



MINISTÉRIO DA CIÊNCIA, TECNOLOGIA, INOVAÇÕES E COMUNICAÇÕES
INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS

**AVALIAÇÃO DA EVAPOTRANSPIRAÇÃO REGIONAL NO REGIME DE
PRECIPITAÇÃO DA AMAZÔNIA**

Rita de Cássia da Conceição Santos

Relatório de trabalho de Iniciação Científica do
Programa PIBIC, orientado pelos Drs.
Antonio Ocimar Manzi
Demerval Soares Moreira

INPE
São José dos Campos
2022

RESUMO

Este trabalho tinha como objetivo avaliar o papel da evapotranspiração da floresta no regime de precipitação da Amazônia, por meio do emprego do modelo atmosférico regional Brazilian developments on the Regional Atmospheric Modelling System (BRAMS) acoplado com o modelo de vegetação dinâmica Joint UK Land Environment Simulator (JULES) e de dados observados de variáveis ambientais e de fluxos turbulentos de quantidade de movimento, massa e energia em uma área de floresta de terra-firme e de uma pastagem na Amazônia, com ênfase na calibração do modelo JULES para simular de maneira realista as componentes dos balanços de radiação, de energia e hídrico à superfície. Em uma fase posterior, as calibrações realizadas com o modelo JULES e os dados observados seriam utilizadas em simulações do clima da Amazônia nas condições atuais e em cenários de mudanças de cobertura e uso da terra (cenários de desflorestamento) com o objetivo de aprofundar os conhecimentos sobre o papel da reciclagem regional da precipitação por meio da evapotranspiração.

Entretanto, devido à necessidade de interromper o trabalho antes do prazo previsto, as análises de calibração e desempenho do modelo JULES foram feitas para a área de floresta unicamente. Porém, constatou-se que a série de dados observados disponíveis contém falhas de medidas (períodos sem observações) e também inconsistências, como valores de precipitação muito baixos, em particular, para o mês de maio de 2018.

Apesar desses problemas, foi possível configurar o modelo JULES para representar a interação da floresta com a atmosfera obtendo-se valores realistas das componentes dos balanços de radiação, como radiação solar refletida e radiação de onda longa emitida, de energia, como os fluxos de calor sensível e latente (evapotranspiração) e hídrico, como escoamento superficial e profundo.

Neste relatório, essas componentes são apresentadas em valores médios anuais, mensais e seus ciclos diurnos médios para condições de estação chuvosa e seca.

LISTA DE FIGURAS

<u>Figura 3.1- Balanço de radiação</u>	<u>14</u>
<u>Figura 3.2- Balanço de energia</u>	<u>14</u>
<u>Figura 3.3- Balanço hídrico</u>	<u>15</u>
<u>Figura 3.4- Balanço de radiação: ciclo diurno médio de março (linha pontilhada) e setembro (linha contínua) de 2018</u>	<u>15</u>
<u>Figura 3.5 - Partição de evapotranspiração: ciclo diurno médio de março (linha pontilhada) e setembro (linha contínua) de 2018</u>	<u>16</u>

LISTA DE TABELAS

<u>Tabela 2.1 variáveis utilizadas como forçantes meteorológicas do JULES</u>	<u>10</u>
<u>Tabela 3.1 Componentes de balanço de radiação média anual</u>	<u>12</u>
<u>Tabela 3.2 Componentes de energia média anual</u>	<u>13</u>
<u>Tabela 3.3 Componentes do balanço hídrico anual</u>	<u>13</u>
<u>Tabela 3.4 Componentes do balanço de carbono</u>	<u>13</u>

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

SOLAR INC - onda curta incidente

OL INC- Onda longa incidente

OL EMIT- onda longa emitida

SOL REFL- onda curta refletida

RN- Saldo de Radiação

H- Fluxo de calor sensível

LE- Fluxo de calor latente

G- Fluxo de calor no solo

PREC- Precipitação

TRANSP+SOLO- Transpiração no solo

SW_DOWN- Onda curta incidente

SW_UP- onda curta refletida

LW_DOWN- onda longa emitida

LW_UP- Onda longa refletida

SUMÁRIO

<u>Introdução</u>	<u>7</u>
<u>1.1. Objetivo Geral (original do plano de trabalho)</u>	<u>9</u>
<u>1.2. Objetivo específico (original do plano de trabalho)</u>	<u>9</u>
<u>Desenvolvimento</u>	<u>9</u>
<u>Resultados</u>	<u>11</u>
<u>Discussão dos Resultados</u>	<u>16</u>
<u>Conclusão</u>	<u>18</u>
<u>Referências bibliográficas</u>	<u>19</u>
<u>Agradecimentos</u>	<u>21</u>

1. Introdução

A quantificação da evapotranspiração regional no regime de chuvas da Amazônia é um tema que desafia a comunidade científica há mais de meio século. Lettau et al. (1979) estimaram que a reciclagem da precipitação pela evapotranspiração varia de 16% no Leste a 47% no oeste da região, enquanto Salati e Vose (1984) estimaram que a evapotranspiração regional contribui com mais de 50% da precipitação sobre a região, enquanto Elthair e Bras (1994) estimaram essa contribuição em 25%. Por outro lado, Angelini et al. (2011) afirmam que a evapotranspiração regional tem papel secundário no regime de chuvas da Amazônia. Trabalhos observacionais, como o de Randow et al. (2004), mostram uma redução de 20% na estação chuvosa, de janeiro a março, e de 40% na estação seca, de julho a setembro, da evapotranspiração da pastagem em comparação com a evapotranspiração da floresta no Sudoeste da Amazônia. Entretanto, estudos feitos com modelos meteorológicos estimam que a precipitação regional aumenta até um certo limiar de área desmatada e, com o aumento do desmatamento, é reduzida em relação à climatologia atual (Avisar et al., 2002; Oliveira, 2007; Correia et al., 2008). Alterações causadas pelo desmatamento para a implantação de pastagens ou cultivos de culturas agrícolas na Amazônia podem afetar diretamente o clima regional através das alterações das propriedades biofísicas da cobertura superficial. Quatro características da superfície são modificadas: o albedo, a profundidade das raízes, a rugosidade e o índice de área foliar (Costa, 2005). Segundo (Oliveira et al., 2007), se a floresta amazônica for totalmente substituída por pastagem, haverá uma redução na precipitação de cerca de 5 a 20%, e uma diminuição na evapotranspiração de cerca de 30%, aumentando assim a temperatura de 0,3 a 3°C, além de um período de seca mais prolongada na região amazônica, demonstrando assim, um impacto local e regional no clima. Neste trabalho, utilizar-se-ia um modelo regional acoplado com um esquema de processos de superfície, ambos no estado-da-arte, para avaliar a influência da modificação de cada uma das características da vegetação no regime de chuvas da Amazônia, com ênfase nas estações chuvosa e seca da região. O modelo atmosférico regional Brazilian developments on the Regional Atmospheric Modelling System, (BRAMS - FREITAS et al., 2017), simula diversos processos, tais como interações da superfície-ar, turbulência, convecção, radiação e microfísica das nuvens e tem como

principal objetivo a representação numérica dos processos físicos que acontecem nas regiões tropicais e subtropicais (FERRADA et al., 2015). O modelo Joint UK Land Environment Simulator (JULES - BEST et al., 2011; CLARK et al., 2011) é um simulador de ambiente terrestre, solo e vegetação, e permite simular diferentes processos da superfície, como o seu balanço de energia, ciclo hidrológico, ciclo do carbono, vegetação dinâmica etc. (MOREIRA et al., 2013). O modelo BRAMS está acoplado ao esquema de vegetação dinâmica JULES, podendo assim simular inúmeros processos físicos que ocorrem na superfície e na atmosfera. Dessa forma, neste trabalho o modelo JULES seria calibrado para dois sítios experimentais, um com cobertura do solo tipo floresta e o outro tipo pastagem. Os ajustes realizados com o JULES offline seriam aplicados ao JULES acoplado ao BRAMS para assim realizar com esse modelo a análise da evaporação e transpiração da Amazônia no regime de precipitações ao longo de um ano. O modelo JULES é considerado estado-da-arte em termos de representações dos processos de superfície, com modernas formulações capazes de simularem grande número de processos que ocorrem em superfície, incluindo: fluxos de calor sensível e latente, albedo da superfície, radiação de onda longa emergente, umidade do solo, vegetação dinâmica, estoque de carbono, parametrização urbana, fotossíntese e respiração das plantas. Ele divide a superfície terrestre em *grid boxes* (ponto de grade), os quais podem ser ocupados por um número de tipos funcionais de plantas (PFT's) e tipos não funcionais (NPFT's). Na versão 6.0 do JULES até 9 PFT's e até 4 NPFT's podem ocupar um *grid box*. O modelo JULES adota uma estrutura de *tiles* (particionamentos de um ponto de grade), em que os processos de superfície são calculados separadamente para cada tipo de superfície e posteriormente os fluxos para o *grid box* são obtidos em função de uma média ponderada. O modelo JULES possui diversos parâmetros que podem variar em função da localidade, tipo de cobertura, textura e umidade do solo, altura do dossel, albedo e índice de área foliar, entre outros. Assim, esses parâmetros têm que ser medidos ou calibrados, para que o modelo consiga simular bem processos físicos associados.

Porém, com a interrupção antes do tempo, previsto em 24 meses, foi possível fazer a calibração do modelo JULES somente para a cobertura de floresta, cujos resultados são apresentados de maneira sintetizada neste relatório.

1.1. Objetivo Geral (original do plano de trabalho)

Avaliar o papel da evapotranspiração da floresta no regime de precipitação da Amazônia, por meio do emprego do modelo atmosférico regional Brazilian developments on the Regional Atmospheric Modelling System (BRAMS) acoplado com o modelo de vegetação dinâmica Joint UK Land Environment Simulator (JULES)

1.2. Objetivo específico (original do plano de trabalho)

calibrar o esquema de vegetação dinâmica JULES com dados observados de variáveis ambientes e fluxos de calor latente e sensível para os ecossistemas de floresta de terra-firme e pastagem na Amazônia

Porém, como descrito acima, a calibração foi realizada somente para o ecossistema de floresta.

2. Desenvolvimento

O papel da evapotranspiração no regime de chuva da Amazônia ainda hoje não é totalmente conhecido. Essa dificuldade advém das grandes dimensões e características dos biomas e do papel dos oceanos no clima da região amazônica (LEJEUNE et al., 2015).

Houve nas últimas décadas a substituição de parte dos ecossistemas de floresta da Amazônia por pastagens e outros tipos de cultura agrícola que modificam o balanço de energia e hídrico (RANDOW et al., 2004).

Uma das consequências ocasionadas por essa substituição de floresta por pastagem é a alteração no balanço de radiação à superfície, com o aumento da refletividade da radiação solar incidente (Feitosa, 1996), que pode causar impactos nas circulações de monção na região.

Apesar da diminuição da absorção de radiação solar, as áreas de pastagens apresentam maior amplitude térmica diária em comparação com a floresta, principalmente na estação seca (NOBRE et al, 1991).

Isso se deve a outras diferenças entre florestas e vegetação de pastagem ou culturas agrícolas anuais, tais como a profundidade das raízes, o índice de área foliar e a rugosidade da superfície, que são muito maiores na floresta.

O índice de área foliar menor tem impacto na diminuição da evapotranspiração da vegetação que substituiu a floresta, enquanto que a menor profundidade das raízes diminui o reservatório de água ao qual as plantas têm acesso, que é mais crítico na estação mais seca do ano (SHUTTLEWORTH et al., 1984; WRIGHT et al., 1992; RANDOW et al., 2004).

A torre micrometeorológica LBA/K34, localizada em Manaus - AM, faz parte do Experimento de Larga Escala da Biosfera-Atmosfera na Amazônia (LBA). Está instalada em uma região de mata densa de floresta tropical (60,208 W; 2,608 S). Nela foram realizadas observações de variáveis atmosféricas e de fluxos de energia desde junho de 1999. Também faz parte do projeto LBA a torre instalada na Fazenda Nossa Senhora em Ji-Paraná - RO, em uma área coberta por pastagem (62,358 W ; 10,762 S). Nessa torre foram realizadas medidas de variáveis atmosféricas e de fluxos desde fevereiro de 1999.

Para a calibração do modelo JULES é necessário fornecer as variáveis atmosféricas descritas na Tabela 1. Estas variáveis precisam estar disponibilizadas em uma tabela com uma certa frequência temporal, por exemplo, a cada 30 minutos, sem conter nenhuma falha no período em que se pretende realizar a simulação.

Tabela 2.1 variáveis utilizadas como forçantes meteorológicas do JULES

Variáveis	Unidade
Radiação de Onda Curta Incidente	W/m ²
Radiação de Onda Longa Incidente	W/m ²
Precipitação	kg/m ² /s
Temperatura do Ar	K
Velocidade do Vento	m/s
Pressão Atmosférica	Pa
Umidade Específica	kg/kg

Fonte: Santos, 2022

Para cada uma das duas localidades, os dados observados foram analisados de forma a encontrar um período de um ano em que eles não possuem falhas. Entretanto, somente os dados do ano de 2018 da torre micrometeorológica LBA/K34 foram realmente utilizados neste trabalho.

A fração de cobertura do solo foi considerada como sendo 100% de floresta tropical, com textura do solo argilosa, índice de área foliar igual a 6 e o perfil de umidade do solo inicial observado em 01 de janeiro de 2018.

O modelo JULES foi calibrado para esse período de um ano, partindo-se dos parâmetros dos arquivos de *namelist* do modelo configurados anteriormente.

Foi dada atenção especial aos parâmetros que caracterizam a profundidade do solo e das raízes, condutância estomática, albedo, rugosidade, deslocamento do plano zero, quantidade de carbono no solo, entre outros, de forma a encontrar fluxos de calor sensível e latente com o menor erro em relação aos fluxos observados na torre micrometeorológica.

3. Resultados

Foram utilizados dados observados da torre micrometeorológica LBA/K34, localizada em uma floresta ao norte de Manaus, em valores médios a cada 30 minutos, para alimentar o modelo JULES. As variáveis utilizadas são radiação solar (onda curta) incidente, radiação de onda longa incidente, pressão atmosférica, precipitação, temperatura atmosférica e umidade relativa do ar e velocidade do vento.

Neste relatório é apresentada somente uma síntese dos resultados obtidos, embora tenha sido feito um exaustivo trabalho de calibração de parâmetros e testes do modelo JULES.

Apresentam-se abaixo resultados da integração do modelo JULES para o ano de 2018: valores médios anuais das componentes do balanço de radiação (Tabela 3.1), das componentes de balanço de energia (Tabela 3.2), valores anuais totais das

componentes do balanço hídrico (Tabela 3.3), e das componentes do balanço de carbono (Tabela 3.4).

Tabela 3.1 Componentes de balanço de radiação média anual

Componente	Média anual (W/m²)
Radiação solar incidente	204,3
Radiação solar refletida	24,5
Radiação de onda longa incidente	419,5
Radiação de onda longa emitida	467,3
Saldo de radiação	137,1
Albedo	12%

Fonte: Santos, 2022

Tabela 3.2 Componentes de energia média anual

Componente	Média anual (W/m²)
Saldo de radiação	137,1
Fluxo de calor sensível	31,9
Fluxo de calor latente	104,4
Fluxo de calor no solo	0,8

Fonte: Santos, 2022

Tabela 3.3 Componentes do balanço hídrico anual

Componentes	Total anual (mm)
Precipitação	2037
Evapotranspiração	1317
Transpiração	1172
Evaporação de água interceptada	145

Fonte: Santos, 2022

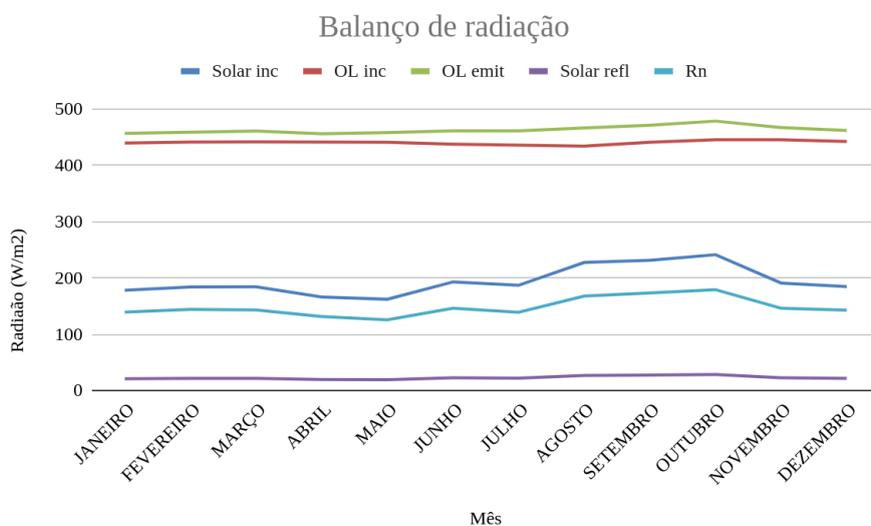
Tabela 3.4 Componentes do balanço de carbono

Componentes	Total anual (ton C / ha)
Produtividade primária bruta	34,1
Produtividade primária líquida	4,4

Fonte: Santos, 2022

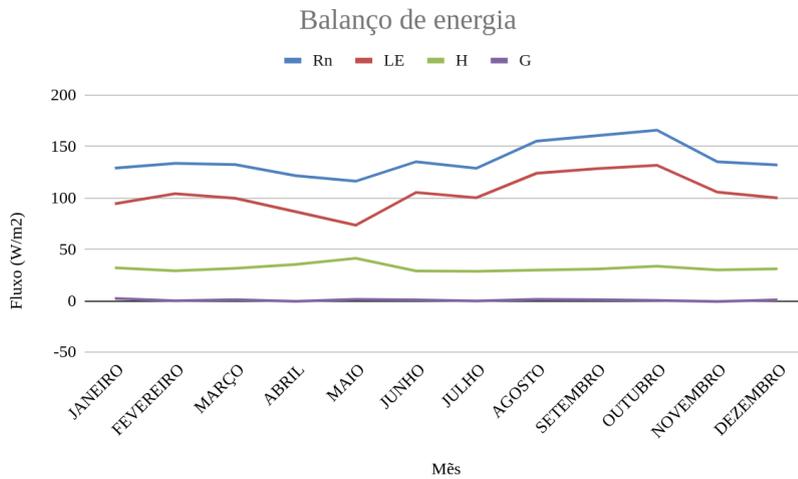
O ciclo sazonal das componentes dos balanços de radiação, de energia, hídrico e de carbono são apresentados nas figuras 3.1 a 3.4 abaixo, respectivamente, que apresenta as componentes em valores médios a cada mês ou, no caso do balanço hídrico, valores cumulativos a cada mês do ano:

Figura 3.1 Balanço de radiação



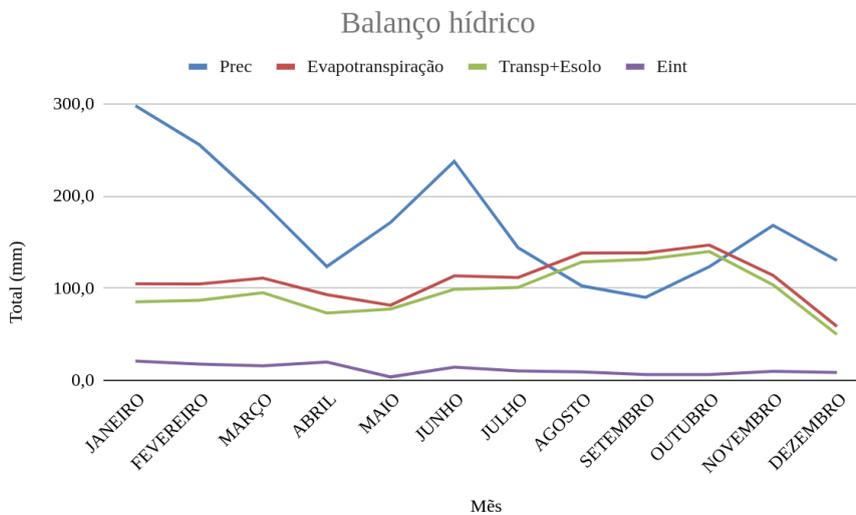
Fonte: Santos, 2022

Figura 3.2 Balanço de energia



Fonte: Santos, 2022

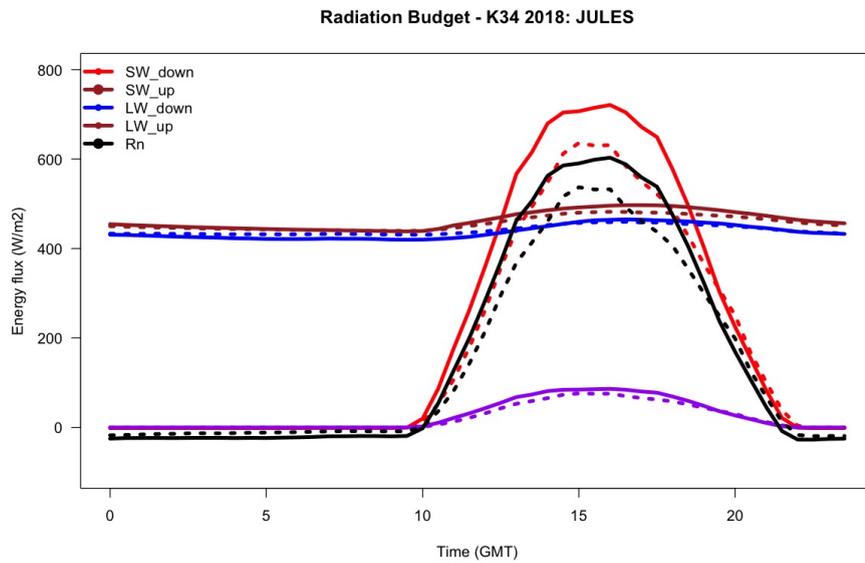
Figura 3.3 Balanço hídrico



Fonte: Santos, 2022

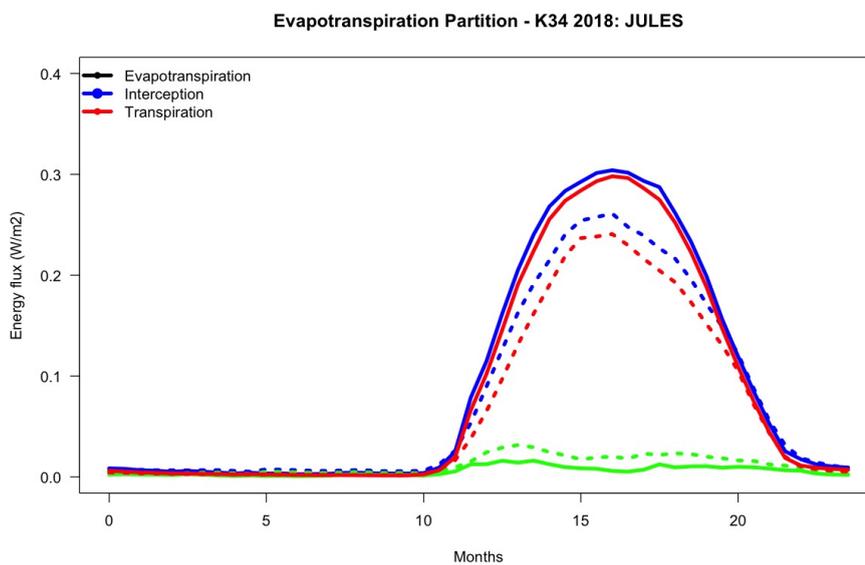
As figuras 3.4 e 3.5 apresentam, respectivamente, o ciclo diurno médio dos valores das componentes do balanço de radiação e do balanço de energia para um mês da estação chuvosa, março, e um mês da estação seca, setembro:

Figura 3.4 Balanço de radiação: ciclo diurno médio de março (linha pontilhada) e setembro (linha contínua) de 2018



Fonte: Santos, 2022

Figura 3.5 - Partição de evapotranspiração: ciclo diurno médio de março (linha pontilhada) e setembro (linha contínua) de 2018



Fonte: Santos, 2022

4. Discussão dos Resultados

Os valores médios das componentes do balanço de radiação (tabela 3.1) são típicos da região central da Amazônia. O modelo JULES produz valores realistas de radiação solar refletida pela superfície e de radiação de onda longa emitida pela superfície.

A partição do saldo de radiação em fluxo de calor sensível e fluxo de calor latente pelo modelo JULES também é realista (tabela 3.2), como pode ser expressado pela razão de Bowen (Fluxo de Calor Sensível dividido pelo Fluxo de Calor Latente) igual a 0,3.

O balanço hídrico anual, apresentado na tabela 3.3, sugere que os dados observados de precipitação estão subestimados, pois para um ano que não teve anomalias expressivas de temperatura da superfície do mar nas regiões tropicais dos oceanos Atlântico e Pacífico, esperar-se-ia um valor acumulado de anual em torno de 2500 mm de precipitação, aproximadamente 23% maior que o valor acumulado da tabela de precipitação observada utilizada para alimentar o modelo JULES neste trabalho. A explicação para essa discrepância será dada na sequência.

Todavia, o problema com os dados de precipitação não afetaram significativamente a evapotranspiração, calculada em 1317 mm pelo modelo JULES, o que equivale a um valor de aproximadamente 3,6 mm/dia em média, sendo a maior parte do saldo de radiação utilizada para evaporação de água do solo por transpiração das plantas e evaporação de água interceptada pela vegetação.

Por outro lado, a percentagem de evaporação de precipitação interceptada pela vegetação da floresta, em torno de 7% da precipitação anual, é baixa quando comparada com valores publicados na literatura especializada, que varia de 9 a 25%. Portanto, é necessário fazer uma nova calibração do módulo de interceptação do modelo JULES, provavelmente aumentando a capacidade de armazenamento de água líquida pela vegetação.

A produtividade primária bruta (fotossíntese) e a produtividade primária líquida (fotossíntese menos a respiração autotrófica) anuais, mostradas na tabela 3.4, são

comparáveis com valores reportados na literatura para a floresta amazônica na região central da Amazônia.

Portanto, considerando valores anuais, o desempenho do modelo JULES é bastante satisfatório no tratamento das componentes dos balanços de radiação, de energia, hídrico e de gás carbônico.

O ciclo sazonal do balanço de radiação é mostrado na figura 3.1. Nota-se que o saldo de radiação é determinado principalmente pela radiação solar incidente. Os maiores valores ocorreram nos meses de agosto a outubro, que é o período de menor cobertura de nuvens e, também, a menos chuvosa na região, além de coincidir com baixa declividade solar.

Nota-se que esse período é o que apresenta as maiores diferenças entre os valores de radiação de onda longa emitida pela superfície e a radiação de onda longa atmosférica que chega à superfície. Esse resultado era esperado pelo fato de ser o período do ano de menor água precipitável que, em consequência, torna a atmosfera menos efetiva em absorver a radiação emitida pela superfície, ou seja, enfraquece o efeito estufa.

A partição do saldo de radiação em fluxo de calor sensível, fluxo de calor latente e fluxo de calor no solo ao longo do ano é mostrada na figura 3.2. Nota-se o aumento do fluxo de calor latente (evapotranspiração) no período de agosto a outubro, que acompanha o aumento do saldo de radiação nesse período. Apesar de haver também um aumento do fluxo de calor sensível, a maior disponibilidade de energia radiativa absorvida pela vegetação é utilizada principalmente na evapotranspiração. Isso acontece porque a floresta tem raízes profundas que dão acesso a um reservatório muito grande de água para ela e evitam que a floresta sofra por estresse hídrico.

Na figura 3.2 é notável uma diminuição do fluxo de calor latente e um aumento do fluxo de calor sensível no mês de maio. Como será visto logo abaixo, na figura 3.3, há uma diminuição irrealista de precipitação nesse mês, sugerindo erro nas observações, que começaram no mês de abril e podem ter se prolongado até o mês de junho.

De mais notável na figura 3.3, é o papel da transpiração, que contribui com mais de 90% da evapotranspiração (fluxo de calor latente) em todos os meses do ano.

As figuras 3.4 e 3.5 mostram os ciclos diurnos médios das componentes do balanço de radiação e do balanço de energia, respectivamente, para o mês de setembro (linhas contínuas) e de março (linhas tracejadas). Como já discutido acima, o que domina esses balanços é a disponibilidade de radiação solar incidente na floresta.

5. Conclusão

A partir da análise dos resultados mostrados nos gráficos e tabelas é possível concluir que o modelo JULES representa satisfatoriamente os balanços de radiação, de energia e hídrico do ecossistema de floresta tropical úmida da área da torre LBA/K34.

Com respeito às componentes da evapotranspiração, notou-se uma subestimativa na percentagem de evaporação de precipitação interceptada pela vegetação, o que leva à necessidade de um aprimoramento da parametrização ou de sua calibração, que poderia ser pelo aumento da capacidade de armazenamento de água líquida pela vegetação (folhas e galhos e troncos).

Ainda, a análise dos dados observados evidenciou um provável erro de medidas de precipitação, em particular no mês de maio de 2018, porém com possibilidade dos dados com problemas abrangerem parte do mês anterior (abril) e posterior (junho).

Entretanto, é possível concluir que o modelo JULES, após passar por um procedimento de calibração com dados observados de boa qualidade, poderá ser utilizado para avaliar os efeitos do desmatamento na Amazônia quando acoplado a modelos meteorológicos, como o BRAMS.

6. Referências bibliográficas

AVISSAR, Roni et al. The large- scale biosphere- atmosphere experiment in Amazonia (LBA): Insights and future research needs. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, v. 107, n. D20, p. LBA 54-1-LBA 54-6, 2002.

BEST, M. J. et al. The Joint UK Land Environment Simulator (JULES), model description – Part 1: Energy and water fluxes. *Geoscientific Model Development*, v. 4, n. 3, p. 677–699, 1 set. 2011.

CLARK, D. B. et al. The Joint UK Land Environment Simulator (JULES), model description – Part 2: Carbon fluxes and vegetation dynamics. *Geoscientific Model Development*, v. 4, n. 3, p. 701–722, 1 set. 2011.

CORREIA, Francis Wagner Silva; ALVALÁ, Regina Célia dos Santos; MANZI, Antônio Ocimar. Modeling the impacts of land cover change in Amazonia: a regional climate model (RCM) simulation study. *Theoretical and Applied Climatology*, v. 93, n. 3, p. 225-244, 2008.

COSTA, M. H. 23 Large-scale hydrological impacts of tropical forest conversion. This page intentionally left blank, p. 590, 2005.

ELTAHIR, Elfatih AB; BRAS, Rafael L. Precipitation recycling in the Amazon basin. *Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society*, v. 120, n. 518, p. 861-880, 1994.

FREITAS, S. R. et al. The Brazilian developments on the Regional Atmospheric Modeling System (BRAMS 5.2): an integrated environmental model tuned for tropical areas. *Geosci. Model Dev.*, v. 10, n. 1, p. 189–222, 13 jan. 2017.

LEJEUNE, Quentin et al. Influence of Amazonian deforestation on the future evolution of regional surface fluxes, circulation, surface temperature and precipitation. *Climate Dynamics*, v. 44, p. 2769–2786, 2015.

LETTAU, Heinz; LETTAU, Katharina; MOLION, Luiz Carlos B. Amazonia's hydrologic cycle and the role of atmospheric recycling in assessing deforestation effects. *Monthly Weather Review*, v. 107, n. 3, p. 227-238, 1979.

OLIVEIRA, Gilvan Sampaio de. Consequências climáticas da substituição gradual da floresta Tropical Amazônica por pastagem degradada ou por plantação de soja: Um estudo de modelagem. 2008. 417 f. Tese (Doutorado) - Curso de Pós-Graduação em Meteorologia, Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos, 2007.

MOREIRA, D. S. et al. Coupling between the JULES land-surface scheme and the CCATT-BRAMS atmospheric chemistry model (JULES-CCATT-BRAMS1.0): applications to numerical weather forecasting and the CO2 budget in South America. Geoscientific Model Development, 2013.

SALATI, Eneas; VOSE, Peter B. Amazon basin: a system in equilibrium. Science, v. 225, n. 4658, p. 129-138, 1984.

VON RANDOW, Celso 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, 2004.

7. Agradecimentos

Através deste projeto de Iniciação Científica pude aprender conceitos não vistos em sala de aula, aplicando às ciências ambientais, de forma específica e eficaz, um código computacional que simula o ambiente da floresta amazônica, que eu testei, além dos demais grandes ecossistemas do planeta.

Além disso, tive a oportunidade de aprender, de forma autodidata ou por meio de conversas com os orientadores, linguagens de programação como o Fortran, bem como pacotes de análise de dados como R e o Python, e o próprio sistema operacional Linux. Tais conhecimentos irão me acompanhar durante minha trajetória acadêmica e profissional.

Agradeço ao INPE e aos meus professores orientadores Dr Antonio Manzi e Dr Demerval pela oportunidade do aprendizado e ao CNPq pelo auxílio financeiro.