

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE MATO GROSSO
INSTITUTO FÍSICA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM FÍSICA AMBIENTAL**

**EFEITO DA COBERTURA VEGETAL NA DINÂMICA
DOS FLUXOS DE ENERGIA NO PANTANAL
MATO-GROSSENSE**

LUCAS DOUGLAS ROTHMUND

PROF. DR. THIAGO RANGEL RODRIGUES
Orientador

**Cuiabá, MT
JUNHO/2017**

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE MATO GROSSO
INSTITUTO FÍSICA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM FÍSICA AMBIENTAL**

**EFEITO DA COBERTURA VEGETAL NA DINÂMICA
DOS FLUXOS DE ENERGIA NO PANTANAL
MATO-GROSSENSE**

LUCAS DOUGLAS ROTHMUND

*Dissertação apresentada ao Programa de
Pós-Graduação em Física Ambiental da
Universidade Federal de Mato Grosso,
como parte dos requisitos para obtenção do
título de Mestre em Física Ambiental.*

PROF. DR. THIAGO RANGEL RODRIGUES
Orientador

**Cuiabá, MT
JUNHO/2017**

Dados Internacionais de Catalogação na Fonte.

R846e Rothmund, Lucas Douglas.

Efeito da cobertura vegetal na dinâmica dos fluxos de energia no pantanal mato-grossense / Lucas Douglas Rothmund. -- 2017
58 f. : il. ; 30 cm.

Orientador: Thiago Rangel Rodrigues.

Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Mato Grosso, Instituto de Física, Programa de Pós-Graduação em Física Ambiental, Cuiabá, 2017.
Inclui bibliografia.

1. Razão de Bowen. 2. Fluxo de calor latente. 3. Fluxo de calor sensível. I. Título.

Ficha catalográfica elaborada automaticamente de acordo com os dados fornecidos pelo(a) autor(a).

Permitida a reprodução parcial ou total, desde que citada a fonte.

UNIVERSIDADE FEDERAL DE MATO GROSSO
INSTITUTO DE FÍSICA
Programa de Pós-Graduação em Física Ambiental

FOLHA DE APROVAÇÃO

TÍTULO: EFEITO DA COBERTURA VEGETAL NA DINÂMICA DOS
FLUXOS DE ENERGIA NO PANTANAL MATO-GROSSENSE

AUTOR: LUCAS DOUGLAS ROTHMUND

Dissertação de Mestrado defendida e aprovada em 21 de junho de 2017, pela
comissão julgadora:

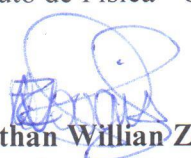


Prof. Dr. Thiago Rangel Rodrigues
Orientador

Programa Nacional de Pós Doutorado PNPd/CAPES



Prof. Dr. Sérgio Roberto de Paulo
Examinador Interno
Instituto de Física - UFMT



Prof. Dr. Jonathan Willian Zangeski Novais
Examinador Externo
Universidade de Cuiabá - UNIC

DEDICATORIA

Aos meus pais Cleonir e Gilmar, por todo por todo amor, dedicação, carinho e confiança.

À minhas irmãs Vivian e Caroline, pelo companheirismo e amizade que perdurará por toda a vida.

AGRADECIMENTOS

- ❖ Primeiramente, agradeço a Deus pelo dom da vida que me concedeu, pela saúde, sabedoria e pela maravilhosa família;
- ❖ Ao meu pai, Gilmar Rothmund e minha mãe Cleonir Zorzan Rothmund pelo incentivo em seguir o caminho da honestidade e bondade;
- ❖ A minhas irmãs Vivian Luana Rothmund e Caroline Rothmund pelo carinho;
- ❖ Ao Prof. Dr. Thiago Rangel Rodrigues, pela orientação, apoio, confiança, companheirismo e amizade, que possibilitaram o desenvolvimento desta dissertação;
- ❖ Ao Prof. Dr. José de Souza Nogueira, Coordenador do Curso de Pós-Graduação, pelo empenho na criação e andamento do curso, bem como, pelos conselhos e incentivo para persistir e concluir esta etapa;
- ❖ Aos amigos e colegas da Pós-Graduação em Física Ambiental, pelos momentos de descontração, alegria e companheirismo, em especial a Juliana Barbosa da Silva Lotufo, Bruno Santos Abdalla, Elio Santos Almeida Junior, Daniela Roberta Borella, Luciene de Mello Taques, Luís Philippe de Arruda Lima, Heloisa Agnes Bodnar Massad, Flavia Regina Pereira Santos, Acabias Marques Luiz, Dalila Morgana de Souza Mützenbergl, Danielle Cristine Stenner Nassarden, Pablinne Cynthia Batista da Silva e Silva, Keylyane Santos da Silva, Lucas Peres Angelini, Larissa Leite Pavão e Vagner Marques Pavão;
- ❖ Aos amigos Thaynara Larreny Silva Oliveira, Bruno Henrique de Oliveira Carvalho, Barbara Muller, Igor Antônio Kuhnen, Fahim Elias Costa Rihbane, Diego de Lima Nascimento, Fagner Roger Pereira Couto e Eduardo Henrique Rocha Zanella pela amizade, brincadeiras, apoio e incentivo nessa caminhada;
- ❖ A todos os professores do Programa de Pós-Graduação em Física Ambiental da Universidade Federal de Mato Grosso por compartilharem seus conhecimentos, contribuindo para escrita desta pesquisa;
- ❖ A Cesário, Soilce e Juliana pela colaboração nos serviços da secretaria que auxiliam o desenvolvimento do Programa;
- ❖ A Coordenação de Aperfeiçoamento Pessoal do Ensino Superior (CAPES) pelo auxílio financeiro concedido durante toda pesquisa;
- ❖ E a todos aqueles que, direta ou indiretamente, contribuíram para a realização deste trabalho.

“

Quando recebemos um ensinamento, devemos receber como um valioso presente, e não como uma dura tarefa. Eis aqui a diferença que transcende.

Albert Einstein

“

O saber a gente aprende com os mestres e os livros. A sabedoria se aprende é com a vida e com os humildes.

Cora Coralina

SUMÁRIO

LISTA DE FIGURAS	IX
LISTA DE QUADROS	X
LISTA DE ABREVIATURAS E SÍMBOLOS	XI
RESUMO	XII
ABSTRACT	XIII
1. INTRODUÇÃO	1
1.1 PROBLEMÁTICA	1
1.2 JUSTIFICATIVA	2
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	4
2.1 O PANTANAL MATO-GROSSENSE	4
2.2 O CAMBARÁ (VOCHYSIA DIVERGENS POHL)	5
2.3 BALANÇO DE RADIAÇÃO.....	6
2.4 MÉTODO DA RAZÃO DE BOWEN.....	7
2.5 BALANÇO DE ENERGIA.....	8
3. MATERIAL E METODOS.....	10
3.1 LOCAL DE ESTUDO	10
3.2 INSTRUMENTOS.....	11
3.3 MÉTODOS	14
3.4 ANÁLISE ESTATÍSTICA	21
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO	22
4.1 PADRÕES SAZONAIS NOS FLUXOS DE ENERGIA	25
4.2 BALANÇO DE ENERGIA PELO ALGORITMO SEBAL	30
4.3 RELAÇÃO ENTRE PRECIPITAÇÃO, LE E H.....	31
4.4 ANÁLISE COMPARATIVA DAS MAGNITUDES DOS FLUXOS	34
5. CONSIDERAÇÕES FINAIS	38
SUGESTÃO PARA TRABALHOS FUTUROS.....	39
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	40

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Mapa de localização das torres micrometeorológicas da Baía das Pedras (Circulo semiaberto) e do Cambarazal (Quadrado semiaberto).....	10
Figura 2 - Imagens das torres micrometeorológicas da (a) Baía das Pedras e do (b) Cambarazal.....	13
Figura 3 – Fluxograma ilustrando as etapas de processamento do algoritmo SEBAL	15
Figura 4 - Médias mensais para temperatura do ar (T_a ; símbolos fechados), umidade relativa do ar (UR, símbolos abertos e precipitação total mensal (ppt, barras verticais) para região da Baía das Pedras (a) e Cambarazal (b), a área em cinza corresponde ao período seco, cuja precipitação mensal é inferior a 100 mm/mês.....	23
Figura 5 - Médias diárias para Saldo de Radiação (R_n ; símbolo fechado), fluxo de Calor Latente (LE, símbolo aberto) e fluxo de Calor Sensível (H, triangulo invertido) para região da Baía das Pedras (a), e Cambarazal (b).....	26
Figura 6 - Médias mensais para o fluxo de Calor Latente (LE, símbolo fechado) e fluxo de Calor Sensível (H, triangulo) e Razão de Bowen (β , símbolo aberto) para região da Baía das Pedras (a), e Cambarazal (b).....	28
Figura 7 - Resultados de H (a) e LE (b) no dia 4 de março de 2004. Erro! Indicador não definido.	
Figura 8 - Regressão linear entre a porcentagem de LE em R_n diária e a precipitação mensal para a região da Baía das pedras (a) e Cambarazal (b).	32
Figura 9 - Médias das variáveis Temperatura (a) e Umidade Relativa (b) com intervalos de confiança obtidos pelo método bootstrap.	35
Figura 10 - Médias das variáveis LE (a) e H (b) com intervalos de confiança obtidos pelo método Bootstrap.	36

LISTA DE QUADROS

TABELA 1 - Valores médios mensais para o Fluxo de Calor no Solo (G) em W/m ²	24
TABELA 2 – Resultados das estimativas do balanço de energia pelo algoritmo SEBAL, nos meses de agosto (período seco) em diferentes anos.....	30
TABELA 3 - Médias mensais das variáveis H e LE com desvio padrão, obtidos pelo método Bootstrap	37

LISTA DE ABREVIATURAS E SÍMBOLOS

Rn	–	Saldo de radiação
Rg	–	Radiação Global
LE	–	Fluxo de Calor latente
H	–	Fluxo de Calor sensível
G	–	Fluxo de Calor no solo
BOC	–	Balanço de Ondas Curtas
BOL	–	Balanço de Ondas Longas
TRMM	–	Tropical Rainfall Measuring Mission
SEBAL	–	Surface Energy Balance Algorithm for Land
USGS	–	United States Geological Survey
T	–	Temperatura do corpo
Ts	–	Temperatura do solo
Ta	–	Temperatura do ar
ε	–	Emissividade atmosférica
σ	–	Constante de Stefann-Boltzman ($5,67.10^{-8}W.m^{-2}.K^{-4}$)
e	–	Pressão atual de vapor
es	–	Pressão de saturação
UR	–	Umidade relativa do ar
n	–	Números de dados da amostra
R ²	–	Coefficiente de determinação

RESUMO

ROTHMUND, L. D. **Efeito da cobertura vegetal na dinâmica dos fluxos de energia no pantanal mato-grossense**. 58p. Dissertação (Mestrado em Física Ambiental) - Instituto de Física, Universidade Federal de Mato Grosso, Cuiabá, 2017.

A *Vochysia Divergens* Pohl, conhecida popularmente como Cambará, é uma espécie amazônica introduzida no bioma do pantanal na década de 70, sendo assim considerada invasora, vem ocupando determinadas regiões pantaneiras, normalmente regiões mais altas, não alagáveis, onde existem pastagens, transformando-as em florestas ou estandes monodominantes, cujo pouco se sabe sobre sua influência no microclima. Assim, foi elaborada uma análise comparativa de séries temporais de dados microclimáticos obtidos através de torres micrometeorológicas localizadas em dois ambientes situados no pantanal mato-grossense. O primeiro deles, representando uma vegetação tipicamente pantaneira, em uma região conhecida como Baía das Pedras, localizada em Poconé – MT, a cerca de 130 Km de Cuiabá. O segundo ambiente, consiste basicamente de uma floresta monodominante de Cambará, com árvores chegando a 30 metros de altura, localizado no município de Barão de Melgaço – MT, a cerca de 20 Km da torre anterior. Deste modo, o objetivo deste trabalho foi descobrir qual a influência dessa espécie no microclima da região onde se estabelece, através de métodos como o da razão de Bowen para cálculos de fluxo de calor sensível e latente, foram produzidas médias mensais dos dados obtidos em períodos secos e chuvosos, analisando as variáveis afetadas diretamente pela influência da vegetação da região estudada através de intervalos de confiança definidos através de métodos de reamostragem de Bootstrap. Assim, foi perceptível que a substituição de vegetação nativa por estandes monodominantes de Cambará pode afetar o balanço de energia, principalmente ao considerarmos o fluxo de calor latente que recebeu em média de 89,6% (87,9% ~ 93,4%) do Balanço de energia durante todo o ano na região composta por vegetação de Cambarazal, em contraste com um comportamento sazonal na região da Baía das pedras, obtendo médias de 64% (56,9% ~ 66,9%) nos períodos chuvosos e 52% (38,8% ~ 64,1%) nos períodos mais secos.

Palavras-chave: Razão de Bowen, Fluxo de calor latente, Fluxo de calor sensível.

ABSTRACT

ROTHMUND, L. D. **Effects of vegetation cover in the dynamics of the energy flows in the pantanal of Mato Grosso**. 58p. Dissertation (Master's Degree in Environmental Physics) – Institute of Physics, Federal University of Mato Grosso, Cuiabá, 2017.

The *Vochysia divergens* Pohl, popularly known as Cambará, is a species introduced in the Pantanal biome in the Decade of 70 and for that reason, considered an invasive species in that region. Has been occupying some regions of Pantanal, usually higher regions, turning them into monodominant forests. Therefore, we want to do a comparative analysis of time series of microclimatic data, obtained through micrometeorological towers located in two areas sited in the Pantanal. The first of these areas, represent a typical Pantanal vegetation, reaching 5 meters high, in a region known as the Baia das Pedras, located in Poconé – MT, about 130 Km from Cuiabá. The second environment consists of a monodominant forest of Cambará, with trees reaching 30 meters high, located in the municipality of Barão de Melgaço – MT, about 20 Km from the previous Tower. The aim of this study was to find out the influence of this species on the microclimate in the region where it establishes, using methods such as the Bowen ratio for the estimative of latent and sensitive's heat flux, were produced monthly averages in rainy and dry periods, analyzing the confidence intervals of data, defined by the resampling method of Bootstrap. As a result, it was noticeable that the replacement of native vegetation by forests of Cambará, can affect the energy budget, especially when considered the latent heat flux, that received an average of 89.6% (87.9% ~ 93.4%) of the available energy throughout the year in the Cambarazal. Against a seasonal behavior in the region of the Baia das Pedras, with averages of 64.1% (56.9% ~ 66.9%) rainy periods and 52% (38.8% ~ 64.1%) during the driest.

Keywords: Bowen ratio, latent heat flux, sensitive heat flux.

1. INTRODUÇÃO

1.1 PROBLEMÁTICA

Devido a sua localização geográfica e suas dimensões continentais, o Brasil abriga diversos biomas, sendo a Floresta Amazônica, Caatinga, Mata Atlântica, Cerrado, Pantanal e os Pampas. Essa grande variedade de ecossistemas possibilita diferentes interações entre biosfera-atmosfera, propiciando diferentes resultados nos fluxos de energia.

Recentemente temos passado por grandes alterações climáticas em todos os ecossistemas brasileiros, sejam elas naturais ou antropológicas, incêndios, desmatamento, mudança da cobertura natural que podem acarretar em comportamentos incomuns nos ciclos hidrológicos e afetar os fluxos de energia, levando a mudanças nos processos naturais.

Sabe-se que a cobertura vegetal influencia diretamente o comportamento do microclima, e que ambientes vegetados propiciam um ambiente com temperaturas amenas em relação a ambientes expostos ou menos vegetados, isso se deve as características fisiológicas das plantas, capazes de liberar água em forma de vapor, contribuindo no processo de evapotranspiração e resfriando o ambiente como consequência.

Dependendo da espécie/variedade de vegetação do local analisado o balanço de energia pode variar, como por exemplo vegetações mais densas, com maiores índices de área foliar, reduzem a incidência de radiação solar direta e resfriam o ambiente com maior eficiência que outras, mais escassas. Isso se deve a processos que levam a uma menor conversão de energia em calor sensível, como o sombreamento, ou também pela água evapotranspirada pelas plantas, que auxiliam na umidificação e resfriamento do ar.

Esses fatores influentes variam dependendo da espécie de vegetação, e sabe-se que mesmo espécies nativas bem-sucedidas em seus ambientes, não chegam a possuir uma abrangência muito grande entre o número de indivíduos de uma floresta. Porém em alguns casos, uma espécie se adapta tão bem a uma região, que se prolifera rapidamente criando estandes monodominantes, estes, caracterizados por quando dentro de um ecossistema, uma única espécie possui mais de 50% dos indivíduos do mesmo.

No Pantanal de Mato-Grosso, esses estandes são muito comuns, e normalmente a espécie dominante dá o nome à formação, como é o caso dos Cambarazais (*Vochysia divergens* Pohl), uma espécie originária da Amazônia e introduzida no Pantanal nos anos 70 e que se adaptou muito bem ao ambiente, devido a suas características fisiológicas que a tornam resistente as variações hidrológicas da região, desta forma suas sementes têm se espalhado e gerado florestas ou estandes monodominantes de Cambará.

1.2 JUSTIFICATIVA

O estado de Mato Grosso possui representatividade de três dos seis biomas característicos do país, sendo uma extensão de floresta amazônica ao norte, cerrado na região central e ainda o Pantanal na região extremo sul do estado, fazendo com que haja uma grande demanda por pesquisas para a compreensão da dinâmica de comportamento dos fenômenos que afetam esses biomas.

Dentre estes fenômenos, muitos podem ser percebidos através das análises dos fluxos de energia do ambiente, principalmente os fluxos de calor latente (LE) e sensível (H), que são fundamentais para a manutenção de um sistema. Sendo afetados diretamente pela disponibilidade hídrica, cobertura do solo e radiação da região, assim, devido à disposição das regiões estudadas neste trabalho serem muito próximas, podemos então dizer q a única variável que afeta as medidas dos fluxos é a cobertura do solo.

Assim sendo a mudança de vegetação de uma região pode afetar o microclima de uma região, seja positiva ou negativamente, com base nesta premissa,

será estimado a influência da espécie *Vochysia divergens* Pohl. nesses ambientes com base nos dados obtidos através do cálculo da Razão de Bowen para os fluxos de Calor Sensível e Latente, determinando assim, o destino da energia incidente em forma de radiação e estabelecer relações entre estes dados através de uma análise estatística.

O objetivo geral deste trabalho, portanto, foi estimar a influência da mudança da cobertura vegetal original para Cambará nos fluxos de energia na região do pantanal mato-grossense. Como objetivos específicos temos:

- 1: Caracterização dos fluxos de energia através método da Razão de Bowen;
- 2: Análise da densidade dos fluxos de Calor Latente e Sensível para ambas as regiões de estudo;
- 3: Aplicação do algoritmo SEBAL para maior confiabilidade dos resultados.
- 4: Identificar as diferenças estatísticas nas partições dos fluxos de energia em relação aos dois locais de estudo.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Esta seção foi dedicada a descrição do bioma Pantanal e dos dois tipos de vegetação estudados no trabalho. Também foram realizadas introduções aos assuntos que serão bastante abordados no trabalho, principalmente o Balanço de Radiação e de Energia e uma breve descrição do método da Razão de Bowen.

2.1 O PANTANAL MATO-GROSSENSE

Sendo considerado uma das maiores extensões permanentemente alagadas do planeta, o bioma pantaneiro é conhecido pela grande diversidade de espécies vegetais e animais. Segundo o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística – IBGE, o pantanal ocupa uma área de cerca de 150.355 km², sendo cerca de 2% da área total do território brasileiro, e cerca de 38% da Baía do Rio Paraguai.

O pantanal está localizado no centro da América do Sul, se espalhando principalmente pelos estados de Mato Grosso e Mato Grosso do Sul no Brasil, também ocupando parte dos territórios paraguaio e boliviano, onde passa a ser chamado de Chaco (JUNK ET AL., 2006). O pantanal dividido em 11 sub-regiões e apresenta comportamento hidrológico caracterizado por um período de chuva e inundação de outubro a março e outro de vazante de abril a setembro (BIUDES et al., 2009).

A principal força atuante sobre o pantanal é o que Junk et al. (1989) chama de pulsos de inundação, cujas flutuações determinam os períodos de seca e cheia, influenciando as características sazonais da região e auxiliando na dispersão de sementes junto com os sedimentos que são carregados a cada pulso. A inundação das planícies normalmente se mantém pelo transbordamento de rios em algumas regiões e em outras devido ao regime pluviométrico (FANTIN-CRUZ, 2010).

Entre as espécies vegetais presentes no pantanal, há espécies provindas de outras regiões, carregadas pelos pulsos de inundação, tais como *Licania parviflora* Benth., *Triplaris americana* L., *Vochysia divergens* Pohl., *Eugenia inundata* DC., e *Pouteria glomerata* (Miq.) Radlk., de origem amazônica ou então provindas dos Chacos como a *Copernicia alba* Morong. ou *Schinopsis balansae* Engl. (JUNK et al., 2006).

Devido a suas características, algumas espécies se adaptam melhor a região, chegando a ser mais populosas que as espécies nativas, proporcionando a formação de estandes monodominantes, entre elas está a *Vochysia divergens* Pohl, também conhecida na região como Cambará ou Cambarazal (nome do estande monodominante de Cambará), objeto de estudo neste trabalho (JUNK & DA SILVA, 1999).

2.2 O CAMBARÁ (VOCHYSIA DIVERGENS POHL)

O Cambará é uma espécie considerada invasora na região do pantanal, possuindo certa abundância na região, e formando estandes monodominantes, popularmente conhecidos como Cambarazal (JUNK & DA SILVA, 1999).

Tudo indica que essa espécie tem obtido sucesso devido a sua dinâmica natural. Ocupando cerca de 6,4% da sub-região do Pantanal de Poconé. A *Vochysia divergens* Pohl se destaca devido a suas características ecológicas e fisiológicas que auxiliam em um rápido espalhamento de sementes e dominância de campos inundáveis, fertilizados com as sementes carregadas pelas cheias (MACHADO et al., 2015; NASSARDEN, 2015).

A espécie também possui grande resistência a longos períodos de alagamento, capacidade de manter suas folhas intactas mesmo abaixo da água, uma enorme produção de sementes e raízes mais profundas que a vegetação nativa (JUNK & DA SILVA, 1999; NASSARDEN, 2015).

2.3 BALANÇO DE RADIAÇÃO

O saldo de radiação (R_n) é uma variável fundamental para a modelagem de processos naturais como a estimativa do balanço de energia e evapotranspiração. Em termos físicos é a resultante da radiação que entrou e saiu de um sistema e pode ser contabilizado após as trocas radiantes, representando a energia que ficou disponível ao sistema para que possa realizar os processos fisiológicos da vegetação (CUNHA et al., 1993). Equipamentos como o saldo radiômetro podem medir diretamente o Saldo de Radiação, fazendo um cálculo bastante conhecido como o somatório dos balanços de ondas Curtas (BOC) e Longas (BOL).

$$R_n = BOC + BOL \quad (\text{Equação 1})$$

Balanço de ondas curtas (BOC) representa a contabilidade das ondas curtas que permaneceram no sistema, abrangendo o espectro eletromagnético entre 220 e 4000 nm. BOC é caracterizado em função da radiação solar global (R_g) e do albedo (α), que representa a taxa de radiação solar refletida pela superfície, resultando na equação 2: (PEREIRA et al., 2006; SEIXAS et al., 2016)

$$BOC = R_g * (1 - \alpha) \quad (\text{Equação 2})$$

Já o Balanço de ondas longas (BOL) representa a radiação de onda longa emitida pela atmosfera (OLA) ou pela superfície terrestre (OLS).

$$BOL = OLA - OLS \quad (\text{Equação 3})$$

BOL é mais difícil de mensurar diretamente, por depender de fatores atmosféricos, mas pode ser estimada seguindo a lei de Stefan Boltzmann, onde a emissão de um corpo é proporcional a quarta potência da temperatura de sua superfície que pode ser expressa como:

$$E = \varepsilon \sigma T^4 \quad (\text{Equação 4})$$

Que podemos utilizar equações empíricas para estimar a emissividade da atmosfera e da superfície. Onde σ é a constante de Stefan-Boltzmann, T é a temperatura (Solo, ar, etc...), ε é a emissividade do corpo a ser analisado. Desta forma teremos a equação 5 (BRUNT, 1932; BRUTSAERT, 1975; REICHARDT, K. et al., 2004):

$$BOL = (\varepsilon_{atm}\sigma T_{atm}^4) - (\varepsilon_{sup}\sigma T_{sup}^4) \quad (\text{Equação 5})$$

Finalmente chegamos a seguinte equação:

$$Rn = Rg * (1 - \alpha) + \left((\varepsilon_{atm}\sigma T_{atm}^4) - (\varepsilon_{sup}\sigma T_{sup}^4) \right) \quad (\text{Equação 6})$$

2.4 MÉTODO DA RAZÃO DE BOWEN

Para a identificação e determinação dos fluxos energéticos de uma superfície vegetada existem métodos que permitem avaliar as transformações da energia radiante em calor latente e sensível, representando assim, a contabilidade destas interações (BOWEN, 1926; FARIAS et al., 2004; CURADO et al., 2014).

Dentre os métodos existentes para a obtenção das densidades de fluxo de calor sensível (H) e latente (LE) destacam-se a Eddy Covariance ou Covariância de Vórtices Turbulentos que mede diretamente os fluxos, o método da Razão de Bowen que consegue realizar estimativas a partir dos gradientes verticais de propriedades atmosféricas, e a utilização de dados orbitais, através da análise das radiancias espectrais obtidas por sensoriamento remoto (BASTIAANSEN et al., 1998; ANGELL et al., 2001; RODRIGUES et al., 2013).

Apesar de sua simplicidade o método da razão de Bowen é menos eficiente que o Eddy Covariance, porém o alto custo de implantação do Eddy Covariance o torna inviável para algumas aplicações, desta forma o método da Razão de Bowen é mais utilizado quando se há a necessidade de reduzir custos e até mesmo por necessitar de dados simples de serem coletados (CURADO et al., 2014).

A razão de Bowen parte do princípio da conservação de energia, utilizando basicamente o Saldo de Radiação (R_n) medido por um Saldo radiômetro, e o fluxo de Calor no Solo (G) obtido facilmente através de um fluxímetro, para a estimativa dos fluxos de calor Sensível (H) e latente (LE) (BALDOCCHI et al., 1988; BOWEN, 1926).

Com relação aos resultados da razão de Bowen (β), quando em condições de alta umidade do solo, ele tende a resultar em valores próximos de zero, o que indica que a maior parte da energia está sendo utilizada à mudança de estado físico da água, dessa forma quanto mais próximos de um maior será a partição de energia destinada ao aquecimento do ar (BETTS et al. 2007; TANG et al., 2014)

Para evitar incoerências físicas que podem ocorrer nas estimativas realizadas pelo Método da razão de Bowen, Perez et al. (1999) descrevem uma série de critérios que devem ser utilizados para a determinação correta dos Fluxos estimados através da razão de Bowen para o fluxo de calor sensível (H) e para o fluxo de calor latente (LE), estes critérios serão descritos na metodologia.

2.5 BALANÇO DE ENERGIA

Se o balanço de radiação demonstra a quantidade de energia disponível ao sistema, o balanço de energia, basicamente representa o destino dado a esta energia, seja na mudança do estado físico da água em forma de calor latente (Le), no aquecimento do ar em forma de calor sensível (H), no aquecimento do solo (G). Ou seja, o balanço de energia é a soma desses três processos:

$$R_n = LE + H + G \quad (\text{Equação 7})$$

A medida ou estimativa das densidades dos fluxos de calor definem o destino dado a energia disponível (R_n), assim a densidade de fluxo de calor latente (LE) indica o quanto de energia está sendo utilizado para transpiração ou evaporação de água, conjunto este que é comumente chamado de Evapotranspiração (REICHARDT et al., 2004).

O balanço energético parte do princípio da primeira lei da termodinâmica, em que deve existir igualdade entre a energia recebida e a energia liberada sob forma de calor sensível ou latente ou então armazenada pelo ecossistema. Quantificar os componentes do balanço de energia é uma excelente maneira de identificar os processos hidrológicos que desempenham papel importante nas condições ambientais de uma região (CURADO et al., 2014).

A medida ou estimativa da densidade dos fluxos de calor latente (LE) ou sensível (H) demonstram o particionamento da energia disponível a um ambiente, em que o fluxo de calor latente mostra o quanto dessa energia foi destinada a evapotranspiração, que compreende a evaporação de água do solo e a transpiração das plantas. Já a densidade de fluxo de calor sensível (H) demonstra quanta energia foi destinada ao aquecimento do ar (BALDOCCHI et al., 1988).

3. MATERIAIS E METODOS

3.1 LOCAL DE ESTUDO

Os locais de estudo estão ambos localizados dentro da Reserva Particular do Patrimônio Natural – RPPN SESC – Pantanal, a primeira torre está em uma região conhecida como Baía das Pedras ($16^{\circ}29'52''\text{S}$; $56^{\circ}24'47''\text{O}$), caracterizada por uma vegetação tipicamente pantaneira, com alguns pequenos estandes de Pombeiro, Algodão-do-Pantanal e Cambará, sendo situada próximo ao município de Poconé – MT, a cerca de 130 Km da capital, Cuiabá.

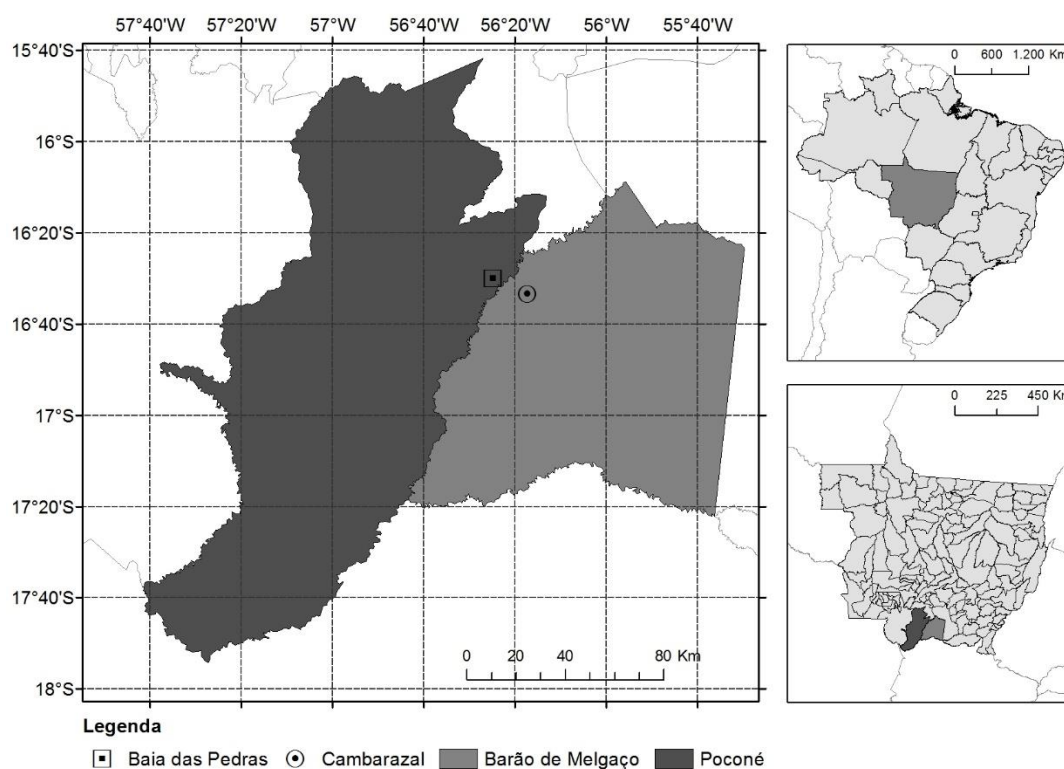


Figura 1 - Mapa de localização das torres micrometeorológicas da Baía das Pedras (Círculo semiaberto) e do Cambarazal (Quadrado semiaberto)

O segundo ambiente de estudo consiste de uma floresta monodominante de Cambará, onde a vegetação chega a 30 metros de altura (16°33'19,11"S; 56°17'11,49"O), localizada no município de Barão de Melgaço – MT, a cerca de 20 Km da torre anterior, como pode ser visto na Figura 1.

Pretende-se estimar a influência dessa espécie no balanço de energia da região onde ela se estabelece, e para isso, será utilizado o desvio padrão, e os limites inferior e superior obtidos através do método de reamostragem de Bootstrap, juntamente com o cálculo da razão de Bowen para estimativas do balanço de energia. Com base em uma média mensal dos dados obtidos, divididos em períodos secos (Abril a Setembro), cuja precipitação é inferior a 100mm/mês e chuvosos (Outubro a Março), com precipitação superior a 100mm/mês, as variáveis serão analisadas com o intuito de estimar o quanto a dominância da espécie *Vochysia Divergens* Pohl é capaz de influenciar o microclima da região.

De acordo com a classificação climática de Köppen, o clima da região é caracterizado com Aw, tropical semiúmido, com invernos secos e verões chuvosos. A média anual térmica e pluviométrica é de aproximadamente 26,5°C e 1420 mm, respectivamente, com regime de chuva sazonal e o período seco com duração de abril a setembro (BIUDES et al., 2015).

As variáveis que se acredita que serão mais afetadas pela mudança de vegetação e, portanto, serão consideradas no presente estudo serão, principalmente a temperatura do ar, umidade relativa do ar, juntamente com os elementos pertencentes ao balanço de energia, principalmente os fluxos de calor Latente e Sensível.

3.2 INSTRUMENTOS

3.2.1 Torres micrometeorológicas

Medidas micrometeorológicas foram realizadas entre o período de janeiro de 2007 a dezembro de 2008 para a região do Cambarazal, e fevereiro de 2012 a abril de 2013 para a região da Baía das Pedras. Foram geradas médias pontuais para cada dia do ano, com base no período de dados disponível, e então foi criado um ano

característico para cada região, para facilitar a análise dos dados e para melhor representação gráfica dos resultados.

A torre do Cambarazal estava instalada a cerca de 120m de altitude em relação ao nível do mar, apresentando vegetação monodominante de Cambará (*Vochysia divergens* pohl) com altura do dossel vegetativo variando de 28 a 30 metros e arvores muito próximas da torre. O clima é do tipo Aw, segundo Köppen e o solo classificado como GLEISSOLO HAPLICO Ta Distrófico (BIUDES et al. 2009; CURADO et al. 2011; RODRIGUES et al., 2011; VOURLITIS et al., 2011).

A torre da Baia das Pedras se encontra a 150m de altitude em relação ao nível do mar, apresentando vegetação considerada como próxima da nativa pantaneira, com alguns pequenos estandes de Pombeiro (*Combretum lanceolatum* Pohl), Algodão-do-Pantanal (*Ipomoea carnea* spp.) e alguns exemplares de Cambará (*Vochysia divergens* Pohl), com altura do dossel vegetativo próximo a torre chegando a cerca de 4 metros, com arvores dispostas um pouco mais distante da torre, onde há cobertura de vegetação rasteira durante o período seco. O clima é o mesmo da primeira região e o solo é de origem sedimentar, com fases argilosas e arenosas de forma alternada (CORINGA et al., 2012, NASSARDEN, 2015).

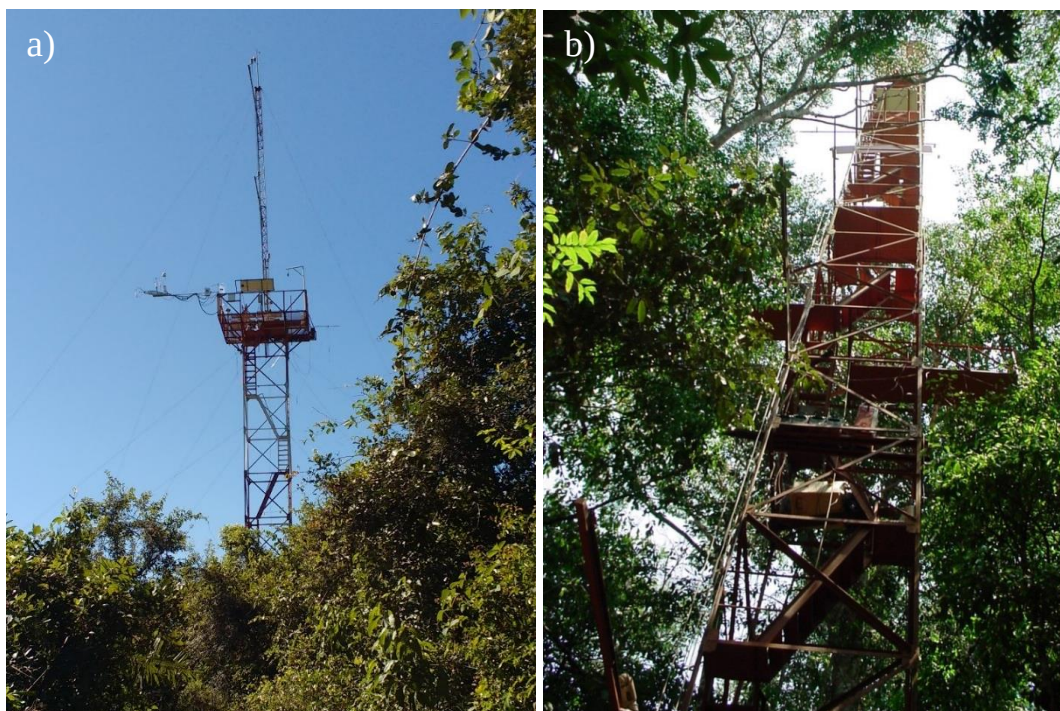


Figura 2 - Imagens das torres micrometeorológicas da (a) Baia das Pedras e do (b) Cambarazal.

Fonte: Acervo PGFA

A torre micrometeorológica do Cambarazal possuía 32 m de altura e a da Baia das Pedras possui 28 metros de altura e nos permitiram a coleta de dados de variáveis necessárias para este estudo, como o gradiente de temperatura e umidade relativa do ar para o cálculo da razão de Bowen, o fluxo de calor no solo e Saldo de radiação, dentre outras variáveis micrometeorológicas.

A torre do Cambarazal possuía Termistores (Campbell Scientific, Inc., Logan, Utah, USA) instalados a 1, 3, 7, 15 e 30cm de profundidade para medidas de temperatura do Solo e a placa para medidas de fluxo de calor no Solo a 1 cm de profundidade. Um Saldo radiômetro (Net Radiometer, Kipp & Zonen Delft, Inc., Holland) para obtenção do saldo de radiação, instalado a 33m de altura. Um pirômetro (LI-200, Campbell Sci, Inc., USA) para medidas de radiação solar incidente, também a 33m de altura. A temperatura e umidade do ar foram medidos por meio de dois termo higrômetros (HMP 45 C, Vaisala, Inc., Helsinki, Finland) instalados a 33,7 e 35,7m, além de outros sensores não utilizados neste estudo. Os dados produzidos foram armazenados em um Datalogger (CR10X, Campbell Scientific, Inc., Ogden, Utah) com médias a cada 30 minutos.

A torre da Baía das pedras também possui Termistores 108-L (Campbell Scientific, Inc., Logan, Utah, USA) instalados a 1, 3, 5, 10 e 30cm de profundidade para medidas de temperatura do solo e a placa para medidas de fluxo de calor no Solo a 1 cm de profundidade. Um Saldo radiômetro (NRLITE, Kipp & Zonen, Delft, Netherlands) para obtenção do saldo de radiação, instalado no topo da torre, a 20m de altura. Um pirômetro (LI200X, LI-COR, Lincoln, NE, USA) para medidas de radiação solar incidente, também a 20m de altura. A temperatura e umidade do ar foram medidos por meio de termo higrômetros (HMP-45AC, Vaisala Inc., Woburn, MA, USA) instalados a 22 e 31m. Além de outros sensores não utilizados neste estudo. Os dados produzidos foram armazenados em um Datalogger (CR10X, Campbell Scientific, Inc., Ogden, Utah) com médias a cada 10 minutos.

3.3 MÉTODOS

A Razão de Bowen e o Balanço de Energia, foram calculados partindo das medidas dos valores do fluxo de calor no solo, dos gradientes de temperatura obtidos através das medidas dos termo higrômetros e do saldo de radiação em altitudes diferentes, obtidos através dos valores médios a cada 30 minutos medidas na torre micrometeorológicas conforme demonstrado nas seguintes equações de acordo com Perez et. al., (2008), para o cálculo dos fluxos de Calor Sensível (H) e latente (LE).

3.3.1 Dados obtidos através de sensores orbitais

Devido à dificuldade de obtenção de alguns dados micrometeorológicos, muitas vezes se faz necessária a utilização de sensores orbitais (satélites), neste trabalho se fez necessária a utilização de dois tipos, um para obtenção de dados de precipitação que estavam faltando, para isso foi utilizado o produto 3B43 do TRMM (Tropical Rainfall Measuring Mission), disponível na plataforma Giovanni.

O projeto TRMM surgiu através de uma parceria da NASA (National Aeronautics And Space Administration) com a agencia de exploração Aeroespacial do Japão (JAXA). Foi lançado em 1997 com o objetivo de medir a precipitação nos

trópicos e servir como fonte de dados para os pesquisadores (TRMM, 2017; ALVES, 2017).

Outro método que se fez necessário foi para a obtenção de dados pareados para o balanço de energia nas duas torres, devido a suas medidas não terem sido realizadas no mesmo período, para tal foi utilizado o algoritmo SEBAL (Surface Energy Balance Algorithm for Land) com imagens cedidas pela plataforma Earth Explorer do serviço geológico dos Estados Unidos, criado em 1879, provê informação científica confiável para compreender e descrever a terra (BASTIAANSEN, 1998; USGS, 2017).

O algoritmo SEBAL, proposto por Bastiaanssen (1998) se mostrou mais complexo de implementar e segue as seguintes etapas, conforme demonstrado na Figura abaixo.

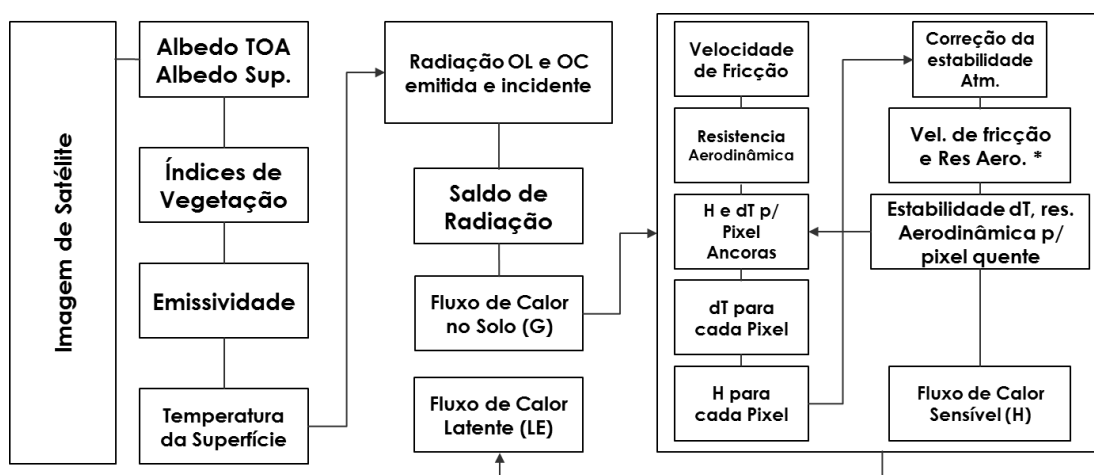


Figura 3 – Fluxograma ilustrando as etapas de processamento do algoritmo SEBAL

Fonte: Adaptado de Angelini (2015)

De acordo com o Manual de implementação do SEBAL (2000), criado em uma parceria da universidade de Idaho e disponibilizado gratuitamente internet, resumidamente, o SEBAL segue as seguintes etapas que podem ser observadas também na Figura 3.

Primeiramente devemos realizar a obtenção de uma imagem de satélite para a área de interesse, juntamente com os arquivos de cabeçalho da imagem e dados de uma estação micrometeorológica para a região.

O índice de vegetação utilizado foi o NDVI (Normalized Difference Vegetation Index) e foi calculado através da Equação 7 com base nos valores das bandas 5 e 4 para o Landsat 7, que representam respectivamente o Infravermelho próximo e o vermelho. O NDVI normalmente é utilizado para indicar a condição da vegetação, onde valores mais altos indicam vegetações mais densas e valores mais baixos indicam solo exposto, ou até mesmo corpos d'água, onde os valores são negativos (PISANI et al. 2012).

$$NDVI = \frac{(NIR - R)}{(NIR + R)} \quad (\text{Equação 8})$$

O albedo planetário (α_{toa}), onde não são ajustados os efeitos da atmosfera é dado pela combinação das refletâncias dado pela Equação 8, onde os pesos de cada banda foram definidos por Silva et al. (2016) e ρ_2 a ρ_7 representam respectivamente as refletâncias das bandas 2 a 7 para o Landsat 7.

$$\alpha_{toa} = 0.300 \rho_2 + 0.277 \rho_3 + 0.233 \rho_4 + 0.143 \rho_5 + 0.036 \rho_6 + 0.012 \rho_7 \quad (\text{Equação 9})$$

Foram então realizadas correções com base na transmissividade atmosférica (τ_w) definida por Allen et al., (2007) para a obtenção do albedo de superfície. O saldo de radiação é então calculado para o momento da passagem do satélite, segundo a Equação 9.

$$Rn = (1 - \alpha_{sup}) RS_{\downarrow} + RL_{\downarrow} - RL_{\uparrow} - (1 - \epsilon_a)RL_{\downarrow} \quad (\text{Equação 10})$$

Onde $RS_{\downarrow}$ representa o fluxo de radiação solar que atinge a superfície terrestre, estimado por Allen et al. (2002). $RL_{\downarrow}$ é a radiação de ondas longas emitida pela atmosfera (Wm^{-2}), calculada por meio da equação de Stefan-Boltzman, como definido na equação 4, utilizando como base a temperatura da atmosfera. $RL_{\uparrow}$ é a radiação de ondas longas emitida pela superfície ($W.m^{-2}$) obtida através da equação de Stefan-Boltzmann Equação 4 utilizando como base a temperatura da superfície.

Com a obtenção dos valores definidos anteriormente podemos calcular o Fluxo de calor no solo seguindo a equação empírica desenvolvida por Bastiaansen (2000), representando valores próximos ao meio dia utilizando a equação 10.

$$G/R_n = T_s/\alpha * (0,0038 * \alpha + 0,0074 * \alpha^2) * (1 - 0,98 * NDVI^4) \quad (\text{Equação 11})$$

Em que α é o albedo, e T_s é a temperatura de superfície, calculamos então o fluxo de Calor no Solo (G). Assim, o fluxo de calor sensível é então calculado através da seguinte equação para o transporte de calor. Para tal são necessários dados obtidos em estações micrometeorológicas, dentre outras estimativas.

$$H = (\rho * c_p * dT)/r_{ah} \quad (\text{Equação 12})$$

Onde ρ é a densidade do ar (kg/m^3), c_p é o calor específico do ar ($1004 J/kg/K$), dT (K) é a diferença de temperatura entre duas alturas, e r_{ah} é a resistência aerodinâmica ao transporte de calor (s/m).

Passamos então para um processo iterativo, onde serão escolhidos os chamados pixels ancoras, que exigem prática para melhores resultados e são definidos como “Pixel Frio” que deve ser escolhido em uma região já conhecida como bem irrigada ou então em lugares com NDVI altos, e será definido que $H = 0$ e LE o que resta do Saldo de Radiação após ser subtraído G, e o “Pixel Quente”, onde se espera que $LE = 0$, e H receba o que resta do Saldo de Radiação após ser subtraído G, normalmente localizado em um ponto de solo exposto, caracterizado por baixos valores de NDVI.

Deve ser traçada então uma regressão linear entre dT e T_s para os pixels ancora, onde dT é estimado através da equação 12, onde presume-se que onde tivermos $H = 0$, teremos $dT = 0$.

$$dT = H * r_{ah}/(\rho * c_p) \quad (\text{Equação 13})$$

Após definidos os coeficientes de correlação e estimado dT para cada pixel podemos utilizar a equação 11 para estimar H para cada pixel. São realizadas então

algumas correções com base na estabilidade atmosférica de cada pixel definida pelo comprimento de Monin-Obukhov.

$$L = -(\rho * c_p * u_*^3 * Ts)/(k * g * H) \quad (\text{Equação 14})$$

Onde u_* é a velocidade de fricção (m/s) e g é a constante gravitacional ($9,81 m/s^2$).

Com os valores corrigidos em função da estabilidade atmosférica, são realizados novos cálculos de dT e H , e novas correções com base na estabilidade atmosférica até que se encontre uma convergência entre os valores obtidos para H , chegando assim a um valor final de H , com isso temos R_n , G e H e podemos encontrar LE através da equação 6 para o Balanço de energia.

3.3.2 Cálculo das densidades de fluxo de energia

O cálculo da energia disponível ao meio, é realizado a partir da soma das parcelas das densidades de fluxo de energia destinadas ao aquecimento do solo, aquecimento do ar e para a evaporação, que matematicamente é expresso pela equação já citada para o balanço de energia:

$$R_n = G + H + LE \quad (\text{Equação 6})$$

Em que temos, R_n que representa o Saldo de Radiação em (W/m^2) medido por um saldo radiômetro, G que é o valor médio do fluxo de calor no solo em (W/m^2) medido através de um fluxímetro, H e LE que representam o fluxo de calor sensível e latente, ambos em ($W.m^{-2}.dia^{-1}$). Neste estudo desconsideramos a contribuição da energia retida pelo dossel, seja pelo armazenamento em sua estrutura, ou pela fotossíntese.

$$H = -\rho K_s C_p \frac{\Delta t}{\Delta z} \quad (\text{Equação 15})$$

$$LE = -\rho K_w \frac{C_p \Delta e}{\gamma \Delta z} \quad (\text{Equação 16})$$

$$\beta = \frac{H}{LE} \quad (\text{Equação 17})$$

Segundo Verma et al. (1978), os coeficientes de difusividade turbulenta do calor sensível e latente se igualam, portanto:

$$\beta = \frac{-\rho K_s C_p \frac{\Delta t}{\Delta z}}{-\rho K_w \frac{C_p \Delta e}{\gamma \Delta z}} \quad (\text{Equação 18})$$

$$\beta = \gamma \frac{\Delta t}{\Delta e} \quad (\text{Equação 19})$$

Em que β é a razão de Bowen, γ é a constante psicrométrica (kPa °C⁻¹), t é a diferença de temperatura (t, °C) entre dois níveis considerados no cálculo no perfil atmosférico, e é a diferença na tensão atual de vapor atmosférico (e , kPa) calculada segundo a equação 18, para os mesmos níveis considerados para t .

$$H = (Rn - G) \frac{\beta}{\beta + 1} \quad (\text{Equação 20})$$

$$LE = \frac{(Rn - G)}{(\beta + 1)} \quad (\text{Equação 21})$$

$$\gamma = \frac{(C_p * p)}{(0,622 * L)} \quad (\text{Equação 22})$$

Em que C_p representa o valor do calor específico à pressão constante, que é equivalente a 1010 J kg⁻¹°C⁻¹ de acordo Monteith & Unsworth (1990), p é a pressão atmosférica local (kPa), equivalente a 103 kPa e L é o calor latente de evaporação (J kg⁻¹) que segue o comportamento da temperatura, de acordo com a equação 24 (ALLEN et al., 2006).

$$UR = \frac{e}{e_s} * 100 \quad (\text{Equação 23})$$

Onde UR é a umidade relativa do ar (%), representando a tensão de saturação (kPa), calculada segundo a equação 22, para temperaturas do ar acima de 0,0°C descrita por Vianello & Alves (1991). A pressão de saturação do vapor de água em função da temperatura utilizada foi descrita por Glanz & Orlob (1973) como:

$$e_s = 2,1718 * 10^7 * \exp\left(-\frac{4157}{(t + 273) - 33,91}\right) \quad (\text{Equação 24})$$

Com base na equação de Glanz & Orlob (1973), foi aprimorada por Henderson-Sellers (1984), em uma equação para o calor latente (L) em função da temperatura, dada por:

$$L = 1,91846 * 10^6 * \left(\frac{T + 273}{(t + 273) - 33,91}\right)^2 \quad (\text{Equação 25})$$

3.3.3 Critérios de aceitação das estimativas (Perez)

Perez et al. (1999) descrevem uma série de critérios que devem ser utilizados para a determinação correta dos Fluxos estimados através da razão de Bowen para o fluxo de calor sensível (H) e para o fluxo de calor latente (LE) e devem ser totalmente atendidas para que não haja erros nas estimativas dos fluxos de energia.

Para tal, as estimativas de LE e H resultantes do método da razão de Bowen devem ser correntes com as relações de fluxo-gradiente, portanto Perez et al. (1999) propuseram algumas condições para minimizar esses erros das estimativas, mantendo assim somente os dados coerentes fisicamente, para tanto a equação 25 deve ser sempre maior que zero.

$$\frac{\Delta e + \gamma \Delta t}{Rn - G} > 0 \quad (\text{Equação 26})$$

A partir da suposição acima, somente algumas combinações de LE e H serão possíveis quando:

$$Rn - G > 0 \begin{cases} \beta > -1 \begin{cases} LE > 0 \\ H > 0 \text{ se } \beta > 0 \\ H < 0 \text{ se } \beta < 0 \end{cases} \\ \beta < -1 \begin{cases} LE < 0 \\ H > 0 \end{cases} \end{cases}$$

Se não satisfeitas essas condições, os valores estimados através do método da razão de Bowen serão incoerentes, indicando uma direção incorreta para os fluxos de calor sensível e latente. Portanto, Perez et al. (1999), sugere que quando os valores não respeitarem essas condições eles deverão ser descartados.

3.4 ANÁLISE ESTATÍSTICA

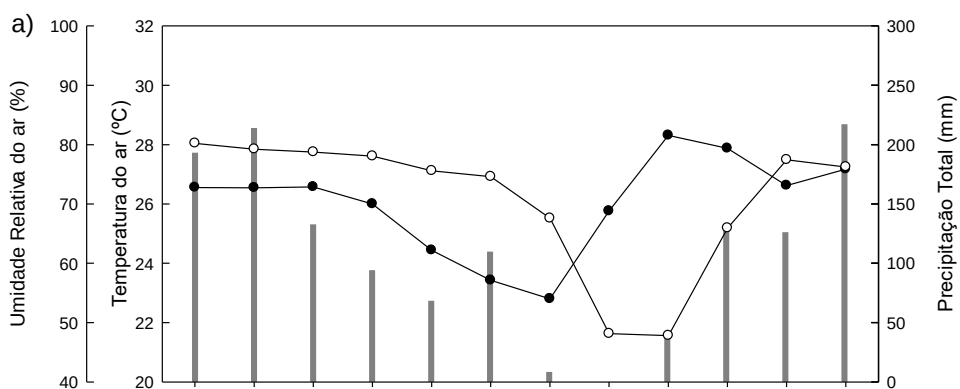
Para confirmação das hipóteses sugeridas de que o Cambarazal influencia diretamente nos fluxos de energia foi utilizado o método de comparação das médias Bootstrap, e através de seus resultados foram avaliados o Desvio Padrão com um intervalo de confiança de 95%, possibilitando uma melhor compreensão do comportamento das variáveis e dos fluxos em cada região. Também foram realizadas regressões lineares entre a precipitação e os principais componentes do balanço de energia para avaliar a dependência do mesmo em relação a precipitação.

O método de Bootstrap consiste na geração de dados aleatórios a partir das médias diárias de um mês específico, após essa aleatorização de valores será obtida uma média, e este processo deverá ser repetido mil vezes, assim, será gerada uma nova média universal a partir das mil médias geradas a partir dos valores aleatórios, que também serão utilizados para delimitar o Desvio Padrão e determinar se houve diferença significativa para a variável no mês determinado, com intervalo de confiança de 95% (SOKAL & ROHLF, 1998).

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Para facilitar a análise das variáveis climáticas, foram delimitadas duas estações características do pantanal, levando em consideração a precipitação mensal total mensal, como podemos ver na Figura 4, dividindo assim, o ano em meses secos, caracterizados pela precipitação total mensal inferior a 100 mm, normalmente situada de abril a setembro, e chuvosos, de outubro a março, em que a precipitação total mensal é superior a 100 mm.

Também foram criados anos característicos para ambas as regiões, estes anos foram utilizados para as análises para que ficasse mais simples de visualizar as diferenças nos gráficos que serão demonstrados abaixo.



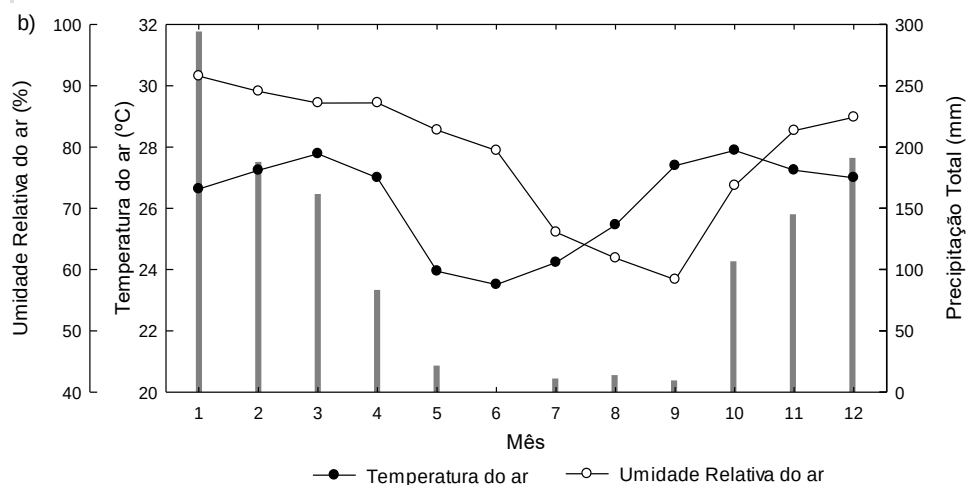


Figura 4 - Médias mensais para temperatura do ar (T_a ; símbolos fechados), umidade relativa do ar (UR, símbolos abertos e precipitação total mensal (ppt, barras verticais) para região da Baía das Pedras (a) e Cambarazal (b), a área em cinza corresponde ao período seco, cuja precipitação mensal é inferior a 100 mm/mês.

A temperatura média variou de 22,80 a 28,31°C na região da Baía das pedras (Figura 4a) e de 23,51 a 27,89°C no Cambarazal (Figura 4b) durante os períodos analisados, com as mínimas e máximas coincidindo nos meses de julho e agosto respectivamente. A umidade relativa do ar média anual medida para a Baía das Pedras foi de 70,8% com mínima de 47,82% em setembro e máxima de 80,24% em janeiro (Figura 4a). Já para o Cambarazal a média anual foi de 78,74% com mínimas de 58,36% em setembro e máximas de 91,59% em janeiro.

A Figura 4 também nos possibilita perceber a diferença da dinâmica da umidade relativa do ar nas áreas de estudo, sendo maior na região de Cambarazal durante o ano inteiro, assim o conteúdo de água presente na atmosfera, ajude a regular a temperatura, fazendo com que mesmo possuindo uma média de temperatura maior, a região do Cambarazal tenha menores amplitudes na temperatura durante o período analisado (CURADO et al., 2014).

Ao analisar o comportamento da UR no período chuvoso pôde-se notar valores médios diários relativamente altos nas duas regiões de estudo, ultrapassando os 70% e passando dos 90% de conteúdo de vapor d'água na atmosfera, porém para a região do Cambarazal nota-se uma maior estabilidade em UR, se mantendo maior e raramente caindo abaixo de 60%, isso se deve a densidade da cobertura vegetal do

Cambará, impedindo a incidência de raios solares e reduzindo a secagem do ar abaixo do dossel (QUERINO et al., 2011; NOVAIS et al., 2013).

Os valores mais baixos para Umidade Relativa na região da Baía das Pedras se devem, possivelmente, a menor disponibilidade de água na área de estudo, como a vegetação tem menor densidade, se comparada ao Cambarazal, assim, o solo fica mais exposto a radiação, bem como o vento consegue circular com maior facilidade, fazendo com que perca umidade mais rapidamente, reduzindo assim a parcela de água disponível no ar (CAOAVILLA & SANCHEZ, 2011).

As tendências sazonais de precipitação, temperatura e umidade relativa do ar foram compatíveis com a climatologia regional em ambos os locais de estudos (BIUDES et al., 2015). Os índices pluviométricos mais baixos foram consistentes com os períodos caracterizados como secos de abril a setembro, com exceção do mês de junho na região da Baía das pedras que pode se dever a um período de pluviosidade atípico (DANELICHEN et al., 2013).

Os dados de precipitação foram obtidos para todos os meses do ano, através do sensor TRMM (Tropical Rainfall Measurement Mission) com total anual acumulado de 1348,14mm para a Baía das Pedras e 1225,53mm para o Cambarazal, o mês de janeiro foi o mais chuvoso com precipitação acumulada de 230,95mm (15% do total anual), enquanto que os meses mais secos foram de maio a setembro, com poucos ou nenhum evento de precipitação. Os períodos aqui caracterizados como chuvosos normalmente apresentaram temperaturas mais altas, pois se iniciam no final da primavera e perduram durante o verão.

A diferença entre a temperatura média das áreas consideradas nativas (Baía das Pedras) e a área modificada (Cambarazal) foi menor na região nativa em cerca de 0,5°C o que se deve a proximidade da localização das áreas de estudo (ambas na RPPN Sesc Pantanal), e ao período em que foram coletados os dados para a Baía das Pedras pertencer a um ano com mais dias frios do que o período de coleta dos dados para o Cambarazal.

Tabela 1 - Valores médios mensais para o Fluxo de Calor no Solo (G) em W/m²

Mês	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Cambarazal	1,15	2,18	1,43	-0,58	-2,78	3,40	3,11	3,83	3,67	5,36	5,92	5,61

Baia das Pedras	3,18	1,71	1,82	5,64	1,27	1,25	0,31	-1,08	-0,47	0,76	1,55	1,76
-----------------	------	------	------	------	------	------	------	-------	-------	------	------	------

Normalmente a temperatura e umidade de uma região são resultados diretos da reflexão e absorção de energia solar na superfície da cobertura vegetal, juntamente com a sua conversão em Calores sensível ou latente (TEIXEIRA e LUCAS, 2014). Como pode-se ver na tabela 1, devido a sua baixa relevância no Balanço de energia das duas regiões, com as maiores médias circulando em torno de $0,5 \sim 5 \text{ W/m}^2$, representando menos de 1% do Balanço de energia, o Fluxo de calor no solo (G) não será levado em consideração nas análises dos fluxos de energia desse estudo.

4.1 PADRÕES SAZONAIS NOS FLUXOS DE ENERGIA

Os valores para o Saldo de Radiação (R_n) obtidos para o ano característico que foi gerado com base nos dados medidos se comportaram de maneiras diferentes em ambas as áreas de estudo, com seus valores máximos coincidindo nos períodos chuvosos na região da Baía das Pedras, que obteve médias de $363,75 \text{ W/m}^2$ nesse período, em contraste com $345,20 \text{ W/m}^2$ na floresta de Cambarazal.

Porém como pode-se perceber na Figura 5, sendo muito divergentes nos períodos mais secos do ano, quando cada região reagiu de maneira diferente, e os valores de R_n para as duas áreas foram mais contrastantes, tendo sido $356,76 \text{ W/m}^2$ e $299,04 \text{ W/m}^2$ para a Baia das Pedras e Cambarazal, respectivamente.

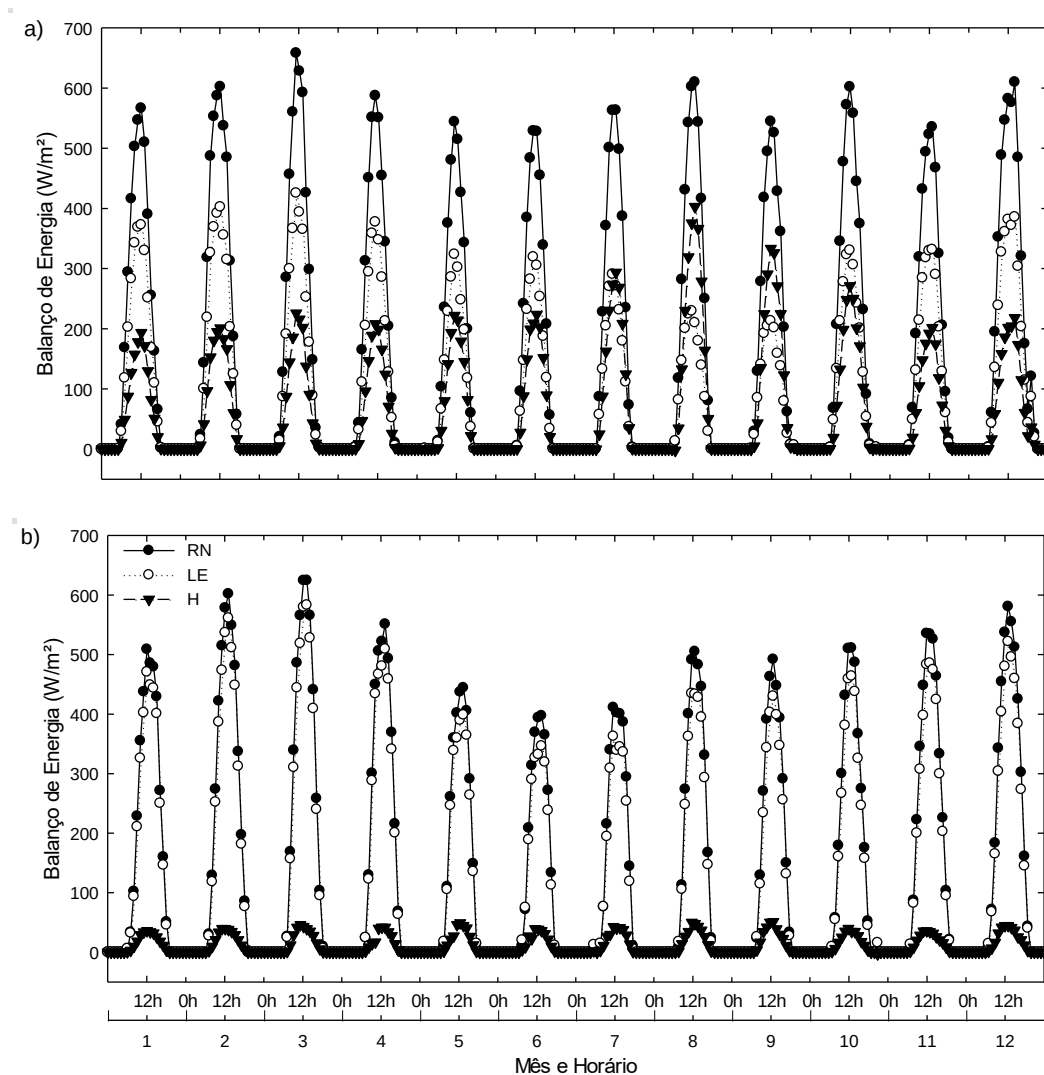


Figura 5 - Médias diárias para Saldo de Radiação (Rn; símbolo fechado), fluxo de Calor Latente (LE, símbolo aberto) e fluxo de Calor Sensível (H, triângulo invertido) para região da Baía das Pedras (a), e Cambarazal (b).

Os valores encontrados para o Saldo de Radiação (Rn) foram maiores na estação chuvosa em ambas as áreas de estudo (Figura 5), isso se deve a grande presença de nuvens e conteúdo de vapor d'água na atmosfera neste período, o que faz com que está maior disponibilidade hídrica ao meio, possibilite maior absorção de energia, fazendo com que a energia disponível ao meio, ou seja, o Saldo de Radiação seja em média maior (MACHADO et al., 2016).

Em contraste, os valores de Rn são menores no período Seco devido a maior presença de partículas na atmosfera, provenientes de queimadas, que juntamente com ao baixo teor de vapor d'água na atmosfera devido à escassez de precipitação nesse

período, fazem com que haja um menor aproveitamento da Energia solar incidente em forma de Saldo de Radiação (BIUDES et al., 2009, CURADO et al., 2014).

Estes resultados estão de acordo com os encontrados por Curado et al. (2014), Rodrigues et al. (2014), BIUDES et al. (2015) que observaram maiores valores para o Saldo de Radiação nos períodos mais úmidos do ano, devido a eficiência das nuvens na absorção de ondas longas, e também a incidência de radiação ser coincidentemente maior nesse período devido a inclinação solar, possibilitando assim maiores valores para R_n .

Graças a maior quantidade de energia e de água suspensa em forma de vapor disponível ao sistema nos períodos chuvosos, pode-se perceber maior desprendimento dessa energia em forma de calor latente neste período, resultando em menores porcentagens destinadas às outras parcelas do balanço de energia. Porém, apesar de ambas se comportarem de maneiras semelhantes nesse período, as áreas de estudo tiveram comportamentos muito contrastantes em relação a quantidade de energia particionada em LE.

Foi perceptível que os fluxos de energia na região da Baía das Pedras seguem com maior rigidez o comportamento pluviométrico (Figura 4), em que se percebeu que os valores de LE chegaram aos 228 W/m^2 no período chuvoso, porém caíram para menos de 180 W/m^2 no mês de agosto, em média o mês mais seco do ano na região, cujo o calor Sensível (H) foi maior, chegando a ultrapassar os 180 W/m^2 , demonstrando grande variação sazonal em decorrência da disponibilidade hídrica.

Já para a região do Cambarazal foi mensurado que, em média, a energia disponível ao meio destinada a LE chegou aos $315,06 \text{ W/m}^2$, representando em média 90% da proporção de R_n destinada a LE, e 25 W/m^2 foram convertidos em H.

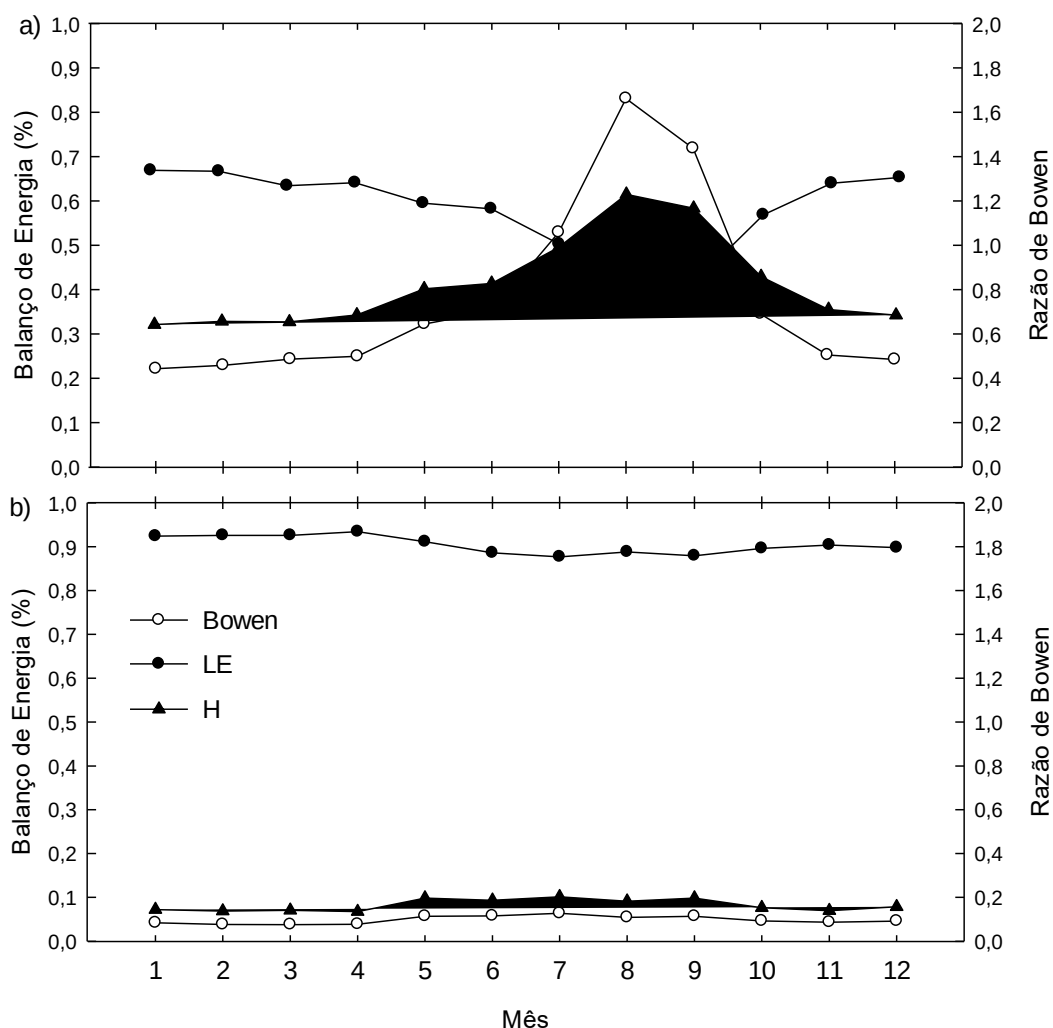


Figura 6 - Médias mensais para o fluxo de Calor Latente (LE, símbolo fechado) e fluxo de Calor Sensível (H, triangulo) e Razão de Bowen (β , símbolo aberto) para região da Baía das Pedras (a), e Cambarazal (b).

Como podemos ver na Figura 6b, o Cambarazal manteve uma boa estabilidade entre os períodos, com LE variando de 90% no período chuvoso para cerca de 85% nos períodos secos, o que ainda é maior que o máximo de LE obtido na região da Baía das Pedras no período chuvoso.

Percebe-se o padrão de comportamento esperado para os valores de Bowen, pois quando Bowen se aproxima de zero, LE tende a se tornar cada vez maior que H, isso também é perceptível na Figura 6a, em que pode-se perceber que os valores de Bowen se distanciam de 0, e no mesmo período H passou a ser maior que LE, caracterizando a equação 15, onde $\text{Bowen} = H/LE$.

Curado et al. (2014) se refere a importância da disponibilidade hídrica do ecossistema para obter maiores valores de LE, o que pode ser explicado pelo fato do

dossel vegetativo do Cambará fazer com que a secagem do solo demore mais tempo, e devido a profundidade das suas raízes ser maior que a vegetação nativa do pantanal, possibilite que o mesmo seja capaz de buscar água em maiores profundidades, fazendo com que mantenha um maior índice de Evapotranspiração durante o ano todo.

Estes resultados podem ser comparados com os obtidos em florestas úmidas amazônicas, local de origem do Cambará, o que pode ser explicado pelo fato de o Cambará ser uma espécie invasora oriunda dessa região que se adaptou muito bem ao pantanal, reduzindo as variações sazonais nos fluxos de energia da região onde se estabelece.

Os resultados das parcelas do balanço de energia para o Cambarazal se aproximam dos resultados de Biudes et al. (2009), que obteve frações de 80% de LE, e 19,1% de H para o Cambarazal, e 56,6% de LE e 42,9% de H para pastagem. Os resultados obtidos por Pereira et al. (2013), também corroboraram com os resultados desta pesquisa para os períodos úmidos, obtendo 90% de LE e 4,7% de H, porém divergindo nas estações secas, quando obteve 70 e 27,5% para LE e H através do método da razão de Bowen.

Biudes et al. (2015) conduziu um experimento em que mensurou o balanço de energia utilizando sensoriamento remoto para diversas regiões do País onde obteve 65% (LE), 30%(H) para Floresta amazônica, 58% (LE), 40%(H) para cerrado e no pantanal percebeu um contraste para as regiões da baía das pedras, 64% (LE), 36%(H) e para o Cambarazal, 81% (LE), 18%(H), resultados próximos aos obtidos por este estudo para as Regiões da Baía das Pedras e Cambarazal, demonstrando a influência do Cambará na região onde se estabelece.

Rodrigues et al. (2011) utilizou dados coletados na região de Cambarazal para estimar os fluxos de energia através do método da razão de Bowen, obtendo médias de 93% (LE) e 7% (H) para o período chuvoso e 89% (LE) e 13% (H) para o período seco. Resultados praticamente idênticos aos obtidos por este trabalho, corroborando assim com nossas estimativas.

4.2 BALANÇO DE ENERGIA PELO ALGORITMO SEBAL

Devido ao fato de que não possuíamos dados pareados para ambas as torres, ou seja, medidos no mesmo período, para que pudéssemos ter certeza que os fluxos estimados pela razão de Bowen estavam corretos e não demonstravam um período atípico para uma das regiões, foi realizado o cálculo do Balanço de energia utilizando o algoritmo SEBAL (Surface Energy Balance Algorithm for Land), em que foram obtidos os resultados que podem ser observados na tabela 2, na página seguinte.

TABELA 2 – Resultados das estimativas do balanço de energia pelo algoritmo SEBAL, nos meses de agosto (período seco) em diferentes anos.

DATA	HORA	REGIÃO	SEBAL				BOWEN			
			Rn	G	H	LE	Rn	G	H	LE
18/08/2008	13:40	CAMB.	473,53	6,41%	8,53%	85,06%	481,65	1,69%	8,96%	89,35%
16/08/2007	13:41	CAMB.	551,11	5,06%	11,32%	83,62%	564,95	2,45%	11,63%	85,92%
29/08/2012	13:47	CAMB.	574,32	5,73%	15,92%	78,34%	-	-	-	-
25/08/2007	13:35	B. P.	367,37	11,50%	61,00%	27,50%	-	-	-	-
27/08/2008	13:35	B. P.	513,10	13,00%	56,00%	31,00%	-	-	-	-
22/08/2012	13:41	B. P.	580,76	8,58%	65,39%	26,04%	576,93	-0,66%	71,99%	28,67%
MÉDIAS		CAMB.	532,99	5,73%	11,92%	82,34%	523,30	2,09%	9,11%	88,79%
		B. P.	487,08	11,03%	60,80%	28,18%	403,73	-0,31%	61,50%	38,80%

Na Tabela 2, temos os dados estimados pelo algoritmo SEBAL, a esquerda e os estimados pela razão de Bowen a direita, o método SEBAL utiliza como entrada imagens multiespectrais geralmente obtidas por satélite, no caso desta pesquisa, através do Landsat 7, ao analisar os resultados obtidos podemos verificar a confiabilidade dos dados estimados pela razão de Bowen. Pois através do SEBAL, obtivemos valores médio de LE: 82,34% em comparação com 88,79% por Bowen para a região do Cambarazal, bem como LE = 28,18% contra 38,8% de Bowen.

Um problema encontrado, foi a superestimação de G , que provavelmente devido a implementação do algoritmo utilizada aqui ter sido mais simples, sem a utilização de correções para variáveis como a temperatura de superfície, um parâmetro chave para as estimativas de fluxo de calor no solo. Desta forma, com a superestimação de G os valores de LE e H tendem a diferir dos valores estimados em torre (YU et al, 2014).

Sabendo que essas estimativas partiram do mês de agosto, considerado como seco neste estudo podemos dizer que as estimativas foram satisfatórias para este estudo, porém contrastantes com resultados de Biudes et al. (2012) que obteve 66,6% (LE) em região de Cambarazal no período seco.

4.3 RELAÇÃO ENTRE PRECIPITAÇÃO E FLUXO DE CALOR LATENTE

Foi realizada uma análise através de regressão linear para verificar a correlação entre as variáveis do balanço de energia e a precipitação (Figura 7), para tal foram utilizadas as médias diárias para o fluxo de calor latente e as médias mensais de precipitação. Como os fluxos foram obtidos através da razão de Bowen, ou seja, o balanço de energia sempre irá fechar em 100%, portanto não se viu necessidade de analisar o comportamento de H x ppt, pois é possível supô-lo através da análise de LE x ppt.

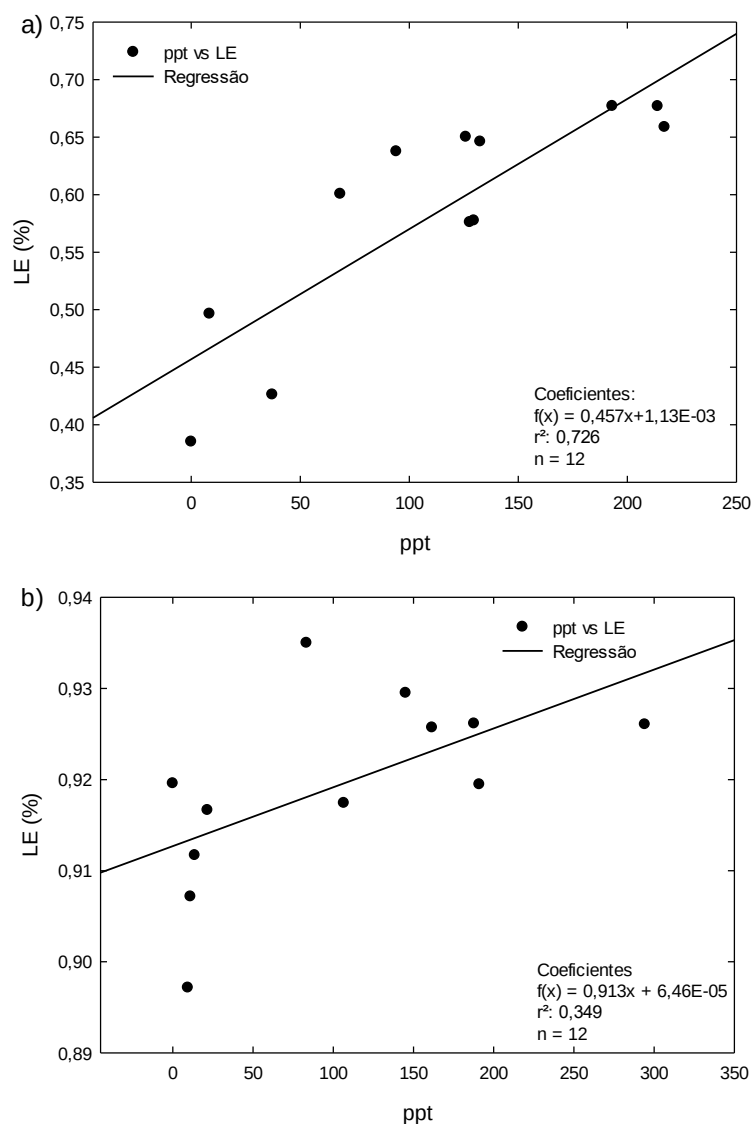


Figura 7 - Regressão linear entre a porcentagem de LE em Rn diária e a precipitação mensal para a região da Baía das pedras (a) e Cambarazal (b).

Com os resultados da regressão contidos na Figura 7a, pode-se perceber que a partição de LE contida em Rn para a região da Bahia das Pedras teve maior correlação ($r^2 = 0,726$) com a precipitação, principalmente se observados os dados contidos nos meses chuvosos, com maiores valores de precipitação mensal ($ppt > 100$), cuja linha de tendência tende a se estabilizar conforme os valores de ppt aumentam.

Seguindo o caminho oposto, nos períodos secos há uma grande dispersão na plotagem dos dados, o que se deve ao fato de H ser mais significativo que LE durante os períodos com baixa precipitação na região da Baía das Pedras, onde, nesse período há um maior gradiente de temperatura do ar e baixa disponibilidade hídrica típica da região central de Mato Grosso.

Ao analisarmos a Figura 7b, temos a regressão de LE diária pela ppt mensal para a região do Cambarazal, podemos notar um comportamento semelhante ao obtido na região da Bahia das pedras, porém observou-se uma menor correlação entre as variáveis ($r^2 = 0,726$), isso pode ser explicado pelo fato dessa região não sofrer tanto com a sazonalidade da região, mantendo uma média próxima a 90% para o fluxo de calor Latente na região, desta forma teremos uma menor correlação de LE com ppt.

Aguiar et al. (2006) obteve para fluxo de calor latente em floresta tropical úmida, os valores de 71% para a estação seca o índice foi de 71% e esse índice aumentou para 86% na estação chuvosa. Apesar dos valores corroborarem mais com esse trabalho nos períodos chuvosos, Aguiar et al. (2006) relatou a baixa variação sazonal encontrada e descreve o declínio de LE durante o período seco.

Machado et al. (2016) mensurou os fluxos de energia na região da Baía das pedras através do método de Bowen e obteve média anual de 56,63% (LE), e 31,67% (H), variando de 50,56% (LE), e 35,94%% (H) no período seco e 61,88% (LE), e 28,01% (H) no período chuvoso. Percebendo o mesmo comportamento descrito neste trabalho, seguindo uma tendência sazonal para os fluxos de energia, com maiores valores encontrados para LE nos períodos chuvosos e valores maiores para H nos períodos secos.

Yu et al. (2014) realizou estimativas dos fluxos de energia através do método da razão de Bowen na província de Qianyanzhou ao sul da China, influenciada por uma vegetação caracterizada como sempre verde, em sua maioria composta por pinheiros com cerca de 12 metros de altura, e obteve médias anuais de aproximadamente 68% (LE) e 24% (H). Devido a descrição do local de estudo acredita-se que seu comportamento seja próximo ao esperado na região da Baía das Pedras.

4.4 ANALISE COMPARATIVA

Para confirmação das variabilidades sazonais das duas regiões foi utilizado o método de comparação das medias Bootstrap (SOKAL & ROHLF, 1998), em que foram avaliados o Desvio Padrão. Basicamente o método consiste em aleatorizar os dados, e obtenção de sua média, repetindo este processo por mil vezes, e assim gerando uma média final, através das médias obtidas durante as mil interações.

Os dados utilizados para Bootstrap foram Temperatura e umidade relativa do ar e os fluxos de Calor sensível e latente, onde utilizamos médias diárias para estas variáveis, e estas foram reamostradas aleatoriamente 1000 vezes, obtendo médias para a variável determinada a cada ciclo e posteriormente podemos estimar uma média geral e os desvios padrões.

4.4.1 Temperatura e Umidade Relativa do ar

Observa-se através da Figura 8a, que houve diferença significativa na temperatura entre as duas regiões, havendo a caracterização de uma maior amplitude na região do Cambarazal principalmente nos periodos chuvosos, com maior umidade, oque demonstra uma característica de vegetações amazonicas, também conhecidas como florestas tropicais umidas.

Porem ao analisar a Figura 8b, percebe-se que houve diferença significativa nas médias de umidade relativa mensal, em que o cambarazal se manteve pelo menos 10% mais umido que a Baia das pedras durante o periodo chuvoso, e essa diferença se fez mais presente no periodo seco, quando subiu para cerca de 20%, isso pode ser explicado pela baixa variação sazonal dos fluxos de LE característicos da vegetação de Cambarazal, mantendo o ar mais umido durante o ano todo.

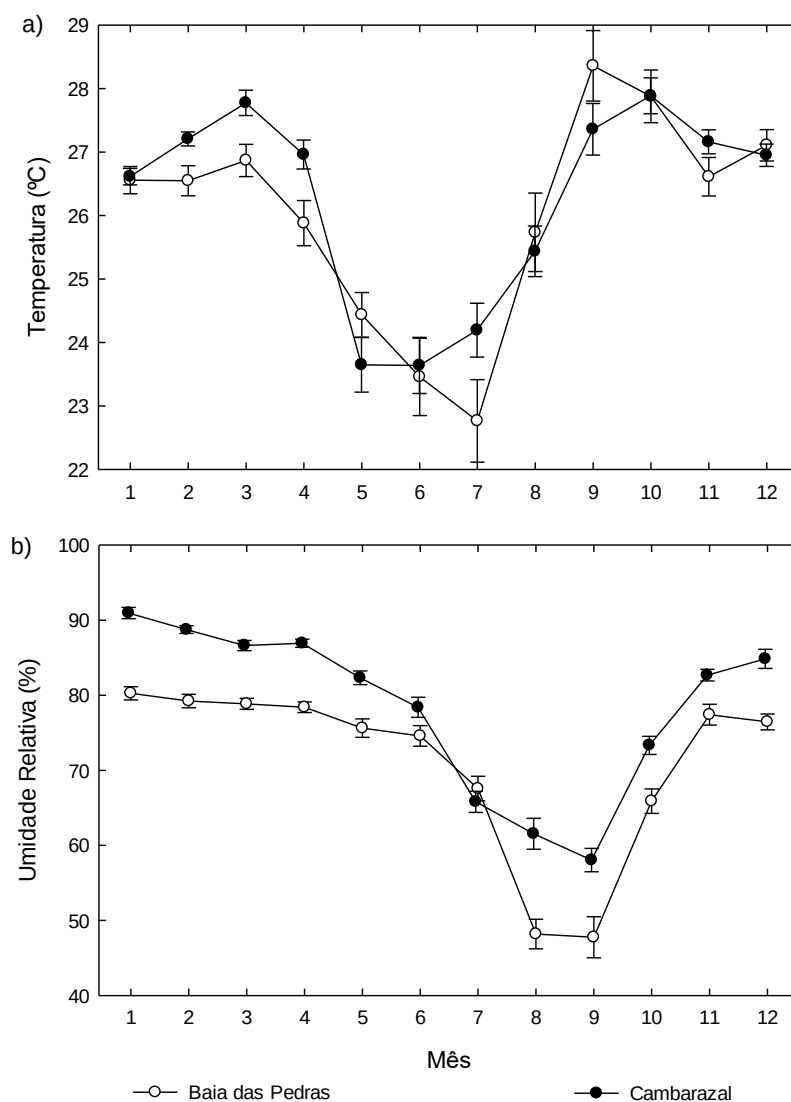


Figura 8 - Médias das variáveis Temperatura (a) e Umidade Relativa (b) com intervalos de confiança obtidos através dos resultados da reamostragem por Bootstrap.

Esses resultados corroboram com os encontrados por Curado et al. (2014), que obteve médias de 81,7% para o período chuvoso em região de Cambarazal, com as medias oscilando de 69,5 a 91,8% neste período e de 33,5% a 89,0% no período seco, com médias de 57,5%. Demonstrando que a secagem do pantanal, juntamente com o aumento da temperatura no período seco, resultem no crescimento de H neste período.

4.4.2 Fluxos de Calor Latente e Sensível

Na Figura 9 podemos analisar o resultado das médias obtidas por Bootstrap para as principais variáveis do balanço de energia, nela podemos ver que não houve diferença significativa em LE e H. Para ambas as regiões houve prioridade no LE durante o período chuvoso, porém se comparando as duas regiões percebemos uma grande diferença na partição do balanço de energia, com médias de $91\% \pm 0,21\%$ para o Cambarazal e $65\% \pm 0,6\%$ para a Baía das Pedras.

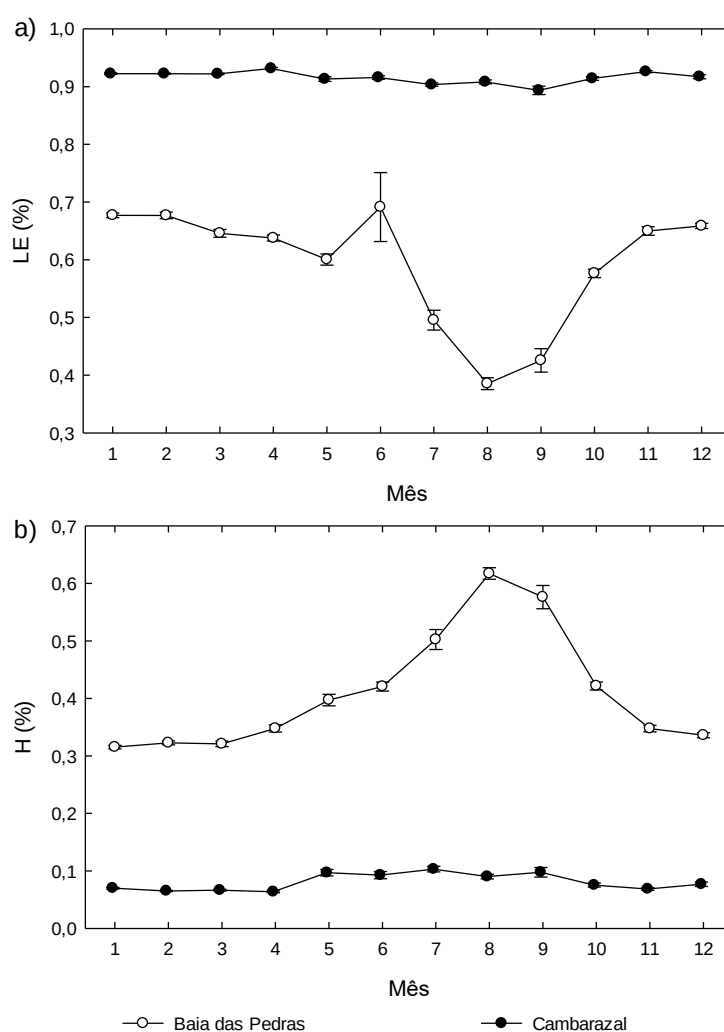


Figura 9 - Médias das variáveis LE (a) e H (b) com intervalos de confiança obtidos pelo método Bootstrap.

Observa-se na Figura 9, que não houve diferença significativa para os fluxos de LE e H entre as regiões estudadas. O fluxo de calor latente, componente

diretamente dependente da disponibilidade hídrica do sistema se manteve mais estável na região de Cambarazal, e teve maiores amplitudes na região da Baía das Pedras, porém em nenhum momento essas variações chegaram a convergir.

Como não é possível observar os desvios das médias para cada variável no gráfico, os critérios utilizados para evidenciar as magnitudes das diferenças podem ser observados na Tabela 3.

TABELA 3 - Médias mensais das variáveis H e LE com desvio padrão, obtidos pelo método Bootstrap

Mês	LE				H			
	Cambarazal		Baía das Pedras		Cambarazal		Baía das Pedras	
	Média	Desvio Padrão	Média	Desvio Padrão	Média	Desvio Padrão	Média	Desvio Padrão
1	0,926	0,001	0,677	0,004	0,074	0,002	0,315	0,003
2	0,926	0,001	0,677	0,006	0,069	0,001	0,323	0,003
3	0,926	0,001	0,646	0,007	0,070	0,002	0,321	0,005
4	0,935	0,002	0,638	0,005	0,067	0,002	0,348	0,006
5	0,917	0,004	0,600	0,010	0,101	0,006	0,397	0,010
6	0,919	0,003	0,691	0,060	0,096	0,006	0,421	0,008
7	0,907	0,003	0,495	0,017	0,107	0,005	0,503	0,017
8	0,912	0,003	0,385	0,010	0,094	0,004	0,617	0,010
9	0,897	0,007	0,426	0,020	0,101	0,008	0,576	0,020
10	0,918	0,003	0,576	0,007	0,079	0,004	0,422	0,007
11	0,930	0,002	0,650	0,007	0,072	0,002	0,348	0,006
12	0,921	0,004	0,659	0,005	0,080	0,004	0,336	0,004

Devido à natureza das médias utilizadas ser mensal, e se encontrarem dentro de períodos semelhantes de comportamento, o desvio padrão foi muito pequeno, sendo maior na região da Baía das Pedras. Desta forma, é perceptível por meio da constatação das análises das médias das variáveis do balanço de energia, juntamente com a umidade relativa e temperatura, podemos afirmar que a mudança da cobertura vegetal para cambará afeta significativamente os fluxos de energia da região.

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Foi perceptível a influência da mudança da cobertura vegetal original para Cambará nos fluxos de energia na região do pantanal mato-grossense. Ao analisar as diferenças das magnitudes dos fluxos de energia entre os dois períodos de dados, constatou-se que a análise dos componentes do balanço de energia demonstraram maior sazonalidade na região da Baía das Pedras, em contraste com o Cambarazal que se manteve bastante estável durante o ano.

Em períodos de seca, a maior contribuição da energia disponível se deu em forma de calor sensível para a região da Baía das Pedras, com cerca de 60%, e em forma de calor latente para a região do Cambarazal, com cerca de 88%.

Nos períodos chuvosos ambas as regiões se comportaram de maneira semelhante, com maior contribuição da energia disponível em forma de calor latente para ambas, porém a partição de LE foi muito maior na região do Cambarazal, com cerca de 90%, contra 70% para a Baía das Pedras.

A região de Cambarazal mostrou maior estabilidade durante o ano e menores variações microclimáticas em relação à Baía das Pedras.

Pode-se assim inferir que, a mudança da vegetação nativa para Cambará pode afetar os componentes do balanço de energia, acarretando principalmente em maior disponibilidade de energia destinada a mudança de estado físico da água no sistema, com médias elevadas de LE durante o ano todo, reduzindo a amplitude térmica e dos fluxos de calor da região.

SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

Levantamento e análise de um maior período de dados, levando a uma melhor caracterização do comportamento sazonal da região, bem como maior aprofundamento do estudo das variáveis, podendo incluir os fluxos de calor no solo e a energia estocada no Dossel vegetativo.

Com isso pode ser possível realizar um comparativo com outras áreas de estudo, podendo melhor caracterizar o comportamento do Cambará em regiões diversas.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AGUIAR, R. G.; VON RANDOW, C.; PRIANTE FILHO, N.; MANZI, A. O.; AGUIAR, L. J. G.; CARDOSO, F. L. Fluxo de massa e energia em uma Floresta Tropical no Sudoeste da Amazônia. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 21, n. 3b, p. 248-257, 2006.

ALLEN, R.G.; PEREIRA, L.S.; RAES, D.; SMITH, M. Evapotranspiración del Cultivo. Guías para la Determinación de los Requerimientos de Agua de los Cultivos. **Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y La Alimentación (FAO)**, Roma. 298 p, 2006.

ALVES, K. S. S. Validação da precipitação estimada pelos produtos 3B42 e 3B43 do TRMM sobre a reserva biológica Jaru – RO. Cuiabá, MT. 70 f. Dissertação (Mestrado em Física Ambiental) – Instituto de Física, Universidade Federal de Mato Grosso, 2017.

ANGELINI, L. P. Efeitos do uso do solo sobre o balanço de radiação e energia em Cuiabá/MT. Cuiabá, 2015, 60f. Dissertação (Mestrado em Física Ambiental) – Instituto de Física. Universidade Federal de Mato Grosso.

ANGELL, R.F.; SVEJCAR, T.; BATES, J.; SALIENDRA, N.Z.; JOHNSON D.A. Bowen ratio and closed chamber carbon dioxide flux measurements over sagebrush steppe vegetation. **Agricultural and Forest Meteorology**, v.108, p.153-161, 2001.

BALDOCCHI, D.D.; HICKS, B.B.; MEYERS, T.P. Measuring biosphere atmosphere exchanges of biologically related gases with micrometeorological methods. **Ecology**, v.69, n.5, p.1331-1340, 1988.

BASTIAANSEEN, W.G.; MENENTI, M.; FEDDES, R.A.; HOLTSLAG, A. A. M. A Remote Sensing Surface Energy Balance Algorithm for Land (SEBAL) 1. Formulation. **Journal of Hydrology**, v. 212-213, p 198-212, 1998.

BETTS, A.K.; DESJARDINS, R.L.; WORTH, D. Impact of agriculture, forest and cloud feedback on the surface energy budget in BOREAS. **Agricultural and Forest Meteorology**, v.142, p.156-169, 2007.

BIUDES, M. S. VOURLITIS, G. L. MACHADO, N. G. ARRUDA, P. H. Z. NEVES, G. A. R. LOBO, F. A. NEALE, C. M. U. NOGUEIRA, J. S. Patterns of energy exchange for tropical ecosystems across a climate gradient in Mato Grosso, Brazil. **Agricultural and Forest Meteorology**, v. 202, n. 15, p. 112–124, 2015.

BIUDES, M. S., VOURLITIS, G. L., MACHADO, N. G., DE ARRUDA, P. H. Z., NEVES, G. A. R., DE ALMEIDA LOBO, F., ... & DE SOUZA NOGUEIRA, J. (2015). Patterns of energy exchange for tropical ecosystems across a climate gradient in Mato Grosso, Brazil. **Agricultural and Forest Meteorology**, 202, 112-124.

BIUDES, M.S.; CAMPELO JUNIOR, J.H.; NOGUEIRA, J.S.; SANCHES, L. Estimativa do balanço de energia em cambarazal e pastagem no norte do Pantanal pelo método da razão de Bowen. **Revista Brasileira de Meteorologia**. v.24 n. 2, p 2009.

BIUDES, Marcelo Sacardi; NOGUEIRA, José de Souza ; DALMAGRO, Higo José ; MACHADO, Nadja Gomes ; DANELICHEN, Victor Hugo de Moraes ; SOUZA, Maísa Caldas . Mudança no microclima provocada pela conversão de uma floresta de cambará em pastagem no norte do Pantanal. **Revista de Ciências Agro-Ambientais** (Online), v. 10, p. 61-68, 2012.

BOWEN, I.S. The ratio of heat losses by conductions and by evaporation from any water surface. **Physical Review Serial**, v.2 p. 779-787, 1926.

BRUTSAERT, W. On the derive formula for long-wave radiation from clear skies. **Water Resources Research**. n. 11, p. 742-744, 1975.

CHARNEY, Jule et al. A comparative study of the effects of albedo change on drought in semi–arid regions. **Journal of the Atmospheric Sciences**, v. 34, n. 9, p. 1366-1385, 1977.

CORINGA, E. de A. O.; COUTO, E. G.; PEREZ, X. L. O.; TORRADO, P. V. 2012. Atributos de solos hidromórficos no Pantanal Norte Matogrossense. **Acta Amazônica**, v. 42, n. 1, p. 19-28.

CUNHA, G.R.; PAULA, J.R.F.; BERGAMASCH, H.; SAIBRO, J.C.; BERLATO, M.A. Balanço de radiação em alfafa. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, v.1, n.1, p.1-10, 1993.

CURADO, L. F. A. Estimativa sazonal da emissividade atmosférica no Pantanal Mato-Grossense. 2011. 68p. Dissertação (Mestrado em Física Ambiental), Instituto de Física, Universidade Federal de Mato Grosso, Cuiabá, 2011.

CURADO, L. F. A., DE SOUZA NOGUEIRA, J., SANCHES, L., RODRIGUES, T. R., DE ALMEIDA LOBO, F., & BÍUDES, M. S. (2014). Inter Seasonality of the Energy Fluxes in Brazilian Savana — Mato Grosso — Brazil. *Atmospheric and Climate Sciences*, 2014.

DANELICHEN, V. H. M.; BIUDES, M. S.; SOUZA, M. C.; MACHADO N. G.; CURADO, L. F. A.; NOGUEIRA, J. S. Soil Thermal Diffusivity of a Gleyic Solonetz Soil Estimated by Different Methods in the Brazilian Pantanal. **Scientific Research Journal**, v.3, n.1, p.15-22, March, 2013.

FANTIN-CRUZ, I., GIRARD, P., ZEILHOFER, P., COLLISCHONN, W. & CUNHA, C.N. Meso-scale phytophysiological units in the Northern Pantanal and their relations with geomorphology. **Biota Neotropica**, v.10, n.2, p.31-38, 2010.

FARIAS, S.E.M.; MEIRELLES, M.L.; FRANCO, A.C.; NOGUEIRA, J.L.M.; GUERRA, A.F.; MANZI, A.O. Balanço de energia em cultivo de milho no cerrado. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, v.12, n.2, p.227-233, 2004.

GIAMBELLUCA T W, SCHOLZ F G, BUCCI S J, MEINZER F C, GOLDSTEIN G, HOFFMANN W A, FRANCO A C, BUCHERT M P. Evapotranspiration and energy balance of Brazilian Savannas with contrasting tree density. **Agricultural and Forest Meteorology**, 149, 1365-1376, 2009. DOI 10.1016/j.agrformet.2009.03.006.

GLANZ, D. J.; ORLOB, G. T. Lincoln Lake Ecologic Study, **Water Resources Engineers Report**, DACW27-73-C-006, 1973.

HENDERSON-SELLERS, B. A new formula for latent heat of vaporization of water as a function of temperature. **Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society**, 110, pp. 1186-1190, 1984.

JUNK, W. J., C. N. CUNHA, K. M. WANTZEN, P. PETERMANN, C. STRÜSSMANN, M. I. MARQUES, J. ADIS. Biodiversity and its conservation in the Pantanal of Mato Grosso, Brazil. **Aquatic Sciences** 68: 278-309, 2006.

JUNK, W. J.; BAYLEY, P. B.; SPARKS, R. E. The Flood Pulse Concept in River-Floodplain Systems. In: Proceedings of the International Large River Symposium (LARS), 1989. **Canadian Special Publication of Fisheries and Aquatic Sciences**. Ottawa (Canada): ed. Dodge, p. 110-127, 1989.

JUNK, W. J.; DA SILVA C. J.. O conceito do pulso de inundação e suas implicações para o Pantanal Mato Grossense, p. 17 – 28. In: Anais do II Simpósio sobre Recursos Naturais e Sócio – econômicos do Pantanal – Manejo e Conservação. Corumbá, **EMPRAPA Pantanal**, p. 535, 1999.

MACHADO, N. G., BIUDES, M. S., ANGELINI, L. P., MÜTZENBERG, D. M. D. S., NASSARDEN, D. C. S., BILIO, R. D. S., ... & NOGUEIRA, J. D. S. (2016). Seasonality of Energy Balance and Evapotranspiration in a Flooded Scrubland in the Pantanal of Mato Grosso. **Revista Brasileira de Meteorologia**, 31(1), 82-91.

MACHADO, N. G., SANCHES, L., AQUINO, A. M., DA SILVA, L. B., NOVAIS, J. W. Z., & BIUDES, M. S. (2015). Growth rhythm of *Vochysia divergens* Pohl (Vochysiaceae) in the Northern Pantanal. *Acta Scientiarum*. **Biological Sciences**, 37(1), 81.

MACHADO, N.G., SANCHES, L., SILVA, L.B., NOVAIS, J.W.Z., AQUINO, A.M., BIUDES, M.S.,PINTO-JUNIOR, O.B., NOGUEIRA, J.S. Soil nutrients and vegetation structurein a neotropical seasonal wetland. **Applied Ecology Environmental Research**, v.13, n.2, p.289–305, 2015.

MACHADO, Nadja Gomes et al. Growth rhythm of *Vochysia divergens* Pohl (Vochysiaceae) in the Northern Pantanal. *Acta Scientiarum. Biological Sciences*, v. 37, n. 1, p. 81, 2015.

MONTEITH, J.L.; UNSWORTH, M. Principles of Environmental Physics. **Arnold**, London. 291 p, 1990.

MUTZENBERG, D.M. efeito da remoção de uma floresta de transição Amazônia-Cerrado no microclima. 2016. 43p. Dissertação (Mestrado em Física Ambiental), Instituto de Física, Universidade Federal de Mato Grosso, Cuiabá, 2016.

NASSARDEN, D.C.S. Dinâmica Sazonal de nutrientes no solo em diferentes fitofisionomias vegetais no Norte do Pantanal Mato-Grossense. Cuiabá, 2015, dissertação (mestrado em Física Ambiental) - Instituto de Física, Universidade Federal de Mato Grosso.

NOVAIS, J. W. Z., RODRIGUES, T. R., CURADO, L. F. A., OLIVEIRA, A. G., PAULO, S. R. NOGUEIRA, J. S., OLIVEIRA, R. G. Geothermal Dynamics in *Vochysia Divergens* Forest in a Brazilian Wetland. **Air Soil and Water Research**, 2013:6 47–52, 2013.

PEREIRA, E. B.; MARTINS, F. R.; ABREU S. L.; RUTHER. R. Atlas brasileiro de energia solar. **Swera**. São José dos Campos, 1º edição, 64p. 2006.

PEREIRA, O. A. Estimativas do balanço de energia e fluxo de CO₂ por diferentes métodos em floresta de transição no sudoeste da Amazônia. Cuiabá, 2013. 107f. Tese (Doutorado em Física Ambiental) - Instituto de Física, Universidade Federal de Mato Grosso.

PEREZ, P.J; CASTELLVI, F; IBAÑEZ, M; ROSELL, J.I; Assessment of reliability of Bowen ratio method for partitioning fluxes. **Agricultural and Forest Meteorology**, 97, p.141-150, 1999.

QUERINO, C. A. S., MOURA, M. A. L., QUERINO, J. K. A. S., VON RADOW, C., & MARQUES FILHO, A. D. O. Estudo da radiação solar global e do índice de

transmissividade (kt), externo e interno, em uma floresta de mangue em Alagoas–Brasil. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 26, n.2, p.204-294, 2011.

REICHARDT, K.; TIMM, L.C. Solo, planta e atmosfera. Conceitos, processos e aplicações. **Editora: Manole Ltda.** Barueri, SP. 2004.

RODRIGUES, T.R, VOURLITIS, G.L, LOBO, F.A, de OLIVEIRA, R.G, NOGUEIRA, J.S. Seasonal Variation in Energy Balance and Canopy Conductance For a Tropical Savanna Ecosystem of South Central Mato Grosso, Brazil. **Journal of Geophysical Research (Biogeoscience)**, vol 119, 1-13, 2014.

RODRIGUES, T.R. Análise de parâmetros biofísicos que controlam o fluxo de calor latente em área de Cerrado Campo Sujo. 2014. 94p. Tese (Doutorado em Física Ambiental), **Instituto de Física**, Universidade Federal de Mato Grosso, Cuiabá, 2014.

RODRIGUES, T.R. Variabilidade interanual da sazonalidade de fluxos de energia e matéria em área de Cerrado na Baixada Cuiabana. 2011. 85p. Dissertação (Mestrado em Física Ambiental), **Instituto de Física**, Universidade Federal de Mato Grosso, Cuiabá, 2011.

RODRIGUES, T.R., DE PAULO, S.R., NOVAIS, J.W.Z., CURADO, L.F.A., NOGUEIRA, J.S., de OLIVEIRA, R.G., LOBO, F.A e VOURLITIS, G.L, Temporal Patterns of Energy Balance for a Brazilian Tropical Savanna under Contrasting Seasonal Conditions, **International Journal of Atmospheric Sciences**, Vol.2013, Article ID 326010, 9 pages, 2013. DOI 10.1155/2013/326010.

RODRIGUES, Thiago R. et al. Temporal patterns of energy balance for a Brazilian tropical savanna under contrasting seasonal conditions. **International Journal of Atmospheric Sciences**, v. 2013, 2013.

SEIXAS, G. B., SOBRINHO, F. J. C., SANTANA, F., BIUDES, M. S., & NOGUEIRA, J. Estimativa do albedo em área de cambarazal no pantanal norte utilizando o algoritmo SEBAL e imagens TM/LANDSAT 5. **Simpósio de geotecnologias no pantanal**, 3, 16-20.

SOKAL, R.R.; ROHLF, F.J. Biometry. W.H. **Reeman and Company**. New York, 887p. 1998.

TANG, Y., WEN, X., SUN, X., & WANG, H. (2014). Interannual variation of the Bowen ratio in a subtropical coniferous plantation in southeast China, 2003-2012. **PloS one**, 9(2), e88267.

TANNER, C.B. Energy balance approach to evapotranspiration from crops. **Soil Science of America Proceedings**, Madison, v.24, n.1, p.1-9, 1960.

TRMM. Mission Overview. Disponível em: www.trmm.gsfc.nasa.gov. Acesso em 10 de junho de 2017.

USGS. Who we are. Disponível em: www.usgs.gov. Acesso em 10 de junho de 2017.

VERMA, S.B., ROSENBERG, N.J., BLAD, B.L. Turbulent exchange coefficients for sensible heat and water vapor under advective conditions. **Journal of Applied Meteorology**, v.17, 330-338, 1978.

VIANELLO, R.L.; ALVES, A.R. Meteorologia Básica e Aplicações. **Imprensa Universitária**, Universidade Federal de Viçosa, Viçosa. 449 p, 1991.