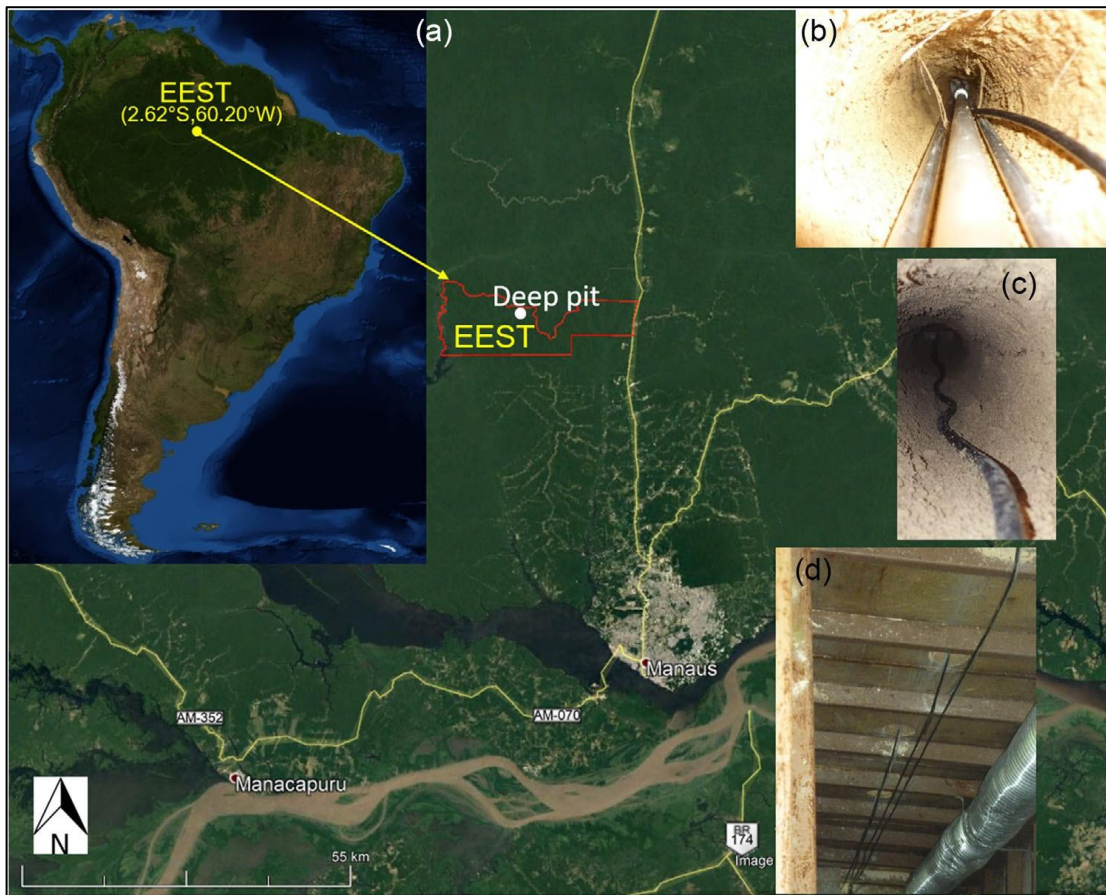


Figura 5: Localização e estrutura do poço profundo instalado na área experimental (Adaptado de Negrón-Juárez et al. 2020)

No estudo conduzido por Negrón-Juárez *et al.* (2020) foi realizada a calibração destes sensores pela primeira vez para uma área de platô na Amazônia Central. Os sensores TDR do tipo CS655 possuem hastes paralelas de aço inoxidável de 12 cm de comprimento que formam uma linha de transmissão aberta na qual a velocidade de propagação da onda depende da permissividade dielétrica do meio ao redor das hastes. Um circuito oscilador diferencial é conectado às duas hastes, com uma mudança de estado do oscilador desencadeada pelo retorno de um sinal de uma das hastes e o tempo de viagem bidirecional de onda varia com a permissividade dielétrica (K_a) que, por sua vez depende muito do conteúdo de água do solo. Os dados obtidos pelos sensores TDR foram coletados em um intervalo de 30 minutos com armazenamento realizado por um *data-logger* modelo CR1000x (*Campbell Scientific*).

5.1.e. Precipitação

Para verificar a precipitação acumulada, consultou-se os dados históricos regionais de 35 anos fornecidos pela Embrapa Amazônia Ocidental localizada no km-29 da rodovia AM-010 e comparados com dados locais de precipitação do sítio de

estudo coletados por meio de um pluviômetro e pluviógrafo localizados na Base ZF-2 (**Tabela 1**). Vale ressaltar, que o período que abrange o presente estudo, caracteriza-se pelo resfriamento acima da média histórica das águas superficiais do Oceano Pacífico Central (ENOS- La Niña) (CPTEC- INPE), sendo confirmado com valores de precipitação acumulada acima da estimativa máxima da série histórica. Nesse sentido, os dados de precipitação foram importantes para se analisar a influência deste evento climático nas variáveis de crescimento da floresta, além das condições hidrológicas do solo.

Tabela 1: Média mensal histórica do período de 1980 - 2016 de precipitação na região próxima do sítio de estudo da Embrapa Amazônia Ocidental.

Meses	1980 - 2016
Dezembro	230,23
Janeiro	272,97
Fevereiro	284,76
Março	310,60
Abril	313,03
Maiο	252,38
Junho	143,75
Julho	103,25
Agosto	81,91
Setembro	102,50
Outubro	129,47
Novembro	171,24
Média	199,67
Total	2396,09

Fonte: Embrapa Amazônia Ocidental

5.2. Análise dos dados

Objetivo específico 1:

- *Quantificar a umidade do solo, a produção de serapilheira e o incremento em DAP em uma rede parcelas permanentes localizadas em uma área de platô.*

Foi calculada a produção de serapilheira (n= 360) e obtida sua massa por fração (em Mg. ha⁻¹). O crescimento em diâmetro médio da floresta amostrada (n= 67) foi calculado em mm. mês⁻¹. A umidade do solo média mensal foi calculada para todas as profundidades do estudo (n= 140), em m³ / m³. A normalidade dos dados obedeceu

o pressuposto pela teoria do limite central e a foi verificada a diferença entre as médias pelo teste *t* de Student.

Objetivo específico 2:

- *Correlacionar dados de umidade do solo medidos em diferentes profundidades com o incremento em DAP e a produção de serapilheira de árvores localizadas no platô, em diferentes períodos sazonais.*

Com as variáveis pareadas (**Tabela 2**), foram verificados os coeficientes de correlação de cada par analisado e suas probabilidades avaliadas de acordo com suas classificações. A correlação de Pearson foi calculada com teste *post-hoc* de Bonferroni para validar os resultados obtidos.

Tabela 2: Resumo das correlações analisadas

Correlação	Escala
Umidade do solo vs Incremento em diâmetro	2020 - 2021
Umidade do solo vs Precipitação	2020 - 2021
Umidade do solo vs Serapilheira	2020 - 2021
Umidade do solo vs Frações de serapilheira	2020 - 2021

Os termos utilizados para indicar as probabilidades das correlações foram identificados de acordo com tabela de classificação (**Tabela 3**) segundo o quinto relatório de avaliação do painel intergovernamental de mudança climática (IPCC, sigla em inglês).

Tabela 3: Termos indicados pelo IPCC para as probabilidades avaliadas.

Termos	Probabilidade
<i>Praticamente certo</i>	99 - 100%
<i>Muito provável</i>	90 - 100%
<i>Provável</i>	66 - 100%
<i>Tão provável quanto improvável</i>	33 - 66%
<i>Improvável</i>	0 - 33%
<i>Muito improvável</i>	0 - 10%
<i>Excepcionalmente improvável</i>	0 - 1%

Fonte: Adaptado de IPCC (2013).

6. RESULTADOS E DISCUSSÃO

a. Serapilheira

A **Figura 6** ilustra a produção de serapilheira média de $0,73 \pm 0,27 \text{ Mg. ha}^{-1} \cdot \text{mês}^{-1}$, com produtividade total anual de $8,81 \pm 0,27 \text{ Mg. ha}^{-1} \cdot \text{mês}^{-1}$, com pico de produção no mês de setembro ($1,21 \pm 0,27 \text{ Mg. ha}^{-1} \cdot \text{mês}^{-1}$), que por sua vez foi o mês em que houve a menor precipitação acumulada no período desse estudo (157,48 mm), explicando a correlação negativa provável entre estas duas variáveis ($r = -0,70$; $p < 0,05$). Este resultado é semelhante a estudos anteriores em outros sítios na Amazônia (Freire et al., 2020; Martins et al., 2018; Martius et al., 2004; Barbosa e Fearnside, 1996) e na mesma área deste estudo Ourique et al. (2016), relatando os picos de produção de serapilheira no início e durante o período seco, evidenciando a sazonalidade na dispersão de folhas das espécies de árvores na Amazônia.

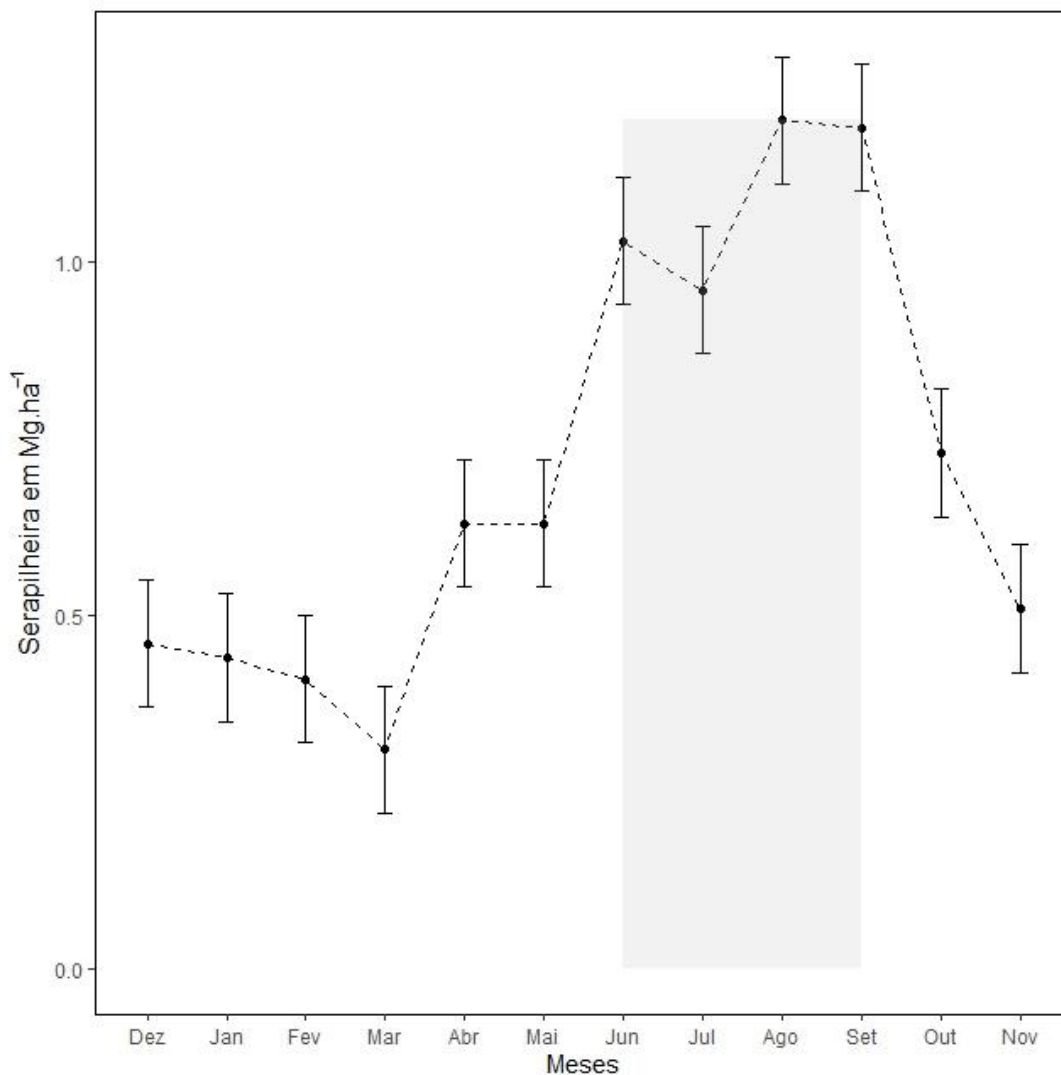


Figura 6: Produtividade de serapilheira (erro padrão: 0,09) na área de estudo no período de dezembro/2020 a novembro/2021.

Quando realizada a comparação da produtividade de serapilheira na mesma área de estudo em dois períodos (**Figura 7**), percebe-se distribuição gráfica semelhante nos meses com maior precipitação, porém com picos de produção de serapilheira no período 2012/2013 sendo em junho e julho ($1,03$ e $1,00 \pm 0,23$ Mg. ha⁻¹. mês⁻¹) (Ourique, 2014) e no período 2020/2021 a maior produção se dá nos meses de agosto e setembro ($1,20$ e $1,21 \pm 0,21$ Mg.ha⁻¹.mês⁻¹), ambos se caracterizando como períodos de seca. Importante salientar a caracterização de ambos os períodos de pesquisa como anos meteorologicamente atípicos, com o estudo de Ourique et al.(2016) com precipitação anual 20,8% maior que a média histórica da região e o presente estudo sendo 28,7%.

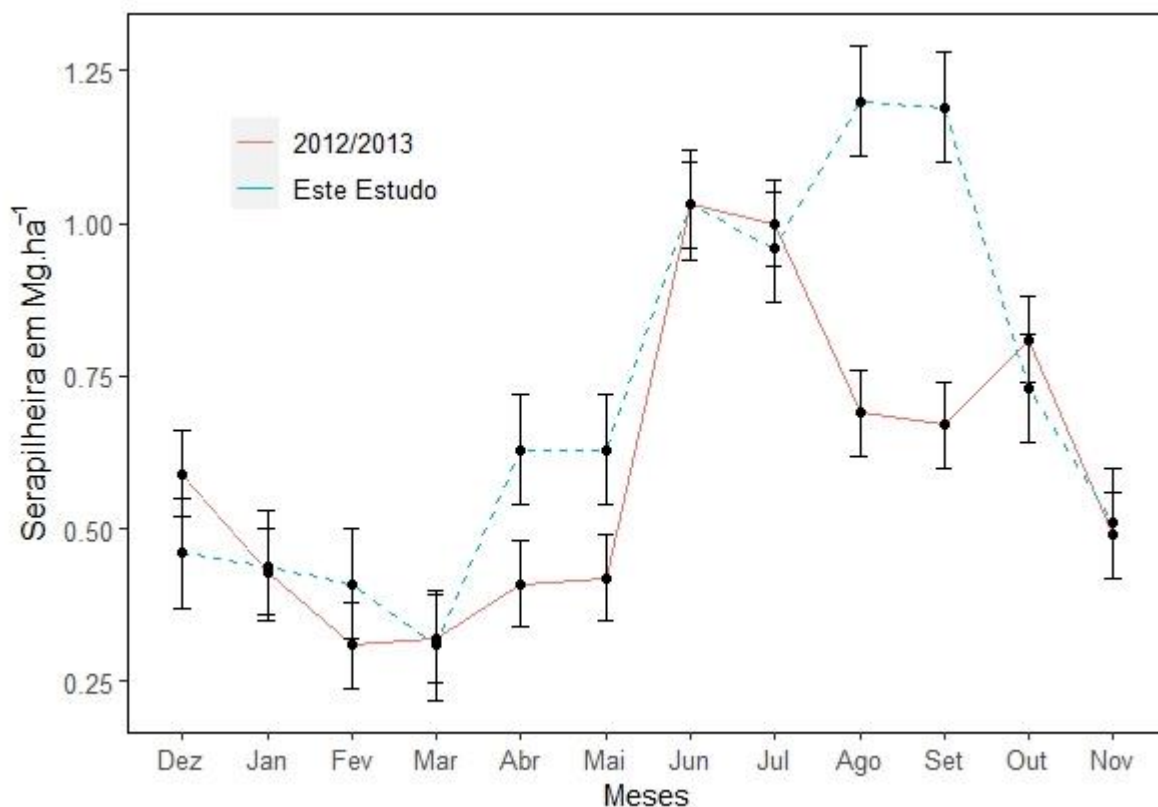


Figura 7: Produtividade de serapilheira nos períodos de 2012-2013 e do presente estudo na mesma área de estudo.

A produção total deste estudo ($8,51 \pm 0,17 \text{ Mg.ha}^{-1}.\text{ano}^{-1}$) foi maior que a obtida por Ourique (2014) na mesma área de estudo ($7,10 \pm 0,23 \text{ Mg.ha}^{-1}.\text{ano}^{-1}$), porém ambos com valores dentro do intervalo de confiança dos totais obtidos em outras pesquisas em áreas de platô na Amazônia central (Martius et al., 2004; Luizão et al., 2004; Luizão e Schubart, 1987). O intervalo de confiança das estimativas pode variar substancialmente, podendo ser menor quando o número de coletores aumenta. A falta de detalhamento do delineamento experimental pode ser outro fator que diminui a confiabilidade quando se objetiva comparar com outros estudos (Clark et al., 2001a). Apesar do presente estudo ter sido realizado com quantidade de coletores menor que o estudo de Ourique (2014), é extremamente provável a relação direta das duas produtividades amostradas ($r = 0,737$, $p < 0,05$).

A queda de folhas é fator preponderante para ser relacionado com o crescimento da floresta. Apesar disto, ainda existe poucos estudos verificando este componente importante no ciclo de nutrientes e nas funções da floresta (Osborne et al., 2020). Valores altos de produção de serapilheira indicam a dispersão de folhas, principalmente como estratégia para economia e eficiência no uso de água (Smith et

al.,2019; Ourique 2014) e até mesmo a outros fatores climáticos e fisiológicos (Ourique 2014).

As médias das partes de serapilheira podem ser observadas na figura 7.A produção de serapilheira total obtida foi constituída em sua maioria (79,7%) pela queda de folhas com $6,72 \pm 0,14 \text{ Mg.ha}^{-1} \cdot \text{ano}^{-1}$, seguindo em ordem decrescente pela queda de galhos e gravetos que representou 11,7% com $0,99 \pm 0,02 \text{ Mg.ha}^{-1} \cdot \text{ano}^{-1}$, com o total de $0,37 \pm 0,004 \text{ Mg.ha}^{-1} \cdot \text{ano}^{-1}$ o material reprodutivo foi o terceiro no ranking de frações de serapilheira (4,4%), por último os resíduos encontrados nos coletores representaram 4,2% da produção total de serapilheira com $0,35 \pm 0,005 \text{ Mg.ha}^{-1} \cdot \text{ano}^{-1}$.

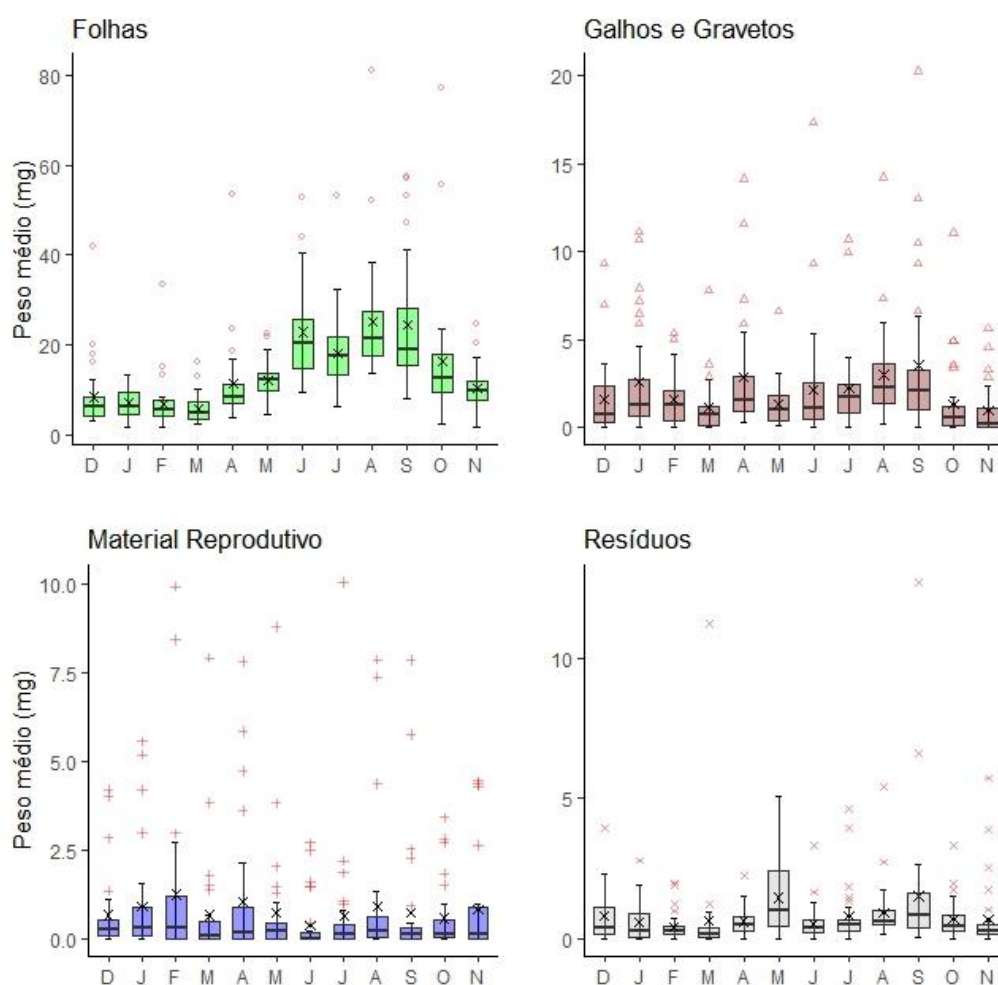


Figura 8: Variação na produção de frações de serapilheira no período do estudo.

Freire et al. (2020) obtiveram como principal fração de serapilheira a folhas (61,15%), seguida de miscelânea (18,73%), galhos (12,03%) e por último o material reprodutivo (8,11%). As diferenças podem ser atreladas ao método de identificação

da fração resíduos (presente estudo) e miscelânea de Freire et al. (2020), assim como a ocorrência de fortes ventos que favorecem a queda de galhos secos e/ou mais pesados (Silva et al.,2016).

A sazonalidade da produção de serapilheira é explicada por Barbosa e Fearnside (1996), onde os autores apontam a radiação solar, altas temperaturas e menor precipitação acumulada como principais fatores para picos de produção no início do período seco. O pico de produção de folhas novas, dispersão de folhas velhas como estratégia de conservação e eficiência no uso da água (Vaz, 2011; Tribuzy, 2005; Van Shaik et al., 1993) pode demorar a ocorrer no período de transição sazonal, esse “*delay*” foi observado em outros sítios de floresta tropical (Barbosa et al.,2017; Becknell et al., 2012). Topografia, idade sucessional da floresta, balanço hídrico, a fenologia e as condições edafoclimáticas, são fatores que podem influenciar na dinâmica de produção de serapilheira (Tribuzy, 2005; Saraiva et al., 2010).

b. Precipitação

A precipitação acumulada na área de estudo foi acima da média histórica de 36 anos da região obtida do banco de dados da EMBRAPA- Amazônia ocidental localizada no KM-30 da rodovia AM-010, no período de dezembro/2020 a novembro/2021, com precipitação anual para o período deste estudo 28,7% maior que a média histórica (**Tabela 4**).

Tabela 4: Série histórica da média da precipitação acumulada mensal (1980 – 2016) e do período da atual pesquisa.

Meses	Série Histórica	Período Atual	Diferença (mm)	Diferença (%)
Dez	230,2	429,0	198,8	86,3
Jan	273,0	255,5	-17,5	-6,4
Fev	284,8	265,7	-19,1	-6,7
Mar	310,6	394,2	83,6	26,9
Abr	313,0	274,3	-38,7	-12,4
Mai	252,4	291,9	39,5	15,6
Jun	143,8	167,4	23,6	16,4
Jul	103,3	180,9	77,6	75,2
Ago	81,9	239,0	157,1	191,8
Set	102,5	157,5	55,0	53,6
Out	129,5	271,0	141,5	109,3
Nov	171,2	158,0	-13,2	-7,7
Total Anual	2396,1	3084,3	688,2	28,7
Média	199,7	257,0	57,4	

A precipitação máxima observada para este estudo foi de 429,01 \pm 49,46 mm no mês de dezembro e mínima de 157,48 \pm 49,46 mm no mês de setembro. A média histórica (1980-2016) para estes meses na região é de 230,23 \pm 49,13 mm e 102,50 \pm 49,13 mm, respectivamente, resultando o presente estudo em 86,3% e 53,14% acima da média histórica (**Figura 9**) para estes meses. Na medida que a precipitação média histórica aumenta é extremamente provável que a precipitação na área de estudo siga o mesmo ritmo ($r = 0,609$; $p < 0,05$), indicando que a área de estudo possui se encontra intimamente ligada ao clima da região. Quando verificada a precipitação acumulada do período de estudo com o período de estudo de Ourique *et al.* (2016), foi observado menor precipitação anual (3084,32 mm) em relação ao período de 2012-2013 (3155,12 mm), porém dentro do intervalo de confiança. Vale ressaltar que o período deste estudo ficou caracterizado como um ano atípico de evento climático (La Niña) devido os dados de precipitação coletados na área experimental estarem acima do intervalo de confiança do clima da região.

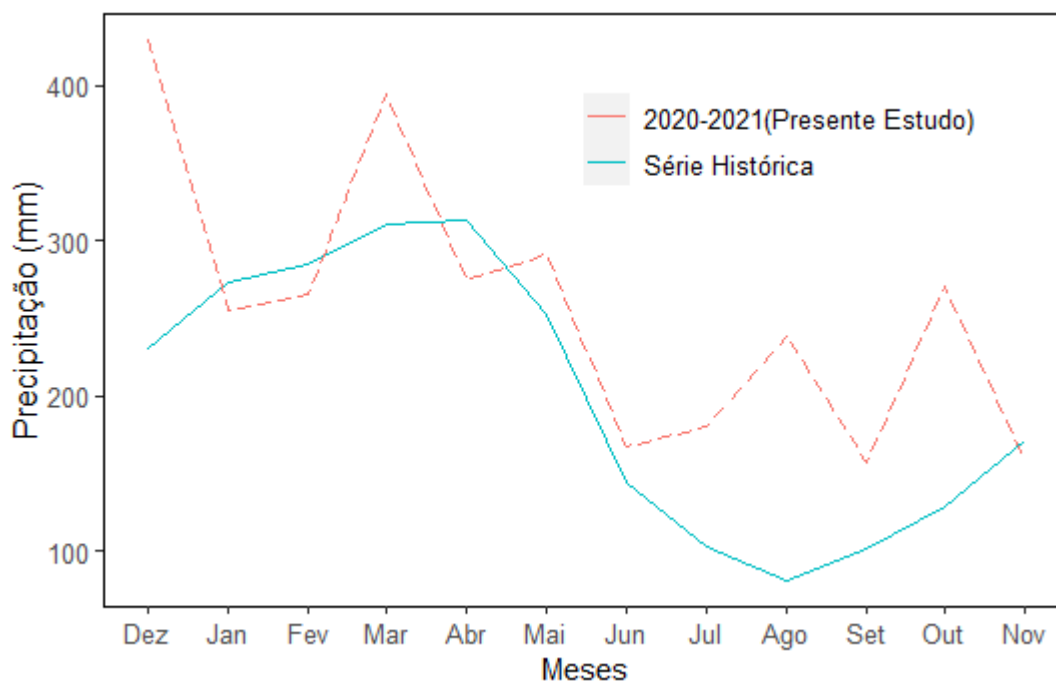


Figura 9: Precipitação acumulada para o período de estudo (2020-2021) e série histórica da região.

Precipitação é a variável climática que possui forte influência sobre a deposição de serapilheira (Barbosa e Fearnside, 1996). Ainda sobre o fenômeno climático La Niña, Higuchi et al. (2011) relata que este evento foi relatado a primeira vez na região de Manaus em 2000, sendo este ano a precipitação anual 34% maior que a média histórica. Os autores citam a importância e a necessidade de pesquisas na Amazônia em anos de ocorrência de fenômenos meteorológicos atípicos. É praticamente certo que o aumento na precipitação acumulada ocasione diminuição na produção de serapilheira deste período de estudo ($r = -0,584$; $p < 0,05$) corroborando com a afirmação de maiores produções em períodos que ocorrem menos chuva na região (**Figura 10**).

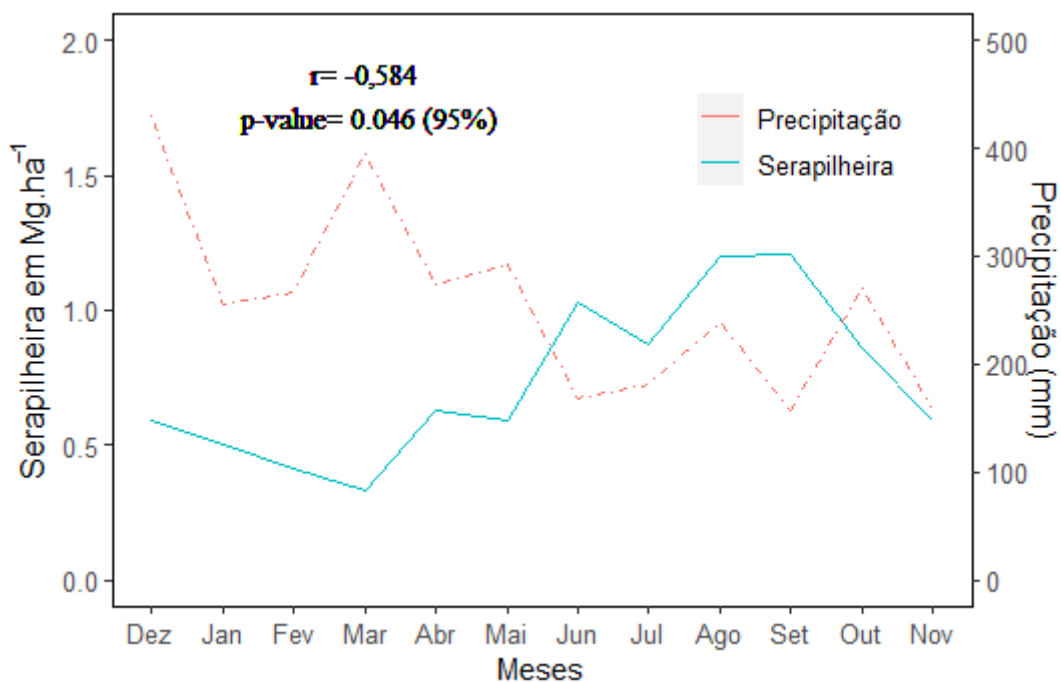


Figura 10: Produtividade de serapilheira e precipitação acumulada no período de dezembro/2020 a novembro/2021.

c. Incremento em diâmetro

O incremento médio anual de árvores no platô foi de $3,20 \pm 0,10 \text{ mm.ano}^{-1}$ (IC=95%), para os meses de estudo do período 2020-2021 (**Figura 11**). O incremento mensal pode aumentar acompanhando a precipitação acumulada, sendo improvável que isto ocorra ($r= 0,372$; $p= 0,234$). Silva *et al.* (2002) em estudo com bandas dendrométricas na mesma área de estudo obtiveram incremento médio anual de $1,64 \pm 0,21$ ($p=0,05$), os autores atribuem a variação dos seus dados em relação aos trabalhos de Higuchi *et al.* (1997) na área do BIONTE e Silva *et al.* (1996) na FLONA-Tapajós à precipitação atípica, à forma de medição dos DAP's e ao tamanho de amostragem. O incremento médio anual do presente estudo ficou acima do intervalo apontado por Ourique *et al.* (2016), que obtiveram $1,46 \pm 0,18 \text{ mm.ano}^{-1}$ para o incremento de árvores no platô.

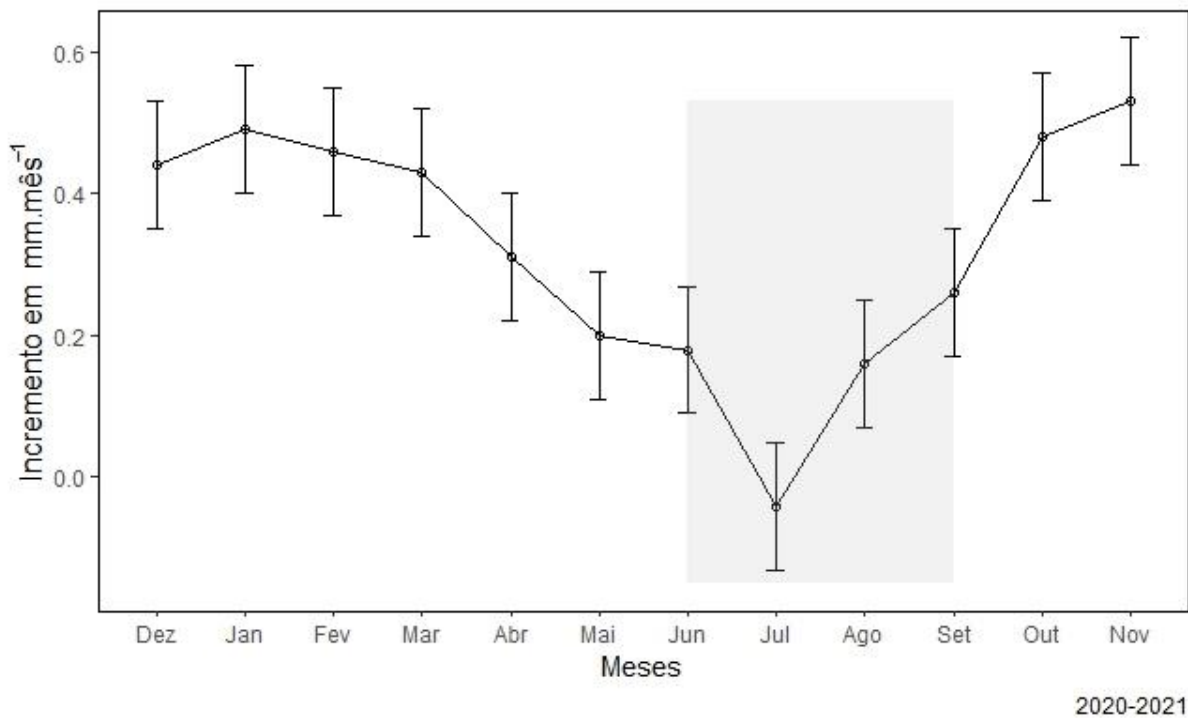


Figura 11: Incremento em diâmetro de árvores com bandas dendrométricas no platô no período de 2020-2021 (em destaque o período seco), com barras de $IC \pm 0,09$.

No período de menor precipitação acumulada (junho a setembro) com precipitação abaixo de 200 mm, com exceção de agosto, a média foi 186 mm, o incremento diminuiu substancialmente, chegando a decréscimo no mês de julho. O incremento mensal de árvores variou de $-0,04$ a $0,53 \pm 0,09$ mm. mês⁻¹ em julho e novembro, respectivamente. Este valor mínimo obtido no mês de julho exemplifica a propriedade física das árvores em retraírem o seu crescimento quando estiverem no contexto de seca, Camargo (2018) cita a retração observada como fato já previsto quando se tem medições mensais no decorrer do ano. O incremento anual ($3,25 \pm 0,9$ mm.ano⁻¹) da floresta ficou acima do intervalo de outros estudos na mesma área e também em outras regiões da Amazônia, esse fato pode estar atrelado ao ano atípico meteorologicamente, uma vez que a precipitação e a distribuição desta exerce forte influência no crescimento em circunferência de árvores, devido a diminuição da taxa fotossintética (Ourique, 2014; Silva et al., 2003) ocasionada pelo fechamento dos estômatos nos períodos mais secos. Camargo (2018) apontou a sazonalidade do crescimento em diâmetro de árvores em uma floresta de terra firme na Amazônia Central como a variável que sofre maior influência frente da precipitação. O autor cita ainda os estudos de Dunisch et al. (2003), Vieira et al. (2004) e Wagner et al. (2012) que também obtiveram relações positivas do variável crescimento com a variável

climática precipitação. É extremamente provável que o crescimento em diâmetro da floresta estudada ocorra em períodos que se tem menor dispersão de folhas ($r = -0,71$; $p < 0,05$) (**Figura 12**). Ourique et al. (2016) obtiveram valor próximo quando analisaram estas duas variáveis ($r = -0,51$; $p = 0,087$) na mesma área de estudo, com $n=250$ árvores e $n=60$ coletores de serapilheira, com a mesma duração de estudo, um ano.

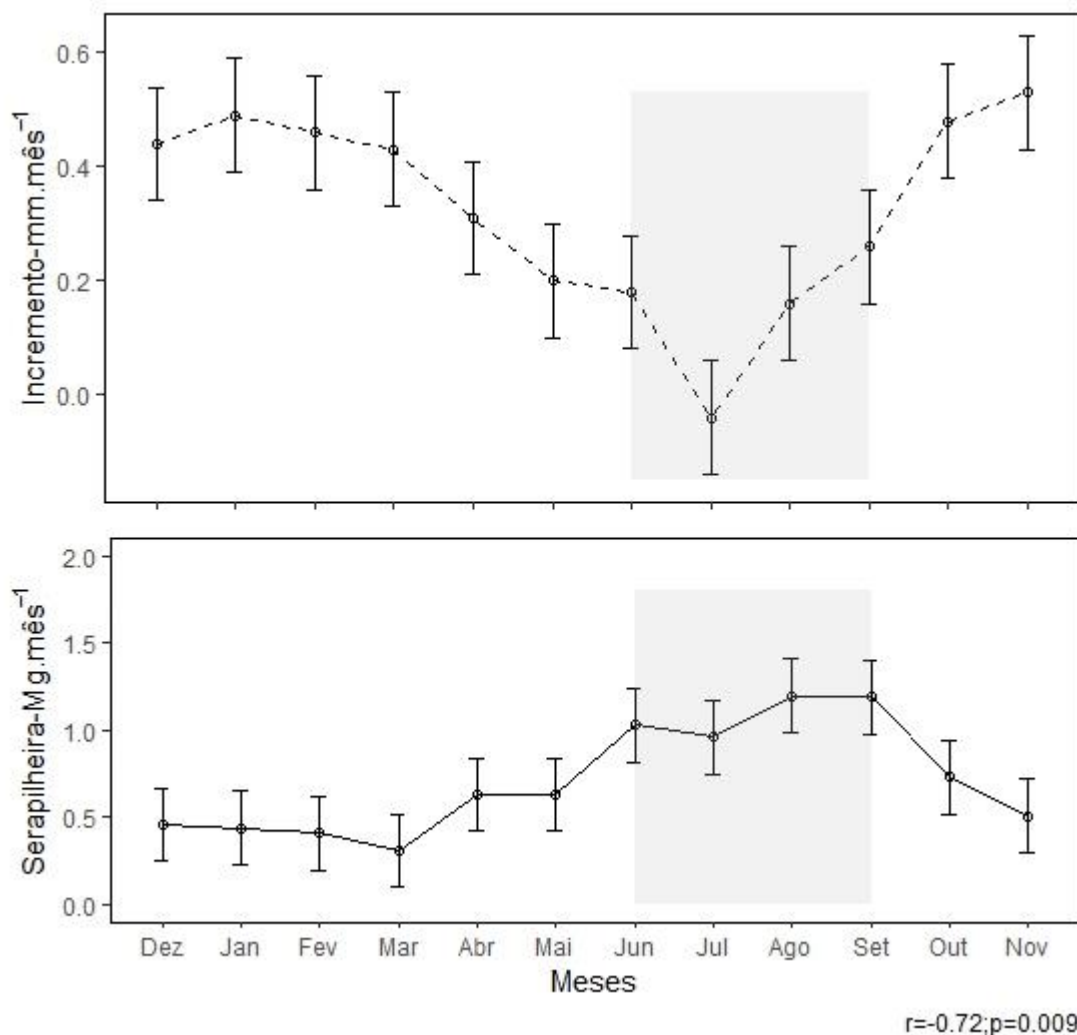


Figura 12: Produtividade de serapilheira e incremento em diâmetro de árvores do platô no período de estudo 2020-2021 (erro padrão: 0,1 e 0,21, respectivamente.)

Os valores obtidos neste estudo para o incremento em diâmetro de árvores do platô na Amazônia central nos meses com menor precipitação acumulada (junho a setembro) possuem relação negativa com a produção de serapilheira, porém inferir sobre esta relação pode ser arriscado por se tratar de ano de evento climático atípico (La Niña). O padrão observado neste estudo também foi apontado por Ourique et al. (2016), em que foram constatados os picos de produção de serapilheira ocorrendo nos meses com menor precipitação acumulada e os maiores incrementos em diâmetro

de árvores tendendo a se relacionar com os maiores índices pluviométricos. Quando verificada pela óptica do ciclo do carbono nas florestas, esta relação indica o papel da floresta de sumidouro de carbono da atmosfera quando há menor precipitação. Em contrapartida, quando há a maior deposição de serapilheira a floresta está emitindo mais carbono para a atmosfera, ambos os papéis da floresta possuem o fator climático precipitação em comum (Ourique et al.,2016). Na **Figura 13** é possível observar a relação das variáveis que estão incluídas neste balanço com a precipitação na área de estudo.

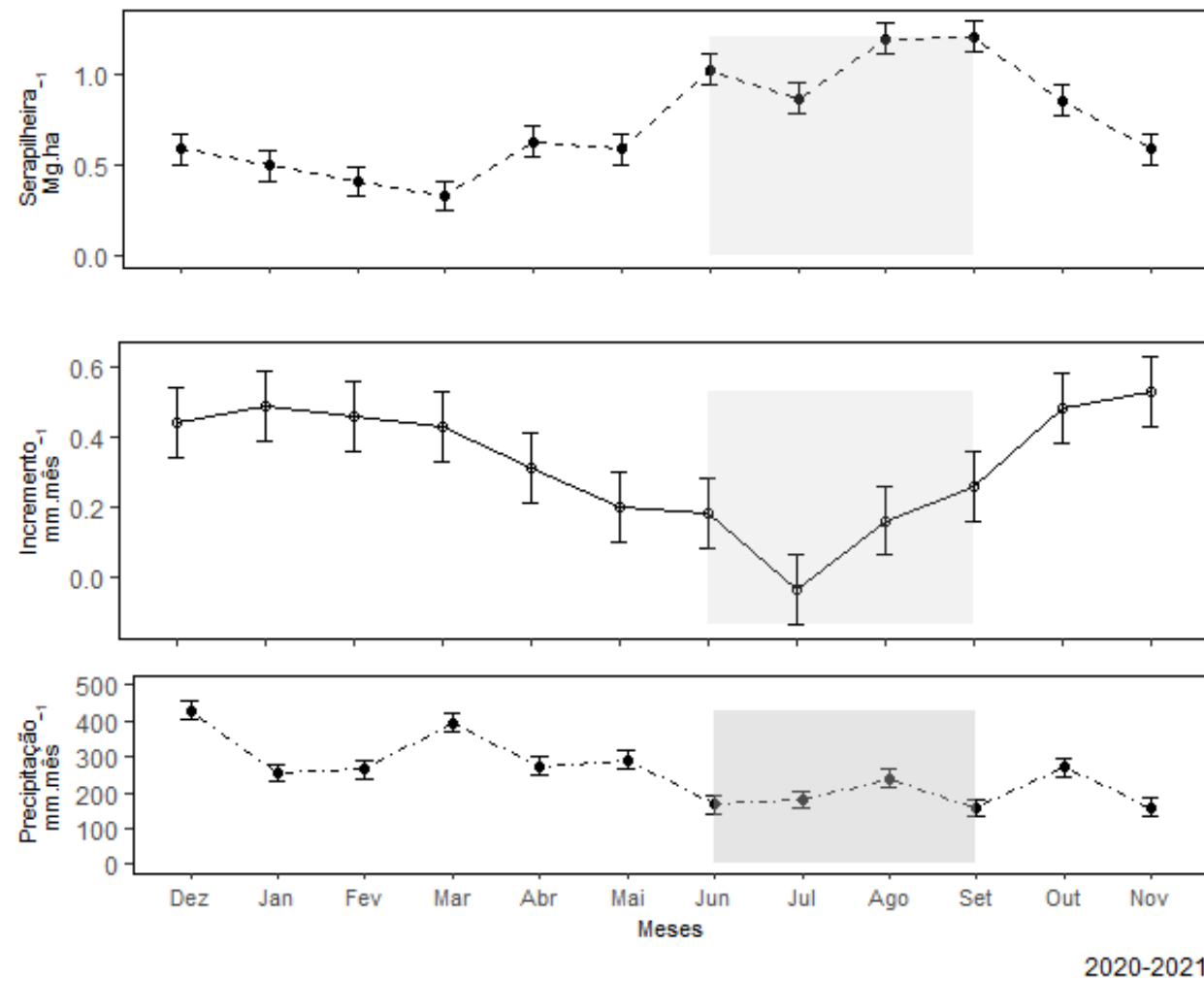


Figura 13: Produtividade de serapilheira, incremento em diâmetro e precipitação acumulada no período de estudo (2020/2021), em destaque o período mais seco.

Apesar disto, inferir sobre a produtividade primária líquida em decréscimo pode não ser correto. A floresta neste período aumenta a produtividade de raízes finas, visando a maior captação de água do solo (Feeley et al., 2007; Silva, 2009), portanto as árvores mesmo que estejam com o crescimento em circunferência diminuindo podem estar investindo em produtividade abaixo do solo, dessa forma, é necessário analisar a produtividade acima e abaixo do solo no qual pode se comportar até mesmo em crescimento constante ou em aumento (Feeley et al., 2007). Importante também salientar não apenas o papel da quantidade de chuva que incide sobre a floresta, mas também a distribuição desta ao longo do ano.

A capacidade de absorção de água pelas árvores é fator determinante para seu crescimento em períodos de seca. Para isto, a produção de raízes que possam alcançar níveis mais profundos no solo influencia no comportamento fisiológico da planta durante a seca (Canadell et al., 1996). A disponibilidade de água no solo pode variar significativamente, Camargo (2018) verificou estudos que apontam até 50mm.mês^{-1} até a profundidade de 2 m do solo. Em níveis mais profundos do solo a limitação da disponibilidade de água é menos percebida devido a menor variação do estoque nestas camadas e a capacidade das raízes atingirem profundidades superiores a 2m (Mahli et al., 1998, Hodnett et al., 1996). Quantificar a umidade do solo em camadas mais profundas facilita o entendimento acerca captação de água e a transpiração durante períodos de seca (Negrón-juárez et al. (2007); Bruno, da Rocha, De Freitas, Goulden & Miller, 2006).

d. Umidade do solo

A umidade do solo obtida dos sensores foi analisada em médias mensais para facilitar as relações com as variáveis de crescimento e a variável ambiental aqui estudadas. Com a precipitação foram analisados os dados acumulados mensalmente (em mm. mês^{-1}), o incremento médio mensal (em mm. mês^{-1}) e a serapilheira foi obtida a produtividade mensal (em Mg. ha^{-1}). Dessa forma, o $n=10$ foi para ambas as variáveis de crescimento (Serapilheira e Incremento) e para a variável ambiental (Precipitação). As correlações foram feitas para as 15 profundidades, sendo o $n=10$ para cada profundidade seguidas da probabilidade de Bonferroni para verificar a força das correlações.

As médias mensais do conteúdo de água no solo nas diferentes profundidades indicam maior volume observado no mês de outubro, na maioria das camadas monitoradas neste estudo (**Figura 14**).

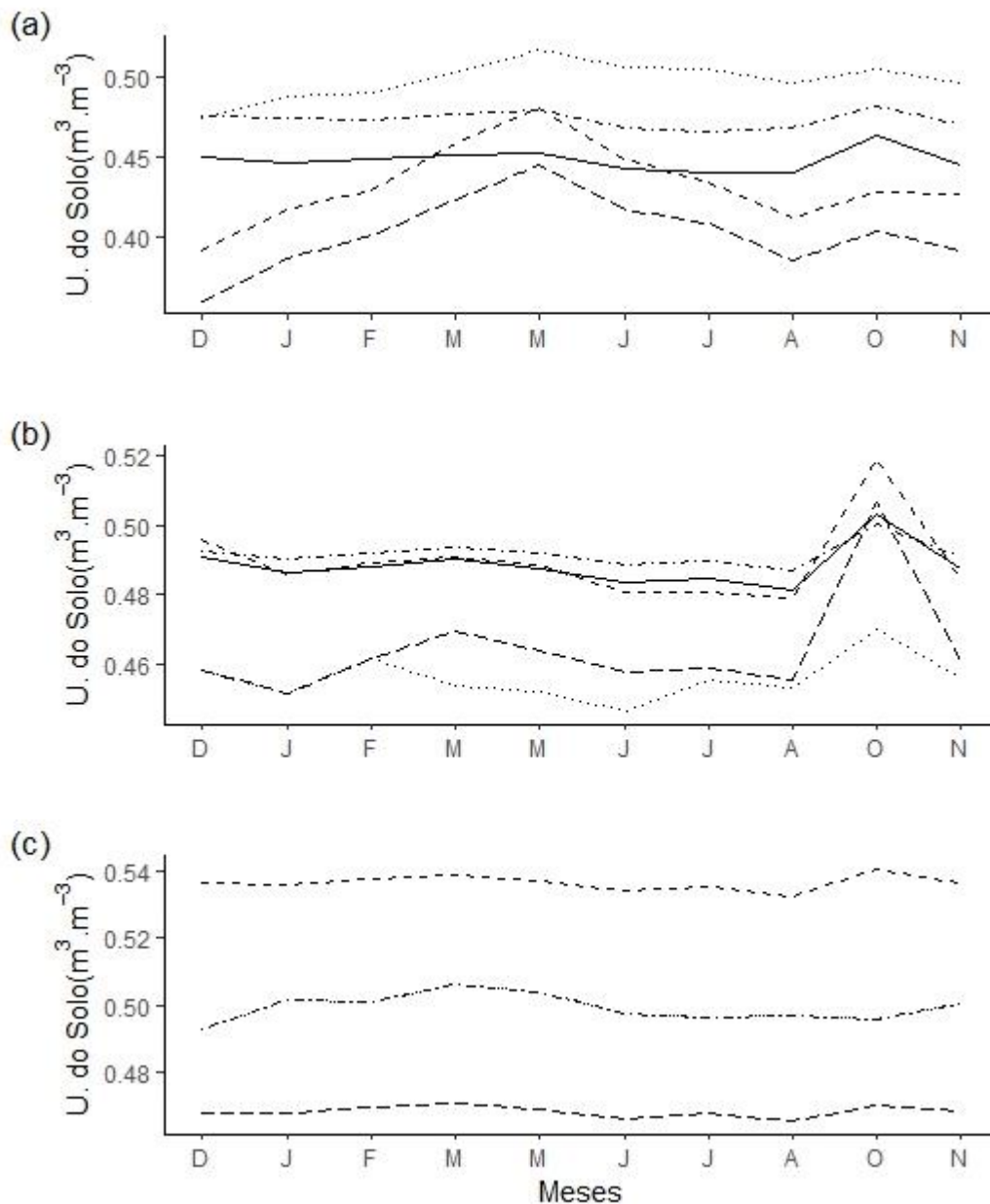


Figura 14: Variação mensal do conteúdo de umidade do solo nas profundidades de 0,025 a 0,5m (a), 0,8 a 4,8m(b) e 6,4 a 15m (c).

A média do conteúdo de água no solo foi maior na profundidade 6,4m no mês de outubro, com $0,541 \pm 0,001 \text{ m}^3 \cdot \text{m}^{-3}$. A variação do volume se mostrou mais regular no período deste estudo nas maiores profundidades estudadas (Figura 11a), com amplitude variando de $0,465 \pm 0,001 \text{ m}^3 \cdot \text{m}^{-3}$ a $0,540 \pm 0,001 \text{ m}^3 \cdot \text{m}^{-3}$. Quanto a sazonalidade, no período com menor precipitação acumulada houve diminuição do

volume de água no solo em todas as profundidades monitoradas, podendo permitir inferir sobre a influência da pluviosidade até mesmo em camadas mais profundas do solo, conforme verificado.

d.1. Umidade do solo e precipitação

A umidade do solo em todas as profundidades se comportou relativamente constante no decorrer do tempo, com volume de conteúdo de água menor no mês de dezembro de 2020 ($0,35 \pm 0,006 \text{ m}^3 \cdot \text{m}^{-3}$) e maior no mês de outubro de 2021 ($0,54 \pm 0,006 \text{ m}^3 \cdot \text{m}^{-3}$), nas profundidades de 0,05 m e 6,4 m, respectivamente. Ourique (2014) destaca que a pouca variação é comum em solos com microporos que possuem maior capacidade de manter a umidade por mais tempo. Souza (2016) destaca também esse comportamento do conteúdo volumétrico de água no solo como característico de áreas de platô, onde a estrutura e a textura possibilitam maior retenção de água. Em dezembro de 2020 foi observado a maior precipitação acumulada do período de estudo ($429,01 \pm 49,46 \text{ mm}$), sendo neste mês o menor conteúdo de água encontrado, já o valor máximo de umidade do solo foi observado no mês que a precipitação acumulada foi o quarto maior ($271,0 \pm 49,46 \text{ mm}$) e o início do período de chuvas deste estudo.

Os autores citados acima observaram o comportamento diretamente proporcional do conteúdo volumétrico de água no solo com a precipitação. Porém, essa inferência não pôde ser confirmada neste estudo em todas as profundidades, sendo extremamente provável afirmar a influência entre estas variáveis na profundidade 0.3 m ($r = 0,628$; $p < 0,05$). Importante destacar as diferenças nos métodos e profundidades estudados nestes trabalhos. Na **Tabela 5** é possível observar as correlações e as probabilidades da umidade do solo com a precipitação acumulada.

Tabela 5: Matriz de correlações de Pearson (r) da umidade do solo em todas as profundidades com a precipitação acumulada ($\alpha = 95\%$).

	Profundidades (m)													
	0,025	0,05	0,15	0,30	0,50	0,80	1,6	2,4	3,2	4,8	6,4	8,8	14,3	15,0
r	-0,125	-0,175	-0,378	0,628	0,477	0,41	0,135	0,232	0,344	0,368	0,435	0,441	0,093	0,093
Probabilidade	0,73	0,63	0,28	0,052	0,16	0,24	0,71	0,52	0,33	0,3	0,21	0,2	0,8	0,8

As correlações negativas e excepcionalmente que não ocorram nas camadas superficiais podem estar ligadas à dinâmica de água no solo. Nessas camadas onde ocorre a infiltração, perda de água por evaporação, movimentação para camadas mais

profundas e escoamento superficial (Broedel, 2012), processos impulsionados em sua maioria por diferença de saturação e força gravitacional (Libardi, 2005; Broedel, 2012; Costa et al., 2013) e que ocorrem de maneira simultânea (Reichardt & Timm, 2012), sendo a umidade do solo um dos fatores que sofrem influência desses processos. Os valores de probabilidade fracos podem estar atrelados aos “gaps” dos dados nos meses de abril e setembro na análise, fato que pode ter quebrado a sequência da sazonalidade. Souza (2016) em estudo interanual (2012/2013) na mesma área utilizando sensores nas profundidades de 7 e 15 cm, indicou que é praticamente certo que a precipitação influencie moderadamente a umidade do solo nestas profundidades ($r= 0,55$; $p<0,01$). Ourique (2014) verificando a umidade do solo nas mesmas profundidades que Souza (2016) observou ser improvável que o aumento da precipitação acumulada ocasione o aumento do conteúdo de água no solo ($r=0,13$; $p=0,69$).

d.2. Umidade do solo e incremento em diâmetro

As relações da umidade do solo nas diferentes profundidades com o incremento em diâmetro neste estudo foram tão prováveis quanto improvável e prováveis que ocorram de forma inversa. Nas camadas superficiais (0,025, 0,05 e 0,15 m) é provável que o incremento em diâmetro aumente de forma moderada quando o solo se encontrar com baixo conteúdo de água (**Figura 15**). A partir da profundidade de 0,3 m as correlações foram diretamente proporcionais, sendo provável esta inferência. Com o aumento das profundidades as relações foram tendendo para provável, improvável e muito improvável, com exceção da profundidade em 6,4 m que foi provável de que ocorra influência entre as duas variáveis ($r= 0,35$; $p=323$). As relações da umidade do solo nas camadas superficiais com o incremento médio mensal podem ser observadas na **Figura 15**.

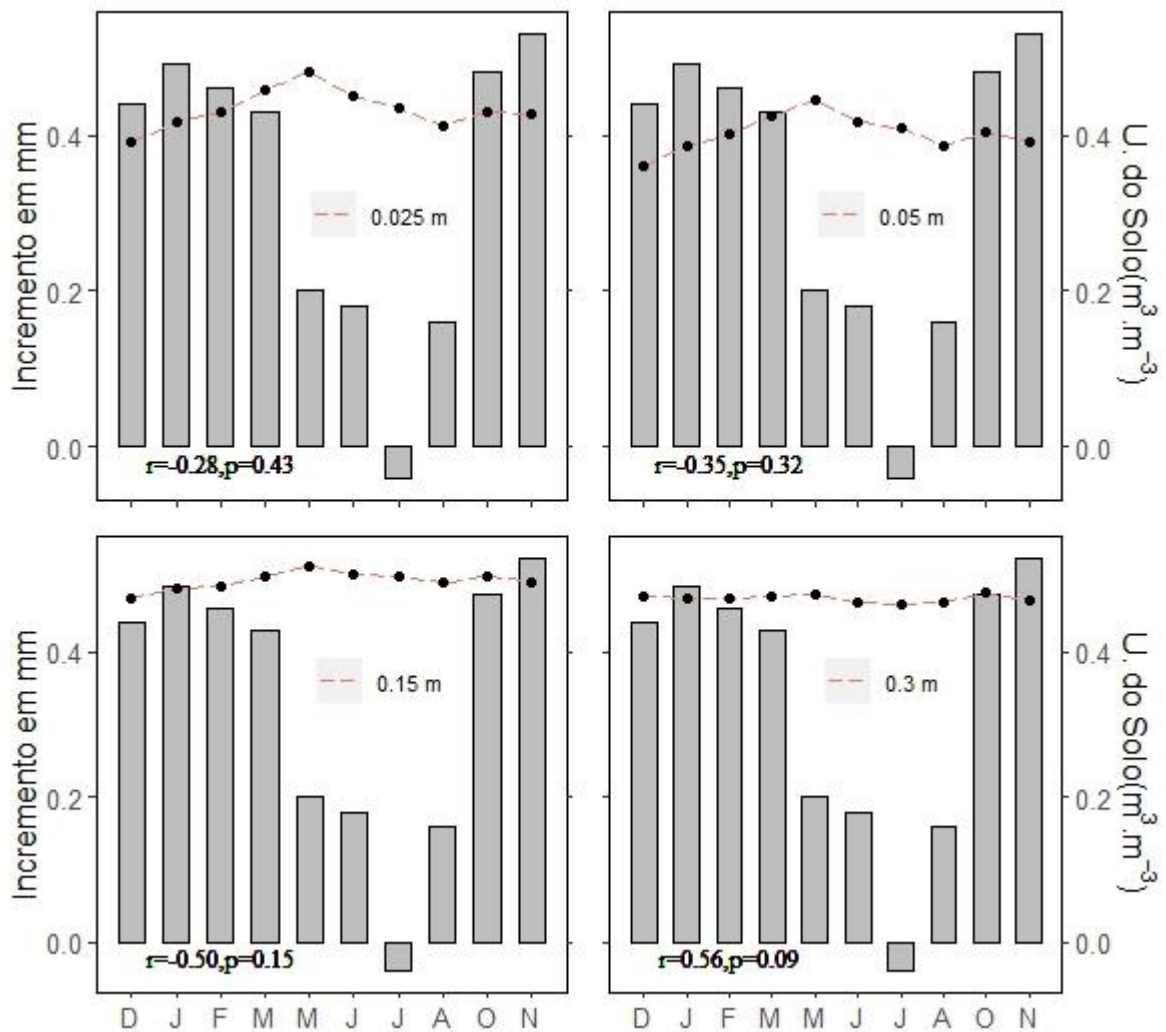


Figura 15: Distribuição sazonal da umidade do solo nas camadas superficiais (linhas vermelhas) e incremento médio mensal (barras) correlações (r) e probabilidades (p).

Como já mencionado, nas três primeiras profundidades as relações foram inversamente proporcionais, indicando o aumento do incremento de árvores na medida que a umidade do solo diminui nesta parte do solo. Nos meses de junho, julho e agosto houve diminuição da precipitação acumulada, este fato que pode estar ligado a dinâmica de redistribuição, absorção e movimentação da água nas camadas superiores do solo (Broedel, 2012) pode ser determinante para a relação inversa. Ourique (2014) correlacionando incremento mensal com o potencial hídrico na camada superior do solo na mesma área também encontrou relação fraca. O autor menciona que Noguchi et al. (dados não publicados) observaram que a captação de água e nutrientes por raízes ocorre em maior parte entre 0-25cm de profundidade. Souza (2016) afirmou ser praticamente certo que o aumento do CVA opode ocasinar

no aumento do incremento médio de árvores nesta mesma área de estudo ($r= 0,53$; $p<0,05$).

Antezana-Vera e Marengo (2021) investigando a influência de variáveis climáticas e ambientais no crescimento de árvores na Amazônia Central mencionam que tanto a precipitação quanto o conteúdo de água no solo (10-20 cm) possuem relação positiva com o incremento de árvores. Apesar disto, no presente estudo a relação foi contrária. As características ambientais e edáficas são fundamentais no processo de infiltração da água no solo (Rodrigues, 2019; Broedel et al., 2017; Dantas et al., 2011) e na disponibilidade de nutrientes (Broedel, 2012). Para a região, o ponto de murcha permanente é $0,30 \text{ m}^3.\text{m}^{-3}$ (teor de água a uma tensão 1500 kPa) na estação seca (Ranzani, 1980). Malhi et al. (1998) obtiveram na estação seca $0,42 \text{ m}^3.\text{m}^{-3}$ na mesma região, valor próximo ao obtido neste estudo ($0,43\pm 0,006 \text{ m}^3.\text{m}^{-3}$) nas camadas superiores (0,025 a 0,15 m), estes valores demonstram a disponibilidade de água no solo. Todavia, Broedel et al. (2017) relatam que as raízes de árvores na Amazônia podem extrair água de camadas de até 4,8 m de profundidade, sendo mais provável do que improvável que esta observação corrobora com o valor obtido na correlação entre a umidade do solo nessa profundidade com o incremento ($r= 0,28$; $p=0,436$) e que pode ser comparada com as demais profundidades (**Figura 16**).

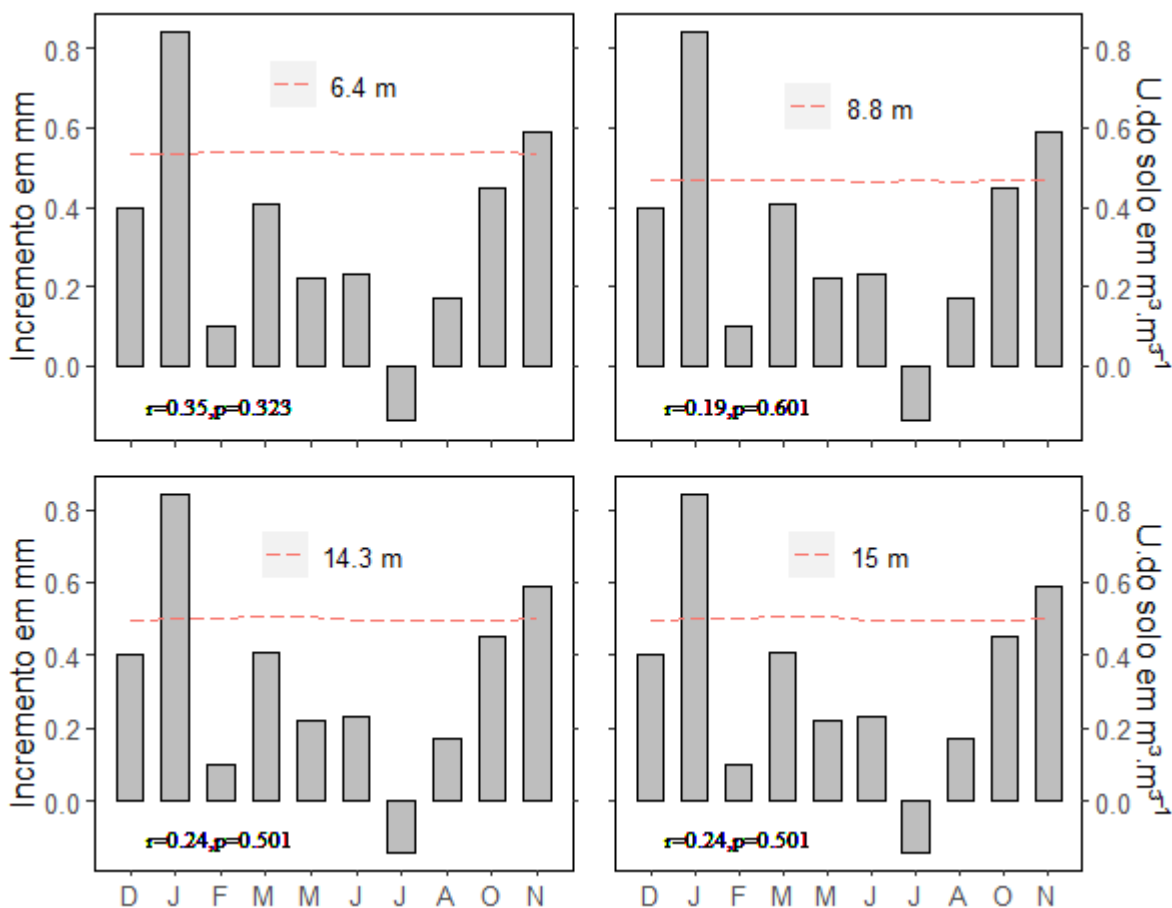


Figura 16: Relação da umidade do solo em camadas profundas com o incremento em diâmetro.

Os valores do conteúdo de água no solo estão acima da média tanto no período chuvoso ($0,48 \pm 0,006 \text{ m}^3 \cdot \text{m}^{-3}$) quanto na estação seca ($0,47 \pm 0,006 \text{ m}^3 \cdot \text{m}^{-3}$) quando comparados com o estudo de Mahli et al. (1998). Camargo (2019) aponta que pode haver fechamento estomático mesmo em condições de alto conteúdo de água no solo, Souza (2016) citando Duarte (2012) menciona a importância da quantidade adequada de água no solo para o crescimento normal de plantas, sendo a regularidade na disponibilidade de água para o desenvolvimento vegetal citada anteriormente por Taiz e Zeiger (2004). Diante disso, as correlações positivas e fracas encontradas podem corroborar quando analisadas em um ano atípico.

d.3. Umidade do solo e Serapilheira

Quando correlacionada com a produtividade de serapilheira total a relação foi negativa na maioria das profundidades aqui estudadas. Observando apenas este resultado, este estudo corrobora com alguns autores que obtiveram a relação inversa para estas duas variáveis. Nas camadas superiores do solo é improvável que haja

influência entre as duas variáveis de forma inversamente proporcional, sendo este resultado semelhante ao estudo de Ourique (2014), que estudando a correlação em profundidades superiores também não obteve correlações significativas, o autor cita também o estudo com seca em floresta (ESECAFLOR) de Silva et al. (2009) que também obtiveram correlação fraca entre as duas variáveis na reserva florestal de Caxiuanã-PA. As correlações mais significativas para estas duas variáveis, neste estudo, foram quando verificadas as camadas mais abaixo do solo (**Figura 17**).

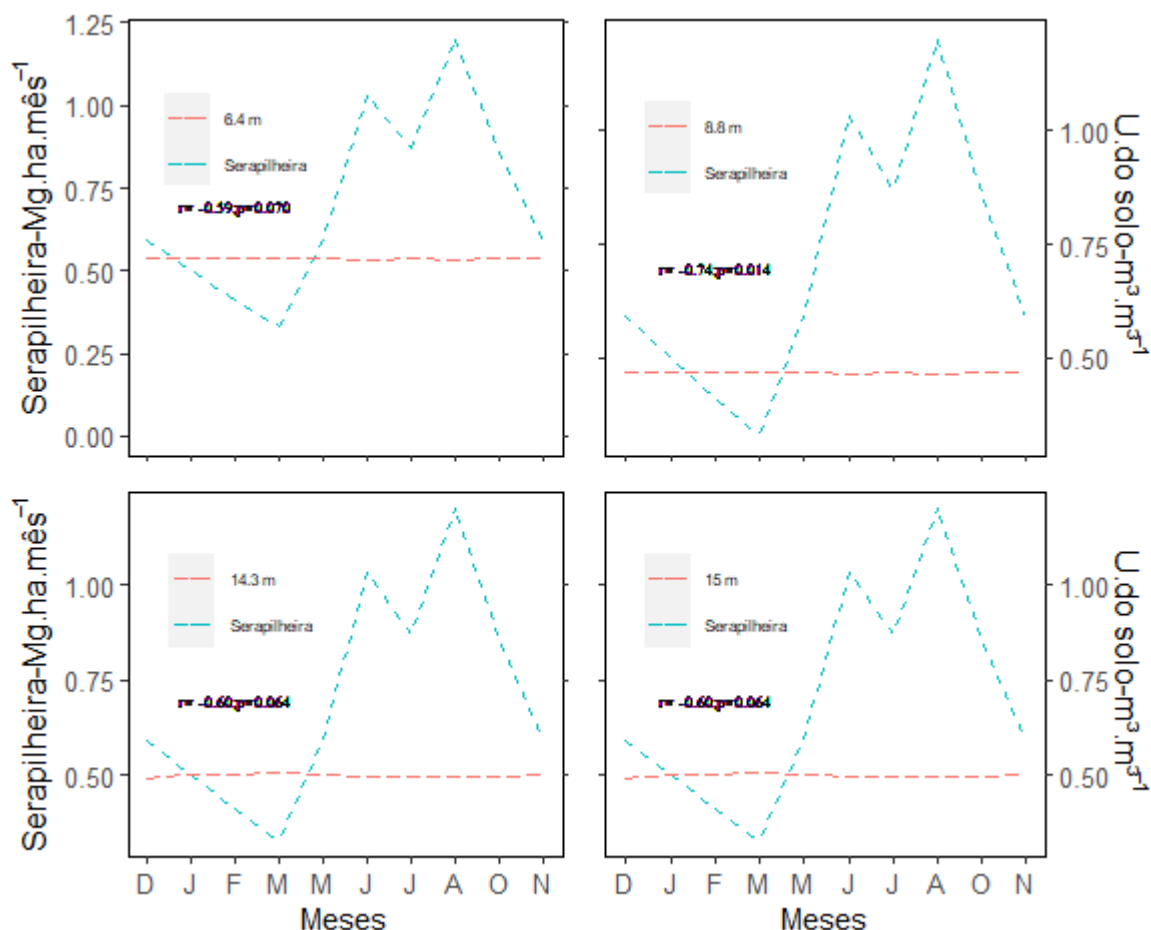


Figura 17: Distribuição gráfica da relação entre umidade do solo nas camadas mais profundas (linhas vermelhas) e produtividade de serapilheira (linhas azuis).

A profundidade de 6,4 m foi a que obteve maiores valores de umidade média mensal neste estudo ($0,536 \pm 0,001 \text{ m}^3.\text{m}^{-3}$). As correlações para as quatro camadas mais profundas foram de mais provável que não positiva e forte (6,4 m) a provável positiva e forte (8,8 m). Verificando apenas estas profundidades, a correlação explica a senescência de folhas na medida que a disponibilidade de água diminui no solo, havendo dispersão de folhas mais velhas e produção de material mais eficiente do ponto de vista fisiológico (Van Shaik et al,1993; Barbosa e Fearnside, 1996; Vaz,

2011). Estes resultados permitem inferir sobre a profundidade de captação de água e nutrientes pelas raízes de árvores na Amazônia em camadas mais profundas do solo. Segundo Mahli et al. (1998) pode haver possibilidade de as raízes captarem água de camadas bem mais abaixo de 2 m, o que pode permitir melhor desempenho de algumas espécies em período de seca ao acessarem zonas onde se tem menos variação no estoque de água (Candell et al., 1996; Hodnett et al., 1996).

d.4. Umidade do solo e produção de serapilheiras por partes

É praticamente certo e muito provável que a queda de folhas no período de estudo possua relação negativa com o volume de água nas profundidades 6,4 e 8,8 m. Silva et al. (2009) obtiveram relação positiva e não significativa ($r= 0,28$; $p>0,05$) quando verificaram a queda de folhas na reserva florestal de Caxiuanã no Pará. Neste estudo, a queda de folhas acompanhou a distribuição do total de serapilheira, ocorrendo nos meses de agosto ($1,00\pm 0,162 \text{ Mg}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{mês}^{-1}$) e setembro ($0,98\pm 0,162 \text{ Mg}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{mês}^{-1}$). A correlação inversa da queda de folhas com a umidade do solo não é fato inesperado, uma vez que o compartimento folhas contribui em maior parte na produção total de serapilheira (76,62%), que por sua vez possui correlação negativa com a umidade do solo em maiores profundidades, conforme mencionado anteriormente. As correlações mais consistentes podem ser observadas na **Tabela 6**.

Tabela 6: Correlações de Pearson significativas encontradas entre as partes de serapilheira e umidade do solo.

Parte	Profundidade (m)	r	p
Folhas	6,4	-0,59	0,073
	8,8	-0,71	0,022
Galhos	0,025	-0,78	0,007
	0,05	-0,82	0,003
	0,15	-0,79	0,006
Material Reprodutivo	0,5	0,7	0,02
	0,8	0,78	0,007
	1,6	0,76	0,01
	2,4	0,89	0
	3,2	0,74	0,015
	4,8	0,75	0,012
	6,4	0,61	0,06

Figura 18: Matriz de correlações de Pearson (IC=0,1) para as variáveis ambientais e climáticas deste estudo.

As correlações, em geral, podem indicar melhores resultados quando verificada umidade do solo nas maiores profundidades. Tanto para o total da produção de serapilheira mensal quanto para a análise por partes, podendo haver influência também de fatores ambientais como o Déficit de Pressão de Vapor (DPV), a Radiação solar, a velocidade do vento e a umidade relativa do ar. Características do solo não devem ser negligenciadas, haja vista a predominância de solo argiloso na área de platô estudada (Ferraz et al., 1998).

CONCLUSÃO

As variáveis de crescimento analisadas no período deste estudo tendem a serem influenciadas pelo conteúdo de água no solo presente nas camadas a partir de 4,8 metros de profundidade. O aumento no conteúdo de água no solo em camadas mais profundas da área de platô na Amazônia central ocasionou a diminuição na deposição de serapilheira total e aumento no incremento médio em árvores. Quando o mesmo ocorre em camadas superficiais foi observado acréscimo no incremento médio de árvores nesta floresta. Os dados fornecidos por sensores de alta tecnologia em camadas de até 15 m do solo podem contribuir para a compreensão da dinâmica de crescimento em florestas na Amazônia central através dos modelos climáticos propostos quando investigados em um ano de evento climático extremo de La Niña.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Aleixo, I. (2019). Padrões fenológicos e mortalidade de árvores de terra firme na Amazônia Central.

ALVES, M. C.; SUZUKI, L. G. A. S.; SUZUKI, L. E. A. S. Densidade do solo e infiltração de água como indicadores da qualidade física de um latossolo vermelho distrófico em recuperação. *Revista Brasileira de Ciencia do Solo*, v. 31, n. 4, p. 617–625, 2007.

Andrade, E. A., & Higuchi, N. (2009). Productivity of four Terra Firme tree species of central Amazonia. (In Portuguese, with English abstract.) *Acta Amazonica*, 39, 105–112. <https://doi.org/10.1590/S0044-59672009000100011>.

Antezana-Vera SA, Marengo RA (2021). O crescimento intraanual das árvores responde à variabilidade micrometeorológica na Amazônia central. *iForest* 14: 242-249. - doi:10.3832/ifor3532-014.

Araújo, T. M.; Higuchi, N.; Carvalho Jr., J. A. 1999. Comparison of formulae for biomass content determination in a tropical rain forest in the state of Pará, Brazil. *Forest Ecology and Management*, v.117, p.43-52.

ARAUJO, R.F. Estrutura do dossel, dinâmica florestal e fenologia foliar com uso de aeronave remotamente pilotada na Amazônia Central. Tese de Doutorado. Instituto Nacional de Pesquisa da Amazônia (INPA). Manaus – AM. 2019.

Asner GP, Nepstad DC, Cardinot G, Ray D (2004) Drought stress and carbon uptake in an Amazon forest measured with space borne imaging spectroscopy. *Proc Nat Acad Sei USA* 101:6039-6044.

Austin, A. T., Yahdjian, L., Stark, J. M., Belnap, J., Porporato, A., Norton, U., ... Schaeffer, S. M. (2004). Water pulses and biogeochemical cycles in arid and semiarid ecosystems. *Oecologia*, 141, 221–235. <https://doi.org/10.1007/s00442-004-1519-1>.

Avissar, R., Dias, P. L. S., Dias, M., & Nobre, C. (2002). The Large-Scale Biosphere-atmosphere Experiment in Amazonia (LBA): Insights and future research needs. *Journal of Geophysical Research-Atmospheres*, 107(D20). <https://doi.org/10.1029/2002jd002704>.

BORCHERT, R; MEYER, S. A; FELGER, R. S; PORTER BOLLAND, L. 2004. Environmental control of flowering periodicity in Costan Rican and Mexican tropical dry forests. *Global Ecol Biogeography*. 13: 409-425.

BORCHERT, R; RENNER, S. S; CALLE, Z; NAVARRETE, D; TYE, A; GAUTIER, L; SPICHIGER, R; von HILDERBRAND, P. 2005. Photoperiodic induction of synchronous flowering near the Equator. *Nature*. 433: 627-629.

BORCHERT, R; CALLE, Z; STRAHLER, A. H; BAERTSCHI, A. MAGILL, R. E; BROADHEAD, J. S; KAMAU, J; NJORGE, J; MUTHURI, C. 2015. Insolation and photoperiodic control of tree development near the Equator. *New Phytologist*. 205: 7-13.

Brando PM, Nepstad DC, Davidson EA, Trumbore SE, Ray D, Camargo P (2008) Drought effects on litterfall, wood production and belowground carbon cycling in an Amazon forest: results of a throughfall reduction experiment. *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences*, 363, 1839–1848.

Brocca, L., Morbidelli, R., Melone, F., & Moramarco, T. (2007). Soil moisture spatial variability in experimental areas of central Italy. *Journal of Hydrology*, 333, 356–373. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2006.09.004>.

BROEDEL, E. et al. Deep soil water dynamics in an undisturbed primary forest in central Amazonia: Differences between normal years and the 2005 drought. *Hydrological Processes*, v. 31, n. 9, p. 1749–1759, 2017.

BROEDEL, E. Estudo da dinâmica de água no solo em uma área de floresta primária não perturbada na Amazônia central. 2012.

Broedel, E., Tomasella, J., Candido, L. A., & von Randow, C. (2017). Deep soil water dynamics in an undisturbed primary forest in central Amazonia: Differences between normal years and the 2005 drought. *Hydrological Processes*, 31, 1749–1759. <https://doi.org/10.1002/hyp.11143>.

Brown, S.; Gillespie, A. J.; Lugo, A. E. 1989. Biomass estimation methods for tropical forest with applications to forest inventory data. *Forest Science*, 35(4):881-902.

Bruno, R. D., da Rocha, H. R., de Freitas, H. C., Goulden, M. L., & Miller, S. D. (2006). Soil moisture dynamics in an eastern Amazonian tropical forest. *Hydrological Processes*, 20, 2477–2489. <https://doi.org/10.1002/hyp.6211>.

CAMARGO, Miguel Ângelo Branco. *Variação em diâmetro do tronco de 30 espécies de árvores florestais em função de variáveis ambientais em floresta de terra firme na Amazônia central*. 2018.

Carneiro, V. M. C., Lima, A. J. N., Pinto, A. C., Santos, J., Teixeira, L. M., & Higuchi, N. (2005). Floristic composition and structural analysis of terra firme forests in Manaus, Amazonas, Brazil. In V Congresso Florestal Nacional: A Floresta e as Gentes (pp. 1–12). Viseu, Portugal; Actas das Comunicações–Inventário, Modelação e Gestão.

Canadell, J., Jackson, R. B., Ehleringer, J. B., Mooney, H. A., Sala, O. E., & Schulze, E. D. (1996). Maximum rooting depth of vegetation types at the global scale. *Oecologia*, 108(4), 583-595.

Chambers, J.Q., N. Higuchi e J.P. Schimel. 1998. Ancient Trees in Amazonia. *Nature*, 391:135-136.

CHAMBERS, J. Q. et al. Carbon sink for a century. *Nature*, 2002.

CHAUVEL, A.; VITAL, A.R.T.; LUCAS, Y.; DESJARDINS, T.; FRANKEN, W.K.; LUIZÃO, F.J.; ARAGUÁS, L.A.; ROZANSKI, K.; BEDMAR, A.P. 1992. O papel das raízes no ciclo hidrológico da floresta amazônica. *Anais do VII Congresso Brasileiro de Meteorologia*, 298-302.

Christoffersen, B. O., Restrepo-Coupe, N., Arain, M. A., Baker, I. T., Cestaro, B. P., Ciais, P., ... Saleska, S. R. (2014). Mechanisms of water supply and vegetation demand govern the seasonality and magnitude of evapotranspiration in Amazonia and Cerrado. *Agricultural and Forest Meteorology*, 191, 33–50. <https://doi.org/10.1016/j.agrformet.2014.02.008>.

Clark, D. A. et al. 2001a. Net primary production in tropical forests: an evaluation and synthesis of existing field data. *Ecological Applications*, 11(2), pp. 371–384.

Costa, R. F. D., da Silva, V. D. P., Ruivo, M. L., Meir, P., Costa, A. C., Malhi, Y. S., ... & Grace, J. (2007). Transpiração em espécie de grande porte na Floresta Nacional de

Caxiuanã, Pará. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, 11(2), 180-189.

COSTA, C. F. G. et al. Escoamento superficial em Latossolo Amarelo distrófico típico sob diferentes agroecossistemas no nordeste paraense. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v. 17, n. 2, p. 162–169, 2013.

DANTAS, V. DE A. et al. Fluxos de calor no dossel vegetativo e infiltração de água no solo, em floresta tropical. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, 2011.

Dorigo, W. A., Wagner, W., Hohensinn, R., Hahn, S., Paulik, C., Xaver, A., ... Jackson, T. (2011). The International Soil Moisture Network: A data hosting facility for global in situ soil moisture measurements. *Hydrology and Earth System Sciences*, 15, 1675–1698. <https://doi.org/10.5194/hess-15-1675-2011>.

Doughty CE, Metcalfe DB, Girardin CAJ et al. (2015) Drought impact on forest carbon dynamics and fluxes in Amazonia. *Nature*, 519, 78–82.

Duarte, A. L. M. 2012. Efeito da água sobre o crescimento e o valor nutritivo das plantas forrageiras. *Pesquisa e Tecnologia*, vol. 9, n. 2, ISSN 2316-5146. Jul-Dez 2012.

Dünisch, O., Montóia, V. R., & Bauch, J. (2003). Dendroecological investigations on *Swietenia macrophylla* King and *Cedrela odorata* L. (Meliaceae) in the central Amazon. *Trees*, 17(3), 244-250.

Eltahir, E. A. B. (1998). A soil moisture rainfall feedback mechanism 1. Theory and observations. *Water Resources Research*, 34, 765–776. <https://doi.org/10.1029/97wr03499>.

Fearnside, P.M.; Leal Filho, N.; Fernandes, F. M. 1993. Rainforest burning and the global budget: biomass, combustion efficiency, and charcoal formation in the Brazilian Amazon. *J. of Geophysical Research*, 98(D9):16733-16743.

FEARNSIDE, Philip M.; BARBOSA, Reinaldo Imbrozio. Carbon and nutrient flows in an Amazonian forest: fine litter production and composition at Apiapu, Roraima, Brazil. 1996.

FEARNSIDE, P. M. The roles and movements of actors in the deforestation of Brazilian Amazonia. *Ecology and Society*, 2008.

FEELEY, K. J.; WRIGHT, S. J.; SUPARDI, M. N. N.; KASSIM, A. R.; DAVIES, S. J. Decelerating growth in tropical forest trees. *Ecology Letters*, v. 10, n. 6, p. 461–469, 2007.

Ferraz, J., Oht, S., & Salles, P. C. (1998). Distribuição dos solos ao longo de dois transectos em floresta primária ao norte de Manaus (AM). In N. Higuchi, M. A. A. Campos, P. T. B. Sampaio, & J. Santos (Eds.), *Pesquisas Florestais para a Conservação da Floresta e Reabilitação de Áreas Degradadas da Amazônia* (pp. 111–143). Manaus, Brazil: National Institute for Amazon Researches (INPA).

Feldpausch TR, Phillips OL, Brienen RJW et al. (2016) Amazon forest response to repeated droughts. *Global Biogeochemical Cycles*, 30, 964–982.

Fontes, C. G., Dawson, T. E., Jardine, K., McDowell, N., Gimenez, B. O., Anderegg, L., ... Chambers, J. Q. (2018). Dry and hot: The hydraulic consequences of a climate change-type drought for Amazonian trees. *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences*, 373(1760). <https://doi.org/10.1098/rstb.2018.0209>.

Foster Brown, I.; Martinelli, L. A.; Wayt Thomas, W.; Moreira, M. Z.; Cid Ferreira, C. A.; Victoria, R. A. 1995. Uncertainty in the biomass of Amazonian forests: an example from Rondônia, Brazil. *Forest Ecology and Management*, 75:175-189.

Gimenez, B. O., Jardine, K. J., Higuchi, N., Negron-Juarez, R. I., Sampaio, I. D., Cobello, L. O., ... Chambers, J. Q. (2019). Species-specific shifts in diurnal sap velocity dynamics and hysteretic behavior of ecophysiological variables during the 2015–2016 El Niño event in the Amazon Forest. *Frontiers in Plant Science*, 10. <https://doi.org/10.3389/fpls.2019.00830>.

Higuchi, N.; Carvalho Jr., J. A. 1994. Fitomassa e conteúdo de carbono de espécies arbóreas da Amazônia. In: Companhia Vale do Rio Doce (ed.). *Emissão e seqüestro de CO₂: uma nova oportunidade de negócios para o Brasil*, Rio de Janeiro: 125-153.

Higuchi, N., Dos Santos, J., Ribeiro, R. J., Freitas, J. V., Vieira, G., & Cornic, A. (1997). *Proceedings of the Biomass and Nutrients International Symposium*. Manaus, Brazil: National Institute for Amazonian Research (INPA).

Higuchi, N.; Santos, J. dos; Ribeiro, J. R.; Minette, L.; Biot, Y. 1998a. Biomassa da parte aérea da floresta tropical úmida de terra firme da Amazônia Brasileira. *Acta Amazonica*, 28 (2):153-166.

Hodnett, M. G., Oyama, M. D., Tomasella, J., & Marques Filho, A. D. O. (1996). Comparisons of long-term soil water storage behaviour under pasture and forest in three areas of Amazonia. *Amazonian deforestation and climate*. John Wiley & Sons, Chichester, England.

IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change). 2006. 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories. Em CD ou no site: www.ipcc.ch.

Koyen, C. D., Knox, R. G., Fisher, R. A., Chambers, J. Q., Christoffersen, B. O., Davies, S. J., ... Xu, C. G. (2020). Benchmarking and parameter sensitivity of physiological and vegetation dynamics using the Functionally Assembled Terrestrial Ecosystem Simulator (FATES) at Barro Colorado Island, Panama. *Biogeosciences*, 17, 3017–3044. <https://doi.org/10.5194/bg-17-3017-2020>.

Kunert, N., Aparecido, L. M. T., Wolff, S., Higuchi, N., dos Santos, J., de Araujo, A. C., & Trumbore, S. (2017). A revised hydrological model for the Central Amazon: The importance of emergent canopy trees in the forest water budget. *Agricultural and Forest Meteorology*, 239, 47–57. <https://doi.org/10.1016/j.agrformet.2017.03.002>.

le Roux, P. C., Aalto, J., & Luoto, M. (2013). Soil moisture's underestimated role in climate change impact modelling in low-energy systems. *Global Change Biology*, 19(10). <https://doi.org/10.1111/gcb.12286>.

Lei, F. N., Crow, W. T., Holmes, T. R. H., Hain, C., & Anderson, M. C. (2018). Global investigation of soil moisture and latent heat flux coupling strength. *Water Resources Research*, 54, 8196–8215. <https://doi.org/10.1029/2018wr023469>.

Lewis SL, Brando PM, Phillips OL, van der Heijden GMF, Nepstad D (2011) The 2010 Amazon Drought. *Science*, 331, 554–554.

Li, W., and R. Fu, 2004: Transition of the large-scale atmospheric and land surface conditions from the dry to the wet season over Amazonia as diagnosed by the ECMWF Re-Analysis. *J. Climate*, 17, 2637–2651.

LIBARDI, P. Dinâmica da água no solo. [s.l: s.n.].

LIETH, H. 1974. Phenology and seasonality modeling.

LIMA, W. DE P. Hidrologia florestal aplicada ao Manejo de Bacias Hidrográficas. [s.l: s.n.].

Lowman, M. D.; Malhi, Y.; Roberts, J. T.; Betts, R. A.; Killeen, T. J.; Li, W.; Nobre, C. A. Climate change, deforestation, and the fate of the amazon. *Science*, v.319, p.169-172, 2008.

Luizão, R. C. C. et al. 2004. Variation of carbon and nitrogen cycling processes along a topographic gradient in a central Amazonian Forest. Blackwell Publishing Ltd, *Global Change Biology*, 10, 592–600.

LUIZAO, F. J. Litter production and mineral element input to the forest floor in a Central Amazonian forest. *GeoJournal*, 1989.

Luizão, F. J. e Schubart, H. O. R. 1987. Litter production and decomposition in a terra-firme forest of central Amazonia. *Experientia* 43.

Malhi Y, Doughty C, Galbraith D (2011) The allocation of ecosystem net primary productivity in tropical forests. *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences*, 366, 3225–3245.

Malhi, Y., Roberts, J. T., Betts, R. A., Killeen, T. J., Li, W., & Nobre, C. A. (2008). Climate change, deforestation, and the fate of the Amazon. *science*, 319(5860), 169-172.

Malhi, Y., Nobre, A. D., Grace, J., Kruijt, B., Pereira, M. G., Culf, A., & Scott, S. (1998). Carbon dioxide transfer over a Central Amazonian rain forest. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, 103(D24), 31593-31612. doi.org/10.1029/98JD02647.

Martius, C. et al. 2004. Litter fall, litter stocks and decomposition rates in rainforest and agroforestry sites in central Amazonia. *Nutr. Cycl. Agroecosyst.*, 68, 137– 154.

McMahon SM, Parker GG, Miller DR (2010) Evidence for a recent increase in forest growth. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 107, 3611–3615.

MYNENI, R. B.; YANG, W.; NEMANI, R. R.; HUETE, A. R.; DICKINSON, R. E.; KNYAZIKHIN, Y.; DIDAN, K.; FU, R.; NEGRÓN JUÁREZ, R. I.; SAATCHI, S. S.; HASHIMOTO, H.; ICHII, K.; SHABANOV, N. V.; TAN, B.; RATANA, P.; PRIVETTE, J. L.; MORISETTE, J. T.; VERMOTE, E. F.; ROY, D. P.; WOLFE, R. E.; FRIEDL, M. A.; RUNNING, S. W.; VOTAVA, P.; EL-SALEOUS, N.; DEVADIGA, S.; SU, Y.; SALOMONSON, V. V. Large seasonal swings in leaf area of Amazon rainforests.

Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America, Washington, v. 104, n. 12, p. 4820–4823, 2007.

Negrón-Juárez, R. I., Hodnett, M. G., Fu, R., Goulden, M. L., & von Randow, C. (2007). Control of dry season evapotranspiration over the Amazonian forest as inferred from observations at a southern Amazon forest site. **Journal of Climate**, 20, 2827–2839. <https://doi.org/10.1175/jcli4184.1>.

Negrón-Juárez, R. I., da Rocha, H. R., e Figueira, A. M. S., Goulden, M. L., & Miller, S. D. (2009). An improved estimate of leaf area index based on the histogram analysis of hemispherical photographs. **Agricultural and Forest Meteorology**, 149(6-7), 920-928.

Negrón-Juárez, R. I., Jenkins, H. S., Raupp, C. F. M., Riley, W. J., Kueppers, L. M., Magnabosco Marra, D., ... Higuchi, N. (2017). Windthrow variability in central Amazonia. **Atmosphere**, 8(2). <https://doi.org/10.3390/atmos8020028>.

Negrón-Juárez, R. I., Holm, J. A., Magnabosco Marra, D., Rifai, S. W., Riley, W. J., Chambers, J. Q., ... Higuchi, N. (2018). Vulnerability of Amazon forests to storm-driven tree mortality. **Environmental Research Letters**, 13(5). <https://doi.org/10.1088/1748-9326/aabe9f>.

Negrón-Juárez, R., Ferreira, S. J., Mota, M. C., Faybishenko, B., Monteiro, M. T. F., Candido, L. A., ... & Newman, B. D. (2020). Calibration, measurement, and characterization of soil moisture dynamics in a central Amazonian tropical forest. **Vadose Zone Journal**, 19(1), e20070.

NELSON, B; TAVARES, J; WU, J; VALERIANO, D; LOPES, A; SUELEN, M; MARTINS, G; PROHASKA, N; ALBERT, L; ARAUJO, A; *et al.*, 2014. Seasonality of central Amazon Forest Leaf Flush Using tower-Mounted RGB Camera. In: AGU Fall Meeting. 1-2.

Nepstad DC, Carvalho CJR d, Davidson EA, Jipp P, Lefebvre PA, Negreiros GH, Silva ED, Stone TA, Trumbore SE, Vieira S (1994) The role of deep roots in the hydrological and carbon cycles of Amazonian forests and pastures. *Nature* 372:666-669.

Nepstad DC, Lefebvre P, Da Silva UL, Tomasella J, Schlesinger P, Solorzano L, Moutinho P, Ray D, Benito JG (2004) Amazon drought and its implications for forest flammability and tree growth: a basin-wide analysis. *Global Change Biol* 10:704-717.

Newstrom, A. L. E; FRANKIE, G. W; BAKER, H. G. 1994. A new classification for plant phenology based on flowering patterns in lowland tropical rain forest tree at la selva, Costa Rica. *Biotropica* 26: 141-159.

Oliveira, L. L. D., Costa, R. F. D., Sousa, F. D. A. S. D., Costa, A. C. L. D., & Braga, A. P. (2008). Precipitação efetiva e interceptação em Caxiuanã, na Amazônia Oriental. *Acta Amazonica*, 38(4), 723-732.

Oliveira, L. L.; Costa, R. F.; Costa, A. C. L.; Souza, F. A. S.; Braga, A. P. Precipitação efetiva e interceptação em Caxiuanã, na Amazônia Oriental. *Acta Amazonica*, v.38, p.185-189, 2008.

Ourique, L. K., Silva, R. O., Souza, C. A. S., & Higushi, N. (2016). Relação da produção de serapilheira com incremento em diâmetro de uma floresta madura na Amazônia Central. *Scientia Forestalis*, 44(112), 875-886.

Phillips OL, Aragao LEOC, Lewis SL et al. (2009) Drought Sensitivity of the Amazon Rainforest. *Science*, 323, 1344–1347.

Phillips OL, van der Heijden G, Lewis SL et al. (2010) Drought-mortality relationships for tropical forests. *New Phytologist*, 187, 631–646.

QUESADA, C. A.; LLOYD, J.; SCHWARZ, M.; et al. Variations in chemical and physical properties of Amazon forest soils in relation to their genesis. *Biogeosciences*, v. 7, n. 5, p. 1515–1541, 2010.

RADAMBRASIL. (1978). Projeto Radambrasil. Levantamento de recursos naturais. Rio de Janeiro, Brazil: Ministério das Minas e Energia.

Ranzani, G. (1980). Identificação e caracterização de alguns solos da Estação Experimental de Silvicultura Tropical do INPA. *Acta Amazonica*, 10(1), 7-41.

REICH, P, B. 1995. Phenology of tropical forests: patterns, causes, and consequences. *Canadian Journal of Botany*.

REICH, P. B; UHL, C; WALTERS, M. B; PRUGH, L; ELLSWORTH, D. S. 2004. Leaf Demography and Pheology in Amazonian Rain Forest: a censos of 40 000 Leaves of 23 Tree Species. *Ecological Monographs*. 74: 3-23.

Reichardt, K., & Timm, L. C. (2012). Solo, Planta e Atmosfera: Conceitos, Processos e Aplicações. (In Portuguese.) Brasília: Manole.

Robock, A. (2015). Hydrology, floods and droughts: Soil moisture. In G. R. North, J. Pyle, & F. Zhang (Eds.), *Encyclopedia of atmospheric science* (2nd ed., pp. 232–239). Cambridge, MA: Academic Press.

Rocha HR, Goulden ML, Miller SD, Menton MC, Pinto LDVO, Freitas HC, Figueira AMS (2004) Seasonality of water and heat fluxes over a tropical forest in eastern Amazonia. *Ecol Appl* 14(4):22-32.

RODRIGUES, Jardel Ramos. Percolação da água no solo e teor de nutrientes lixiviados em função da variação topográfica e sazonal na Amazônia Central. 2019.

Salati, E.; Dall'olio, A.; Matsui, E; Gat, J.R. 1979. Recycling of water in the Amazon Basin: an isotopic study. *Water Resources Research*, 15(5): 1250-1258.

Saleska SR, Miller SD, Matross DM, Goulden ML, Wofsy SC, da Rocha HR, de Camargo PB, Crill P., Daube BC, de Freitas HC, Huttyra L, Keller M, Kirchhoff V, Menton M, Munger JW, Pyle EH, Rice AH, Silva H (2003) Carbon in amazon forests: unexpected seasonal fluxes and disturbance-induced losses. *Science* 302:1554-1557.

SANCHES, Luciana et al. 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, 2009.

SCHWARTZ, M. D. 2003. Phenology: na integrative environmental Science.

Sheffield, J., & Wood, E. F. (2008). Global trends and variability in soil moisture and drought characteristics, 1950–2000, from observation-driven simulations of the terrestrial hydrologic cycle. *Journal of Climate*, 21, 432–458. <https://doi.org/10.1175/2007jcli1822.1>.

Shuttleworth, W. J., 1988: Evaporation from Amazonian rainforest. *Proc. Roy. Soc. London*, 233, 321–346.

SILVA, R. O. Turnover de raízes finas em uma floresta de terra firme na Amazônia Central. 2009. Dissertação (Mestrado em Ciências de Florestas Tropicais). Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia, Manaus, 2009.

Silva, R. P. da; Nakamura, S.; Chambers, J.Q.; Rocha, R.M.; Pinto, A.C.M.; Santos, J.; Higuchi, N. 2003. Uso de banda dendrométrica na definição de padrões de crescimento individual em diâmetro de árvores da bacia do rio Cuieiras. *Acta Amazonica* 33 (1): 67-84.

Silva, R. P. D. (2007). Alometria, estoque e dinâmica da biomassa de florestas primárias e secundárias na região de Manaus (AM). Tese de Doutorado.

Taiz, L.; Zeiger, E. 2004. *Fisiologia vegetal*. Porto Alegre: Artmed, 719 p.

TELLES, E. DE C. C.; DE CAMARGO, P. B.; MARTINELLI, L. A.; et al. Correction to "Influence of soil texture on carbon dynamics and storage potential in tropical forest soils of Amazonia". *Global Biogeochemical Cycles*, v. 18, n. 1, p. n/a-n/a, 2004.

Teixeira, W. G., Schroth, G., Marques, J. D., & Huwe, B. (2014). Unsaturated soil hydraulic conductivity in the central Amazon: Field evaluations. In W. G. Teixeira, M. B. Ceddia, M. V. Ottoni, & G. K. Donnagema (Eds.), *Application of soil physics in environmental analyses: Measuring, modelling and data integration* (pp. 283– 305). Cham, Switzerland: Springer. https://doi.org/10.1007/978-3-319-06013-2_13.

TOMASELLA, J.; HODNETT, M.G. 1996. Soil hydraulic properties and van Genuchten parameters for an oxisol under pasture in central Amazonia. In *Amazonian Deforestation and Climate*, Gash JHC, Nobre CA, Roberts JM, Victoria RL (eds). John Wiley and Sons: West Sussex, 101-124.

TOMASELLA, J. et al. The water balance of an Amazonian micro-catchment: The effect of interannual variability of rainfall on hydrological behaviour. *Hydrological Processes*, 2008.

Van SCHAIK, C. P.; TERBORGH, J. W.; WRIGHT, S. J. 1993. The phenology of tropical forests: adaptive significance and consequences for primary consumers. *Annual Review of Ecology and Systematics*. 24: 353-377.

Vieira, S.; Camargo, P.B.; Selhorst, D.; da Silva, R.; Hutyra, L.; Chambers, J.Q.; Brown, I.F.; Higuchi, N.; Dos Santos, J.; Wofsy, S.C.; Trumbore, S.E.; Martinelli, L.A. (2004). Forest structure and carbon dynamics in Amazonian tropical rain forest. *Oecologia*, 140: 468-479.

VITOUSEK, P. Nutrient Cycling in Moist Tropical Forest. *Annual Review of Ecology and Systematics*, 1986.

von Randow, C.; Sá, L.; Gannabathula, P. S.; Manzi, A. O.; Arlino P.; Kruijt, B. Scale variability of atmospheric surface layer fluxes of energy and carbon over a tropical rain forest in southwest Amazonia. I. Diurnal conditions. *Journal of Geophysical Research*, v.107, 12p., 2002.

Wagner, F., Rossi, V., Stahl, C., Bonal, D., & Herault, B. (2012). Water availability is the main climate driver of neotropical tree growth. *PloS one*, 7(4), e34074.

Wagner F, Rossi V, Baraloto C, Bonal D, Stahl C, Hérault B (2014a) Are Commonly Measured 43 Functional Traits Involved in Tropical Tree Responses to Climate? *International Journal of Ecology*, 2014, 1–10.

Wagner F, Rossi V, Aubry-Kientz M et al. (2014b) Pan-Tropical Analysis of Climate Effects on Seasonal Tree Growth (ed Mcdonald M). *PLoS ONE*, 9, e92337.

WMO-GCOS. (2016). The global observing system for climate: Implementation needs. Geneva, Switzerland: World Meteorological Organization.

Worbes M (1999) Annual growth rings, rainfall-dependent growth and long-term growth patterns of tropical trees from the Caparo Forest Reserve in Venezuela. *Journal of Ecology*, 87, 391– 403.

Yoo, C., & Kim, S. (2004). EOF analysis of surface soil moisture field variability. *Advances in Water Resources*, 27, 831–842. <https://doi.org/10.1016/j.adwatres.2004.04.003>

Zreda, M., Shuttleworth, W. J., Zeng, X., Zweck, C., Desilets, D., Franz, T., & Rosolem, R. (2012). COSMOS: The cosmic-ray soil moisture observing system. *Hydrology and Earth System Sciences*, 16(11), 4079-4099.