Revista Brasileira de Climatologia
Brazilian Journal of Climatology
OPEN ACCESS

ÍNDICE DE ÁREA FOLIAR E SUA RELAÇÃO COM O MICROCLIMA EM FLORESTA E PASTAGEM NA AMAZÔNIA OCIDENTAL

Leaf area index and its relation with forest and pasture microclimate in the western Amazon

Índice de área foliar y su relación con el microclima en bosque y pastizal de la Amazonía occidental

Gutieres Camatta Barbino
Mestrado Profissional em Rede Nacional em Gestão e Regulação de Recursos Hídricos/ Polo UNIR, Universidade Federal de Rondônia (UNIR)
gutieres.barbino@gmail.com

Nara Luísa Reis de Andrade
Mestrado Profissional em Rede Nacional em Gestão e Regulação de Recursos Hídricos/ Polo UNIR, Departamento de Engenharia Ambiental e Sanitária, Universidade Federal de Rondônia (UNIR)
naraluisar@gmail.com

Alberto Dresch Webler
Departamento de Engenharia Ambiental e Sanitária, Universidade Federal de Rondônia (UNIR)
alberto.webler@unir.br

Luciana Sanches
Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental, Universidade Federal do Mato Grosso (UFMT)
lsanches@hotmail.com

Renata Gonçalves Aguiar
Departamento de Engenharia Ambiental e Sanitária, Universidade Federal de Rondônia (UNIR)
rgaguiar@gmail.com

Barbára Antonucci
Programa de Grande Escala da Biosfera-Atmosfera da Amazônia, Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia (INPA)
antonucci.engenharia@gmail.com

Resumo: A Amazônia tem sido submetida a processos de alteração em seu uso e ocupação, resultando em mudanças no microclima e nas características fisiológicas das plantas. O estudo objetivou avaliar o Índice de Área Foliar (IAF) obtido por sensoriamento remoto e analisar sua relação com o microclima em diferentes áreas, usando variáveis meteorológicas terrenas. O estudo foi desenvolvido em uma área de floresta e pastagem. As variáveis de produto de sensoriamento remoto foram adquiridas por meio do sensor MODIS e as variáveis micrometeorológicas são provenientes das torres do Programa de Grande Escala Da Biosfera-Atmosfera na Amazônia. Os resultados das análises do IAF mostraram um comportamento coincidente com a sazonalidade da região, com maiores valores nos meses do período úmido e menores valores no período seco. A resposta anual do IAF na área de floresta apresentou um atraso em relação às variações climáticas extremas na bacia Amazônica, como os eventos de seca extrema ocorridos em 2005 e 2010, em que os menores valores ocorreram nos anos posteriores. Na pastagem, o IAF apresenta uma resposta rápida a esses eventos, com menores valores nos anos de seca extrema e maiores valores em 2009 (cheia extrema). Isso ocorre pela maior disponibilidade de água, pois a pastagem apresenta melhor desenvolvimento sob essas condições. Ao analisar a correlação com o microclima, a pastagem não apresentou correlação com a evapotranspiração, enquanto a floresta, apresentou correlação somente com a fração da radiação fotossinteticamente ativa.
Palavras-chave: Índices vegetativos. Uso do solo. Micrometeorologia. Balanço Hídrico.

Abstract: The Amazon has been subjected to processes of change in its use and occupation, resulting in changes in the microclimate and physiological characteristics of plants. The study aimed to evaluate the Leaf Area Index (LAI) obtained by remote sensing and to analyze its relation with the microclimate in different areas, using terrestrial meteorological variables. The study was developed in an area of forest and pasture. The remote sensing product variables were acquired through the MODIS sensor and the micrometeorological variables come from the towers of the Large Scale Biosphere-Atmosphere Research Program in the Amazon. The results of the LAI analyzes showed a behavior coincident with the seasonality of the region, with higher values in the months of the wet period and lower values in dry period. The LAI's annual response, in forested area, presented a delay in relation to extreme climatic variations in Amazon basin, such as extreme drought events that occurred in 2005 and 2010, which the lowest values occurred in later years. In pasture, the LAI presents a quick response to these events, with lower values in the years of extreme drought and higher values in 2009 (extreme flood). This occurs by the greater disponibility of water, because the pasture presents better development under these conditions. When analyzing the correlation of LAI with the microclimate, the pasture didn't present a correlation with evapotranspiration, while the forest presented a correlation only with the fraction of photosynthetically active radiation.
Keywords: Vegetation index. Land use. Micrometeorology. Water Balance.

Resumen: La Amazonía ha estado sujeta a procesos de cambio en su uso y ocupación, traduciéndose en cambios en el microclima y en las características fisiológicas de las plantas. El estudio tuvo como objetivo evaluar el índice de área foliar (IAF) obtenido por teledetección y analizar su relación con el microclima en diferentes zonas, utilizando variables meteorológicas terrestres. El estudio se desarrolló en una area de bosque y pastizal. Las variables del producto de teledetección fueron adquiridas através del sensor MODIS y las variables micrometeorológicas provienen de las torres del Programa Biosfera-Atmósfera a Gran Escala en la Amazonía. Los resultados de las análisis IAF mostraron un comportamiento que coincide con la estacionalidad de la región, con valores más altos en los meses del período húmedo y valores más bajos en el período poco lluvioso. La respuesta anual del IAF, en area bosque, presentó un retraso en relación a las variaciones climáticas extremas en la cuenca amazónica, como los eventos de extrema sequía ocurridos en 2005 y 2010, donde los valores más bajos se dieron en años posteriores. En la pastizal, el IAF presenta una rápida respuesta a estos eventos, con valores más bajos en los años de sequía extrema y valores más altos en 2009 (inundación extrema).

Esto ocurre por la mayor disponibilidad de agua, ya que el pastizal presenta un mejor desarrollo en estas condiciones. Al analizar la correlación del LAI con el microclima, el pastizal no presentó correlación con la evapotranspiración, mientras que el bosque presentó correlación solo con la fracción de radiación fotosintéticamente activa.
Palabras clave: Índices vegetativos. Uso del suelo. Micrometeorología. Balance Hídrico.

Submetido em: 05/09/2022
Aceito para publicação em: 10/02/2023
Publicado em: 19/02/2023

1. INTRODUÇÃO

A Floresta Amazônica vem sofrendo uma intensa alteração em seu uso e ocupação do solo, principalmente devido à conversão de florestas em sistemas agropecuários (DAVIDSON *et al*., 2012; FEARNSIDE, 2011). Consequentemente ocorrem alterações no ecossistema, nas propriedades do solo, nas trocas gasosas, no padrão climático, principalmente nos eventos extremos (BRÊDA *et al*., 2020; CASAGRANDE *et al*., 2021; CAVALCANTE *et al*., 2020; DAVIDSON *et al*., 2012).

Coe *et al*. (2017) sugerem que a fronteira agrícola do Brasil será muito mais quente e mais seca nas próximas décadas, visto que as concentrações de gases de efeito estufa (GEE) estão aumentando. Devido à retirada da vegetação nativa, as maiores preocupações são sobre as mudanças climáticas (ARTAXO *et al*., 2014; FEARNSIDE, 2005; MALHI *et al*., 2008; NOBRE *et al*., 2016) e a perda da biodiversidade (BRAWN, 2017; FEARNSIDE, 2005). Tais preocupações ocorrem principalmente em decorrência das queimadas que acompanham o processo de retirada de vegetação (SANTOS *et al*., 2017).

Uma forma de avaliar a constante e expressiva mudança no uso e cobertura do solo é por meio do Índice de Área Foliar (IAF), uma variável fortemente afetada por essas alterações (PFEIFFER *et al*., 2014), sendo um importante componente, pois está relacionado com variáveis microclimáticas, tal como a evapotranspiração (XAVIER; VETTORAZZI, 2003; XU *et al*., 2022; WAN *et al*., 2020; WANG *et al*., 2021; ZHANG *et al*., 2021). O IAF pode ser definido como a razão entre a área foliar de uma população de plantas e a área superficial do solo por ela ocupada (WATSON, 1947).

Além disso, o IAF está diretamente relacionado com o microclima (BAO *et al*., 2022; FAN *et al*., 2021; HARDWICK *et al*., 2015). Isso ocorre devido ao dossel das plantas absorver, dispersar e refletir a radiação incidente recebida (HARDWICK *et al*., 2015; LI *et al*., 2018). Assim, áreas florestadas, devido ao maior IAF e maior rugosidade do dossel, são capazes de reter maior quantidade de radiação quando comparadas com regiões que sofreram algum tipo de impacto, tal qual desmatamento e queimadas (PINAGÉ *et al*., 2022). Devido a isso, resultam em um maior controle da quantidade de vapor de água, fazendo com que a temperatura local seja menor, ao contrário de uma área de pastagem (HARDWICK *et al*., 2015).

A vegetação é fortemente acoplada à atmosfera, sendo responsável por controlar uma gama de processos físicos e químicos, liberando maior quantidade de compostos que influenciam na formação de nuvens, emissão e absorção de gases (ARTAXO *et al*., 2014; BAGLEY *et al*., 2014), absorção de radiação fotossinteticamente ativa (LI *et al*., 2018; MOKHTARI *et al*., 2018; VILANI, 2007), temperatura e umidade do ar (BIUDES *et al*., 2015), além de desempenhar importante papel na proteção de impactos advindos de mudanças climáticas (DE FRENE *et al*., 2013; LIU; LIU; YIN, 2013).

Uma das principais dificuldades em estudar o IAF em áreas naturais se deve à dificuldade de medidas *in loco,* devido à difícil logística, mobilização de equipamentos e equipe, dificuldade de acesso em áreas florestadas ou propriedades privadas. Além disso, os métodos mais usuais para medida de IAF compreendem métodos destrutivos, que consistem no corte da planta para sua quantificação (YAMAGUCHI *et al*., 2020).

Mediante isso, o sensoriamento remoto é uma ferramenta que vem sendo largamente empregada para estudos que avaliam a resposta da vegetação a diversos fatores, como por exemplo crescimento de culturas agrícolas de milho (LI *et al*., 2018; ZHANG *et al*., 2022), cana de açúcar (YU *et al*., 2022), estudos que avaliam produtividade primária em mangue (KANNIAH *et al*., 2021), savanas (BIUDES *et al*., 2021), sistemas de silviculturas (WENGERT *et al*., 2021) e resposta da vegetação por meio de verdor e fluorescência (LENG *et al*., 2022).

Estudos recentes têm mostrado resultados positivos para o uso de técnicas de sensoriamento remoto para a estimativa do IAF (ALMEIDA *et al*., 2015; DANELICHEN *et al*., 2016; KANNIAH *et al*., 2021; NASSUR *et al*., 2015; WENGERT *et al*., 2021; ZHANG *et al*., 2022).

Neste sentido, é importante a realização de estudos para compreender o efeito da conversão das florestas em pastagens nos índices vegetativos e no clima, principalmente em microescala. Desta forma, o presente estudo teve por objetivo relacionar o IAF proveniente de produto de sensoriamento remoto com o microclima em áreas de floresta (Reserva Biológica do Jaru) e de pastagem (Fazenda Nossa Senhora), ambas localizadas no sudoeste da Amazônia.

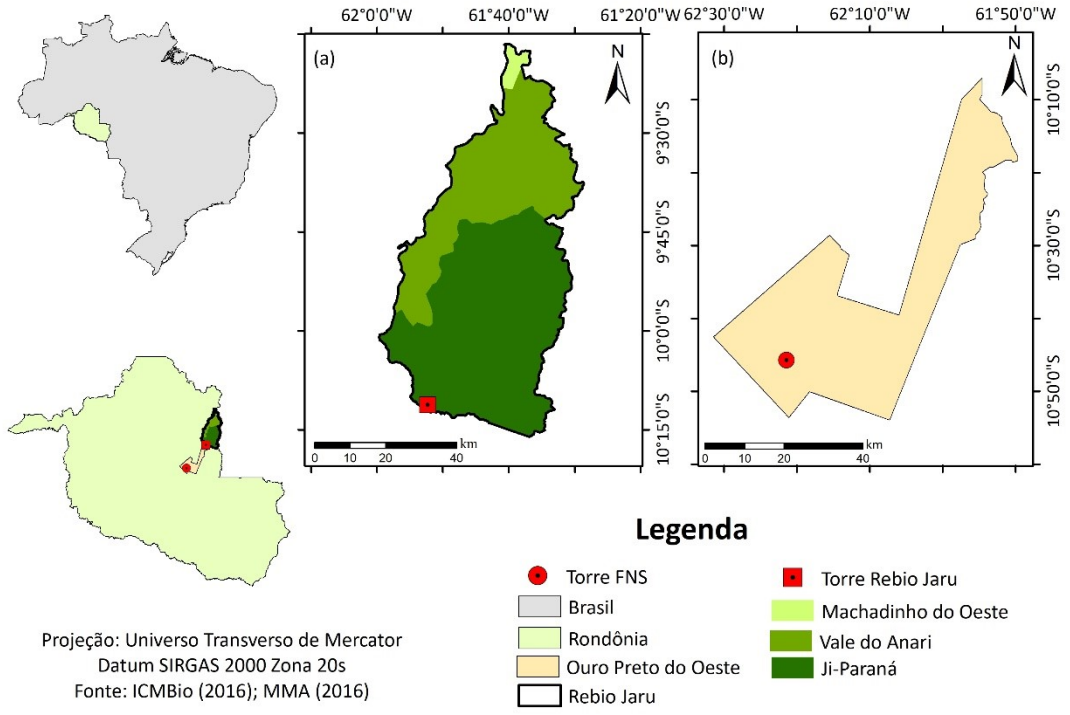
2. MATERIAL E MÉTODOS

2.1. Localização e Descrição da Área de Estudo

A área em estudo está situada na Reserva Biológica do Jaru (Rebio Jaru) (FIGURA 1a). A Rebio Jaru possui 346.861,17 ha de vegetação predominante Floresta Ombrófila Aberta (CULF *et al*., 1997), definida também como sazonalmente seca ou semidecidual (COSTA *et al*., 2010). As árvores possuem uma altura média de 30 m com um sub-bosque composto por palmeiras e árvores emergentes de 45 m (RUMMEL *et al*., 2002).

A Fazenda Nossa Senhora (FNS) está localizada no município de Ouro Preto do Oeste (FIGURA 1b). Esta região foi desmatada no ano 1971 e sendo considerada com área predominante de pastagem a partir de 1991. A área é constantemente utilizada para manejo bovino, com rodízios ao longo do ano. A vegetação predominantemente é composta por gramínea *Brachiaria brizantha*, com pequenas palmeiras dispersas (RANDOW *et al*., 2004), distando 80 km da Rebio Jaru.

Figura 1 – Localização da (a) Reserva Biológica do Jaru e (b) Fazenda Nossa Senhora.



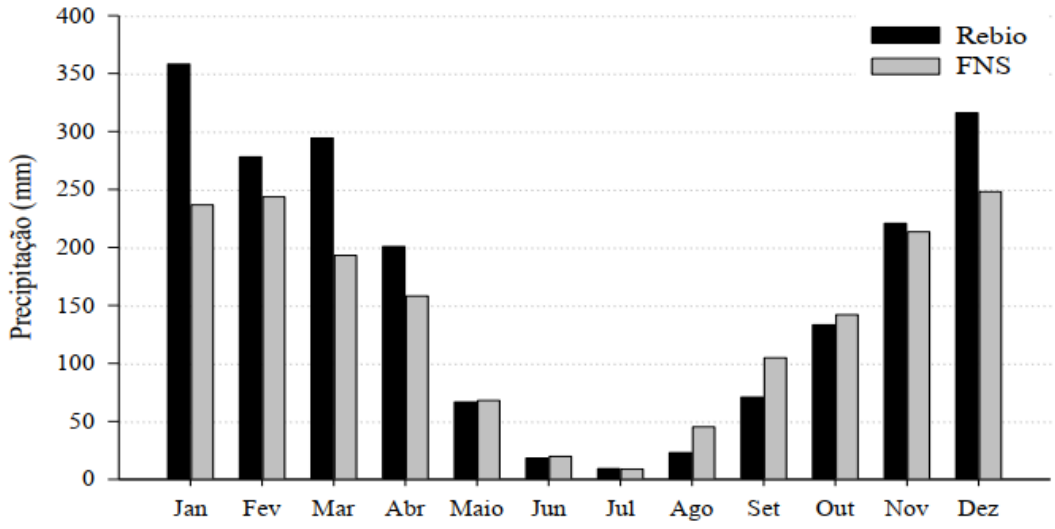
Fonte: Elaborado pelos autores (2022).

Dentro desta área o estudo foi desenvolvido em dois sítios experimentais, um na

Reserva Biológica do Jaru (Rebio Jaru) e um na Fazenda Nossa Senhora (FNS), ambos pertencentes à rede de torres micrometereológicas do Programa de Grande Escala da Biosfera-Atmosfera na Amazônia – Programa LBA (FIGURA 1) instaladas no ano de 1999 (no ano de 2004 a posição da torre na Rebio Jaru foi alterada para a posição que se mantém desde então e ao qual o período de estudo está compreendido), com alturas de 62 metros e 10 metros para a Rebio Jaru e FNS, respectivamente.

Esta região possui sazonalidade pluviométrica, podendo ser definidos quatro períodos climáticos: período úmido (janeiro-março), úmido-seco (abril-junho), seco (julho-setembro) e seco-úmido (outubro-dezembro) (FRANCA, 2015). A média da precipitação mensal acumulada está apresentada na Figura 2.

Figura 2 - Média da precipitação mensal acumulada (mm/mês) na Reserva Biológica do Jaru (Rebio Jaru) e Fazenda Nossa Senhora (FNS) entre 1999 e 2012.



Fonte: Oliveira, 2014.

A média de precipitação para os sítios em estudo corresponde a 1989,65 mm.ano^{-1} na Rebio Jaru e 1768,04 mm.ano^{-1} na FNS (OLIVEIRA, 2014).

2.2. Variáveis Micrometeorológicas

Os dados micrometeorológicos de baixa frequência utilizados foram a temperatura do ar (T_ar) e umidade relativa do ar (UR), medidos por um termohigrômetro (mod. HMP35A,

Vaisala, Helsinki, Finlândia), evapotranspiração (ET), medido pelo sistema *eddy covariance* composto por um anemômetro sônico tridimensional (Solent 1012R2, Gill Instruments, Lymington, UK) e um analisador de gás por infravermelho de caminho aberto (LI- 7500, LICOR Inc., Lincoln, USA).

Estes dados de baixa frequência foram coletados e armazenados em um sistema de aquisição de dados (Datalogger, mod. CR23X, Campbell Scientific Instrument, Utah, USA) na Rebio Jaru e (Datalogger, mod. CR10X, Campbell Scientific Instrument, Utah, USA) na FNS. Os sensores do sistema de fluxos estavam conectados a um microcomputador tipo "palmtop" que fazia as leituras dos sensores com uma frequência de 10 Hz e armazenava os dados brutos.

Os dados de LE foram convertidos em evapotranspiração por meio da Equação 1.

$$ET = \frac{LE}{\lambda E} \quad (1)$$

em que, ET é a evapotranspiração (mm.d^{-1}), LE é o fluxo de calor latente (MJ.kg^{-1}) e λE é o calor latente de vaporização (MJ.kg^{-1}), calculado pela Equação 2 (COLLOSCHONN; TASSI, 2008).

$$\lambda E = 2{,}501 - 0{,}002361.T \quad (2)$$

em que, T é a temperatura do ar (ºC).

2.3. IAF e fPAR Obtidos pelo Produto MOD15A2H

As variáveis IAF e fração da radiação fotossinteticamente ativa (fPAR) foram obtidas pelo produto MOD15A2H do sensor MODIS acoplado aos satélites Terra e Aqua, com resolução temporal de 8 dias e resolução espacial de 500 m (MYNENI; PARK, 2015). Os dados são disponibilizados gratuitamente pela NASA. Os dados utilizados são correspondentes ao período com dados micrometeorológicos disponíveis de 2004 a 2010.

A qualidade das variáveis IAF e fPAR foi verificada por meio do controle de qualidade (QC) do produto MOD15A2H, indicando ou não a interferência de nuvens, aerossóis ou partículas em suspensão. Os valores do QC variam de 0, 8, 16, 32, 40, 48, 97, 105 e 113. Os valores 0 de QC são considerados de ótima qualidade, os valores de 8 a 97 são considerados aceitáveis, enquanto os acima de 97 são considerados de má qualidade (MYNENI; PARK, 2015).

Nesta pesquisa somente foram utilizados dados com controle de qualidade ótima e aceitável, evitando possíveis valores incoerentes relativos à qualidade inferior das variáveis.

Os dados de IAF foram submetidos a transformação utilizando um fator de conversão (multiplicado por 0,1) para se ter os dados na unidade de $m^2.m^{-2}$ de acordo com o manual publicado por Myneni; Park (2015). Os dados de fPAR não foram transformados.

2.4. Tratamento dos Dados e Análises Estatísticas

Visando avaliar os dados micrometeorológicos e o IAF/fPAR obtidos pelo produto MOD15A2H, foram realizadas análises estatísticas descritiva e inferencial, com ênfase nas características das variáveis, tais como médias mensais, sazonais e anuais, bem como seus respectivos intervalos de confiança (IC).

A princípio verificou-se o pressuposto de normalidade, sendo utilizado o teste de Shapiro-Wilk, onde se constatou que nenhuma variável atendeu aos pressupostos de normalidade, sendo assim, prosseguiu-se a análise dos dados não paramétricos, optando-se por usar o método *bootstrap* (com 1.000 reamostragens).

A correlação dos dados foi realizada pelo método não-paramétrico teste de Spearman.

Além disso, para realizar a correlação entre o IAF e as variáveis micrometeorológicas, fez-se médias dos dados de T_ar, UR e ET a cada oito dias para serem pareados com os dados de IAF, cuja resolução temporal é 8 dias. Como os dados de fPAR também foram obtidos pelo produto MOD15A2H, não foi necessário realizar tal procedimento para essa variável.

Os testes supracitados foram realizados com nível de significância de 5% (α=0,05). As análises estatísticas dos dados foram realizadas utilizando os programas Excel 2013 elaborado pela Microsoft e o Minitab 17.

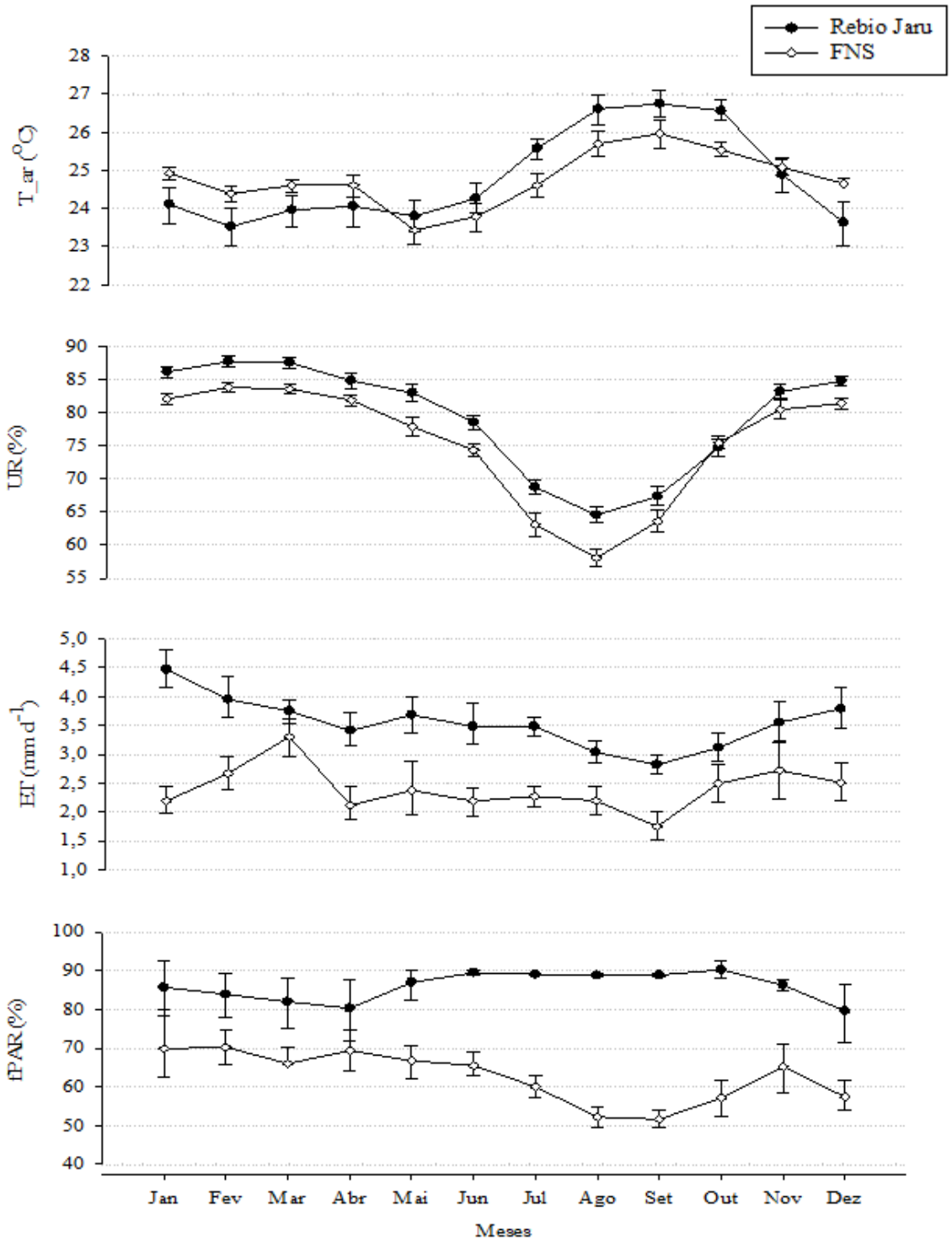
3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1. Caracterização do Microclima

A T_ar apresentou sazonalidade característica com menores e maiores valores em fevereiro e setembro, respectivamente, em ambas as áreas Rebio Jaru e FNS (Figura 3). A T_ar

média mensal na Rebio Jaru foi inferior à média mensal na FNS entre novembro e abril, enquanto entre maio e outubro a T_ar foi superior na FNS.

Figura 3 – Média [IC] mensal da temperatura do ar (T_ar, °C), umidade relativa do ar (UR), evapotranspiração (ET, mm.d^{-1}) e fração da radiação fotossinteticamente ativa (fPAR, %) na Reserva Biológica do Jaru (Rebio Jaru) e Fazenda Nossa Senhora (FNS), de 2004 a 2010.



Fonte: Elaborado pelos autores (2022).

Em setembro ocorreram as máximas mensais da T_ar, sendo 26,75 [26,38; 27,10] ºC e 25,97 [25,59; 26,30] ºC (todo valor entre colchetes representa o intervalo de confiança obtido com 5% de confiança), na Rebio Jaru e FNS, respectivamente.

As temperaturas mais elevadas em setembro podem estar associadas ao fato desse ser um mês seco, com menor índice pluviométrico, e consequentemente menor umidade do ar, ocasionando maiores gastos energéticos para aquecimento da atmosfera. Isso ocorre parcialmente devido ao fechamento dos estômatos das plantas para evitar perda de água para atmosfera, fazendo com que a energia antes utilizada para realização de evaporação e transpiração passe a ser utilizada em maior proporção para o aquecimento da atmosfera (WEBLER *et al*., 2013).

A menor média mensal na Rebio Jaru ocorreu em fevereiro com 23,52 [23,00; 23,99] ºC, esse valor está relacionado ao maior índice pluviométrico, visto que, no período úmido a Rebio Jaru apresenta precipitação média de 307 mm/mês (OLIVEIRA, 2014), acarretando uma diminuição na T_ar. Estes resultados corroboraram com a sazonalidade da T_ar em área de floresta em Caxiuanã, em que a menor T_ar ocorreu em fevereiro e a maior em novembro (BARBOSA et al., 2015).

Por sua vez, a menor média de T_ar na FNS ocorreu em maio, com 23,43 [23,06; 23,82] ºC. A baixa T_ar na FNS em maio provavelmente está relacionada aos eventos de friagens, que acontecem principalmente entre maio e agosto (OLIVEIRA *et al*., 2004). E corroboram também com Webler (2011) que reporta que na FNS, a menor T_ar ocorreu em junho e a mais elevada em setembro.

A sazonalidade da UR foi característica e semelhante em ambos os sítios estudados, com médias mensais na Rebio Jaru superiores à FNS na maioria dos meses, com exceção de outubro. A UR possui padrão inverso a T_ar, sendo que, meses com menor temperatura apresentaram maior umidade relativa, enquanto meses com maior T_ar apresentaram menor UR. Sendo esse comportamento já explicitado anteriormente, de acordo com as observações realizadas por Webler *et al*. (2013).

Na Rebio Jaru os maiores valores de UR ocorreram em fevereiro com média mensal de 87,48 [86,69; 88,33] %, enquanto a menor UR ocorreu em agosto com média de 64,54 [63,32;

65,67] %. Em uma floresta em Caxiuanã, Barbosa *et al*. (2015) observaram maior média mensal de UR de 89,9% em fevereiro, e menor em agosto, de forma inversamente proporcional aos valores de T_ar obtidos nesta floresta.

No que diz respeito a UR na FNS, a mesma apresenta comportamento semelhante ao observado na Rebio Jaru, com maiores valores em fevereiro e menores em agosto, com médias mensais de 83,77 [82,97; 84,52] % e 58,09 [56,84; 59,37] %, respectivamente. Na FNS, Webler (2011) reporta a UR mensal média com o mesmo comportamento que o observado no presente estudo, maior média mensal de UR em fevereiro e menor em agosto, com 84,56 ± 2,11% e 59,54 ± 3,29%, respectivamente.

Em geral, a média mensal da ET na Rebio Jaru foi superior à média mensal da ET na FNS (FIGURA 3). Essa diferença da ET nas áreas se deve principalmente as diferentes coberturas de vegetação em cada ecossistema, sendo o aproveitamento da energia disponível no sistema atmosfera-biosfera para manutenção da evapotranspiração na Rebio Jaru superior ao da FNS.

A maior média mensal da ET foi 4,47 [4,15; 4,81] mm d^{-1} em janeiro na Rebio Jaru e uma média anual de 3,53 [3,42; 3,65]. Costa *et al*. (2010), estudando a ET em áreas de floresta distribuídas ao longo da Bacia Amazônica, encontraram resultados semelhantes, sendo a ET média na Rebio Jaru de 3,57 $mm.d^{-1}$, Manaus com 3,58 $mm.d^{-1}$, Santarém 3,49 $mm.d^{-1}$ e Sinop 3,11 $mm.d^{-1}$. Por sua vez, Vourlitis *et al*. (2015) ao também estudarem a ET em Santarém obtiveram valor de evapotranspiração média de 2,64 $mm.d^{-1}$. Paca *et al*. (2019), ao avaliarem a ET de extensas e diferentes tipologias vegetais na região amazônica, observaram que em regiões de vegetação semidecídua, semelhante à vegetação que compõe a Rebio Jaru, a ET anual foi de 1376 mm, resultando em uma média diária de 3,77 mm.

Na FNS a maior média mensal da ET ocorreu em março, com 3,30 [2,95; 3,62] $mm.d^{-1}$. A média para o período de estudo foi de 2,46 [2,38; 2,56] $mm.d^{-1}$. Randow *et al*. (2012) estudaram a evapotranspiração na FNS entre os anos de 1999 e 2001, obtendo valor médio de 3,10±0,95 $mm.d^{-1}$. Este resultado é distinto do observado nesse estudo, contudo isso pode ser atribuído ao período de análise da ET, pois os anos de 2005 e 2010 foram anos de seca extrema, de forma a ter interferido no balanço hídrico, diminuindo a ET, fato que não ocorreu no estudo citado. Não obstante, Nobrega *et al*. (2017) encontraram uma ET média de 1,7 $mm.d^{-1}$ para uma área de pastagem localizada no Mato Grosso. De acordo ainda com esse

autor, essas diferenças na ET, além dos fatores microclimáticos, podem estar relacionadas ao estado de degradação da pastagem.

Biudes *et al*. (2015), ao estudarem o fluxo de calor latente (LE) em sítios experimentais localizados no Mato Grosso, entre as quais duas são de floresta, encontraram que os maiores valores de LE ocorreram no mês de dezembro, enquanto o mês com a menor quantidade de energia disponível foi em janeiro, devido à grande quantidade de nuvens, que agiram como uma barreira impedindo a incidência de radiação. Os autores supracitados também estudaram uma área de pastagem, na qual se constatou que a maior quantidade de energia disponível também foi em dezembro, porém os menores valores de LE ocorreram no mês de junho. De acordo com o autor, a energia disponível no sistema, bem como seu particionamento são dependentes principalmente dos índices de vegetação.

Por fim, a variabilidade mensal da fPAR, que representa a quantidade de radiação absorvida pela planta, apresentou comportamento inverso nos dois sítios experimentais. Na Rebio Jaru as maiores médias mensais de fPAR ocorrem entre junho e outubro, enquanto na FNS, durante o mesmo período ocorreram os menores valores.

Na Rebio Jaru, o maior valor foi 90,20 [88,00; 92,60] % em outubro e o menor 79,60 [71,50; 86,30] % em dezembro, respectivamente. Senna (2004), ao analisar a fPAR em uma floresta de transição Amazônia-Cerrado, observou maior valor de fPAR em mês da estação chuvosa, e menor valor de fPAR em abril, período considerado como de transição entre as estações chuvosa e de estiagem. Ainda sobre estudos em floresta de transição, Vilani (2007) constatou maior valor de fPAR (86%) em julho, e menor valor de fPAR (79%) em maio.

Por sua vez, a FNS apresentou maior valor em fevereiro e menor média em setembro, com 70,25 [65,88; 74,50] % e 51,63 [49,63; 54,13] %, concomitantemente. Barbino *et al*. (2021) encontraram comportamentos distintos, sendo observado uma fPAR mais elevada nos meses de maio e junho, alcançando valores próximos a 68%, enquanto os menores valores de fPAR foram observados nos meses de janeiro e dezembro com taxas de aproveitamento de aproximadamente 43%.

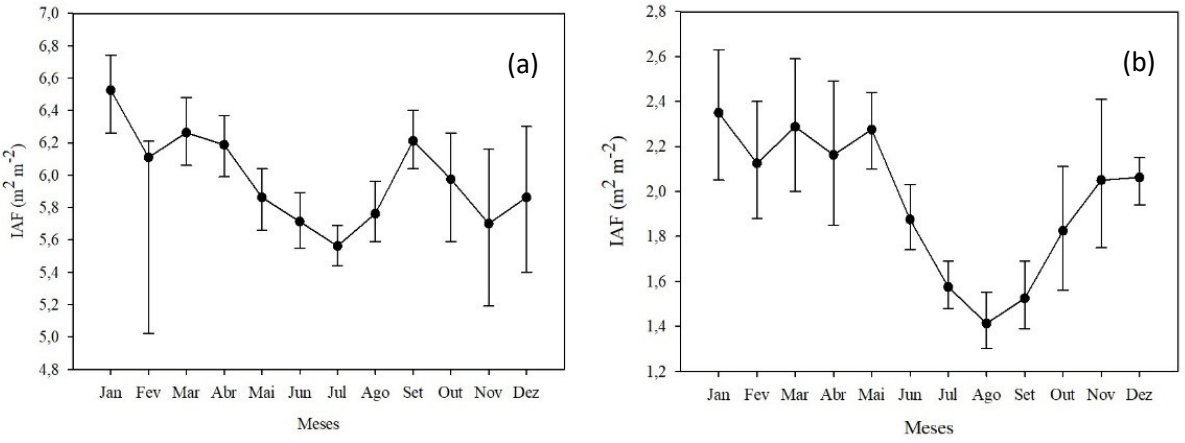
Os maiores valores de fPAR na Rebio Jaru provavelmente se devem à estrutura da vegetação, por serem árvores de grande porte, possuem maior IAF e uma coloração das folhas mais escuras, contribuindo para um maior aproveitamento da radiação, e na FNS, onde a cobertura vegetal é de menor porte, menor densidade, e coloração mais clara, ocorre um

menor aproveitamento da mesma, além do fato dessa última sofrer os impactos da diminuição da precipitação de forma mais direta, reduzindo sua taxa fotossintética e aumentando o albedo, e assim absorvendo menor quantidade de radiação fotossinteticamente absorvida (BARBINO *et al*., 2021).

3.2. Variação Mensal do IAF

A variabilidade mensal dos dados de IAF para a Rebio Jaru e FNS pode ser observada na Figura 4. A variação dos dados em ambos os sítios segue um padrão sazonal, com maiores valores em janeiro e menores valores em julho, na Rebio Jaru e em agosto, na FNS.

Figura 4 – Média (±DP) mensal do Índice de Área Foliar ($m^2.m^{-2}$) obtido pelo produto MODIS MOD15A2H na Reserva Biológica Jaru (a) e na Fazenda Nossa Senhora (b), no período de 2004 a 2010.



Fonte: Elaborado pelos autores (2022).

A variação mensal na Rebio Jaru foi de 5,56 [5,44; 5,69] $m^2.m^{-2}$ em julho a 6,53 [6,26; 6,74] $m^2.m^{-2}$ em janeiro. Devido à grande disponibilidade de água no solo nos meses de janeiro a março, forma um ambiente propício ao desenvolvimento das folhas, galhos e troncos das árvores, aumentando consequentemente o IAF. Nota-se que o IAF passa a diminuir a partir de abril, até atingir o mínimo em julho. Essa diminuição se deve principalmente a perca de folhas nos períodos de menor pluviosidade, visto que a Rebio Jaru é caracterizada como uma floresta semidecidual, como mencionado anteriormente. Esse comportamento do IAF segue os padrões sazonais da região, apresentando valores médios de 6,30 [6,13; 6,44], 5,83 [5,69;

5,97], 5,76 [5,62; 5,90] e 5,85 [5,58; 6,11] $m^2.m^{-2}$ nos períodos úmido, úmido-seco, seco e seco-úmido, respectivamente.

Ferreira; Cattânio; Jardim (2015) relatam que essa diminuição do IAF no período úmido-seco se deve a menor quantidade de água disponível no solo, que impulsiona a vegetação a buscar por mecanismos que minimizem os efeitos da escassez hídrica, sendo assim a vegetação libera as folhas antigas e intensifica a produção de novas folhas.

Danelichen *et al*. (2016), ao analisarem a variabilidade mensal do IAF obtido pelo MODIS em uma floresta de transição, encontraram maior IAF em agosto e menor IAF em fevereiro, com 6,0 e 4,2 $m^2.m^{-2}$, respectivamente. Sanches *et al*. (2008) analisaram dois períodos distintos em uma floresta de transição, sendo o primeiro entre 2001 e 2003 e o segundo entre junho de 2004 e maio de 2005. Entre 2001 e 2003, o mês que apresentou a maior média de IAF (6,26 $m^2.m^{-2}$) foi novembro, enquanto o menor IAF (3,57 $m^2.m^{-2}$) ocorreu em abril. Entretanto, no segundo período de análise, o maior IAF foi em agosto e o menor em março, sendo 6,6 $m^2.m^{-2}$ e 2,4, $m^2.m^{-2}$, respectivamente.

Essa diferença observada entre o IAF nos estudos acima citados está relacionada principalmente a estrutura da vegetação de cada local, uma vez que, no presente estudo é analisada uma floresta amazônica semidecidual, e nos demais são estudadas florestas de transição amazônia-cerrado e florestas da mata atlântica.

A variabilidade mensal dos dados de IAF na FNS pode ser observada na Figura 4b, onde nota-se que o IAF variou de 1,41 [1,30; 1,55] $m^2.m^{-2}$ em agosto a 2,35 [2,05; 2,63] $m^2.m^{-2}$ em janeiro. As variações sazonais na FNS ocorreram de forma semelhante a Rebio Jaru nos períodos úmido e seco, porém apresentaram comportamento distinto nos períodos de transição, apresentando valores médios de 2,23 [2,09; 2,36] $m^2.m^{-2}$ no período úmido, 2,07 [1,94; 2,20] $m^2.m^{-2}$ no período úmido-seco, 1,47 [1,39; 1,55] $m^2.m^{-2}$ no período seco e 1,93 [1,78; 2,09] $m^2.m^{-2}$ no período seco-úmido.

A vegetação predominante na FNS, por ser uma gramínea, não possui resistência às variações da precipitação como a vegetação da floresta, sofrendo assim variações mais acentuadas em seu IAF. Entre os meses de janeiro a maio pode ser observada uma maior oscilação nas médias mensais, isso porque, a pastagem apresenta melhor qualidade devido à alta disponibilidade de água no solo. Dessa forma, ocorre um maior manejo de bovinos na área, fazendo com que o IAF reduza, posteriormente, são alocados para outra área de

pastagem em melhor condições, fazendo com que a pastagem antes degradada possa se restaurar em boas condições, fazendo com que ocorra um novo incremento no IAF.

Por outro lado, nos meses subsequentes, devido à baixa disponibilidade de água no solo, a pastagem começa a apresentar sinais de vulnerabilidade, reduzindo seu IAF e ficando com cor amarelada, dessa forma reduz-se o manejo bovino para não prejudicar de forma muito intensa a gramínea.

Danelichen *et al*. (2014), ao estudarem uma pastagem no pantanal mato-grossense, entre 2006 e 2009, encontraram valores variando de 0,94±0,1 $m^2.m^{-2}$ em agosto de 2008 a 2,39±0,08 $m^2.m^{-2}$ em março de 2008. Os maiores valores médios de IAF ocorreram em março, com uma média mensal de 2,23 $m^2.m^{-2}$, e o mês que apresentou a menor média mensal foi agosto, com 1,1 $m^2.m^{-2}$.

Os distintos valores entre as áreas estudadas se devem principalmente às características da vegetação. O fato da variação na Rebio Jaru ser menor pode estar associado às suas raízes profundas, que alcançam o lençol freático, mesmo após o seu rebaixamento, de forma a minimizar os efeitos da baixa disponibilidade de água no solo (SCHOLZ *et al*., 2002), ao contrário da FNS que por possuir uma vegetação rasteira, possui raízes pouco profundas, que não ultrapassam 3 metros de profundidade, dificultando o acesso a água presente no solo, reduzindo de forma acentuada o IAF na FNS (ZANCHI *et al*., 2009).

3.3. Variação Anual do IAF

Ao observar a variação anual dos dados de IAF (TABELA 1) nota-se que o IAF para a Rebio Jaru possui um atraso no tempo de resposta em relação aos eventos de seca extrema, porém constatou-se que o IAF não apresentou diferença significativa entre os anos (p-valor>0,05). A menor média de IAF foi 5,76 $m^2.m^{-2}$ em 2006. Em 2009 foi considerado na região como um ano de cheia e 2010 foi considerado um ano de seca, entretanto os valores de IAF não apresentaram alterações nestes anos indicando que os efeitos da cheia seguida da seca não afetaram de imediato a estrutura de vegetação.

No que diz respeito à FNS, a pastagem responde de forma mais imediata às variações climáticas, dessa forma, não é observado uma maior resistência da vegetação frente às adversidades trazidas pelos eventos de seca extrema, fazendo com que a gramínea fique mais

suscetível a maiores variações no IAF, que diminui em anos de seca e aumenta em anos de cheia. Sendo assim, como esperado, os menores valores observados foram nos anos de 2005 e 2010, com IAF de 1,76 [1,59; 1,94] $m^2.m^{-2}$ e 1,78 [1,60; 1,97] $m^2.m^{-2}$, respectivamente. Entretanto os valores de IAF dos anos de seca extrema não diferiram significativamente dos demais anos (p-valor>0,05), com exceção do ano de 2009, que foi significativamente maior em relação aos outros anos estudados (p-valor<0,05). Desta forma, o ano de 2009 apresentou um IAF de 2,14 [1,90; 2,39] $m^2.m^{-2}$ por estar em um período de cheia e dispor de maior disponibilidade hídrica.

Tabela 1 – Média anual do índice de área foliar obtido por produto de sensoriamento remoto (IAF_MODIS) para a Reserva Biológica do Jaru e para a Fazenda Nossa Senhora dos anos de 2004 a 2010

	Rebio Jaru	**FNS**
Anos	$\overline{x}$ [IC]	$\overline{x}$ [IC]
2004	5,80 [5,61; 5,97]	1,87 [1,70; 2,08]
2005	5,90 [5,74; 6,06]	1,76 [1,59; 1,94]
2006	5,76 [5,53; 5,95]	1,79 [1,61; 1,95]
2007	5,88 [5,69; 6,05]	1,86 [1,69; 2,04]
2008	5,88 [5,68; 6,10]	1,82 [1,58; 2,08]
2009	5,90 [5,69; 6,10]	2,14 [1,90; 2,39]
2010	5,90 [5,77; 6,02]	1,78 [1,60; 1,97]

Notas: $\overline{x}$ – média; todo valor entre colchetes corresponde a um intervalo de confiança (IC) de 95% utilizando reamostragem *bootstrap* com 1.000 repetições.

A variação anual do IAF está de acordo com o mencionado por Danelichen *et al*. (2014), quando analisaram uma área de pastagem no Mato Grosso, encontraram valores mínimos em 2006, com 1,66 $m^2.m^{-2}$ e maiores valores em 2009, com IAF médio de 1,76 $m^2.m^{-2}$. Porém nota-se que os valores para a pastagem no Mato Grosso foram inferiores aos da FNS em todos os anos, indicando que a característica do microclima interferem no IAF de forma mais proeminente nas variações mensais, sazonais e anuais.

3.4. Relação entre o Índice de Área Foliar e o Microclima

A fim de verificar a correlação entre a série de dados de IAF e os dados das variáveis estudadas. O valor da correlação, e seu respectivo p-valor são apresentados a seguir.

Na Rebio Jaru, houve correlação significativa forte e positiva entre o IAF e a fPAR (ro = 0,65; p-valor = <0,05). As correlações entre o IAF e a T_ar (ro = 0,009; p-valor = 0,89), IAF e UR (ro = 0,11; p-valor = 0,12), e IAF e ET (ro = 0,02; p-valor = 0,83) não foram significativas, indicando que, a despeito dos comportamentos semelhantes entre os períodos sazonais, as respostas diárias em relação a disponibilidade hídrica ocorrem de forma diferente.

Na FNS, a correlação entre o IAF e a ET não apresentou correlação significativa (ro = 0,1; p-valor = 0,38). A correlação entre o IAF e a T_ar foi regular e negativa (ro = -0,36; p-valor = <0,05), e as correlações entre o IAF e a UR (ro = 0,66; p-valor = <0,05) e a fPAR (ro = 0,79; p-valor = <0,05) foram fortes e positivas.

Estudos relatam correlações significativas entre o IAF e a ET, devido à forte influência da estrutura da vegetação nas taxas de evapotranspiração. Estes resultados não corroboram com o obtido nesta pesquisa, podendo ser atribuído às diferentes escalas temporais das medições de IAF e ET, isso ocorre, pois os dados de IAF foram obtidos a cada 8 dias, enquanto os de ET foram medidos a cada 10 minutos. Além disso, a variabilidade da ET é mais dinâmica ao longo do dia, enquanto o IAF é uma variável mais estável.

Ao analisar as correlações entre o IAF e as variáveis microclimáticas na FNS, observa-se melhores resultados, indicando melhor acoplamento entre a estrutura da vegetação e as variações microclimáticas na pastagem. Isso advém da resposta da vegetação e do microclima ocorrerem de forma semelhante aos padrões sazonais da precipitação.

A variação sazonal da precipitação retém influência na dinâmica da vegetação, que possivelmente influencia na disponibilidade hídrica no solo, provocando alterações na estrutura do dossel, no balanço de energia, produção de serapilheira, entre outros aspectos. Esses processos podem ser influenciados de forma individual ou coletiva (SANCHES *et al*., 2009). Ou seja, nesse estudo, a sazonalidade da precipitação foi uma determinante fundamental na variação da T, UR e ET, não sendo o mesmo padrão de resposta observado na variação de IAF.

Tartari *et al*. (2015) ao analisarem a influência do IAF no saldo de radiação e na temperatura de superfície na bacia do rio Puruzinho, uma área caracterizada pela presença de floresta nativa e pastagem, encontraram correlação fraca e positiva para o saldo de radiação e correlação moderada e negativa para a temperatura de superfície, indicando que a conversão da floresta nativa em pastagens está influenciando no microclima local.

Hardwick *et al*. (2015) ao analisarem a influência do IAF na T, UR, umidade específica, temperatura do solo e déficit de pressão de vapor em uma área de floresta tropical no sudeste asiático, encontraram correlação moderada e negativa para a umidade específica, forte e negativa para temperatura do solo e correlação muito forte e negativa para as demais variáveis. Vale ressaltar que, segundo os autores, a região de seu estudo é considerada sem sazonalidade, enquanto a área do presente estudo possui sazonalidade bem definida, fato que pode ser determinante para a ocorrência de correlação entre as variáveis.

4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

O IAF e fPAR obtidos pelo produto MOD15A2H apresentaram variações sazonais condizentes com a sazonalidade microclimática da Rebio Jaru e da Fazenda Nossa Senhora. O produto foi capaz de identificar a dinâmica rápida da pastagem mediante as variações sazonais da região, devido a vegetação de pastagem possuir raízes pouco profundas e ser mais susceptível a restrições hídricas, além de observar que a floresta possui uma resposta menos imediata a tais alterações climáticas, visto que a mesma libera folhas com a diminuição da precipitação e produz novas folhas para reduzir a perca de água ocasionada no período seco.

De acordo com os resultados, constatou-se que na área de floresta, o IAF não apresentou correlação com as variáveis micrometeorológicas. Na Fazenda Nossa Senhora houve correlação entre o IAF e as variáveis meteorológicas, indicando que elas respondem as variações climáticas mais rapidamente que em uma área de floresta.

Tais resultados demonstram que a interação entre a biosfera e a atmosfera ocorre de forma complexa, principalmente em ecossistemas florestais, sendo necessários mais estudos com essa temática, visando avaliar tal relação. Além disso, apesar do sensoriamento remoto ser uma forma promissora de aquisição de dados de vegetação e micrometeorológicos, torna-se fundamental estudos que busquem validar os dados orbitais com dados obtidos por coletas em campo.

AGRADECIMENTOS

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal Nível Superior - Brasil (CAPES) - Código de Financiamento 001, agradeço também ao

Programa de Mestrado Profissional em Rede Nacional em Gestão e Regulação de Recursos Hídricos - ProfÁgua, Projeto CAPES/ANA AUXPE No. 2717/2015, pelo apoio técnico científico aportado até o momento. Agradeço ao Programa de Grande Escala da Biosfera-Atmosfera da Amazônia, pela bolsa concedida e por todo apoio durante a realização da pesquisa.

REFERÊNCIAS

ALMEIDA, A. Q. *et al*. Índice de área foliar de *Eucalyptus* estimado por índices de vegetação utilizando imagens TM - Landsat 5. **Floresta e Ambiente**, v. 22, n. 3, p. 368-376, 2015. DOI: dx.doi.org/10.1590/2179-8087.103414

ARTAXO, P. *et al*. Perspectivas de pesquisas na relação entre clima e o funcionamento da floresta Amazônica. **Ciência e Cultura**, v. 66, p.41-46, 2014.

BAGLEY, J. E. *et al*. Drought and Deforestation: Has Land Cover Change Influenced Recent Precipitation Extremes in the Amazon? **Journal of Climate**, v. 27, p. 345-361, 2014. DOI: 10.1175/JCLI-D-12-00369.1

BAO, Y. *et al*. The Influence of Plant Community Characteristics in Urban Parks on the Microclimate. **Forests**, v. 9, 13p., 2022. DOI: doi.org/10.3390/f13091342

BARBINO, G. C. *et al*. Sensoriamento Remoto aplicado ao Índice de Área Foliar e fração da radiação fotossinteticamente ativa em áreas de floresta e pastagem na Amazônia Ocidental. **Revista Brasileira de Meio Ambiente**, v. 9, n. 2, p. 76-90, 2021.

BARBOSA, P. H. D. *et al*. Variabilidade de elementos meteorológicos e de conforto térmico em diferentes ambientes na Amazônia brasileira. **Revista Brasileira de Climatologia,** v. 17, p. 98-118, 2015. DOI: dx.doi.org/10.5380/abclima.v17i0.43048

BIUDES, M. S. *et al*. Patterns of energy Exchange for tropical ecosystems across a climate gradient in Mato Grosso, Brazil. **Agricultural and Forest Meteorology,** v. 202, p.112-124, 2015. DOI: dx.doi.org/10.1016/j.agrformet.2014.12.008

BIUDES, M. S. *et al*. Gross primary productivity of Brazilian Savanna (Cerrado) estimated by different remote sensing-based models. **Agricultural and Forest Meteorology**, v. 307, 2021. DOI: doi.org/10.1016/j.agrformet.2021.108456

BRAWN, J. D. Implications of agricultural development for tropical biodiversity. **Journal of Tropical Conservation Science**, v. 10, n. 1, 2017. DOI: doi.org/10.1177/1940082917720

BRÊDA, J. P. L. F. *et al*. Climate change impacts on South American water balance from a continental-scale hydrological model driven by CMIP5 projections. **Climatic Change**, v. 159, p. 503-522, 2020. DOI: doi.org/10.1007/s10584-020-02667-9

CASAGRANDE, E. *et al*. Water balance partitioning for ecosystem service assessment. A case study in the Amazon. **Ecological Indicators,** v. 121, 107155, 2021. DOI: doi.org/10.1016/j.ecolind.2020.107155

CAVALCANTE, R. B. L. *et al*. Terrestrial water storage and Pacific SST affect the monthly water balance of Itacaiúnas River Basin (Eastern Amazonia). **International Journal of Climatology,** v. 40, p. 3021-3035, 2020. DOI: 10.1002/joc.6380

COE, M. T. *et al*. The forests of the Amazon and Cerrado moderate regional climate and are the key to the future. **Tropical Conservation Science**, v. 10, p. 1-6, 2017. DOI: 10.1177/1940082917720671

COLLOSCHONN, W.; TASSI, R. **Introduzindo Hidrologia**. 6 .ed. Porto Alegre: IPH, 2008.

COSTA, M. H. *et al*. Atmospheric versus vegetation controls of Amazonian tropical rain forest evapotranspiration: Are the wet and seasonally dry rain forests any different? **Journal of Geophysical Research**. v. 115, 9p, 2010. DOI: doi.org/10.1029/2009JG001179

CULF, A. D. *et al*. The influence of the atmospheric boundary layer on carbon dioxide concentrations over a tropical forest. **Agricultural and Forest Meteorology**, v. 85, p. 149-158, 1997. DOI: doi.org/10.1016/S0168-1923(96)02412-4

DANELICHEN, V. H. M. *et al*. Uso do sensoriamento remoto na estimativa do índice de área foliar em floresta tropical. **Ciência e Natura**. v. 38 n.3, p. 1352 – 1360, 2016. DOI: 10.5902/2179460X19917

DANELICHEN, V. H. M. *et al*. Estimativas de índice de área foliar de uma pastagem por sensoriamento remoto no Pantanal Mato-grossense. **Ciência e Natura**, v. 36, n. 3, p.373-384, 2014. DOI: doi.org/10.5902/2179460X13168

DAVIDSON, E. A. *et al*. The Amazon basin in transition. **Nature,** v. 481, p. 321-328, 2012. DOI: doi.org/10.1038/nature10717

DE FRENE, P. *et al*. Microclimate moderates plant responses to macroclimate warming. **PNAS**, v. 110, n. 46, p. 18561–18565, 2013. DOI: pnas.org/cgi/doi/10.1073/pnas.1311190110

FAN, S. *et al*. Impacts of Composition and Canopy Characteristics of Plant Communities on Microclimate and Airborne Particles in Beijing, China. **Sustainability**, v. 09, 13p., 2021. DOI: doi.org/10.3390/su13094791

FEARNSIDE, P. M. Desmatamento na Amazônia brasileira: história, índices e consequências. **Megadiversidade,** v. 1, 2005.

FEARNSIDE, P. M. The biome faces a variety of increasing threats. **Financial Times**, London, p. 3, 2011.

FERREIRA, L. S.; CATTÂNIO, J. H.; JARDIM, M. A. G. Efeito da topografia e da precipitação na florística e na produção de liteira em Caxiuanã, Pará. **Revista Árvore**, v. 39, n. 6, p. 995-1005, 2015. DOI: dx.doi.org/10.1590/0100-67622015000600002

FRANCA, R. R. Climatologia das chuvas em Rondônia – período 1981-2011. **Geografias: Artigos Científicos**, v. 11, n. 01, p.44-58, 2015.

HARDWICK, S. R. *et al*. The relationship between leaf area index and microclimate in tropical forest and oil palm plantation: Forest disturbance drives changes in microclimate. **Agricultural and Forest Meteorology**, v. 201, p. 187-195, 2015. DOI: doi.org/10.5194/hess-21-1455-2017

INSTITUTO CHICO MENDES DE CONSERVAÇÃO DA BIODIVERSIDADE – ICMBio. 2016. **Unidades de Conservação – Amazônia**. Disponível em: <http://www.icmbio.gov.br/portal/unidadesdeconservacao/biomas-brasileiros/amazonia/unidades-de-conservacao-amazonia/1999-rebio-do-jaru>. Acesso em: 29 de setembro de 2017.

KANNIAH, K. D. *et al*. Remote Sensing to Study Mangrove Fragmentation and Its Impacts on Leaf Area Index and Gross Primary Productivity in the South of Peninsular Malaysia. **Remote Sensing**, v. 13, 30p., 2021. DOI: doi.org/10.3390/rs13081427

LENG, S. *et al.* Response of dryland vegetation under extreme wet events with satellite measures of greenness and fluorescence. **Science of the Total Environment**, v. 842, 15p., 2022. DOI: dx.doi.org/10.1016/j.scitotenv.2022.156860

LI, J. *et al*. Response of canopy structure, light interception and grain yield to plant density in maize. **The Journal of Agricultural Science,** v. 156, n. 6, pg. 785 – 794, 2018. DOI: doi.org/10.1017/S0021859618000692

LIU, G.; LIU, H.; YIN, Y.; Global patterns of NDVI-indicated vegetation extremes and their Sensitivity to climate extremes. **Environmental Research Letters,** v. 8, 11p, 2013. DOI: 10.1088/1748-9326/8/2/025009

MALHI, Y. *et al.* Climate change, deforestation, and the fate of the Amazon. **Science.** v. 319, pg. 169–172, 2008. DOI: 10.1126/science.1146961

MICROSOFT. **Excel 2013**. California, 2013. Disponível em: <office.microsoft.com/enus/excel>. Acesso em: 26 jun. 2016.

MYNENI, R. Y. K.; PARK, T. MOD15A2H MODIS/Terra Leaf Area Index/FPAR 8-Day L4 Global 500m SIN Grid V006. NASA EOSDIS Land Processes DAAC. 2015.

MINITAB. **Minitab 17**. 2016. Disponível em:<http://www.minita b.com/ptbr/products/minitab/freetrial/?WT.srch=1&WT.mc_id=SE&gclid=CPiX48udg9ACFUUIkQodaGAFlQ>. Acesso em: 30 out. 2016.

MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE – MMA. **Amazônia**. Disponível em: <http://www.mma.gov.br/biomas/amaz%C3%B4nia>. Acesso em: 07 out. 2016.

MOKHTARI, A.; NOORY, H.; VAZIFEDOUST, M. Improving crop yield estimation by assimilating LAI and inputting satellite based surface incoming solar radiation into SWAP model. **Agricultural and Forest Meteorology**, v. 250-251, p. 159-170, 2018. DOI: doi.org/10.1016/j.agrformet.2017.12.250.

NASSUR, O. A. C. *et al.* Monitoramento e projeção futura da vegetação no Parque Nacional Do Itatiaia através de Sensoriamento Remoto. **CERNE**, v. 21, n. 3, p. 511-517. 2015. DOI: 10.1590/01047760201521031823

NOBRE, C. A. *et al.* Land-use and climate change risks in the Amazon and the need of a novel sustainable development paradigm. **Proceedings of the National Academy of Sciences**. v. 113, n. 10, pg. 759–68, 2016. DOI: doi.org/10.1073/pnas.1605516113

OLIVEIRA, M. A. **Caracterização da Precipitação em Área de Floresta e Pastagem no Sudoeste da Amazônia.** Ji-Paraná: UNIR, 2014. Monografia (Bacharel em Estatística), Departamento de Matemática e Estatística, Universidade Federal de Rondônia, 2014.

OLIVEIRA, P. J. *et al.* Efeitos de um evento de friagem nas condições meteorológicas na Amazônia: um estudo de caso. **Acta Amazônica**, v. 34, p. 613-619, 2004. DOI: doi.org/10.1590/S0044-59672004000400013

PACA, V. H. DA M. et al. The spatial variability of actual evapotranspiration across the Amazon River Basin based on remote sensing products validated with flux towers. **Ecological Processes**, v. 8, n. 1, p. 6, 15 fev. 2019. DOI: doi.org/10.1186/s13717-019-0158-8

PFEIFER, M. *et al.* Validating and linking the GIMMS leaf area index (LAI3 g) with environmental controls in tropical Africa. **Remote Sensing,** v. 6, p. 1973-1990, 2014. Doi: 10.3390/rs6031973

PINAGÉ, E. R. *et al.* Forest structure and solar-induced fluorescence across intact and degraded forests in the Amazon. **Remote Sensing of Environment**, v. 274, 15p., 2022. DOI: doi.org/10.1016/j.rse.2022.112998

RANDOW, C. *et al.* Comparative measurements and seasonal variations in energy and carbon exchange over forest and pasture in South West Amazonia. **Theoretical and Applied Climatology**, v. 78, n. 1, p. 5–26, 1 jun. 2004. DOI: 10.1007/s00704-004-0041-z

RANDOW, R. C. S. *et al*. Evapotranspiration of deforested areas in central and southwestern Amazonia. **Theoretical and Applied Climatology**, v. 109, p. 205-220, 2012. DOI: 10.1007/s00704-011-0570-1

RUMMEL, U. *et al.* Eddy covariance measurements of nitric oxide flux within an Amazonian rain forest. **Journal of Geophysical Research**, v. 107, p. 17-1–17-9, 2002. DOI: doi.org/10.1029/2001JD000520

SANCHES, L. *et al.* Índice de área foliar em floresta de transição Amazônia Cerrado em diferentes métodos de estimativa. **Ciência e Natura**, v. 30, p. 57-69, 2008. DOI: doi.org/10.5902/2179460X9750

SANCHES, L. *et al.* Time lags between rainfall and groundwater levels in a forest and cattle pasture of an Amazon Watershed. **Journal of Environmental Hydrology**, v. 17, p. 1-10, 2009.

SANTOS, T. O. *et al.* Os impactos do desmatamento e queimadas de origem antrópica sobre o clima da Amazônia brasileira: um estudo de revisão. **Revista Geogr. Acadêmica**, v. 11, n. 02, p. 157-181, 2017.

SCHOLZ, F. G. *et al.* Hydraulic redistribution of soil water by neotropical savanna trees. **Tree Physiology**, v. 22, p. 603-612, 2002.

SENNA, M. C. A.; **Fração da Radiação Fotossinteticamente Ativa Absorvida pela Floresta Tropical Amazônica: Uma comparação entre estimativas baseadas em Modelagem, Sensoriamento Remoto e Medições de Campo**; 2004. 54p, Dissertação de Mestrado; Programa de Pós-Graduação em Meteorologia Agrícola, Universidade Federal de Viçosa–MG. 2004.

TARTARI, R. *et al.* Análise de índices biofísicos a partir de imagens TM Landsat 5 em paisagem heterogênea no Sudoeste da Amazônia. **Ambiente & Água,** v. 10, n. 4, P. 943-953, 2015. DOI: 10.4136/ambi-agua.1663

VILANI, M. T. **Estimativa da *f*APAR utilizando Três Métodos para uma Floresta de Transição Amazônia - Cerrado.** Cuiabá, 2007. Dissertação (mestrado) – Física e Meio Ambiente. Universidade Federal de Mato Grosso. 2007.

VOURLITIS, G. L. *et al.* Variations in evapotranspiration and climate for an Amazonian semi-deciduous forest over seasonal, annual, and El Niño cycles. **International Journal of Biometeorology**, v. 59, p. 217-230. 2015. DOI: 10.1007/s00484-014-0837-1

XAVIER, A. C.; VETTORAZZI, C. A. Índice de Área Foliar de Coberturas em uma Microbacia Hidrográfica Subtropical. **Scientia Agricola**, v. 60, n. 3, p. 425-431, 2003. DOI: doi.org/10.1590/S0103-90162003000300002

XU, Z. *et al.* How Potential Evapotranspiration Regulates the Response of Canopy Transpiration to Soil Moisture and Leaf Area Index of the Boreal Larch Forest in China. **Forest**, v. 13, 2022. DOI: doi.org/10.3390/f13040571

WAN, Y. *et al.* The Variation in Water Consumption by Transpiration of Qinghai Spruce among Canopy Layers in the Qilian Mountains, Northwestern China. **Forests**, v. 11, 2020**.** DOI: doi.org/10.3390/f11080845

WANG, L. *et al.* Estimate canopy transpiration in larch plantations via the interactions among reference evapotranspiration, leaf area index, and soil moisture. **Forest Ecology and Management**, v. 481, 2021. DOI: doi.org/10.1016/j.foreco.2020.118749

WATSON, D. J. Comparative physiological studies on growth of fields crops. I Variation in net assimilation rate and leaf area between species and varieties, and within and between years. **Annals of Botany**, London, v. 11, p. 41-76, 1947.

WEBLER, A. D. **Caracterização e análise da variação temporal de componentes micrometeorológicos em uma área de pastagem no sudoeste da Amazônia.** Ji-Paraná: UNIR, 2011. Monografia (Bacharel em Engenharia Ambiental), Departamento de Engenharia Ambiental, Universidade Federal de Rondônia, 2011.

WEBLER, A. D. *et al.* Mudanças no uso da terra e o particionamento de energia no sudoeste da Amazônia. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.17, n.8, 2013. DOI: doi.org/10.1590/S1415-43662013000800011

WENGERT, M. *et al.* Assessing Spatial Variability of Barley Whole Crop Biomass Yield and Leaf Area Index in Silvoarable Agroforestry Systems Using UAV-Borne Remote Sensing. **Remote Sensing**, v. 13, 2021. DOI: doi.org/10.3390/rs13142751

YAMAGUCHI, T. *et al.* Feasibility of Combining Deep Learning and RGB Images Obtained by Unmanned Aerial Vehicle for Leaf Area Index Estimation in Rice. **Remote Sensing**, v. 13, 2020. DOI: doi.org/10.3390/rs13010084

YU, D. *et al.* Improving sugarcane growth simulations by integrating multi-source observations into a crop model. **European Journal of Agronomy**, v. 132, 2022. DOI: doi.org/10.1016/j.eja.2021.126410

ZANCHI, F. B. *et al.* Estimativa do Índice de Área Foliar (IAF) e biomassa em pastagem no estado de Rondônia, Brasil. **Acta Amazonica**, v. 39, n. 2, p. 335-348, 2009. DOI: doi.org/10.1590/S0044-59672009000200012

ZHANG, G. *et al.* Optimizing Grain Yield and Water Use Efficiency Based on the Relationship between Leaf Area Index and Evapotranspiration. **Agriculture**, v. 11, 14p., 2021. DOI: doi.org/10.3390/agriculture11040313

ZHANG, X. *et al.* Combining Spectral and Texture Features of UAS-Based Multispectral Images for Maize Leaf Area Index Estimation. **Remote Sensing**, v. 14, 17p., 2022. DOI: doi.org/10.3390/rs14020331