

**UNIVERSIDADE DO ESTADO DO AMAZONAS**

ESCOLA NORMAL SUPERIOR

**LICENCIATURA EM MATEMÁTICA**

**Raíssa Soares de Oliveira**

**ANÁLISE OBSERVACIONAL DAS VARIAÇÕES DOS FLUXOS DE  
ENERGIA PELA ALTERAÇÃO DE BIOMA FLORESTAL NA AMAZÔNIA**

**MANAUS, 2019**



**RAÍSSA SOARES DE OLIVEIRA**

**ANÁLISE OBSERVACIONAL DAS VARIAÇÕES DOS FLUXOS DE  
ENERGIA PELA ALTERAÇÃO DE BIOMA FLORESTAL NA AMAZÔNIA**

*Trabalho de Conclusão do Curso elaborado junto às disciplinas TCC I e TCC II do Curso de Licenciatura em Matemática da Universidade do Estado do Amazonas para a obtenção do grau de Licenciada em Matemática.*

Orientador: Dr. Alessandro Augusto dos Santos Michiles

**MANAUS, 2019**





GOVERNO DO ESTADO DO  
**AMAZONAS**

## ATA DE DEFESA DE TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

Ata de Defesa do Trabalho de Conclusão de Curso em Licenciatura em Matemática da Escola Normal Superior-UEA de RAÍSSA SOARES DE OLIVEIRA.

Aos 03 dias do mês de dezembro de 2019, às 18:30 horas, em sessão pública na Sala Auditório Anexo na Escola Normal Superior na presença da Banca Examinadora presidida pelo professor da disciplina de Trabalho de Conclusão do Curso Dr. Jorge de Menezes Rodrigues e composta pelos examinadores: **Dr. Alessandro Augusto dos Santos Michiles, Dr. Rildo Gonçalves de Moura e Ma. Thais Freitas Dill**, a aluna **RAÍSSA SOARES DE OLIVEIRA** apresentou o Trabalho: **"ANÁLISE OBSERVACIONAL DAS VARIAÇÕES DOS FLUXOS DE ENERGIA PELA ALTERAÇÃO DE BIOMA FLORESTAL NA FLORESTA AMAZÔNIA"** como requisito curricular indispensável para a integralização do Curso de Licenciatura em Matemática. A Banca Examinadora deliberou e decidiu pela APROVAÇÃO do referido trabalho, com o conceito 9,5 à monografia divulgando o resultado ao aluno e demais presentes e eu, na qualidade de Presidente da Banca, lavrei a presente ata.

Jorge de Menezes Rodrigues  
Presidente da Banca Examinadora

Thais Freitas Dill  
Orientador (a)

Rildo Gonçalves de Moura  
Avaliador 1

Raissa Soares de Oliveira  
Avaliador 2

Aluna



*“Nunca desista de seus sonhos:*

*Apesar dos nossos defeitos, precisamos enxergar que somos pérolas únicas no teatro da vida e entender que não existem pessoas de sucesso ou pessoas fracassadas. O que existe são pessoas que lutam pelos seus sonhos ou desistem deles.”*

*- Augusto Cury.*



## DEDICATÓRIA

Dedico ao meu pai Elias Lourenço de Oliveira.



## AGRADECIMENTOS

Ao Dr. Alessandro Augusto dos Santos Michiles, pela orientação recebida desde a iniciação científica. Pela paciência, compreensão, incentivo expressos e críticas, correções, sugestões feitas durante a orientação. Pela disponibilidade, experiências de vida e profissional compartilhadas, discussões esclarecedoras sobre a micrometeorologia, ao meu desenvolvimento intelectual, apoio, confiança e, sobretudo, pela sincera amizade.

Ao Dr. Antônio Ocimar Manzi, por suas aulas esclarecedores, iniciação ao assunto abordado deste trabalho durante a iniciação científica, incentivo e amizade.

Ao Prof. Dr. Jorge Menezes Rodrigues, pelas colaborações, paciência e análise crítica do trabalho.

As minhas amigas, Nayandra Carvalho da Silva, Silvana Nascimento e Silva e Ana Paula Santos da Silva pela paciência, companheirismo, incentivo, apoio em todos os momentos e, especialmente, a sincera amizade dedicada.

Ao Experimento de Grande Escala Biosfera-Atmosfera (“Large Escala Biosphere-Atmosphere Experiment in Amazonia” – LBA), pela disponibilização dos dados necessários para a realização deste trabalho.

Aos professores da Universidade do Estado do Amazonas, por seus ensinamentos, paciência e compreensão durante o meu período acadêmico.

Ao Elias Lourenço de Oliveira e Rosinete Betcel Soares, que me apoiaram, incentivaram e acreditaram nos meus objetivos.



## LISTA DE FIGURAS

Figura 1.1 – Comportamento dos fluxos de energia, no período diurno, no volume de controle estudado.....	p.29
Figura 2.1 – Localização dos sítios experimentais e suas respectivas torres: a) torre “Instant” na RDSU B) torre “ZF3” na DAZFM.....	p.36
Figura 2.2 – Ajuste e expressão polinomiais de 1º grau entre dados de temperatura do ar a temperatura da radiação de ondas longas.....	p.41
Figura 2.3 – Ajuste e expressão polinomiais de 1º grau entre dados de umidade relativa e a temperatura do ar.....	p.41
Figura 3.1 – Precipitação pluviométrica acumulada e temperatura média mensais, na RDSU.....	p.49
Figura 3.2 – Precipitação pluviométrica acumulada e temperatura média mensais, na DAZFM.....	p.50
Figura 3.3 – Umidade relativa do ar e velocidade do vento médias mensais, na RDSU.....	p.52
Figura 3.4 – Umidade relativa do ar e velocidade do vento médias mensais, no DAZFM.....	p.53
Figura 3.5 – Perfis médios diários de radiação de ondas curtas incidentes e saldo de radiação para as estações chuvosa (a) e seca (b) no sítio de floresta da RDSU.	p.56
Figura 3.6 – Perfis médios diários de radiação de ondas curtas incidentes e saldo de radiação para as estações chuvosa (a) e seca (b) no sítio de floresta do DAZFM.....	p.56
Figura 3.7 – Perfis médios horários dos fluxos de calor sensível e latente para as estações chuvosa (a) e seca (b) no sítio de floresta da RDSU.....	p.57
Figura 3.8 – Perfis médios horários dos fluxos de calor sensível e latente para as estações chuvosa (a) e seca (b) no sítio de floresta do DAZFM.....	p.58

Figura 3.9 – Perfis médios horários dos fluxos do solo e armazenamento de energia para as estações chuvosa (a) e seca (b) no sítio de floresta da RDSU.....	p.59
Figura 3.10 – Perfis médios horários dos fluxos do solo e armazenamento de energia para as estações chuvosa (a) e seca (b) no sítio de floresta do DAZFM.....	p.59
Figura 3.11 – Perfis médios horários dos fluxos do balanço de energia para as estações chuvosa (a) e seca (b) no sítio de floresta da RDSU.....	p.60
Figura 3.12 – Perfis médios horários dos fluxos do balanço de energia para as estações chuvosa (a) e seca (b) no sítio de floresta do DAZFM.....	p.61
Figura 3.13 – Fechamento do balanço de energia por meio da regressão linear para as estações chuvosa (a) e seca (b) no sítio de floresta da RDSU.....	p.62
Figura 3.14 – Fechamento do balanço de energia por meio da regressão linear para as estações chuvosa (a) e seca (b) no sítio de floresta do DAZFM.....	p.63

## LISTA DE TABELAS

Tabela 2.1 – Lista de instrumentos instalados na torre “Instant”.....	p.37
Tabela 2.2 – Lista de instrumentos instalados na torre “ZF3”.....	p.38
Tabela 2.3 – Valores do calor específico ( $c_{bc}$ ) e da massa específica das componentes da biomassa por unidade de área ( $m_{bc}$ ), para cada componente da biomassa na RSDU e DAZFM.....	p.44
Tabela 2.4 – Componentes da TAE na biomassa calculados, as temperaturas de referência ( $T_{ar}$ para temperatura no ar e $T_{ROL}$ para a temperatura da Radiação de Ondas Longas), os locais estudados, as alturas em que foram medidas.....	p.46
Tabela 3.1 – Máximo, médio, mínimo mensal de temperatura e umidade relativa e os dias com precipitação durante os meses nos sítios RDSU e DZAFM.....	p.54
Tabela 3.2 – Partição e razão do balanço de energia, nas estações chuvosa e seca, na RDSU e DAZFM.....	p.61



## LISTA DE SÍMBOLOS

### Latinos

$C_{bc}$	- calor específico das componentes da biomassa, J / (kg · K)
$C_p$	- calor específico, J / (kg · K)
$E_{BR}$	- razão do balanço de energia, adimensional
$G$	- fluxo, por condução, de calor no solo, W / m <sup>2</sup>
$H$	- fluxo turbulento vertical de calor sensível, W / m <sup>2</sup>
$L$	- calor latente de vaporização da água, J / kg
$LE$	- fluxo turbulento vertical de calor sensível, W / m <sup>2</sup>
$m_{bc}$	- massa específica das componentes da biomassa por unidade de área de solo, kg / m <sup>2</sup>
$m_{br}$	- massa específica de ramos por unidade de área de solo, kg / m <sup>2</sup>
$m_{dw}$	- massa específica de madeira morta por unidade de área de solo, kg / m <sup>2</sup>
$m_f$	- massa fresca total de árvore, kg / m <sup>2</sup>
$m_{lv}$	- massa específica de folhas por unidade de área de solo, kg / m <sup>2</sup>
$m_{lt}$	- massa específica de liteira por unidade de área de solo, kg / m <sup>2</sup>
$m_{oc}$	- massa específica das componentes de pequeno porte por unidade de área de solo, kg / m <sup>2</sup>
$m_{sl}$	- massa específica de mudas por unidade de área de solo, kg / m <sup>2</sup>
$m_{st}$	- massa específica de pequenas árvores por unidade de área de solo, kg / m <sup>2</sup>
$m_{tr}$	- massa específica de troncos por unidade de área de solo, kg / m <sup>2</sup>
$m_{tw}$	- massa específica de galhos por unidade de área de solo, kg / m <sup>2</sup>
$P$	- pressão atmosférica, Pa
$\rho_m$	- parâmetros médios da biomassa, adimensional
$PP$	- precipitação pluviométrica, mm
$Q$	- calor trocado entre o sistema e suas vizinhanças, J
$q$	- umidade específica, kg / kg
$R_n$	- saldo de irradiância, W / m <sup>2</sup>
$S$	- taxa de armazenamento de energia acima do solo, W / m <sup>2</sup>
$S_{ar}$	- taxa de armazenamento de energia no ar, W / m <sup>2</sup>
$S_{bio}$	- taxa de armazenamento de energia na biomassa, W / m <sup>2</sup>

$S_{br}$	- taxa de armazenamento de energia nos ramos, $W / m^2$
$S_{cr}$	- taxa de armazenamento de energia na copa, $W / m^2$
$S_{dw}$	- taxa de armazenamento de energia na madeira morta, $W / m^2$
$S_{ll}$	- taxa de armazenamento de energia no estrato inferior da floresta, $W / m^2$
$S_{lv}$	- taxa de armazenamento de energia nas folhas, $W / m^2$
$S_{lt}$	- taxa de armazenamento de energia na liteira, $W / m^2$
$S_{oc}$	- taxa de armazenamento de energia nos componentes de pequeno porte, $W / m^2$
$S_q$	- taxa de armazenamento de energia no ar causada pelas variações de umidade específica, $W / m^2$
$S_{sl}$	- taxa de armazenamento de energia nas mudas, $W / m^2$
$S_{st}$	- taxa de armazenamento de energia nas árvores pequenas, $W / m^2$
$S_T$	- taxa de armazenamento de energia pelas variações de temperatura, $W / m^2$
$S_{tr}$	- taxa de armazenamento de energia nos troncos, $W / m^2$
$S_{tw}$	- taxa de armazenamento de energia nos galhos, $W / m^2$
$SW_{in}$	- irradiância de ondas curtas incidente, $W / m^2$
$t$	- tempo, s
$T_{ar}$	- temperatura do ar, °C
$T_{ROL}$	- irradiância de ondas longas emitida pela superfície, °C
$UR$	- umidade relativa, %
$VV$	- componente horizontal da velocidade do vento, m / s
$W$	- trabalho, J
$z_r$	- altura de referência, m

## Gregos

$\Delta E_{inte}$	- variação da energia interna total do sistema $W / m^2$
$\Delta q_r$	- taxa de variação horária da umidade específica representativa do ar da floresta, $kg / (kg \cdot s)$
$\Delta T_r$	- taxa de variação horária da temperatura do ar da floresta, °C / s
$\Delta t$	- intervalo de tempo, s
$\Delta z_r$	- altura do nível de referência $z_r$ , m
$\rho_a$	- massa específica do ar, $kg / m^3$

## Índices

*i* - camadas horizontais da florestada

*l* - número de camadas horizontais de ar



# SUMÁRIO

<b>INTRODUÇÃO.....</b>	<b>23</b>
<b>FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA.....</b>	<b>27</b>
1.1 Fluxos de Calor e o Princípio da Conservação de Energia.....	27
1.2 Balanço de Energia em Superfície.....	28
1.3 Fechamento do Balanço de Energia.....	30
1.4 Taxa de Armazenamento de Energia Acima do Solo.....	31
<b>METODOLOGIA DA PESQUISA.....</b>	<b>33</b>
2.1 Abordagem da Pesquisa.....	33
2.2 Descrição das Áreas de Estudo.....	34
2.2.1 Reserva de Desenvolvimento Sustentável do Uatumã.....	34
2.2.2 Distrito Agropecuário da Zona Franca de Manaus.....	35
2.2 Instrumentos e Medidas.....	36
2.4 Procedimentos para a Análise de Dados.....	39
2.4.1 Estimativa da Temperatura do Ar e Cálculo da Umidade Específica.....	39
2.4.2 Cálculo da Taxa de Armazenamento de Energia em uma Floresta.....	41
2.4.3 Taxas de Armazenamento de Energia no Ar.....	42
2.4.4 Determinação dos Calores Específicos.....	43
2.4.5 Estimativas da Distribuição de Biomassa Aérea.....	44
2.4.6 Taxas de Armazenamento na Biomassa.....	45
2.4.7 Cálculo do Balanço de Energia e de seu Fechamento.....	47
<b>APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DOS RESULTADOS.....</b>	<b>49</b>
3.1 Variáveis Meteorológicas.....	49
3.2 Fluxos de Radiação.....	55
3.3 Fluxos de Calores Sensível e Latente.....	57
3.4 Fluxo de Calor no Solo e Armazenamento de Energia.....	58
3.3 Balanço de Energia em Superfície.....	60
<b>CONSIDERAÇÕES FINAIS.....</b>	<b>65</b>
<b>REFERÊNCIAS.....</b>	<b>67</b>



## INTRODUÇÃO

A Floresta Amazônica abrange uma extensa área da América do Sul com aproximadamente 6.000.000 km<sup>2</sup>; em território brasileiro é cerca de 5.000.000 km<sup>2</sup> alcançando os estados do Acre, Amapá, Amazonas, Pará, Rondônia, Roraima e partes dos estados do Maranhão, Tocantins e Mato Grosso. A floresta é composta por vários tipos de vegetação de terra firme, com trechos florestais e outros tipos de vegetação importantes para a manutenção da diversidade faunística, sendo assim, caracterizada pela imensa riqueza florística e abundante biodiversidade. Esses trechos são florestas secundárias, clareiras resultantes de quedas de árvores, raios ou morte de grandes árvores, áreas com cobertura densa de cipós, margens dos igarapés, encostas, pequenas serras, ilhas de pântanos e muitas outras formações menores (AYRES, 1995; HIGUCHI ET AL., 2004).

A Bacia Amazônica possui uma série de ecossistemas e biodiversidades, desempenhando um papel importante no funcionamento do clima da Terra, pois atua como uma das fontes indispensáveis de calor para a atmosfera global, por meio da liberação do vapor de água na superfície e de calor na média e alta troposfera, por meio do calor latente de condensação em nuvens convectivas tropicais (NOBRE E MARENGO, 2009). A Floresta Amazônica representa a maior área de floresta úmida do mundo, logo é a maior fonte de liberação de calor latente, que contribui não apenas para a própria localidade como também para outras regiões e para a própria circulação geral da atmosfera.

Quantificar o saldo de radiação, que consiste na quantidade de energia disponível para ser utilizada em processos de aquecimento do ar e do solo, na fotossíntese e no fluxo de calor latente, é de grande importância para a estimativa da evapotranspiração e consequente avaliação dos défices hídricos em áreas de floresta (MATOS ET AL., 2016). Uma vez que a Amazônia está constantemente envolvida em trocas de energia e em vários processos climáticos, um número considerável de pesquisas está sendo realizado com o propósito de se obterem informações mais precisas sobre esses fluxos de energia.

Como regulador climático em escala global, levanta-se a hipótese de que a floresta Amazônica é um importante regulador dos balanços de energia e hídrico (NOBRE E MARENGO, 2009). Portanto, é de fundamental importância o entendimento da partição da energia do saldo de radiação e do balanço de energia para a compreensão dos processos

de interação entre a floresta e a atmosfera. Adicionalmente, é essencial compreender o papel da vegetação sobre a distribuição das componentes desse balanço e os possíveis impactos nos processos de superfície quando ocorre a substituição da vegetação original, para que se obtenham as possíveis respostas às variações no clima. Um outro termo relevante para balanço de energia em áreas de florestas densas é a Taxa de Armazenamento de Energia (TAE), considerado crucial em uma análise de curtos intervalos (de uma hora a um dia) de tempo em um determinado sítio de floresta. Os modelos numéricos que representam o estado da atmosfera atual dependem da descrição realística de comportamentos que ocorrem na superfície, portanto, a inclusão da TAE é necessário para que as previsões possam ser mais precisas.

Diversos experimentos na Amazônia foram realizados durante os últimos 30 anos, como o “Anglo-Brazilian Amazonian Climate Observation Study – ABRACOS (GASH E NOBRE, 1997); o Experimento de Grande Escala da Biosfera-Atmosfera na Amazônia (“Large Escale Biosphere-Atmosphere Experiment in Amazonia” – LBA); e o South American Low Level Jet Field Experiment – SALLJEX (VERA ET AL., 2006). Conhecimentos sobre o funcionamento climático na região Amazônica foram obtidos a partir desses experimentos.

Nesse contexto, o LBA é um dos maiores experimentos científicos do mundo na área ambiental. De maneira integrada, os resultados obtidos por cientistas e pesquisadores do LBA permitiram o entendimento de alguns mecanismos que governam as interações da biosfera com a atmosfera. Além disso, os resultados dos principais estudos do clima e da hidrologia da Amazônia estão presentes em números especiais de revistas, como: *Journal of Geophysical Research*, de 2002; *Theoretical and Applied Climatology*, de 2004 e *Revista Brasileira de Meteorologia*, de 2007.

De acordo com Moncrieff (1996), a quantificação, por longos períodos, dessas trocas em diferentes ecossistemas, pode ser feita através de medidas diretas e indiretas com a utilização de técnicas meteorológicas, como a covariância de vórtices turbulentos. O método de covariância (ou correlação) de vórtices turbulentos é uma técnica micrometeorológica que obtém as trocas de calor e massa (vapor de água e gases) em ecossistemas. Este método é mais preciso quando as condições atmosféricas (vento, temperatura, umidade, CO<sub>2</sub>) são estáveis, a vegetação é homogênea e está localizada em um terreno plano (BALDOCCHI, 2003). Não satisfazer essas condições pode resultar em erros de precisão na quantificação das grandezas e essa imprecisão das medidas afeta o fechamento do balanço de energia.

O objetivo principal deste trabalho foi verificar a variação das variáveis meteorológicas e dos fluxos de calor, analisar o fechamento do balanço de energia em superfície, comparando os resultados para as estações chuvosa e seca, em uma área de vegetação intacta e uma área de floresta secundária na Amazônia Central.

Os objetivos específicos foram:

a) Determinar as taxas de armazenamento de energia nos diferentes componentes da floresta, utilizando medidas de temperatura no ar e umidade relativa coletadas na Reserva de Desenvolvimento Sustentável do Uatumã e no Distrito Agropecuário da Zona Franca de Manaus nos períodos chuvoso e seco em 2016;

b) Analisar o fechamento e o balanço de energia em uma floresta primária e secundária na Amazônia Central;

c) Observar o comportamento dos fluxos não radiativos do balanço de energia nos locais estudados.



## CAPÍTULO 1

### FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

#### 1.1 Fluxos de Calor e o Princípio da Conservação de Energia

Os fluxos verticais de energia na atmosfera compõem um dos processos climáticos mais importantes (HARTMANN,1994). Esses fluxos podem ser de escoamentos ou movimentos contínuos em um sistema termodinâmico fechado, e podem ser radiativos ou não-radiativos, entre a superfície e a atmosfera, sendo os principais elementos que determinam o clima em um determinado local ou globalmente. Em geral, a estimativa das trocas de energia é simplificada, considerando uma superfície lisa, horizontal, homogênea, extensa e opaca à radiação, examinando apenas os fluxos verticais (ARYA, 2001). Há, basicamente, quatro tipos de fluxos verticais em um sistema termodinâmico, a saber: saldo de radiação; fluxo de calor sensível,  $H$ , que é associado à mudança de temperatura da superfície; fluxo de calor latente,  $LE$ , quando a umidade alcança seu ponto de vaporização, fluxo de calor no solo, que está relacionada à energia que é armazenada no solo.

Em áreas de floresta da Amazônia, a maior parte do saldo de radiação à superfície é particionado em fluxos de calor latente e sensível (ARAÚJO ET AL., 2002; ROCHA ET AL., 2004; VON RANDOW ET AL., 2004). Em uma floresta secundária, a parcela de energia direcionada para o fluxo de calor sensível é utilizada para o aquecimento da superfície e o ar em volta, por condução; para camadas de ar em alturas elevadas em relação a superfície, o processo de transferência é por convecção. Esse mesmo mecanismo ocorre em uma floresta primária: a radiação solar incidente alcança a copa das árvores antes de ser direcionada para a superfície, provocando um aquecimento primeiro acima da copa. Outra parcela de energia é voltada para o fluxo de calor latente, processada pela a evapotranspiração, dependente da umidade presente no solo. Em uma pastagem, a escassez de água provoca efeitos diretos sobre a taxa de crescimento e o desenvolvimento de uma vegetação densa, pois em locais dessa natureza se intercepta pouca luz, ou seja, a maior parte da radiação alcança o solo em vez da vegetação, o que explica a baixa produtividade. Adicionalmente, a disponibilidade hídrica é pouca, logo o fluxo de calor sensível aumenta em função dessa falta; entretanto, em uma floresta

intacta, existe um armazenamento hídrico por meio de raízes das árvores, conduzindo a maior parte da energia para o calor latente. A condição natural, ao longo do dia, dos fluxos de calor latente e sensível é positivo (da superfície para atmosfera), pois a superfície absorve energia entre o nascer e o pôr do sol. No período noturno, ocorrem perdas dessa energia pela ausência do sol, por meio de radiação de ondas longas e dos fluxos de calor sensível e latente. Portanto, a condição dos fluxos durante a noite é negativo, esse comportamento também pode ser explicado pela primeira lei da termodinâmica.

Calor é um processo de transferência térmica de um sistema para outro, ocorrendo ou não o transporte de massa e ou trabalho. O reconhecimento de que o calor é uma forma de energia em trânsito, conversível em trabalho e vice-versa, foi um grande passo para a formulação da primeira lei da termodinâmica (VIANELLO E ALVES, 2012). Essa lei é o princípio da conservação de energia em um sistema termodinâmico, que explica vários fenômenos que ocorrem na atmosfera, e descreve como o calor fornecido ao sistema relaciona-se ao aumento da energia interna e ao trabalho de expansão.

## 1.2 Balanço de Energia em Superfície

A análise do Balanço de Energia em Superfície (BES) em uma região florestada é necessária para a compreensão dos processos climáticos envolvidos com os componentes da vegetação e de seus efeitos em diversas escalas espaciais e temporais. Igualmente, o conhecimento dos fluxos superficiais de energia e de suas particularidades sobre florestas, é básico para qualquer modelo que simule a interação solo-vegetação-atmosfera (MICHILES, 2009).

O BES é obtido a partir da primeira lei da termodinâmica que representa o princípio de conservação de energia para um sistema fechado. Para tal sistema, a esta lei estabelece que a variação de energia interna é igual à diferença entre o calor adicionado ao sistema e o trabalho realizado por ele (SEARS E SALINGER, 1975; HOLTON, 2004), ou seja:

$$\Delta E_{inte} = Q - W \quad (1)$$

na qual  $\Delta E_{inte}$  é a variação da energia interna total do sistema,  $Q$  é o calor trocado entre o sistema e suas vizinhanças e  $W$  é o trabalho realizado pelo ou sobre o sistema. Contudo,

como se considera, para este tipo de estudo, um volume fixo, o trabalho não é realizado na Equação 1, pois não se considera compressão ou expansão no ambiente. A fonte de energia para que se iniciem os processos de interação biosfera atmosfera provém do sol e, ao atingir a superfície terrestre, ela é particionada para as componentes da vegetação alcançando a atmosfera. A estimativa do BES pode ser efetuada utilizando os fluxos de energia medidos, que ocorrem para dentro e para fora do sistema termodinâmico, de forma que varie a sua energia interna (ARYA, 2001). Dessa forma, a partir da Equação 1, tem-se, de modo simplificado:

$$\Delta E_{inte} = S \quad e \quad Q = R_n - H - LE - G$$

nas quais  $S$  é a taxa de armazenamento de energia pelo ar e pela biomassa da floresta,  $R_n$  é o saldo de radiação,  $H$  e  $LE$  são os fluxos verticais de calor sensível e de calor latente por convecção,  $G$  é o fluxo, por condução, de calor no solo. Todos os termos apresentados acima são dados em  $W / m^2$ . Portanto, a equação para o BES pode ser escrita da seguinte forma:

$$S = R_n - H - LE - G \quad (2)$$

ou, mais comumente:

$$R_n = H + LE + S + G \quad (3)$$

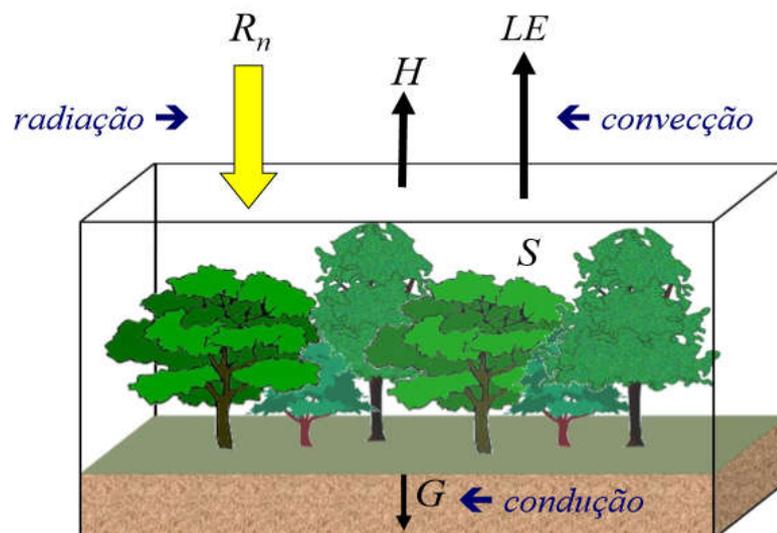


Figura 1.1 - Comportamento dos fluxos de energia, no período diurno, no volume de controle estudado.

Fonte: Adaptado de Michiles, 2009.

Na Figura 1.1, pela incidência de radiação solar,  $H$  e  $LE$  estão em constante movimento para cima, de dia, e para baixo à noite, de acordo com a energia disponível presente no sistema, enquanto que  $G$  flui para o solo, utilizando uma pequena parcela dessa energia.  $S$  representa a energia armazenada ou liberada ao longo do dia ou da noite pelo sistema florestal.

### 1.3 Fechamento do Balanço de Energia

Ambos os lados da Equação 3 deveriam ser iguais e, assim, o BES fecharia, entretanto, quando suas componentes são analisadas individualmente, não igualam os lados dessa Equação, explicitando a insuficiência na quantificação ou no cálculo dessas componentes. Portanto, a compreensão do ambiente físico e dos processos que nele ocorrem é incompleto. Essa desigualdade é conhecida, em micrometeorologia, como o “fechamento do balanço de energia” (CULF ET AL., 2004).

Atualmente, uma das preocupações mais fundamentais e muito discutida em estudos de micrometeorologia de florestas e áreas correlatas, é a persistente falta de fechamento do BES (MICHILES, 2009). Há diversas razões possíveis para a obtenção de um insatisfatório fechamento do BES, que vão desde erros de medição associados a instrumentos individuais e suas respectivas incertezas, as aproximações e métodos inadequados para medir ou calcular alguns das componentes do BES (WILSON ET AL., 2002 ; CULF ET AL., 2004).

Dado o avanço tecnológico, os instrumentos que quantificam as densidades de fluxos tornaram-se mais precisos e passaram a minimizar os erros que impossibilitam o fechamento do BES. De acordo com descobertas recentes, apesar de todas as dificuldades apresentadas, o fechamento do BES é geralmente melhor em sítios de floresta do que em sítios com vegetação baixa (THOMAS E FOKEN, 2007). Tipicamente, em florestas da Amazônia, as medições independentes das componentes do BES representam de 70 a 90% do saldo de radiação medido, conforme demonstrado por diversos estudos realizados na última década (MICHILES E GIELOW, 2008).

## 1.4 Taxa de Armazenamento de Energia Acima do Solo

De acordo com Oliphant (2004), a TAE tem sido negligenciada em muitos estudos e encontram-se dificuldades em estimar seus componentes. A inclusão da TAE evolui a qualidade do fechamento do balanço de energia, identificando as possíveis causas para essa falta. Desse modo, Michiles (2009) estabelece que a TAE é composto pelos seguintes componentes que representam os armazenamentos de energia acima do solo: armazenamento de energia no ar,  $S_{ar}$ , e armazenamento de energia na biomassa,  $S_{bio}$ .

$$S = S_{ar} + S_{bio} \quad (4)$$

$S_{ar}$  é subdividido em dois termos, são eles: mudanças de temperatura do ar,  $S_T$ , e umidade específica,  $S_q$ .

$$S_{ar} = S_T + S_q \quad (5)$$

O armazenamento de energia na biomassa,  $S_{bio}$ , também tem é dividido em partes, sendo elas:

$$S_{bio} = S_{tr} + S_{cr} + S_{ll} \quad (6)$$

em que  $S_{tr}$ ,  $S_{cr}$  e  $S_{ll}$  são, respectivamente, armazenamentos de energia nos troncos, nas copas das árvores e o estrato inferior da floresta.  $S_{cr}$  tem seus subcomponentes, isto é:

$$S_{cr} = S_{br} + S_{tw} + S_{lv} \quad (7)$$

sendo  $S_{br}$ ,  $S_{tw}$  e  $S_{lv}$ , *respectivamente*, armazenamentos de energia nos ramos, galhos e folhas.  $S_{ll}$  é composto por  $S_{st}$ ,  $S_{dw}$ ,  $S_{sl}$ ,  $S_{lt}$ ,  $S_{oc}$  que representam, árvores baixas (diâmetros menores que 10 centímetros), madeiras mortas, mudas, liteiras (são raízes externas, liteira fina e folhas mortas sobre o solo da floresta), e outros componentes (componentes de pequeno porte da biomassa).

$$S_{ll} = S_{st} + S_{dw} + S_{sl} + S_{lt} + S_{oc} \quad (8)$$

Dentre todos os termos que fazem parte da TAE na biomassa,  $S_{tr}$  é aquele que apresenta a maior contribuição; no entanto, sua determinação é a mais difícil (MICHILES, 2009). O  $S_{tr}$  é dependente da variação da temperatura dos troncos, e existem fatores que dificultam e resultam em erros durante as medições. Um dos principais fatores é a heterogeneidade da região, pois, em florestas tropicais há diversas espécies de árvores de diferentes dimensões e propriedades térmicas.



## CAPÍTULO 2

### METODOLOGIA DA PESQUISA

#### 2.1 Abordagem da Pesquisa

A investigação deste trabalho é de natureza quantitativa, pois busca compreender fenômenos através de coletas de dados numéricos por meio de instrumentos padronizados. Selecionando uma amostra representativa, esses dados são analisados utilizando expressões matemáticas a fim de generalizar resultados e chegar a algumas conclusões.

Os dados utilizados foram coletados em duas torres de observação micrometeorológica descritas abaixo. Todas as análises foram realizadas considerando 10 dias dos períodos chuvoso entre os meses de janeiro e abril, e seco entre os meses de agosto e outubro no ano de 2016.

As datas dos 10 dias selecionados para as análises dos dados
16/01/2016
26/01/2016
05/02/2016
20/02/2016
21/02/2016
5/03/2016
11/03/2016
12/03/2016
15/04/2016
23/04/2016
08/08/2016
09/08/2016
15/08/2016
20/08/2016
21/08/2016
22/08/2016

24/09/2016
25/09/2016
26/09/2016
30/09/2016

## 2.2 Descrição das Áreas de Estudo

### 2.2.1 Reserva de Desenvolvimento Sustentável do Uatumã

A torre utilizada para a coleta de dados na Reserva de Desenvolvimento Sustentável do Uatumã (RDSU), conhecida como torre “Instant” possui 82 metros de altura e faz parte do Observatório Amazônico com Torre Alta (“Amazon Tall Tower Observatory” – ATTO). Foi instalada em uma floresta tropical primária densa, onde prevalecem planaltos, a uma altitude máxima de aproximadamente 130 m acima do nível do mar, na Amazônia Central, a cerca de 150 km a nordeste da cidade de Manaus.

É uma região com área preservada e de difícil acesso. Geralmente, as massas de ar, que adentram essa região, são ventos de nordeste que atravessam pela floresta tropical intacta e, portanto, apresentam pouca ou nenhuma influência do clima urbano da cidade de Manaus (FERNANDES, 2018), sendo uma região caracterizada com ausência de emissões antropogênicas. Contudo, sofre influências significativas durante a estação chuvosa, causada pelo transporte de aerossóis marinhos do Oceano Atlântico, da poeira saariana e da fumaça das queimadas da África Ocidental (ANDREAE ET AL., 2012 e 2015). De acordo com Fernandes (2018), isso ocorre em razão da Zona de Convergência Intertropical (ZCIT) estar mais ao sul, ocasionando mudanças na composição atmosférica e afetando as condições meteorológicas. Em contraste, com a chegada da estação seca, a ZCIT fica mais deslocada para o Hemisfério Norte, e essas mudanças acarretam consequências importantes tanto para o clima quanto para a composição atmosférica na Amazônia Central (ANDREAE ET AL., 2012), ou seja, a migração da ZCIT para o Hemisfério Norte caracteriza a estação seca na Amazônia. Porém, se esse deslocamento for mais ao norte da sua climatologia, aumenta o período de seca, e ocorrem consequências graves em locais desmatados.

Na estação chuvosa, a radiação solar é menor em razão da maior formação de nuvens e eventos de precipitação, infiltrando água no solo, expandindo a capacidade de armazenar água pelas raízes das árvores, por meio da reciclagem da água. Ao contrário, na estação seca, a radiação solar incidente alcança a superfície com menor interferência de nuvens, aumentando a temperatura e a evapotranspiração, a fim de equilibrar a temperatura ambiente, provocando mudanças no regime de chuva sobre o local.

### **2.2.2 Distrito Agropecuário da Zona Franca de Manaus**

A torre para a coleta de dados no Distrito Agropecuário da Zona Franca de Manaus (DAZFM), também conhecida como torre “ZF3”, possui 36 metros de altura está localizada em uma área onde se desenvolvem estudos do projeto “Dinâmica Biológica de Fragmentos Florestais” (DBFF), coordenado pelo INPA dentro da fazenda Colosso, a cerca de 105 km a nordeste de Manaus. O acesso dá-se pela BR 174 (Manaus - Boa Vista) onde ao chegar ao km 65 é necessário seguir por uma estrada vicinal de terra por mais 35 km (RELATÓRIO DE TORRES DO LBA, 2012). Foi instalada numa área de pastagem abandonada, que foi desmatada em 1970 e replantada com a espécie de gramínea *Brachiara humidicola*. Atualmente, a floresta continua em processo de crescimento. Nesse contexto, florestas secundárias, especialmente em capoeiras mais jovens, de baixa estatura e dossel ainda aberto, incapazes de isolar o local das elevadas temperaturas que caracterizam o ar acima da floresta, são mais susceptíveis ao fogo (RAY ET AL., 2005).

Essa transformação de uma área de floresta em pastagem compactada aumenta o escoamento superficial da água da chuva, dificultando a infiltração de água no solo, conseqüentemente, o armazenamento da mesma água pelas raízes de vegetação. Na estação chuvosa, por causa do desmatamento no local, a formação de nuvens foi reduzida expondo a superfície a maior insolação, aumentando a temperatura, provocando na vegetação a necessidade de utilizar o pouco da água armazenada para a evapotranspiração, diminuindo os eventos de precipitação. A pouca disponibilidade de água que vai para a atmosfera compromete a chuva em outras regiões que dependem dessa fonte.

Essas condições meteorológicas são semelhantes à estação seca com temperatura máxima de 39°C (RELATÓRIO DE TORRES DO LBA, 2012). Considerando que a

evapotranspiração é proporcional à área foliar, a reciclagem de uma floresta é maior do que em uma pastagem, especialmente, na estação seca em que a pastagem fica seca enquanto a floresta permanece verde. Na Figura 2.1, apresenta-se a localização das torres descritas acima.

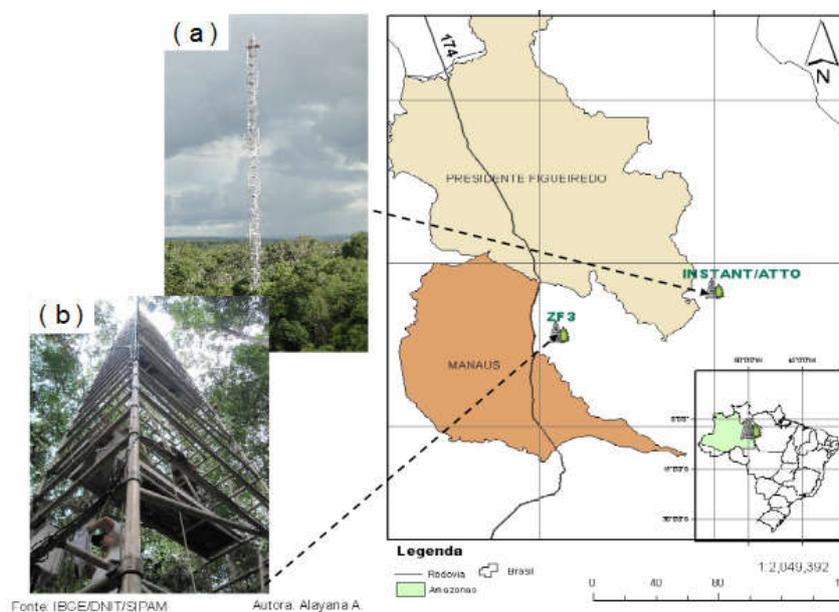


Figura 2.1 - Localização dos sítios experimentais e suas respectivas torres: a) torre “Instant” na RDSU b) torre “ZF3” na DAZFM.

Fonte: Farias, 2019.

### 2.3 Instrumentos e Medidas

Nas Tabelas 2.1 e 2.2 apresentam-se a descrição da instrumentação utilizada em cada plataforma de coleta de dados das torres “Instant” e “ZF3”, a variável correspondente à medida de cada sensor, as unidades de medida e o intervalo de coletas. Os dados das torres foram coletados através de cartões SD ou notebook em plataformas de estação meteorológica automática (AWS), solo e sistema de fluxos turbulentos, utilizando o software LoggerNet. A partir da coleta dos dados e de sua chegada ao local de tratamento, a equipe responsável por esse trabalho seguiu-se um protocolo de organização, análise e certificação de dados (RELATÓRIO DE TORRES DO LBA, 2012).

Tabela 2.1 Lista de instrumentos instalados na torre “Instant”.

Plataforma: AWS / Intervalo de tempo da média: 30 minutos		
Variáveis Meteorológicas	Instrumentos	Altura (m)
Saldo de radiação ( $W / m^2$ )	Saldo Radiômetro	81
Radiação de ondas curtas: incidente e refletida ( $W / m^2$ )	2 Piranômetros	—
Radiação de ondas longas: Atmosférica e terrestre ( $W / m^2$ )	Pirgeômetros	—
Temperatura ( $^{\circ}C$ ) e Umidade relativa do ar (%)	Termohigrômetro	36
Pressão atmosférica (Pa)	Barômetro	—
Precipitação (mm)	Pluviômetro de báscula	81
Plataforma: Solo / Intervalo de tempo da média: 10 minutos		
Fluxo de calor no solo ( $W / m^2$ )	Sensor de fluxo de calor	$10^{-2}$
Plataforma: Sistema de fluxos turbulentos / Intervalo de médias: 10 Hz		

Velocidade do vento nas componentes u, v, w (m / s) e temperatura do ar (C°)	Anemômetros sônicos 3D	4, 12, 23,7, 30, 41, 46, 55, 81
Concentração de vapor de água (mmol / m³)	Analísadores de gás por infravermelho	23,7, 55, 41, 46, 81

Tabela 2.2 Lista de instrumentos instalados na torre “ZF3”.

Plataforma:AWS / Intervalo de tempo da média: 30 minutos		
Variáveis Meteorológicas	Instrumentos	Altura (m)
Saldo de radiação (W / m <sup>2</sup> )	Saldo Radiômetro NR Lite	36
Radiação de ondas curtas: incidente e refletida (W / m <sup>2</sup> )	2 Piranômetros CM3	34,5
Radiação de ondas longas: atmosférica e terrestre (W / m <sup>2</sup> )	2 Pirgeômetros CG3	34,5
Temperatura para correção da Radiação de Ondas Longas (C°)	Temperatura do sensor	36

Temperatura (C°) e Umidade Relativa do ar (%)	Termohigrômetro	36
Pressão atmosférica (Pa)	Barômetro	32,5
Precipitação (mm)	Pluviômetro de balança	36 m
Plataforma: Solo / Intervalo de tempo da média: 10 minutos		
Fluxo de calor no solo (W / m <sup>2</sup> )	Sensor de fluxo de calor	2 e 5 x10 <sup>-2</sup>
Plataforma: Sistema de fluxos turbulentos / Intervalo de médias: 10 Hz		
Velocidade do vento nas componentes u, v, w (m / s) e temperatura do ar (C°)	Anemômetro sônico – 3D	36,8
Concentração de vapor de água (mmol / m <sup>3</sup> )	Analisador de gás por infravermelho	36,8

## 2.4 Procedimentos para a Análise de Dados

### 2.4.1 Estimativa da Temperatura do Ar e Cálculo da Umidade Específica

Considerando que houve erros nas medições de temperatura ( $T_{ar}$ ) e umidade relativa do ar ( $UR$ ) no sítio DAZFM, durante a estação chuvosa, utilizaram-se métodos indiretos para a sua obtenção, especificamente, para esta estação.

Com dados de temperatura do ar do DAZFM e a temperatura da radiação de ondas longas ( $T_{ROL}$ ), durante a estação seca, obteve-se o ajuste polinomial de 1º grau, entre esses dados, e uma equação para se estimar a temperatura do ar, na estação chuvosa utilizando-se  $T_{ROL}$  da mesma estação, conforme apresentado na Figura 2.2.

Para a umidade relativa, obteve-se o ajuste polinomial de 1º grau, entre os dados da umidade relativa em função da temperatura do ar, durante a estação seca, no DAZFM e obteve-se uma expressão para que pudesse ser calculada a umidade relativa na estação chuvosa, exposta na Figura 2.3.

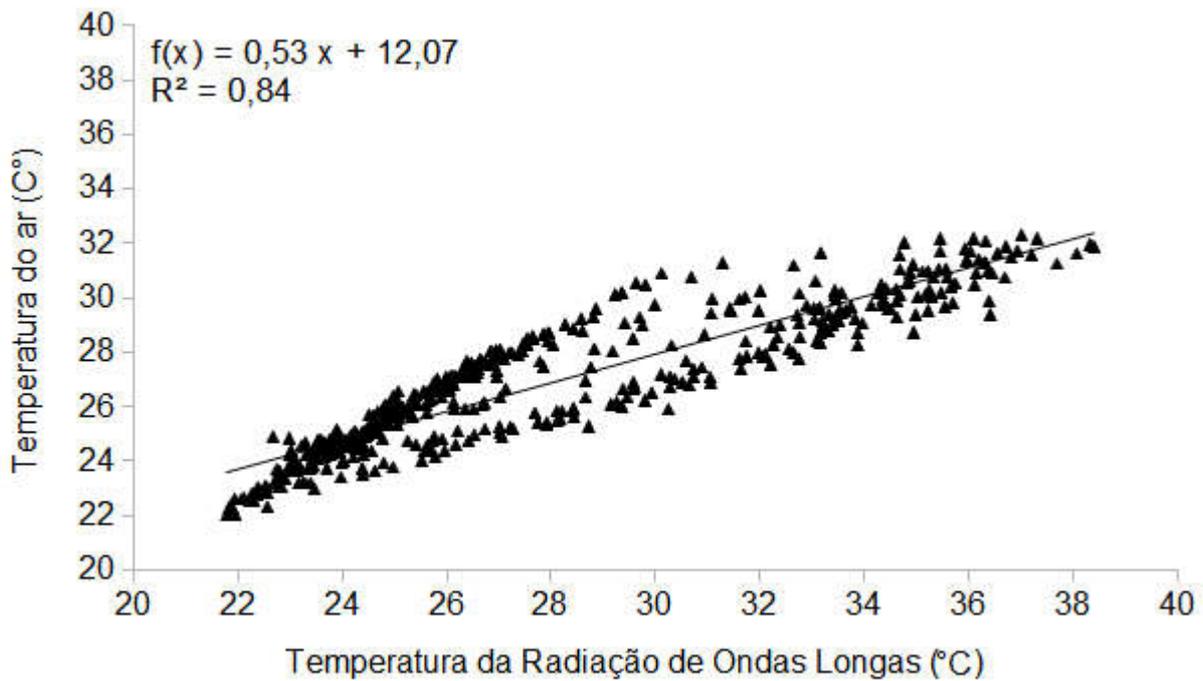


Figura 2.2 - Ajuste e expressão polinomiais de 1º grau entre dados de temperatura do ar e a temperatura da radiação de ondas longas para o sítio DAZFM.

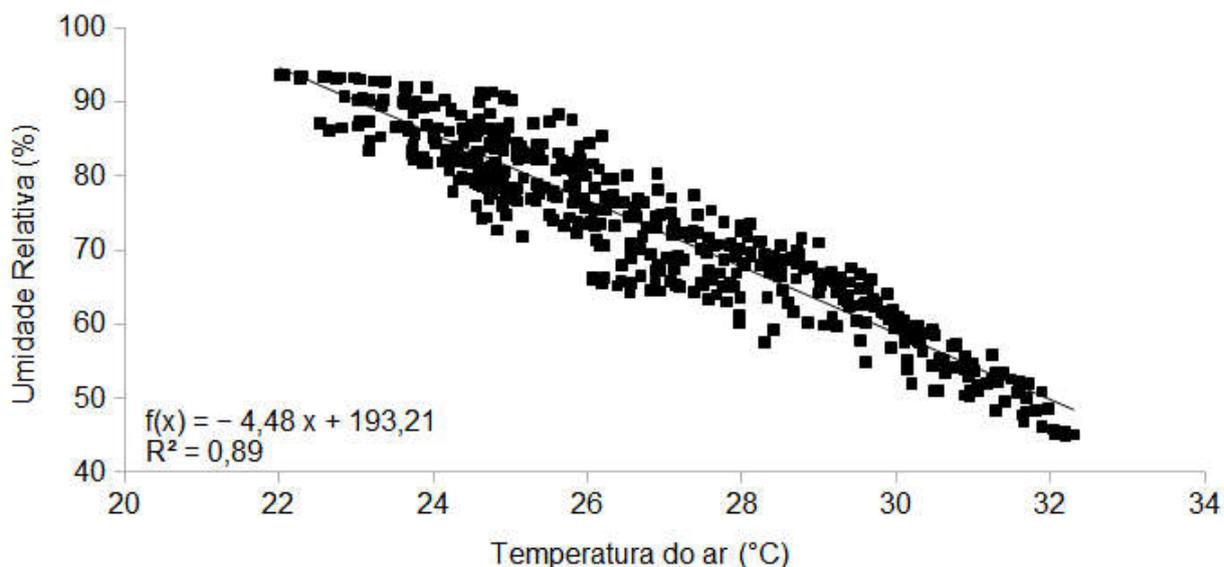


Figura 2.3 - Ajuste e expressão polinomiais de 1º grau entre dados de umidade relativa e a temperatura do ar para o sítio DAZFM.

Para calcular a umidade específica ( $q$ ), para ambas, as estações, utilizou-se a seguinte expressão:

$$q = \frac{0,622 (UR/100) 6,112^{\frac{17,67 T_{ar}}{T_{ar} + 243,5}}}{P - 0,378 (UR/100) 6,112^{\frac{17,67 T_{ar}}{T_{ar} + 243,5}}} \quad (9)$$

na qual  $P$  é a pressão atmosférica em Pa,  $T_{ar}$  é a temperatura do ar em °C e  $UR$  representa a umidade relativa em %.

#### 2.4.2 Cálculo da Taxa de Armazenamento de Energia em uma Floresta

Para atingir um dos objetivos específicos desse trabalho, determinaram-se as taxas de armazenamento de energia acima do solo, nas áreas de floresta em estudo. Utilizaram-se as equações descritas na Seção 1.4, para a determinação da TAE. Nas seções que seguem, são apresentadas as estimativas de todos os componentes, dados nas Equações de 5 a 8 para o cálculo da TAE total. Por mais que as equações descritas, anteriormente, sobre a TAE equivalham para as duas áreas estudadas, os métodos

aplicados para os seus cálculos foram diferentes, uma vez que as duas áreas apresentam características distintas e o DAZFM teve um conjunto limitado de medidas.

### 2.4.3 Taxas de Armazenamento de Energia no Ar

De acordo com a Equação 5, a TAE no ar é subdividida em mudanças de temperatura do ar,  $S_T$ , e umidade específica,  $S_q$ . Utilizando uma versão simplificada da equação apresentada por Michiles (2009), considerando que a massa específica do ar,  $\rho_a$ , (igual a  $1,225 \text{ kg / m}^3$ ) e o calor específico,  $c_p$ , (igual a  $1004 \text{ J / (kg} \cdot \text{K)}$ ) são constantes,  $S_T$  é dado por:

$$S_T = \rho_a c_p \int \frac{dT}{dt} dz \quad (10)$$

Para o cálculo da Equação 10, para a área de floresta da RDSU utilizaram-se o método de derivação por diferenças finitas centradas e a integração pelo método dos trapézios, considerando-se  $l$  camadas horizontais de espessuras variáveis,  $(z_i - z_{i-1})$  determinadas pelas alturas onde os instrumentos foram instalados para as quantificações de temperatura  $T$  e o intervalo de tempo  $(t_k - t_{k-1})$ , resultando em:

$$S_T = \rho_a c_p \sum_{i=1}^l \left[ \left( \frac{T_{k+1} - T_{k-1}}{2(t_k - t_{k-1})} \right)_i + \left( \frac{T_{k+1} - T_{k-1}}{2(t_k - t_{k-1})} \right)_{i-1} \right] \frac{(z_i - z_{i-1})}{2} \quad (11)$$

Aplicando o mesmo método utilizado para  $S_T$ , com a constante de calor latente de vaporização da água,  $L$ , (igual a  $2,44 \times 10^6 \text{ J / kg}$ ), para as variações de umidade específica da TAE no ar,  $S_q$  tem-se:

$$S_q = \rho_a L \int \frac{dq}{dt} dz \quad (12)$$

Utilizando as alturas em que os instrumentos de medição da umidade relativa foram instalados  $(z_i - z_{i-1})$  e os dados de temperatura do ar, pressão atmosférica, para o cálculo da umidade específica do ar, no intervalo de tempo  $(t_k - t_{k-1})$ , a equação de  $S_q$  é descrita da seguinte forma:

$$S_q = \rho_a L \sum_{i=1}^l \left[ \left( \frac{q_{k+1} - q_{k-1}}{2(t_k - t_{k-1})} \right)_i + \left( \frac{q_{k+1} - q_{k-1}}{2(t_k - t_{k-1})} \right)_{i-1} \right] \frac{(z_i - z_{i-1})}{2} \quad (13)$$

No DAZFM, foram medidas a temperatura e a umidade relativa em uma única altura, acima do dossel, já não se fazendo possível utilizar as mesmas equações aplicadas para a RDSU. Com os dados e informações sobre o local limitados, foi utilizada a metodologia adaptada da proposta por Michiles e Gielow (2008), fazendo-se o uso da derivação por diferenças finitas centradas, ajustando-se as seguintes equações, baseadas nas Equações 10 e 12, para o DAZFM:

$$S_T = \rho_a c_p \frac{\Delta T_r}{\Delta t} \Delta z_r \quad (14)$$

$$S_q = \rho_a L \frac{\Delta q_r}{\Delta t} \Delta z_r \quad (15)$$

nas quais  $\Delta T_r$  e  $\Delta q_r$  são, respectivamente, as variações de temperatura no ar e umidade específica, medidas em intervalos de 30 minutos, em uma altura de 36 m,  $\Delta z_r$ .

#### 2.4.4 Determinação dos Calores Específicos

Os valores de calor específico são essenciais para a realização do cálculo da TAE. Devido à falta de quantificação desses valores e considerando a aproximação da composição e estrutura das florestas da Reserva Biológica de Cuieiras (RBC), localizada na Amazônia Central e da RDSU, utilizaram-se dados de calores específicos de Michiles (2009) da RBC para o cálculo das componentes da biomassa da RSDU.

No DAZFM, em virtude do mesmo problema de indisponibilidade de dados dos calores específicos e por ter característica de uma floresta secundária, os valores de calores específicos para cada componente da biomassa não se distanciam da RDSU, ou seja, os valores equivalem-se para os dois sítios. Os valores utilizados para cada componente da biomassa da floresta são apresentados na Tabela 2.3.

Tabela 2.3 - Valores do calor específico ( $c_{bc}$ ) e da massa específica das componentes da biomassa por unidade de área ( $m_{bc}$ ), para cada componente da biomassa na RDSU e DAZFM.

Componentes da biomassa	$c_{bc}$ (J / kg)	$m_{bc}$ (kg / m <sup>2</sup> )		
		RDSU	DAZFM	$\rho_m$
Tronco	2410,7	43,79	21,6	0,656
Ramos	2401,3	11,88	5,86	0,178
Galhos	2460,6	9,75	4,81	0,146
Folhas	2771,1	1,34	0,66	0,146
Árvores pequenas	2401,3	4,27	1,41	—
Mudas	2460,6	2,87	—	—
Madeira Morta	1731	6,28	4,2	—
Liteira	2506,2	2,74	0,75	—
Outros componentes	2460,6	3,68	0,84	—

Fonte: Autora, 2019.

#### 2.4.5 Estimativas da Distribuição de Biomassa Aérea

A determinação da massa fresca por unidade de área,  $m_f$ , por unidade de área de solo da floresta, é fundamental para o cálculo da TAE em cada componente da copa e do

estrato inferior da floresta (MICHILES, 2009). É a partir da massa fresca que é possível determinar a massa específica de cada componente da biomassa.

No DAZFM, a massa fresca,  $m_f$ , obtido de Nascimento e Lawrence (2004) é igual a 32,94 kg / m<sup>2</sup> e os valores médios dos parâmetros da biomassa,  $\rho_m$ , obtidos de Higuchi (1998) disponibilizaram as massas específicas de troncos,  $m_{tr}$ , ramos,  $m_{br}$ , galhos,  $m_{tw}$ , folhas,  $m_{lv}$ , árvores pequenas,  $m_{st}$ , mudas,  $m_{sl}$ , madeira morta,  $m_{dw}$ , liteira,  $m_{lt}$  e componentes de pequeno porte,  $m_{oc}$ , da seguinte:

$$m_{bc} = m_f \cdot \rho_m \quad (16)$$

Empregou-se a Equação 16 para determinar, apenas,  $m_{tr}$ ,  $m_{br}$ ,  $m_{tw}$ ,  $m_{lv}$ ,  $m_{st}$ , e para as mudas considerou-se, aproximadamente, zero; para as demais componentes utilizou-se apenas os valores de  $m_{bc}$ , disponibilizados por Nascimento e Lawrence (2004).

Na RDSU, não foram medidas a massa fresca e as componentes da biomassa, dessa forma, foram utilizados os dados de biomassa da Reserva do Cuieiras (MICHILES, 2009), que também é uma floresta intacta e densa. Tais valores são apresentados na Tabela 2.3.

#### 2.4.6 Taxas de Armazenamento na Biomassa

De acordo com Michiles (2009), o cálculo do armazenamento de energia nas componentes da biomassa como copa das árvores (ramos, galhos e folhas) e estrato inferior da floresta (árvores pequenas, madeira morta, liteira, mudas, raízes externas, trepadeiras, palmáceas) é apresentada como:

$$S_{bc} = m_{bc} c_{bc} \frac{\Delta T_{rc}}{\Delta t} \quad (17)$$

em que  $m_{bc}$ ,  $c_{bc}$  e  $T_{rc}$  são, respectivamente, a massa específica do componente da biomassa, calor específico estimado para a componente da biomassa e a temperatura de referência do ar. A Equação 17, pela derivação por diferenças finitas centradas, expressa-se como:

$$S_{bc} = m_{bc} c_{bc} \left( \frac{T_{rc(k+1)} - T_{rc(k-1)}}{2(t_k - t_{k-1})} \right) \quad (18)$$

Com os valores de massa e do calor específico de cada componente da biomassa, calcularam-se os termos  $S_{tr}$ ,  $S_{br}$ ,  $S_{tw}$ ,  $S_{lv}$ ,  $S_{st}$ ,  $S_{sl}$ ,  $S_{dw}$ ,  $S_{lt}$  e  $S_{oc}$ . Na Tabela 2.4 mostram-se as componentes da TAE citadas acima, as temperaturas usadas e suas respectivas alturas.

Tabela 2.4 - Componentes da TAE na biomassa calculados, as temperaturas de referência ( $T_{ar}$  para temperatura no ar e  $T_{ROL}$  para a temperatura da radiação de ondas longas), os locais estudados, as alturas em que foram medidas.

Componente da TAE	Temperatura de referência	Altura (m)	
		RDSU	DAZFM
$S_{tr}$ (troncos)	$T_{ar}$	4,0	36
$S_{br}$ (ramos)	$T_{ar}$	4,0	36
$S_{tw}$ (galhos)	$T_{ar}$	26	36
$S_{lv}$ (folhas)	$T_{ROL}$	36	36
$S_{st}$ (árvores pequenas)	$T_{ar}$	1,5	36
$S_{sl}$ (mudas)	$T_{ar}$	0,4	36
$S_{dw}$ (madeira morta)	$T_{ar}$	0,4	36
$S_{lt}$ (liteira)	$T_{ar}$	0,4	36
$S_{oc}$ (outros componentes)	$T_{ar}$	1,5	36

### 2.4.7 Cálculo do Balanço de Energia e de seu Fechamento

Como foi discutido na Seção 1.2, a Equação 3 é efetuada para o cálculo e a análise do balanço de energia. Uma das maiores preocupações relacionadas às observações micrometeorológicas em florestas é a falta de fechamento do BES, um problema particularmente sério sobre vegetação alta (LEE, 1998).

O fechamento do BES foi avaliado por meio da razão do balanço de energia  $E_{BR}$ , entre a soma de  $H + LE + S + G$  e  $R_n$ .

$$E_{BR} = \frac{\sum H + LE + S + G}{\sum R_n} \quad (19)$$

avaliado também, por meio da obtenção dos coeficientes linear, angular e de determinação, de regressões lineares entre os valores horários da soma dos fluxos não-radioativos  $H + LE + S + G$  e do saldo de radiação  $R_n$ . O fechamento ideal é representado pelos valores 0,1 e 1 dos coeficientes linear, angular e de regressão, respectivamente.



## CAPÍTULO 3

### APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DOS RESULTADOS

#### 3.1 Variáveis Meteorológicas

Nesta Seção, são apresentadas as variáveis meteorológicas a fim de descrever os comportamentos climáticos característicos da RDSU e do DAZFM, ou seja, as condições atmosféricas predominantes durante os períodos referentes aos dados coletados e estudados. Exibem-se dados de precipitação e temperatura, nas Figuras 3.1 e 3.2, e de umidade relativa e velocidade do vento, nas Figuras 3.3 e 3.4. Na Tabela 3.1, mostram-se os valores máximos, médios e mínimos mensais da temperatura, umidade relativa e a quantidade de dias em que houve precipitação em cada mês, durante o ano de 2016, para os dois sítios.

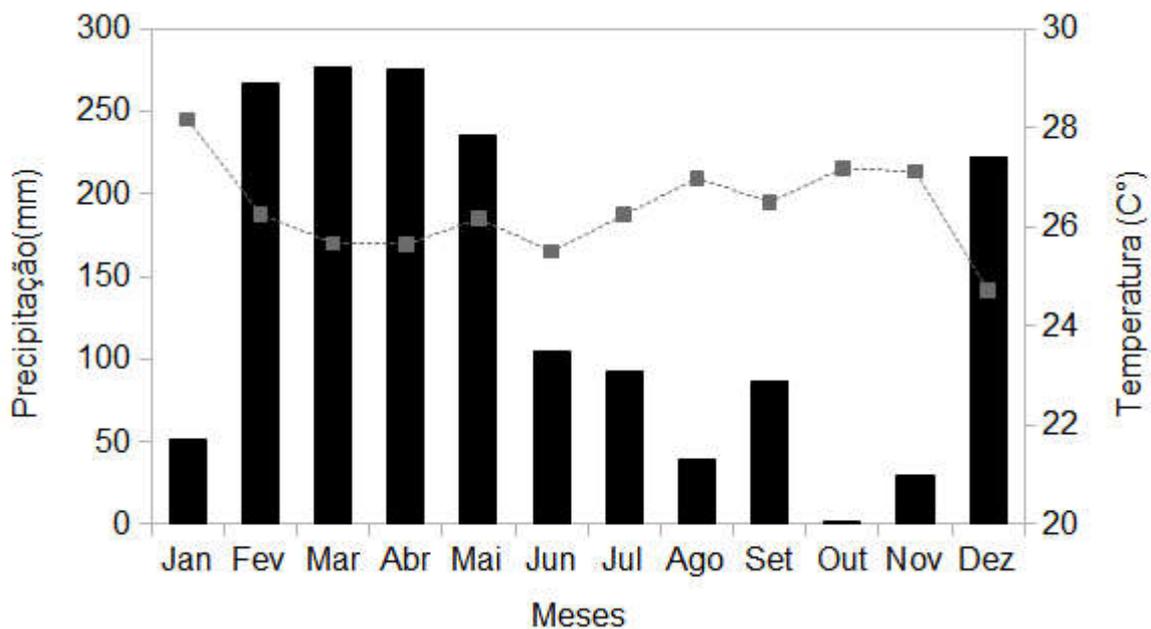


Figura 3.1 – Precipitação pluviométrica acumulada e temperatura média mensais, na RDSU.

Conforme pode-se verificar na Figura 3.1 para RDSU, os meses com os maiores índices de precipitação foram fevereiro, março e abril (durante a estação chuvosa),

alcançando 267, 277 e 275 mm, respectivamente. Estes índices decrescem até agosto (40 mm), quando iniciou a estação seca considerado para este trabalho. Durante esse período, houve um aumento do índice em setembro, atingindo cerca de 87 mm e uma redução brusca em outubro com menos de 2 mm, ou seja, pode ter havido uma quantificação inadequada dessa variável meteorológica no mês de outubro.

A temperatura decresce com a presença de nebulosidade e chuvas, logo, a precipitação não é apenas uma fonte de água, como também um regulador influenciando a termodinâmica da atmosfera, tanto que é evidente que na estação chuvosa a temperatura decresce enquanto na estação seca ela cresce, o máximo é visualizado em janeiro (28 °C) e seu mínimo é verificado no mês de dezembro (25 °C). De acordo com o Instituto Nacional de Meteorologia (INMET) em 2016 durante o mês de outubro, a Zona de Convergência de Umidade (ZCOU) influenciou as condições do tempo nas regiões Norte, Nordeste e Centro-Oeste e a atuação de um anticiclone pós-frontal influenciou na queda das temperaturas de forma mais abrupta, devido ao deslocamento de uma frente fria mais amplificada, em municípios do sul da Amazônia, entre os estados do Acre, Amazonas, Mato Grosso e Rondônia.

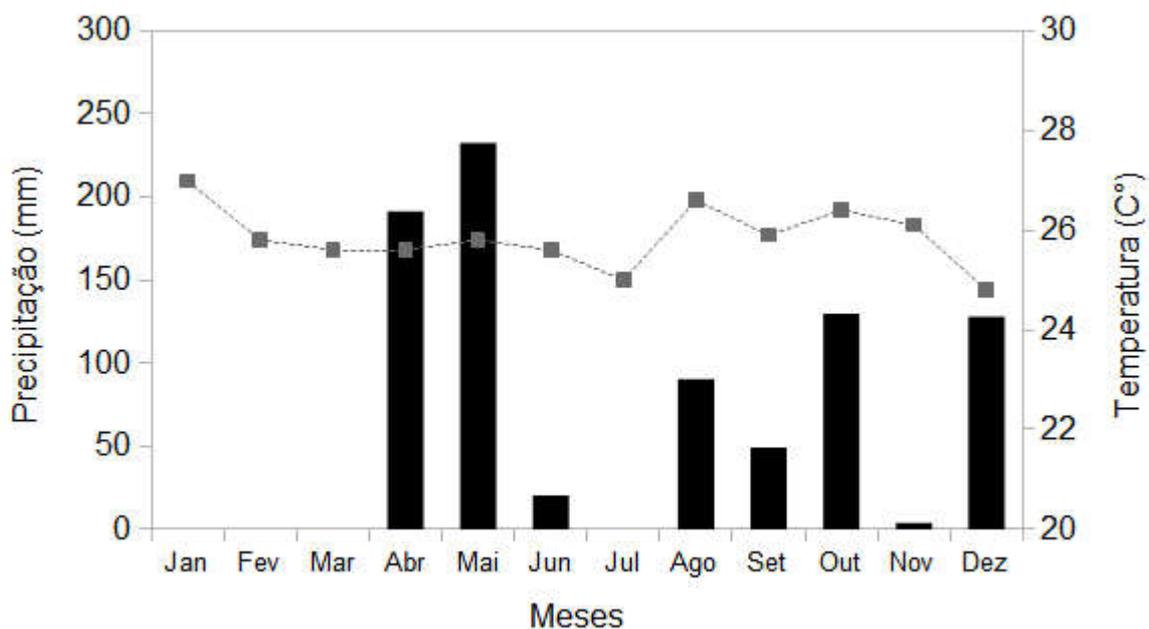


Figura 3.2 – Precipitação pluviométrica acumulada e temperatura média mensais, no DAFZM.

Por meio da Figura 3.2, verifica-se que a precipitação nos meses de janeiro, fevereiro, março e julho não foi medida pelo instrumento, pois houve falhas de coleta durante esses meses. A temperatura durante os meses de janeiro a março foi reduzida tendo alcançado, respectivamente, 27, 26 e 25 °C, indicando que não houve escassez na disponibilidade de água para regular a temperatura local.

Para os meses em que a precipitação não foi quantificada, obteve-se informações do INMET (2016). Segundo essa fonte, em janeiro, as chuvas foram acima do normal esperado em praticamente todas as regiões, exceto na região Norte e houve a formação de um sistema de baixa pressão no oceano Atlântico sobre a região no dia 13/01, o que favoreceu a formação de um episódio de Zona de Convergência do Atlântico Sul (ZCAS) que influenciou parte da região Norte do país, entre o período de 14 a 24/01/2016. Em fevereiro, a precipitação ficou abaixo da média climatológica em praticamente todas as regiões do país; entre os dias 20 e 21/02/2016 houve também a presença de um sistema de baixa pressão no oceano, próximo aos litorais dos estados de São Paulo e Rio de Janeiro o que influenciou a formação de uma ZCOU, que é uma faixa de nebulosidade que se estende desde o Amazonas (região Norte), passando pela região Centro-Oeste e Sudeste; no mês de março, a presença da ZCIT, associada com calor e umidade disponível na atmosfera, favoreceu a ocorrência de intensas áreas de instabilidade sobre a região Norte; em julho, as precipitações variaram da normal para abaixo da climatologia local em praticamente todas as regiões do país. Em relação à climatologia, já representa o período de transição do período chuvoso para menos chuvoso, principalmente, nas regiões Norte e Sudeste. Na região Norte, a persistência de chuvas abaixo da média afetou a situação hidrológica do rio Acre (AC), extremo oeste da Amazônia, onde as precipitações registradas nos últimos 90 dias mostraram um quadro de déficit hídrico, persistindo o estado de alerta da baixa disponibilidade hídrica e consequentes impactos socioambientais (INMET, 2016).

Os meses de maiores taxas de precipitação, no DAZFM, foram abril e maio, sendo que maio foi o mês predominante com 232 mm. A temperatura durante a estação chuvosa decresceu, variando em até 3 °C. Como é típico na estação seca a temperatura aumentar, curiosamente, entre os meses de agosto e setembro houve uma queda de 26 °C para 25 °C.

Comparando as Figura 3.1 e 3.2, observa-se que em agosto e outubro, o DAZFM teve índices pluviométricos, respectivamente, 51 e 127 mm maiores que a RDSU. Contudo, deve-se considerar que devem ter ocorrido falhas no mês de outubro na

quantificação do acúmulo de precipitação na RDSU. Nos meses de setembro e novembro, a precipitação acumulada na RDSU foi cerca de 30 mm maior que no DAZFM.

Em setembro, na região Norte, a precipitação variou de normal a acima da média climatológica em grande parte da região principalmente em Roraima, Acre, Pará e Amazonas onde, no dia 07/09/2016, foi registrado o maior acumulado diário de 65 mm, chovendo mais da metade da média mensal em um único dia. Em relação às temperaturas, a atuação de uma massa de ar frio ocasionou o segundo episódio de “friagem” do ano na região. Na ocasião, a estação de Eirunepé, Amazonas, registrou a menor temperatura mínima e máxima para o mês de setembro: 14,5 °C e 23,1 °C, respectivamente, no dia 05/09/2016 (INMET, 2016).

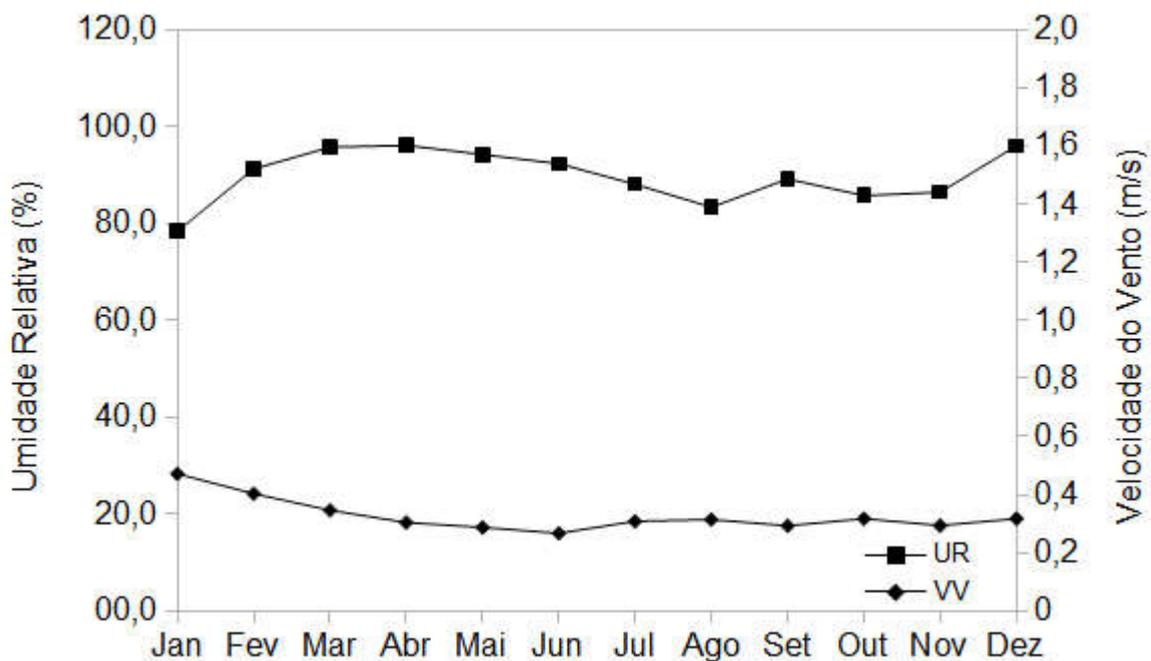


Figura 3.3 – Umidade relativa do ar e velocidade do vento médias mensais, na RDSU.

É possível verificar, por meio da Figura 3.3, que a umidade relativa e a velocidade do vento comportam-se de maneira inversa. Durante a estação chuvosa, a umidade relativa é maior por conta da baixa temperatura, alta nebulosidade, maior quantidade de precipitação e maior fluxo de calor latente, em razão da capacidade do solo de uma floresta primária em reter água. Obtendo, assim, um grande estoque hídrico. Durante a estação seca, a incidência solar é maior, sendo umas das condições que causam o aumento de temperatura, estimulando a vegetação a reter a liberação da água depositada em suas raízes, liberando pouca umidade, ou seja, a umidade relativa é menor.

A máxima velocidade do vento ocorre entre os meses de janeiro e março, durante a estação chuvosa, diminuindo até junho, se fortalece de junho a agosto e enfraquece até setembro, intensificando-se pouco em outubro e mantendo-se quase constante de novembro a dezembro.

Na RDSU, em outubro, o índice pluviométrico não foi quantificado corretamente, pois a umidade relativa do ar nesse mês é menor que setembro e maior que agosto e durante esses dois meses a precipitação estava em alta comparada a outubro. Adicionalmente, não é perceptível a variação de temperatura entre outubro e novembro (Figura 3.1).

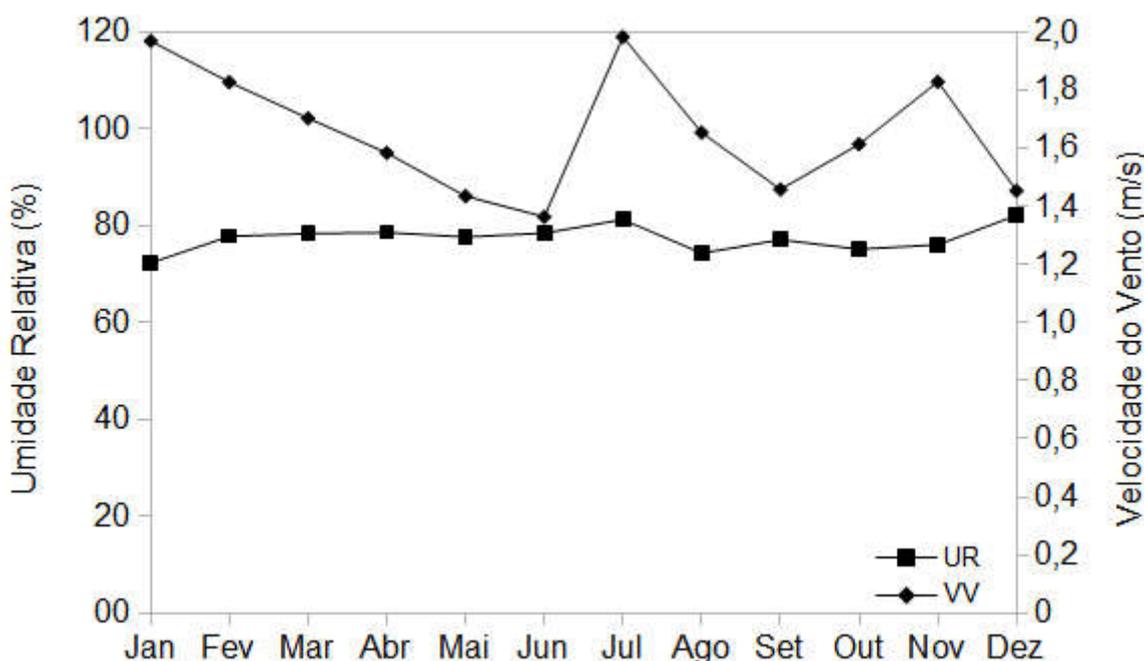


Figura 3.4 – Umidade relativa do ar e velocidade do vento médias mensais, no DAZFM.

Na Figura 3.4, verifica-se que a velocidade do vento diminuiu de janeiro a junho, com o máximo atingido em julho com, aproximadamente, 2 m / s de intensidade, retornou a reduzir até em setembro, em seguida aumentou e, ao chegar em novembro, voltou a decrescer. Normalmente, durante a estação seca, a velocidade do vento aumenta, entretanto no DAZFM reduziu. Comparando os resultados para essa componente com aqueles da Figura 3.3, nota-se que a velocidade do vento é mais intensa no DAZFM, variando entre, aproximadamente, 1,3 a 2 m / s. Na RDSU, a variação é entre 0,2 a 0,5 m / s e deve-se ao fato que na RDSU há uma floresta densa fechada, dificultando a passagem do vento e reduz ao entrar em contato com a copa das árvores.

No DAZFM, por haver uma floresta secundária, o espaço entre as árvores e a abertura na copa da vegetação possibilita a entrada de ventos intensos.

A umidade relativa no DAFZM não tem uma larga variação e apresenta valores mais baixos que na RDSU. Contudo, não é tão baixa ao ponto de apresentar estresse hídrico, pois a vegetação presente coordena a água liberada e a que fica estocada para a sua sobrevivência, levando-se em conta que o local foi uma pastagem e atualmente é uma floresta secundária. Observando a umidade relativa nos dois sítios, verifica-se que na RDSU é maior por ter mais disponibilidade hídrica.

Tabela 3.1 – Máximo, médio, mínimo mensal de temperatura e umidade relativa do ar e os dias com precipitação durante os meses nos sítios RDSU e DAZFM.

Meses	RDSU							DAZFM						
	Temperatura			Umidade Relativa			Dias com PP	Temperatura			Umidade Relativa			Dias com PP
	Máx	Méd	Mín	Máx	Méd	Mín		Máx	Méd	Mín	Máx	Méd	Mín	
Jan	31	28	25	95	78	64	15	29	27	25	81	72	65	-
Fev	31	26	24	99	91	69	18	27	26	24	84	78	72	-
Mar	27	26	24	100	96	89	27	27	26	24	84	78	72	-
Abr	27	26	23	100	96	91	26	27	26	24	88	79	74	17
Mai	28	26	24	100	94	90	28	27	26	24	85	78	73	23
Jun	27	26	23	100	92	82	17	27	26	24	87	78	73	10
Jul	28	26	25	98	88	77	18	26	25	24	84	81	76	-
Ago	29	27	21	100	83	68	10	28	27	25	91	74	68	7
Set	28	27	25	96	89	79	13	27	26	24	85	77	73	8
Out	29	27	24	97	86	74	1	28	26	25	82	75	69	15
Nov	29	27	23	98	86	76	2	26	26	26	77	76	75	2
Dez	27	25	23	100	96	89	22	27	25	23	90	82	73	21

Na Tabela 3.1, máximos, médios e mínimos de temperatura na RDSU são um pouco maiores que no DAZFM, pois a absorção de energia solar é maior, pois a biomassa é mais densa e a copa das árvores tem tonalidade verde escura, de forma que a radiação solar incidente é mais absorvida que refletida aumentando a temperatura.

O máximo e o médio da umidade relativa continuam sendo maiores da RDSU por considerar que o local libera mais vapor de água para atmosfera e possui um grande reservatório hídrico. Os valores para o DAZFM não implicam em estresse hídrico, por ser uma floresta secundária e não uma pastagem, mas também não tem um reservatório hídrico em abundância para que a sua umidade relativa esteja ao mesmo nível da RDSU.

Dias com PP são a quantidade de dias que choveu durante os meses de 2016. Pela falha na quantificação dos dados de precipitação, os meses de janeiro, fevereiro, março e julho não são apresentadas, no DAZFM. Na RDSU, também teve falha na quantificação dos dias com PP nos meses de outubro e novembro. Houve mais episódios de precipitação na região da floresta primária (RSDU) em comparação à floresta secundária (DAZFM).

### 3.2 Fluxos de Radiação

Nesta Seção, analisam-se dois componentes do balanço de radiação, a saber: radiação de ondas curtas incidente,  $SW_{in}$ , e saldo de radiação,  $R_n$ . Nas Figuras 3.5 e 3.6, apresentam-se os perfis médios diários dessas componentes para as estações chuvosa e seca para ambos sítios citados.

Na Figura 3.5, observa-se que, durante a estação chuvosa, há um baixo índice (máximo médio) do saldo de radiação,  $R_n$ , e radiação de ondas curtas incidente,  $SW_{in}$ , de respectivamente, 534 e 691 W / m<sup>2</sup> por conta da maior liberação de calor latente e a presença de nebulosidade, diminuindo, assim, a chegada da radiação solar na vegetação da região. Na estação seca, em razão de uma menor taxa de nebulosidade, pela redução de precipitação, concentração de vapor de água e nebulosidade, a entrada de radiação solar no ecossistema é facilitada, aumentando a radiação de ondas curtas incidente, com máximos em torno de 709, para  $R_n$  e 857 W / m<sup>2</sup>, para  $SW_{in}$ .

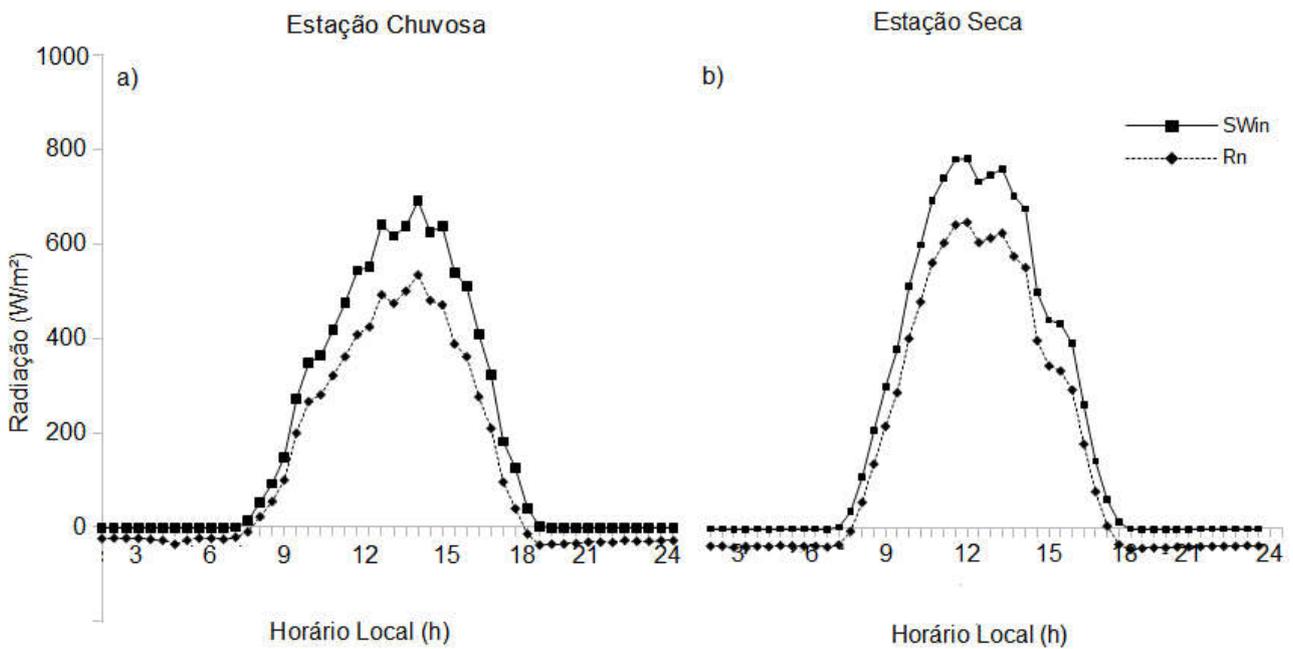


Figura 3.5 – Perfis médios diários de radiação de ondas curtas incidente e saldo de radiação para as estações chuvosa (a) e seca (b) no sítio de floresta da RDSU.

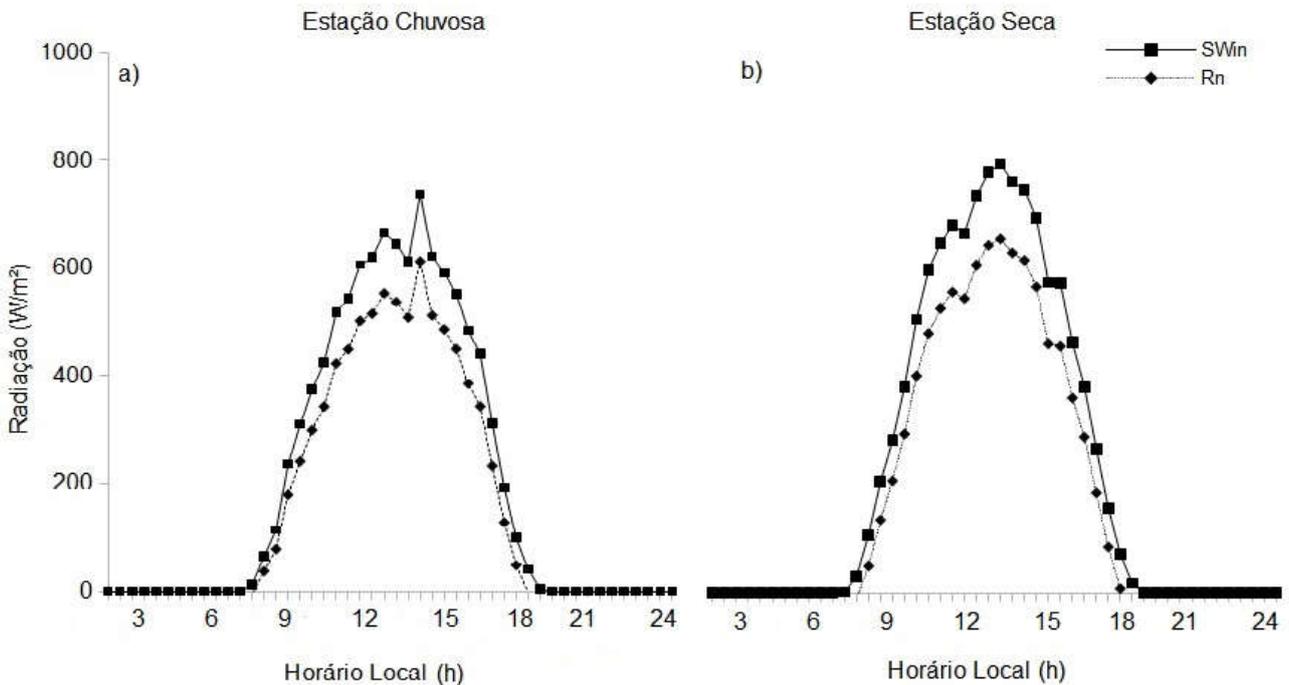


Figura 3.6 – Perfis médios diários de radiação de ondas curtas incidentes e saldo de radiação para as estações chuvosa (a) e seca (b) no sítio de floresta do DAZFM.

Na Figura 3.6, verifica-se que não há muita diferença entre os índices do  $R_n$  e  $SW_{in}$  nas duas estações. Na estação chuvosa, o saldo de radiação e a radiação de ondas curtas atingiram, máximos médios de 613 e 737  $W / m^2$ , respectivamente, pois em uma floresta secundária ocorre pouca evapotranspiração, reduzindo, portanto, a precipitação e a nebulosidade. O mesmo ocorre na estação seca, porém mais intensificado, de forma que  $R_n$  e  $SW_{in}$  alcançam máximos médios respectivamente de, 633 e 767  $W / m^2$ , notando-se, então, a pouca variação dos dois fluxos entre as estações.

### 3.3 Fluxos de Calores Sensível e Latente

O comportamento de  $H$  e  $LE$  na RDSU pode ser visualizado na Figura 3.7.  $H$ , atinge máximos médios de, aproximadamente, 133  $W / m^2$ , na estação chuvosa, enquanto que para a estação seca tem-se um aumento para 271  $W / m^2$ . Da mesma forma,  $LE$ , durante a estação chuvosa, atinge o máximo médio de 382  $W / m^2$  e, na estação seca, de 477  $W / m^2$ .

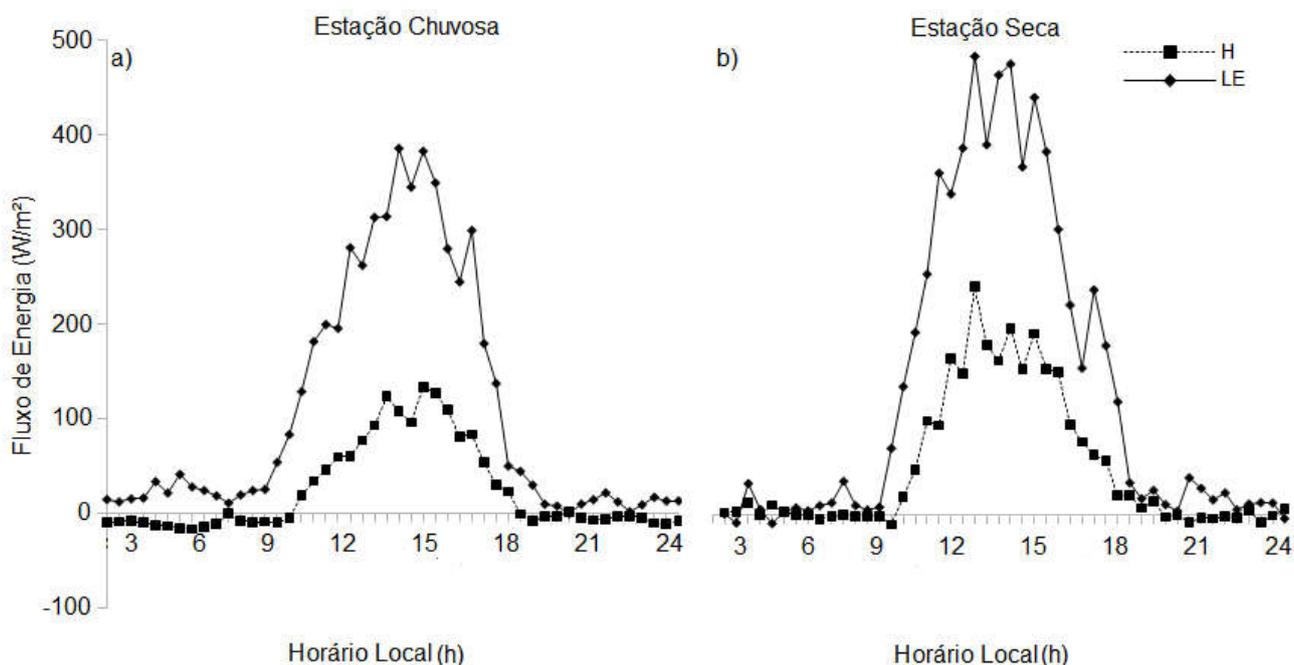


Figura 3.7 – Perfis médios horários dos fluxos de calor sensível e latente para as estações chuvosa (a) e seca (b) no sítio de floresta da RDSU.

Na Figura 3.8, como  $R_n$ , no DAZFM é pouco modificado entre as estações, logo é pouco alterado o comportamento dos fluxos de calor sensível e latente nesses dois períodos.  $H$  e  $LE$ , no período chuvoso, chegam a máximos médios de, 124 e 457  $W / m^2$ , respectivamente. Na estação seca, tem-se redução no máximo de  $H$ , por volta de 96  $W / m^2$  e um pouco de aumento no  $LE$ , em torno de 497  $W / m^2$ .

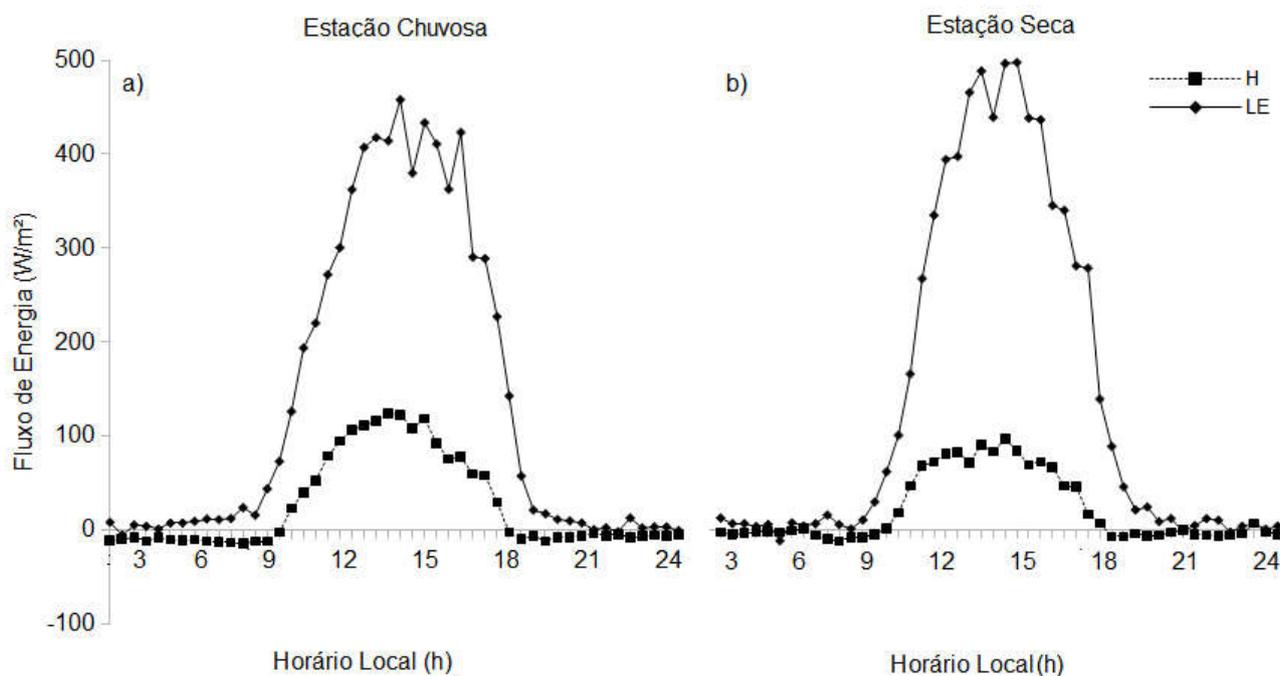


Figura 3.8 – Perfis médios horários dos fluxos de calor sensível e latente para as estações chuvosa (a) e seca (b) no sítio de floresta do DAZFM.

### 3.4 Fluxo de Calor no Solo e Armazenamento de Energia

Na Figura 3.9,  $S$  e  $G$ , durante a estação chuvosa, apresentaram máximos médios de, respectivamente, 82 e 2  $W / m^2$  e os mínimos em cerca de,  $-106$  e  $-2,5$   $W / m^2$ . Ao decorrer da estação seca atingem, cerca de 134 e 3  $W / m^2$ , tendo um considerável aumento em seus mínimos, para cerca de  $-78$  e  $-3,2$   $W / m^2$ , respectivamente.

Na Figura 3.10,  $S$  e  $G$  não apresentam as mesmas variações da Figura 3.9. No DAZFM, durante a estação chuvosa, os máximos médios chegaram a, respectivamente, 17 e 3  $W / m^2$ ; durante a estação seca, em torno de 25 e 5  $W / m^2$ , respectivamente.

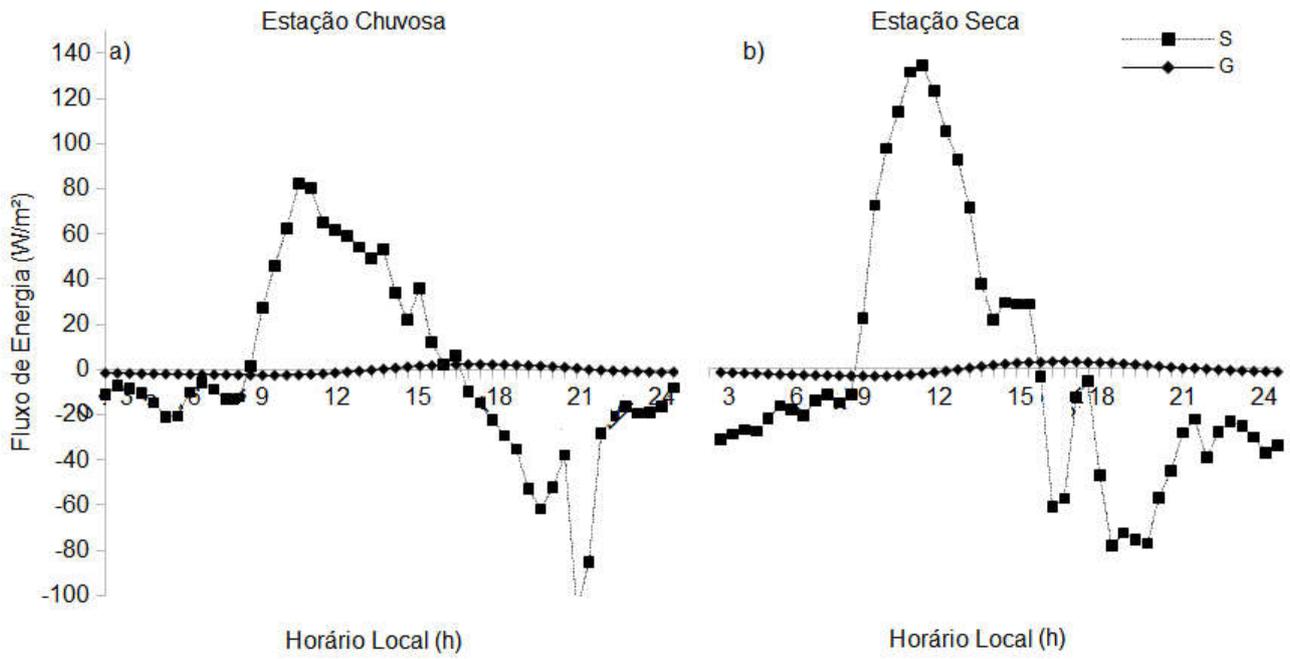


Figura 3.9 – Perfis médios horários dos fluxos do solo e armazenamento de energia para as estações chuvosa (a) e seca (b) no sítio de floresta da RDSU.

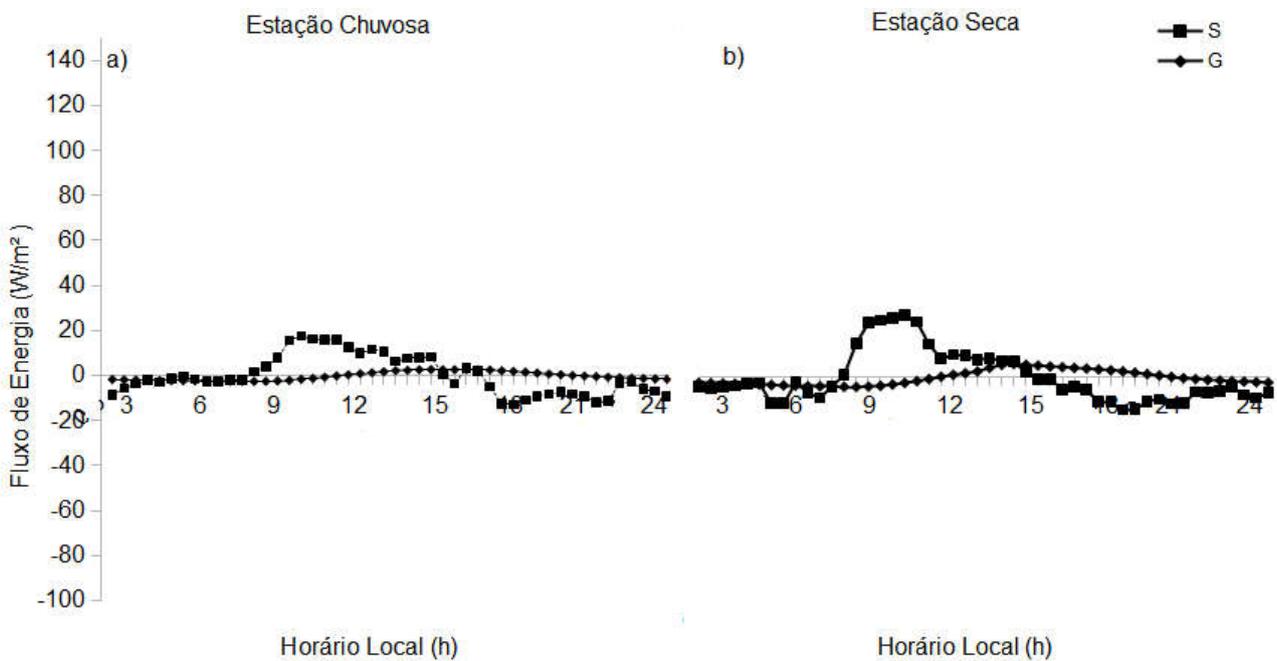


Figura 3.10 – Perfis Médios horários dos fluxos do solo e armazenamento de energia para as estações chuvosa (a) e seca (b) no sítio de floresta do DAZFM.

Comparando as Figuras 3.9 e 3.10, nota-se que o armazenamento é maior na RDSU, especialmente na estação seca, por possuir maior volume de biomassa, logo, o armazenamento de energia é maior e, no DAZFM, tem-se pouca energia estocada na biomassa, pois é uma área recultivada, após uma grande perturbação e, por isso, possui menos árvores grandes que um ecossistema arborizado.

### 3.3 Balanço de Energia em Superfície

As Figura 3.11 e 3.12 apresentam os perfis médios horários de  $R_n$ ,  $H$ ,  $LE$ ,  $S$  e  $G$ , para cada estação e os dois sítios estudados, para os dias selecionados. Uma vez que foram descritas e discutidas as características para todos esses fluxos nas Seções 3.2, 3.3 e 3.4, esta Seção concentra-se na análise da partição e do balanço de energia para os sítios e períodos considerados.

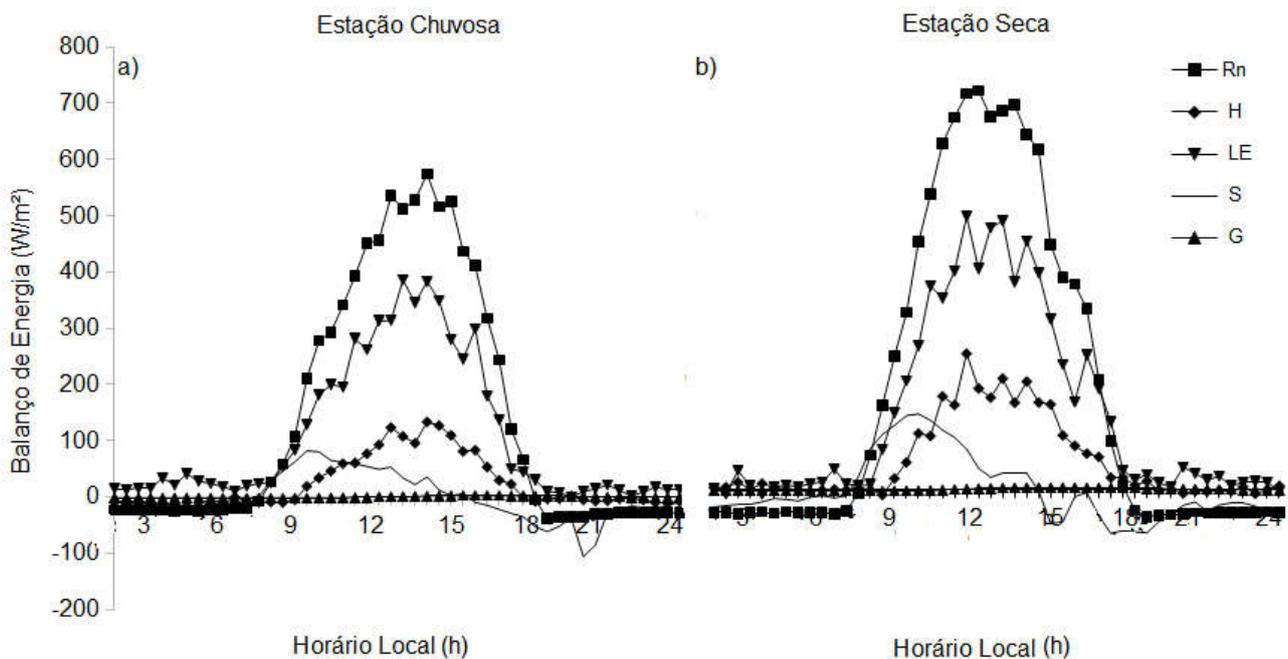


Figura 3.11 - Perfis médios horários do balanço de energia para as estações chuvosa (a) e seca (b) no sítio de floresta da RDSU.

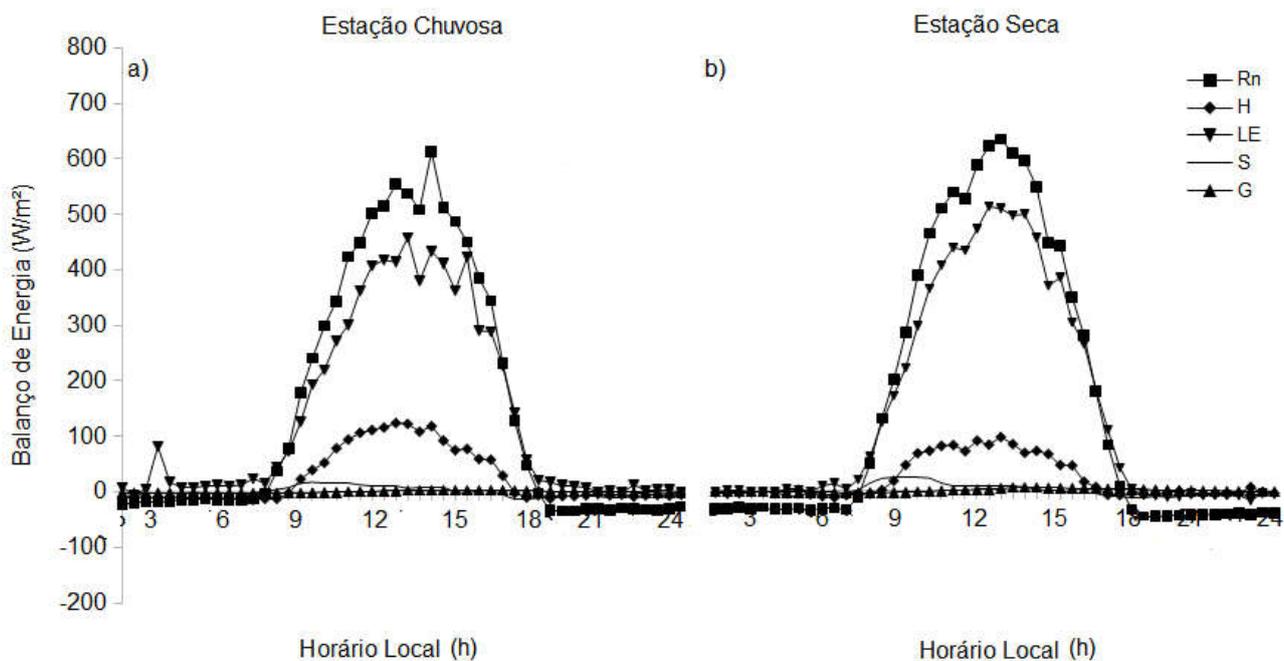


Figura 3.12 - Perfis médios horários do balanço de energia para as estações chuvosa (a) e seca (b) no sítio de floresta do DAZFM.

As razões do somatório de cada fluxo não-radiativo, ( $H$ ,  $LE$ ,  $S$  e  $G$ ) são apresentadas na Tabela 3.2, a fim de exibir o particionamento do  $R_n$  nos componentes do BES, para a RDSU e o DAZFM, durante as estações chuvosa e seca. Retiram-se os dados noturnos com o intuito de minimizar o problema no fechamento do balanço de energia, visto na Seção 1.3.

Tabela 3.2 – Partição e razão do balanço de energia, nas estações chuvosa e seca, na RDSU e DAZFM.

Local	Estação Chuvosa					Estação Seca				
	$H/R_n$	$LE/R_n$	$S/R_n$	$G/R_n$	$E_{BR}$	$H/R_n$	$LE/R_n$	$S/R_n$	$G/R_n$	$E_{BR}$
	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%
RDSU	18	64	09	0,0	91	25	63	9,0	0,0	97
DAZFM	19	80	01	0,0	100	13	77	2,0	0,0	92

De acordo com Tabela 3.2, a floresta utilizou a maior parte do saldo de radiação, durante o período diurno, para o fluxo de calor latente, na RDSU e no DAZFM para a estação chuvosa, de forma que a razão  $LE/R_n$  ficou, respectivamente, em torno de 64 e 80% enquanto que 18 e 19% da energia total de  $R_n$  foi direcionada para a turbulência

térmica utilizada para o aquecimento da atmosfera acima do dossel da floresta, isto é,  $H / R_n$ . Na estação seca, para os dois sítios  $LE / R_n$  ficou, respectivamente, em torno de 63 e 77%, e para, o fluxo de calor sensível, foram conduzidos cerca de 25 e 13% da energia total. É interessante notar que as partições entre  $H / R_n$  e  $LE / R_n$  foram diferentes para os dois sítios. Da estação chuvosa para a seca  $H / R_n$  cresce e  $LE / R_n$  decresce na RDSU e no DAZFM,  $H / R_n$  e  $LE / R_n$  decrescem. Ainda no DAZFM, durante a estação chuvosa houve o fechamento do balanço de energia, logo o  $LE / R_n$  foi superestimado e deveria está abaixo de 77%.

Nas Figura 3.13 e 3.14, apresentam-se regressões lineares entre a soma dos fluxos não-radiativos,  $H + LE + S + G$ , e o saldo de radiação,  $R_n$ , para o ano de 2016, fazendo uso de valores diurnos e noturnos, em separado, para as estações chuvosa e seca.

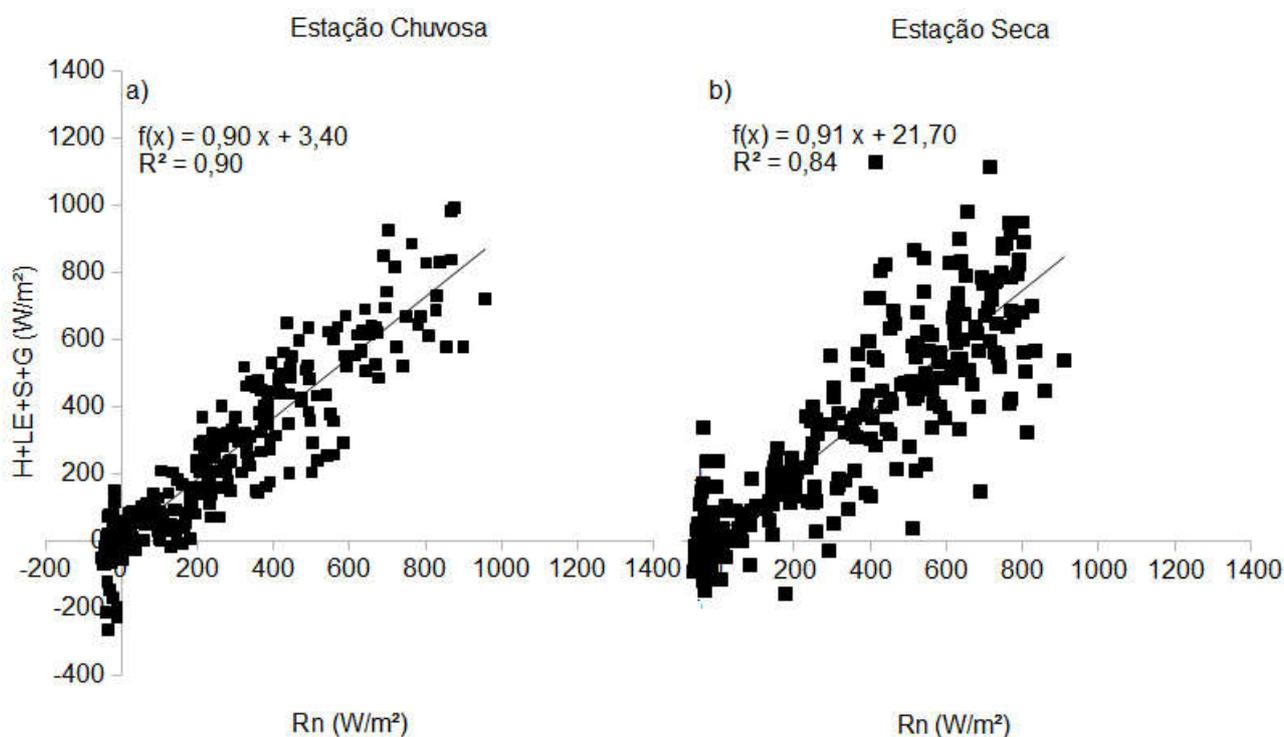


Figura 3.13 – Fechamento do balanço de energia por meio da regressão linear para as estações chuvosa (a) e seca (b) no sítio de floresta da RDSU.

Na Figura 3.13, constata-se que os fechamentos do balanço de energia para as estações chuvosa (a) e seca (b) no sítio de floresta da RDSU foram satisfatórios, verificando-se os coeficientes de determinação ( $R^2$ ); através dessa observação, o melhor fechamento do BES ocorreu durante a estação chuvosa quando comparada a estação seca, de modo que  $R^2$ , coeficientes linear e angular resultaram-se em, respectivamente,

0,90, 0,90 e 3,40. Durante a estação seca, os mesmos coeficientes atingiram 0,84 0,91 e 21,70. Nota-se também uma maior dispersão dos dados nessa estação, mostrando menor dependência entre os fluxos de energia.

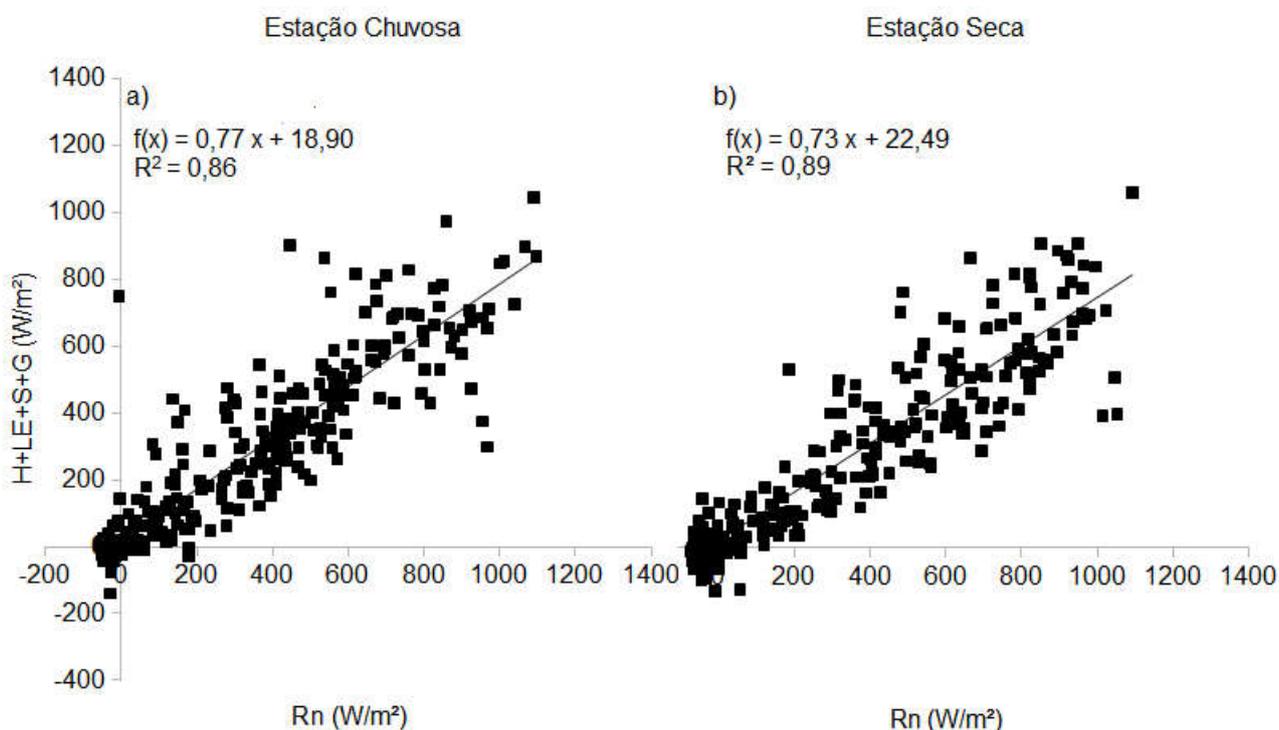


Figura 3.14 – Fechamento do balanço de energia por meio da regressão linear para as estações chuvosa (a) e seca (b) no sítio de floresta do DAZFM.

Na Figura 3.14, observa-se que os fechamentos do balanço de energia para as estações chuvosa (a) e seca (b) no sítio de floresta do DAZFM foram satisfatórios; por meio dessa verificação, o melhor fechamento do BES ocorreu durante a estação seca, de forma que os coeficientes de determinação, linear e angular foram, respectivamente, 0,89, 0,73 e 22,49, e houve maior dispersão de dados. Durante a estação chuvosa, os mesmos coeficientes alcançaram 0,86 0,77 e 18,90, respectivamente, ambas mostraram dispersão, sendo mais evidente na estação chuvosa.



## CONSIDERAÇÕES FINAIS

Por meio dessa análise observacional, verificou-se que os fluxos de energia variam de acordo com tipo de vegetação presente no ambiente avaliado. No caso desse estudo, em que foi feita a comparação entre uma floresta intacta e outra que foi desmatada (e no momento está em crescimento), verificou-se que a alteração do bioma florestal (que ocorre há muito tempo e em várias regiões da Amazônia) afeta a biodiversidade e aumenta a variação dos processos climáticos, em diferentes escalas temporais. Com a redução da vegetação, diminuiu-se a água disponível para a evapotranspiração, reduzindo a formação de nuvens e resultando em uma floresta mais seca, como ocorreu no DAZFM.

O impacto no fluxo de calor sensível decorre do efeito da redução da umidade do solo associada à redução da precipitação (LYRA, 2015). Esperava-se esse impacto no DAZFM, especialmente, durante a estação seca. Porém, verificou-se que, durante o período diurno, em torno de 13 % da energia do saldo de radiação ( $R_n$ ) foi utilizada no aquecimento da atmosfera ( $H$ ) e 77 % para processo de evapotranspiração ( $LE$ ). Tais valores foram inferiores quando comparados aos da estação chuvosa, em que ( $H / R_n$ ) e ( $LE / R_n$ ) alcançaram, respectivamente, 19 % e 80 %, indicando presença de umidade no solo.

Os resultados deste trabalho ajudam a caracterizar os fatores abióticos em áreas de uma floresta primária e secundária, podendo ser utilizados para a melhora em modelos de interação entre o solo, vegetação e atmosfera.

A fim de aprimorar os resultados apresentados neste trabalho, sugere-se, para trabalhos futuros:

- a) Incluir, na análise do balanço de energia, o fluxo de carbono e observar a liberação e o armazenamento dessa componente na biomassa da RDSU e do DAZFM;
- b) Avaliar a razão entre a radiação refletida pela superfície e a radiação incidente para obter índices de albedo, para as duas regiões estudadas neste trabalho;
- c) Apresentar a partição do armazenamento de energia entre as componentes da biomassa, umidade específica e séries de temperatura do ar.



## REFERÊNCIAS

ANDREAE, M. O. *et al.* Carbon monoxide and related trace gases and aerosols over the Amazon Basin during the wet and dry seasons. *Atmospheric Chemical and Physics*, v. 12, p. 6041-6055, 2012.

ANDREAE, M. O. The Amazon Tall Tower Observatory (ATTO): Overview of pilot measurements on ecosystem ecology, meteorology, trace gases, and aerosols. *Atmospheric chemistry and physics*. v. 15, p. 10723-10776, 2015.

ARAÚJO, A. C.; NOBRE, A. D.; KRUIJT, B.; ELBERS, J. A.; DALLAROSA, R.; STEFANI, P.; VON RANDOW, C.; MANZI, A. O.; CULF, A. D.; GASH, J. H. C.; VALENTINI, R.; KABAT, P. Comparative measurements of carbon dioxide fluxes from two nearby towers in a central Amazonian rainforest: the Manaus LBA site. **Journal of Geophysical Research**, v. 107, n. D20, p. 58-1–58-20, Sep./Oct. 2002.

ARYA, S. P. **Introduction to micrometeorology**. San Diego: Academic Press, 2001.307p.

AYRES, J. 1995. *As matas de várzea do Mamirauá*. CNPq, Brasília. 123 pp.

BALDOCCHI, D.D., 2003. Assessing the eddy covariance technique for evaluating carbon dioxide exchange rates of ecosystems: past, present and future. *Global Change Biol.* 9, 479–492.

CULF, A. D.; FOKEN, T.; GASH, J. H. C. The energy balance closure problem. In: KABAT, P.; CLAUSSEN, M.; DIRMEYER, P. A.; GASH, J. H. C.; GUENNI, L. B.Ç MEYBECK, H.; PIELKE, R. A.; VÖRÖSMARTY, C.; HUTJES, R. W. A.; LÜTKEMEIER, S. (Ed.). **Vegetation, water, humans and the climate: a new perspective on an interactive system**. Berlin: Springer, 2004. cap. B.2, p. 159-166.

FARIAS, A. A. Análise de albedo nos períodos seco e chuvoso em diferentes ecossistemas da amazônia. 2019. Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia. 2019.

FERNANDES, P. E. Estudo das propriedades químicas e físicas dos aerossóis submicrométricos na Amazônia Central. 2018. Dissertação (Mestrado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Clima e Ambiente) - Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia – Universidade do Estado do Amazonas, Manaus. 2018.

GASH, J. H. C.; NOBRE, C. A. Climatic effects of amazonian deforestation: some results from ABRACO. *Bull. Amer. Meteor. Soc.*, v.78, p. 823-830, 1997.

HARTMANN, D. L. 1994. *Global physical climatology*. New York: Academic Press. 411 pp.

HOLTON, J. R. **An Introduction to Dynamic Meteorology**. San Diego: Elsevier Academic Press, 2004. 535 p.

HIGUCHI, N. 2004. *Noções básicas sobre manejo florestal*. Grupo de pesquisas em manejo florestal/INPA. 164 pp.

HIGUCHI, N.; SANTOS, J; RIBEIRO, R.J.; MINETTE, L.; BIOT, Y. Biomassa da parte aérea da vegetação da floresta tropical úmida de terra firme da Amazônia brasileira. **Acta Amazonica**, v. 28, n. 2, p. 153-166, jun. 1998.

INMET, 2016. Panorama geral das condições meteorológicas e os principais eventos extremos significativos ocorridos no Brasil em 2016, Coordenação-Geral de Meteorologia Aplicada, Desenvolvimento e Pesquisa (CGMADP).

LYRA, A. A. **Estudo de vulnerabilidade de bioma Amazônia aos cenários de mudanças climáticas**. 2015. (INPE-08.11.12.03-TDI). Tese (Doutorado em Ciência do Sistema Terrestre) - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos. 2015.

LEE, X. On micrometeorological observations of surface-air exchange over tall vegetation. **Agricultural and Forest Meteorology**, v. 91, n. 1-2, p. 39-49, May 1998.

PROGRAMA DE GRANDE ESCALA DA BIOSFERA-ATMOSFERA NA AMAZÔNIA, L. B. A. Relatório de torres, 2012. Instituto Nacional de Pesquisa da Amazônia

MATOS, M.C.R; CANDEIAS BEZERRA, L.A; AZEVEDO, G.R.J. 2016. Estimativas do saldo de radiação instantâneo no entorno do reservatório de Itaparica-PE com uso de imagens orbitais. *Revista Brasileira de Cartografia*, 3: 641-654

MICHILES, A. A. S. **Taxas de armazenamento térmico na biomassa e balanço de energia em superfície para áreas de floresta de terra firme na Amazônia.** 2009. (INPE-15771-TDI/1514). Tese (Doutorado em Meteorologia) - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos. 2009.

MICHILES, A. A. S.; GIELOW, R. Above-ground thermal energy storage rates, trunk heat fluxes and surface energy balance in a central Amazonian rainforest. **Agricultural and Forest Meteorology**, v. 148, n. 6-7, p. 917-930, Jun. 2008.

MONCRIEFF, J.B., MAHLI, Y., LEUNING, R., 1996. The propagation of errors in long-term measurements of land-atmosphere fluxes of carbon and water. *Glob. Change Biol.* 2, 231-240.

NASCIMENTO, H. E. M. & W. F. LAURANCE, 2004. Biomass dynamics in amazonian forest fragments. *Ecological Applications* 14(4): S127-S138.

NOBRE, A. C.; MARENGO, A. J. Tempo e clima no Brasil. 2019, p 197-212. São Paulo: Oficina de Texto, 2009.

RAY, D., D. NEPSTAD & P. MOUTINHO, 2005. Micrometeorological and canopy controls of fire susceptibility in a forested Amazon landscape. *Ecological Applications* 15(5): 1664-1678.

ROCHA, H. R.; GOULDEN, M. L.; MILLER, S. D.; MENTON, M. C.; PINTO, L. D. V. O.; FREITAS, H. C.; FIGUEIRA, A. M. S. Seasonality of water and heat fluxes over a tropical

forest in Eastern Amazonia. **Ecological Applications**, v. 14, n. 4, p. S22-S32, 2004.

OLIPHANT, A. J.; GRIMMOND, C. S. B.; ZUTTER, H. N.; SCHMID, H. P.; SU, H. B.; SCOTT, S. L.; OFFERLE, B.; RANDOLPH, J. C.; EHMAN, J. Heat storage and energy balance fluxes for a temperate deciduous forest. **Agricultural and Forest Meteorology**, v. 126, n. 3-4, p. 185-201, Nov. 2004.

THOMAS, C.; FOKEN, T. Flux contribution of coherent structures and its implications for the exchange of energy and matter in a tall spruce canopy. **Boundary-Layer Meteorology**, v. 123, n. 2, p. 317-337, May 2007.

SEARS, F. W.; SALINGER, G. L. **Thermodynamics, Kinetic Theory, and Statistical Thermodynamics**. New York: Addison-Wesley, 1975. 404 p.

VERA, C. S.; BAEZ, J.; DOUGLAS, M.; EMMANUEL, C. B. MARENGO, J. A.; MEITIN, J. et al. The south american low-level jet experiment. *Bull. Amer. Meteor. Soc.*, v.87, n.1, p.63-77, 2006a.

VIANELLO L. R.; ALVES, R. A. *Meteorologia Básica e Aplicações*. 2012, p.460. ISBN: 9788572694322.

VON RANDOW, C.; MANZI, A. O.; KRUIJT, B.; OLIVEIRA, P. J.; ZANCHI, F. B.; SILVA, R. L.; HODNETT, M. G.; GASH, J. H. C.; ELBERTS, J. A.; WATERLOO, M. J.; CARDOSO, F. L.; KABAT, P. 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. 1-3, p. 5-26, 2004.

WILSON, K.; GOLDSTEIN, A.; FALGE, E.; AUBINET, M.; BALDOCCHI, D.; BERBIGIER, P.; BERNHOFER, C.; CEULEMANS, R.; DOLMAN, H.; FIELD, C.; GRELLER, A.; IBROM, A.; LAW, B. E.; KOWALSKI, A.; MEYERS, T.; MONCRIEFF, J.; MONSON, R.; OECHEL, W.; TENHUNEN, J.; VALENTINI, R.; VERMA, S. Energy balance closure at FLUXNET sites. **Agricultural and Forest Meteorology**, v. 113, n. 1-4, p. 223-243, Dec. 2002.