

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

**VARIAÇÃO SAZONAL DO ALBEDO DA SUPERFÍCIE NO
CERRADO *Stricto Sensu* DA BAIXADA CUIABANA**

MARCIA GRACIELA DA SILVA MORAES

**PROF^a. DR^a. IRAMAIA JORGE CABRAL DE PAULO
ORIENTADORA**

Cuiabá-MT, Março de 2013.

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

**VARIAÇÃO SAZONAL DO ALBEDO DA SUPERFÍCIE NO
CERRADO *Stricto Sensu* DA BAIXADA CUIABANA**

MARCIA GRACIELA DA SILVA MORAES

*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^a. DR^a. IRAMAIA JORGE CABRAL DE PAULO
ORIENTADORA

Cuiabá-MT, Março de 2013.

Dados Internacionais de Catalogação na Fonte.

M827v Moraes, Marcia Graciela da Silva.

Variação Sazonal do Albedo da Superfície no Cerrado Stricto Sensu da Baixada Cuiabana / Marcia Graciela da Silva Moraes. -- 2013

47 f. : il. color. ; 30 cm.

Orientadora: Prof^a. Dr^a. Iramaia Jorge Cabral de Paulo.
Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Mato Grosso, Instituto de Física, Programa de Pós-Graduação em Física Ambiental, Cuiabá, 2013.

Inclui bibliografia.

1. alterações temporais. 2. interação biosfera-atmosfera. 3. radiação solar. 4. Física Ambiental. 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

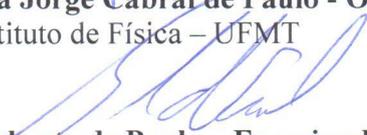
**TÍTULO: VARIAÇÃO SAZONAL DO ALBEDO DA SUPERFÍCIE
NO CERRADO *STRICTO SENSU* DA BAIXADA
CUIABANA**

AUTORA: MARCIA GRACIELA DA SILVA MORAES

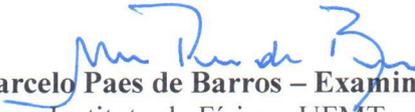
Dissertação de Mestrado defendida e aprovada em 05 de fevereiro de 2013, pela comissão julgadora:



Profa. Dra. Iramaia Jorge Cabral de Paulo - Orientadora
Instituto de Física - UFMT



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



Prof. Dr. Marcelo Paes de Barros - Examinador Externo
Instituto de Física - UFMT



Profa. Dra. Maricéia Tatiana Vilani - Examinadora Externa
Centro Universitário de Várzea Grande/UNIVAG

DEDICATÓRIA

*À minha mãe Nezita Querina da Silva,
se não fosse pelas orações dela eu não teria conseguido.*

*Aos meus irmãos Marco Aurélio Albuquerque Garcia
e Marcos Aurélio da Silva,*

pelo amor, cuidado e carinho que tem por mim.

*À minha mãe do coração Terezinha Borges de Albuquerque (in memorian),
e ao meu pai do coração Gabriel Garcia Lopes (in memorian)
graças à eles, por seus conselhos e exemplos de vida, consegui chegar até aqui.*

AGRADECIMENTOS

- À Deus, pela minha vida.
- Ao Programa de Pós-Graduação em Física Ambiental – PGFA/UFMT, pela oportunidade;
- À minha orientadora Professora Doutora Iramaia Jorge Cabral de Paulo, pelas orientações, pelos conselhos, pela confiança, pela amizade, por me ajudar, por me ensinar sempre e por tudo que fez por mim;
- Ao professor Doutor Sérgio Roberto de Paulo, por suas valiosas contribuições;
- Ao Professor Doutor José de Souza Nogueira (Prof. Paraná), pela amizade, pela confiança, pelo incentivo e apoio;
- À Professora Doutora Marta Cristina de Jesus A. Nogueira, pela preciosa contribuição na elaboração desta pesquisa, por seu incentivo, por seu apoio, pelo cuidado e carinho transmitido;
- Ao Professor Doutor Francisco de Almeida Lobo (Chico) e a todo o Grupo de Pesquisa em Ecofisiologia Vegetal (GPEV), pelos conhecimentos transmitidos e pelo compartilhamento dos dados;
- À minha mãe Nezita, pela dedicação, pelo amor, pela paciência e pelas orações;
- Ao meu marido, Jardel Ferraz de Moraes, pela paciência, pelo companheirismo, pelo incentivo, pelo amor, obrigada por sempre estar ao meu lado;
- Aos meus irmãos Marco e Marcos; pelo amor, pelo carinho, pelo cuidado e por me aguentarem;
- Às tias Enedil e Eurica, pelo cuidado que sempre tiveram comigo;
- Ao professor Ms. Edson Conceição de Campos Moraes e sua esposa Paula Francinete de Moraes, pela amizade, pela confiança, pelo carinho, por tudo que fizeram e fazem por mim;
- À professora Doutora Maria Saleti Ferraz Dias Ferreira e sua família, pela amizade, pela confiança, pelo carinho, e por toda ajuda que sempre me deram;
- Ao professor Doutor Carlos Rinaldi, pela amizade, pela confiança, pelos conselhos, pelos ensinamentos, pelo incentivo, pelo apoio, e por tudo que já fez por mim;
- Aos amigos especiais Amanda e ao André, pela amizade, pelos estudos, pela companhia e pelo carinho;

- Aos demais amigos de Mestrado da Turma de 2010: Adilson, Allan, Edson, Jonathan, Leone, Thiago Rodrigues e Thiago Meirelles, pela convivência, pois juntos crescemos, experimentamos, e construímos muitos conhecimentos, que levaremos por toda nossa vida;
- Aos professores: Doutor Carlo Ralph de Muisis, Doutor José Holanda Campelo Júnior, Doutor Marcelo Sacardi Biudes, Doutor Denilton Carlos Gaio e Doutora Carmen Eugenia Rodríguez Ortíz, e à todos os professores do PGFA, pelas preciosas contribuições e por compartilharem seus conhecimentos, e por me ensinarem a ser uma pesquisadora em Física Ambiental;
- Aos meus veteranos no PGFA: Professor Miguel Jorge, Andréia Tavares, Diego Enoré, Osvaldo Pereira, Erondina, Geison, Flávia, Wagner, Suzy e a todos demais colegas, pelas dicas e pelos conselhos;
- Ao Cesário, Soilce e Jô, pela ajuda e colaboração sempre que solicitei;
- À Neuza Cabral, pela amizade, pelo incentivo, pelo carinho;
- À Marluce Oliveira de Arruda Feitosa, pela amizade, pela força e pela compreensão;
- A todos os amigos da Universidade Aberta do Brasil;
- Ao Orivaldo Cabreira e sua família, pela ajuda, pelos conselhos e pelo carinho;
- À Ambrosina Albuquerque, pelo carinho e pela generosidade;
- À minha família Silva;
- À minha família Borges de Albuquerque;
- À minha família Garcia Lopes;
- À minha família Moraes;
- Ao professor Doutor Marcelo Paes de Barros, pela atenção e pela valiosa contribuição na banca examinadora desta pesquisa;
- À professora Doutora Maricéia Tatiane Vilani, pela atenção e pela valiosa contribuição na banca examinadora desta pesquisa;
- A todos, que direta ou indiretamente, contribuíram para o desenvolvimento deste trabalho, muito obrigada!
- À Coordenação de Aperfeiçoamento Pessoal do Ensino Superior (CAPES) pelo auxílio financeiro concedido durante toda a pesquisa.

EPIGRAFE

*“Buscai primeiro o reino de Deus
e as outras coisas vos serão acrescentadas...”*

Bíblia Sagrada - Mateus 6:33

SUMÁRIO

| | |
|--|------|
| LISTA DE ILUSTRAÇÕES..... | vi |
| LISTA DE TABELAS..... | vii |
| RESUMO..... | viii |
| ABSTRACT..... | ix |
| 1. INTRODUÇÃO..... | 1 |
| 1.1. PROBLEMÁTICA..... | 1 |
| 1.2. JUSTIFICATIVA..... | 2 |
| 2. REVISÃO DA LITERATURA..... | 4 |
| 2.1. BIOMA CERRADO <i>SENSU STRICTO</i> MATO-GROSSENSE NA REGIÃO DA BAIXADA CUIABANA..... | 4 |
| 2.1.1. Caracterização do Solo..... | 6 |
| 2.2 VARIÁVEIS CLIMÁTICAS MICROMETEOROLÓGICAS..... | 6 |
| 2.2.1. Radiação Solar..... | 6 |
| 2.2.2 Fluxos de Energia..... | 10 |
| 2.2.3 Precipitação..... | 11 |
| 2.3 ALBEDO DA SUPERFÍCIE..... | 11 |
| 3. MATERIAL E MÉTODOS..... | 14 |
| 3.1. LOCALIZAÇÃO DA ÁREA EXPERIMENTAL, INSTRUMENTAÇÃO E COLETA DE DADOS..... | 14 |
| 2.4 ANÁLISE E TRATAMENTO DOS DADOS..... | 17 |
| 4. RESULTADOS E DISCUSSÃO..... | 19 |
| 4.1. DESCRIÇÃO DOS PERÍODOS SECO E CHUVOSO..... | 19 |
| 5. CONSIDERAÇÕES FINAIS..... | 28 |
| 6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS..... | 29 |

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

| | |
|--|----|
| Figura 1. Localização da área experimental na Baixada Cuiabana..... | 14 |
| Figura 2. Piranômetro..... | 15 |
| Figura 3. Termohigrômetro..... | 16 |
| Figura 4. Termopares. | 16 |
| Figura 5. Pluviômetro de balança..... | 16 |
| Figura 6. Precipitação no período seco 2009. | 19 |
| Figura 7. Precipitação no período chuvoso 2009-2010..... | 20 |
| Figura 8. Albedo da superfície, média para o período seco e chuvoso..... | 21 |
| Figura 9. Radiação Global Incidente..... | 24 |
| Figura 10. Radiação Global Refletida..... | 24 |

LISTA DE TABELAS

| | |
|---|----|
| Tabela 1. Albedo de vários tipos de superfícies da Terra. | 13 |
| Tabela 2. Albedos Máximos e Mínimos para os períodos pesquisados..... | 23 |
| Tabela 3. Correlação entre o albedo da superfície com varáveis climáticas micrometeorológicas. | 26 |

MORAES, M. G. S.; **Variação sazonal do albedo da superfície no Cerrado *Stricto Sensu* da Baixada Cuiabana**. 2013. 47p. Dissertação (Mestrado em Física Ambiental), Instituto de Física, Universidade Federal de Mato Grosso, Cuiabá, 2013.

RESUMO

A investigação da dinâmica de funcionamento desse complexo ecossistema que é o Cerrado *Sensu Stricto* da Baixada Cuiabana, é importante para corroborar com as pesquisas relacionadas às alterações temporais e climáticas globais, assim como a observação do comportamento das medidas da temperatura, precipitação, umidade relativa do ar, balanços de radiação, fluxos de calor sensível e calor latente, dentre outras variáveis micrometeorológicas. O monitoramento do albedo de superfície terrestre é considerado de suma importância, pois ele está diretamente associado com as trocas de energia na superfície. Essas variações afetam o regime de radiação, que por sua vez interfere no microclima local, sendo que ambos estão relacionados aos processos naturais ou antrópicos. Ao caracterizar o padrão de comportamento das variáveis micrometeorológicas climáticas, buscaram-se subsídios para uma melhor compreensão do comportamento da dinâmica do Cerrado *Sensu Stricto* Matogrossense na Baixada Cuiabana. Espera-se também contribuir para o desenvolvimento de outros projetos nas áreas afins da Física Ambiental da região, com a divulgação científica desta pesquisa. Os dados foram coletados nos períodos seco e chuvoso nos anos 2009 e 2010, na Fazenda Miranda, situada no município de Santo Antônio de Leverger, na microrregião da Baixada Cuiabana a 15 km de Cuiabá – MT. O albedo da superfície vegetada apresentou variabilidade sazonal bem definida caracterizando as diferenças entre as estações seca e chuvosa no Cerrado *Sensu Stricto* da Baixada Cuiabana, para os dados analisados.

Palavras-chave: alterações temporais, interação biosfera-atmosfera, radiação solar, Física Ambiental.

MORAES, M. G. S.; **Seasonal Variation of the surface albedo in the Cerrado Stricto Sensu (Brazilian savannah / savannah intermediary formations) in the lowlands of Cuiabá.** 2013. 47p. Dissertation (Master's in Environmental Physics). Institute of Physics. Federal University of Mato Grosso. Cuiabá, 2013.

ABSTRACT

The study of the dynamics of this complex ecosystem comprising the Cerrado *Sensu Stricto* in the lowlands of Cuiabá is important in order to support other studies related to global timing and climate changes as well as to observe the behavior of measurements for temperature, rainfall, relative humidity, radiation balance, flux of latent and sensible heat among other micrometeorological variables. Monitoring terrestrial surface albedo is considered extremely important as it is directly associated with surface energy exchanges. These variations affect the radiation regime, which, in turn, interferes with the local microclimate both of which are part of natural and anthropic processes. In order to better understand the dynamics of the Cerrado *Sensu Stricto* of Mato Grosso in the lowlands of Cuiabá, we tried to typify the behavioral pattern of the climatic micrometeorological variable. We hope the disclosure of this research will contribute to the development of other projects in regional Environmental Physics and related fields. Data were collected during the dry and rainy periods in 2009 and 2010 at Fazenda Miranda located in the district of Santo Antônio de Leverger in the lowlands of Cuiabá, 15 km away from Cuiabá (Mato Grosso). The albedo of the vegetation-covered surface showed a well-defined seasonal variation with characteristic differences between the dry and rainy seasons in the Cerrado *Sensu Stricto* in the lowlands of Cuiabá according to the collected data.

Keywords: times changes, biosphere-atmosphere interaction, solar radiation, Environmental Physics.

1. INTRODUÇÃO

1.1. PROBLEMÁTICA

As mudanças climáticas e ambientais estão sendo investigadas em várias áreas do conhecimento científico, principalmente desde o início dos anos 1990, quando começava-se dar especial atenção a temática do aquecimento global. Pesquisas apontam que essas alterações ocorreram de forma mais intensa depois da Revolução Industrial na segunda metade do século XVIII, pois apresentaram evidências de mudança no aumento significativo da temperatura média global, no regime de precipitação e de outros fatores naturais. Porém, seus resultados ainda não puderam comprovar tais alterações.

No Brasil, com o crescimento populacional, o desenvolvimento das indústrias, das áreas destinadas à agropecuária extensiva e das pastagens, aumentaram ainda mais os desmatamentos e as queimadas das florestas nativas para abertura de rodovias, loteamentos residenciais e edificações industriais.

Atualmente a agropecuária é uma das principais fontes de economia do estado de Mato Grosso, na região de Cerrado da Baixada Cuiabana o destaque na economia é a criação de bovinos para corte entre outros e a exploração das madeireiras, que tem contribuído com o desmatamento e com as queimadas principalmente no período da seca, acarretando a diminuição expressiva da cobertura vegetal nativa, provocando perdas de biodiversidade e conseqüentemente desequilíbrios nas trocas de energia e matéria na superfície.

O Cerrado é comumente considerado o segundo maior bioma em área do país, ocupando aproximadamente 22% do território brasileiro. É uma formação do tipo savana tropical que ocupa aproximadamente 2 milhões de quilômetros quadrados na região Centro-Oeste do Brasil.

Mato Grosso também possui um histórico de divulgação nos últimos anos de alterações excessivas no uso da terra no Cerrado, as modificações da cobertura vegetal causadas por ações naturais e antrópicas que precisam ser identificadas, pois, existem evidências de que elas alteram o microclima, podendo causar impactos ambientais irreversíveis, e também influenciar mudanças no balanço de energia.

Assim, cresce a necessidade de conhecer e compreender a dinâmica de funcionamento desse complexo ecossistema, pois as características físicas e ambientais do Cerrado *Sensu Stricto* da Baixada Cuiabana são específicas da região, e precisam de mais estudos detalhados para apontar a ocorrência dos processos naturais e as intervenções que o homem vem promovendo.

1.2. JUSTIFICATIVA

A vegetação é responsável por receber, armazenar e distribuir equilibradamente a energia radiante necessária para manter naturalmente esse complexo sistema em funcionamento. Ao caracterizar o padrão de comportamento das variáveis micrometeorológicas climáticas, teremos subsídios para uma melhor compreensão do comportamento da dinâmica do Cerrado *Sensu Stricto* Mato-grossense na Baixada Cuiabana.

O monitoramento do albedo de superfície é considerado de suma importância para as pesquisas associadas às variáveis micrometeorológicas ambientais, uma vez que ele tem sido apontado como o principal indicador de alterações nos biomas de todo o planeta, relacionados a processos naturais ou antrópicos.

As pesquisas relacionadas à interação biosfera-atmosfera do Cerrado *Sensu Stricto* Mato-grossense na região da Baixada Cuiabana, são pouco conhecidas e divulgadas. Ainda não se sabe quais as consequências das atividades antropogênicas na região e nem o quanto elas podem alterar o equilíbrio da interação biosfera-atmosfera, portanto, identificá-las é de grande interesse, pois os sistemas abertos trocando energia e matéria entre si, influenciam as alterações climáticas locais, e conseqüentemente as regionais e globais.

Considerando a importância do tema abordado, este trabalho de caráter exploratório tem por objetivo contribuir para compreensão da variabilidade sazonal

do albedo e sua correlação com as variáveis climáticas micrometeorológicas: Temperatura do Ar e Temperatura do Solo, da região da Baixada Cuiabana no Cerrado *Sensu Stricto* Mato-grossense. Para alcançar este objetivo será necessário:

Identificar e avaliar os padrões de comportamento do albedo da superfície nos períodos seco e chuvoso;

Verificar e avaliar a correlação do albedo da superfície com as variáveis climáticas micrometeorológicas temperatura do ar e a temperatura do solo;

Caracterizar a variabilidade do albedo de superfície, no Cerrado *Sensu Stricto* Mato-grossense na região da Baixada Cuiabana, no período observado.

Faz-se necessário considerar a importância dessa pesquisa neste fragmento do Cerrado *Sensu Stricto* Mato-grossense, haja vista a grande quantidade de troca de energia e matéria entre solo-planta-atmosfera nesse ecossistema.

2. REVISÃO DA LITERATURA

2.1. BIOMA CERRADO *SENSU STRICTO* MATO-GROSSENSE NA REGIÃO DA BAIXADA CUIABANA

O Cerrado tem destaque como o segundo maior patrimônio natural brasileiro, representa com aproximadamente de 22% do território nacional e abrange uma área de 196.776.853ha, quase dois milhões de km², perdendo em tamanho apenas para a Floresta Amazônica. Para Ribeiro e Walter (1998), o Cerrado é um complexo vegetal que apresenta relações ecológicas e fisionômicas, parecidas com savanas da América tropical e dos continentes Africano e Australiano, ocorre em altitudes que podem variar desde 300m (como a Baixada Cuiabana - MT) até mais de 1600m (como na Chapada dos Veadeiros - GO).

O Mato Grosso, com extensão territorial de 906.069 km², é composto por 139 municípios. Dos seis biomas brasileiros: Amazônia, Cerrado, Pantanal, Caatinga, Mata Atlântica e Pampa, o estado de Mato Grosso abriga os três primeiros e é banhado por três bacias hidrográficas, sendo a Bacia Amazônica predominante no Estado (PIAIA, 1997).

A vegetação do Cerrado é na realidade uma adaptação às características do solo. Apresentam como resposta a profundidade do solo e a presença de água em suas camadas mais profundas. Árvores e arbustos com complexos e profundos sistemas de raízes, mesmo durante a estação seca, obtêm o suprimento de água necessário para a sobrevivência, para que se protejam das queimadas e possam depois rebrotar.

Toda a interferência realizada pelo homem no Cerrado seja através do processo de urbanização, de industrialização, da construção de grandes obras de engenharias ou através de desmatamentos, queimadas, preparação de áreas para

cultivos ou outras formas de uso do solo, coloca em risco a existência equilibrada desse bioma, tornando-se assim necessário a realização de estudos (SANTOS et al., 2000), e que apontem parâmetros de auto-organização que garantem a estabilidade dos mesmos.

A microrregião da Baixada Cuiabana está localizada na região Centro Sul do estado do Mato Grosso, com extensão territorial de 67.434,12 km² é composta por dez municípios: Acorizal, Chapada dos Guimarães, Cuiabá, Jangada, Nossa Senhora do Livramento, Rosário Oeste, Santo Antônio do Leverger, Várzea Grande, Barão de Melgaço e Poconé (BARROS, 2010).

Dentre várias particularidades encontradas no Cerrado, pode-se citar o clima, devido ao fato de apresentar duas estações climáticas bem definidas, invernos secos e verões chuvosos (SANTOS et al., 2000).

De acordo com FONSECA (2008), o clima da região é caracterizado por dois períodos: um chuvoso, de outubro a abril e outro seco de maio a setembro, com precipitação média acumulada nos últimos anos (1987-2006) de 1.496,12 mm; desse valor, 80% das chuvas concentram-se entre nos meses de novembro a março, sendo janeiro e março os meses com os maiores índices pluviométricos, e julho, o mês com índice menor que 1%.

O modelo de classificação da vegetação do Cerrado mais utilizado atualmente em várias pesquisas é o desenvolvido por Ribeiro e Walter (1998), no qual a vegetação do Cerrado é dividida em onze tipos fitofisionômicos (este onze tipos podem ser ainda divididos em subtipos), compreendidos em três formações vegetais, Florestal (Mata Ciliar, Mata de Galeria, Mata Seca e Cerradão), Savânicas (Cerrado sentido restrito, Parque de Cerrado, Palmeiral e Vereda) e Campestre (Campo Sujo, Campo Rupestre e Campo Limpo).

O Cerrado da Mato-grossense da Baixada Cuiabana, pode ser classificado como Cerrado *sensu stricto*, pelas suas características. Segundo Batalha (1997) a caracterização da área descrita como cerrado é Cerrado "*sensu scripto*", composto predominantemente de arbustos e arvoretas com cerca de 5 m de altura, em grande adensamento, dificultando a locomoção e restringindo o campo de visão. Árvores emergentes, com cerca de 7 a 10 m de altura, surgem eventualmente.

A vegetação do Cerrado caracteriza-se por grandes variedades fitofisionômicas, dentre elas o Cerradão, com espécies ocorrentes no Cerrado e também de mata, e o Cerrado *sensu stricto* com árvores baixas e retorcidas, arbustos, subarbustos e ervas (SILVA et al., 2005). A área de estudo é a pastagem caracterizada pela dominância de herbácea que surgiu depois da derrubada parcial da vegetação original, contendo vários fragmentos que conservam as características de Cerrado *sensu stricto*.

2.1.1. Caracterização do Solo

Na baixada cuiabana, o solo do objeto de estudo desta investigação pode ser caracterizado por ser pouco espesso, imperfeitamente drenado, concrecionário e com superfície cascalhenta (Plintossolo Pétrico), podendo ocorrer locais com a presença de solos Litólicos Distróficos (EMBRAPA, 1999).

2.2 VARIÁVEIS CLIMÁTICAS MICROMETEOROLÓGICAS

A interação da radiação solar com uma superfície vegetada, ainda é um campo de estudo relativamente novo e complexo, o qual exige entendimento de fenômenos físicos e fisiológicos que ocorrem em uma área vegetada (MOURA, 2007).

Estudos de trocas de energia entre a superfície e a atmosfera são importantes, não só para caracterizar o microclima local, como identificar interações existentes entre elas. Além disso, possibilitam conhecer variações do tempo e do clima da região, assim como, medir e identificar efeitos que atividades antropogênicas, ou fatores naturais, sobre diferentes questões ambientais (BIUDES et al., 2009).

Segundo Ollinger et al. (2008), outra importante característica que influencia a interação entre o ecossistema e a atmosfera é o albedo - propriedade biofísica da vegetação, que representa a quantidade de radiação solar refletida de volta para a atmosfera em relação à interceptada pela planta.

2.2.1. Radiação Solar

O fator mais importante para o desenvolvimento dos processos físicos, químicos e biológicos que ocorrem no sistema Terra-Atmosfera é a energia

proveniente do Sol, denominada radiação solar, regente das condições de tempo e clima.

A radiação solar é a energia recebida pela Terra, na forma de ondas eletromagnéticas, proveniente do sol - consistem em uma fonte primaria de energia disponível no globo terrestre, e responsável por todos os processos atmosféricos (TUBELIS e NASCIMENTO, 1992).

No processo de transferência por radiação, a energia se desloca seguindo um curso ondulatório, a uma velocidade de 300.000 quilômetros por segundo (km/s) (MOTA, 1975). A velocidade da luz (c) é proporcional ao produto do comprimento de onda da radiação (λ) e da frequência com que ela oscila (ν), $c = \lambda \nu$. Dependendo da forma com que interage com a matéria, a energia radiante pode se comportar ora como uma onda eletromagnética e ora com a natureza corpuscular (fóton).

A região que vai de 220nm até 360nm é chamada de ultra-violeta (UV), apenas as radiações de comprimento de onda entre 360nm a 740nm podem ser detectadas pelo olho humano, constituindo a faixa do visível do espectro eletromagnético ou luz do visível e as radiações com comprimento de onda superior a 740nm por apresentarem frequência menor que a luz vermelha, são ditas infravermelhas. Dentro desse intervalo, cerca de 52% da radiação solar que atinge a superfície da Terra está na faixa espectral do infravermelho, 44% na do visível e 4% na do ultravioleta (VAREJÃO, 2006). A emissão de energia radiante, tanto pela superfície como pela atmosfera, situa-se na faixa do infravermelho, sendo que, suas temperaturas são mais baixas.

Estudos climáticos envolvendo radiação solar e terrestre são importantes, pelo fato de ser esta a principal fonte de energia para os processos físicos e biológicos na atmosfera (LEITÃO, 1994). A vegetação é um importante receptor e armazenador de radiação solar, o que ocorre devido à absorção de energia incidente pelo sistema Solo-Planta, e é dependente do albedo da superfície (JARVIS et al., 1997).

As trocas de energia na interface Vegetação-Atmosfera, que ocorrem por meio dos componentes do balanço de radiação e dos fluxos de calor sensível e calor latente à superfície, são essenciais para modelagem climática, sendo a magnitude desses fluxos, e suas variações em períodos menores que um dia, muito importantes

na calibração de modelos climáticos e hidrológicos (BALDOCCHI e MEYERS, 1998).

Quando radiação solar atravessa a atmosfera sofre atenuações e podem ocorrer três interações com as superfícies: absorção, reflexão ou espalhamento. A porção da radiação incidente que chega a superfície é absorvida e a outra espalhada que também é conhecida como radiação difusa (radiação do céu), sendo que ainda parte desta é novamente devolvida para o espaço. Contudo, há uma porção da radiação solar que incide no topo da atmosfera, e chega diretamente à superfície terrestre, denominada radiação direta. Ao contabilizarmos esse dois fluxos de energia, que chegam juntos a superfície terrestre, num dado instante e local obtêm-se a radiação solar global.

A radiação global pode ser dividida em duas componentes: uma delas é a radiação direta, que provém diretamente do disco solar, quando este se mostra total ou parcialmente visível, e não sofreu nenhuma mudança de direção, a outra é a radiação difusa resultante da ação de espalhamento da atmosfera e que atinge o local considerado após ter sofrido um ou mais desvios (VAREJÃO, 2006). São influenciadas por alguns fatores tais como elevação solar, condições de profundidade ótica e grau de nebulosidade (ALVES, 1981).

A radiação solar difusa consiste na energia recebida do Sol após ter sua direção alterada através da reflexão e espalhamento pela atmosfera (SALANN e HIGARZY, 1978). Para Moura (2007) a radiação difusa é a porção da radiação solar que alcança a superfície da Terra após sofrer o espalhamento provocado pelas moléculas e partículas suspensas na atmosfera (moléculas de gases, partículas de aerossol e nuvens).

A porção da radiação solar absorvida aumenta a temperatura da superfície e, por conseguinte, aumenta a emissão de ondas longas pela superfície terrestre para espaço. Parte da radiação emitida pela atmosfera e nuvens, na faixa do infravermelho, e denominada radiação atmosférica (MOURA, 2007).

A radiação de onda curta possui a maior parte da radiação que chega a superfície terrestre e denominada de radiação direta, quando a atmosfera não oferece obstáculo à passagem da radiação. A atmosfera também contém partículas sólidas e líquidas que constituem os chamados aerossóis atmosféricos, gotas d'água e cristais

de gelo, os quais apresentam concentrações variáveis tanto no espaço quanto no tempo (YAMASOE, 2006).

Na presença de aerossóis espera-se uma diminuição da radiação solar que chega a superfície, visto que a radiação solar pode sofrer influências diretas e indiretas da presença de aerossóis (LIEPERT e LUKLA, 1997).

As nuvens, que cobrem em média de 40 a 60% da superfície da Terra, desempenham um papel fundamental no balanço de energia do planeta, absorvendo e refletindo radiação de onda longa (infravermelha); elas também influenciam na radiação de onda curta que penetra na atmosfera (ECHER et al., 2001).

O saldo de radiação solar representa a quantidade de energia radiante que é absorvida pela superfície terrestre, resultante da soma dos balanços de radiação de ondas curtas e ondas longas (TUBELIS e NASCIMENTO, 1992).

Ometto (1981) define o saldo de radiação solar, como sendo a radiação disponível ao meio após todas as trocas radiativas efetuadas, ou seja, a contabilização entre a radiação solar incidente com a radiação solar emitida. O saldo de energia disponível a superfície tem como principal componente o balanço de radiação que, por sua vez, pode ser obtido a partir do saldo de radiação de onda curta ou solar somado ao saldo de radiação de onda longa ou terrestre.

A energia disponível à superfície para os processos de aquecimento do ar e do solo, fotossíntese e evaporação da água advém do saldo das trocas radiativas de onda curta e de onda longas. O saldo de radiação, resultante do balanço de radiação de ondas longas e curtas, impulsiona alguns processos físicos é utilizado para aquecer a superfície e o ar acima dela ou para fornecer energia para evaporar a água do solo e da vegetação (BASTABLE et al., 1993), e no metabolismo das plantas e animais (ANDRADE et al., 2009).

Aproximadamente 30% da energia solar é refletida de volta para o espaço (FLEAGLE e BUSINGER, 1980). A radiação solar refletida depende do coeficiente de reflexão, também chamado de reflectância ou albedo da superfície (CORREIA et al., 2002). A reflexão ocorre na interface entre dois meios diferentes quando parte da radiação que atinge interface é enviada de volta (SILVA, 2008).

A energia utilizada nos processos de aquecimento e resfriamento do ar e do solo, de transferência de água na forma de vapor da superfície para a atmosfera, e do

metabolismo das plantas e animais, é proveniente da radiação solar. Portanto, é importante o conhecimento da partição dos componentes do balanço de radiação à superfície, principalmente a radiação solar incidente e refletida e o saldo de radiação, para estudos relacionados às trocas de energia biosfera-atmosfera.

2.2.2 Fluxos de Energia

A temperatura é uma das variáveis mais utilizadas nas pesquisas relacionadas à Física Ambiental. Da radiação líquida disponível a superfície do solo, uma parte sofre processo de transferência de energia em direção à atmosfera, utilizando-se das moléculas que constituem o ar atmosférico aquecendo-o de baixo para cima, isto é, da superfície do solo para grandes altitudes.

O aquecimento da atmosfera próxima à superfície terrestre ocorre principalmente por transporte de calor, a partir do aquecimento da superfície pelos raios solares, quando se mede essa parcela da temperatura do ar, considera-se, então a temperatura, que é um dos efeitos mais importantes da radiação solar, ela pode variar basicamente em função da disponibilidade da radiação solar na superfície, e também é conhecida como fluxo convectivo de calor sensível, e que aponta quanto da energia disponível é utilizada para o aquecimento do ar.

Já a parcela da temperatura do solo que queremos medir, também é chamada de fluxo de calor no solo, esse processo geralmente ocorre por condução, transferindo energia térmica de uma partícula para outra. E, por convecção com ou sem transferência de calor latente, o que depende das propriedades térmicas do solo e também da sua umidade.

Esses fluxos possuem uma distribuição de energia que vai da temperatura mais alta para a temperatura mais baixa. Assim, quando a superfície recebe o calor (energia) este é transmitido ao solo, aumentando a sua temperatura, e esse fluxo de energia vai sofrendo atenuações com a profundidade do solo.

A estimativa da densidade de fluxo de calor latente aponta a quantidade de energia utilizada pelo ecossistema em evidência, ou seja, a energia disponível ao meio para transpiração das plantas e evaporação de água do solo.

O sistema Solo-Planta-Atmosfera está dinamicamente acoplado em um processo físico construído no transporte de energia térmica e massa de água de uma

superfície vegetada. Este fenômeno explica, em alguma extensão, a importância do conhecimento a cerca da microclimatologia de sistemas de cultivo e florestas (SÁ et al., 1988).

2.2.3 Precipitação

Precipitação é o resultado final, já em torno do solo, do vapor d'água que se condensou e se transformou em gotas de dimensões suficientes para quebrar a tensão de suporte e cair. Essa água em trânsito entre nuvem e solo, chamado chuva tende aparentemente regular seu aspecto quantitativo para cada local no globo, mas sua distribuição, durante o ciclo anual é declaradamente irregular (OMETTO, 1981).

O processo de condensação por si só não é capaz de promover a ocorrência de precipitação, pois nesse processo são formadas gotículas muito pequenas, denominadas de elementos de nuvem, que permanecem em suspensão na atmosfera, não tendo massa suficiente para vencer a força de flutuação térmica. Assim, para que haja precipitação existe ainda a necessidade da ação de outros processos físicos, além do tamanho adequado das gotículas para propiciar as diferenças entre os elementos de nuvens e elementos de precipitação.

A quantidade e a distribuição das chuvas definem o clima de uma região (seco ou chuvoso) e, juntamente com a temperatura do ar, define o tipo de vegetação natural que ocorre nas diferentes regiões do globo.

Um dos principais fatores climáticos que influenciam a ocorrência e distribuição espacial e temporal das fisionomias de cerrado é a precipitação pluvial. Trabalhos recentes mostram a importância da análise temporal ou sazonal da vegetação de cerrado (FERREIRA et al., 2003; FERREIRA et al., 2004; RATANA e HUETE, 2004; BECERRA e ALVALÁ, 2006).

2.3 ALBEDO DA SUPERFÍCIE

O albedo da superfície pode ser definido como a razão entre o fluxo solar por ela refletido sobre o fluxo nela incidente. O termo albedo tem origem na palavra latina *albus*, que significa branco. O índice do albedo poderá variar de 0 a 1 dependendo das características intrínsecas da superfície, como a sua cor ou a sua

natureza. Em uma superfície branca, o índice do albedo poderá aproximar-se de 1, valor de um corpo branco ideal com reflexão total, ou seja, com reflexão de 100% da radiação incidente sobre ele, ou aproximar-se de 0 em uma superfície escura que se aproxime do corpo negro ideal, com absorção total, ou seja, absorção de 100% da radiação incidente. Assim, a parcela da radiação incidente, refletida por uma superfície, é denominada albedo da superfície.

Na Terra o albedo é cerca de 0,30 indicando que 30% da energia incidente é refletida de volta para o espaço, onde 20% da radiação solar é refletida por nuvens, 6% pela atmosfera e 4% pela superfície da Terra (FORINASH, 2010).

Diretamente relacionado com as trocas de energia na superfície, o albedo é definido como a razão entre a irradiância refletida e a incidente, sendo uma medida indireta da energia solar absorvida. Esta energia absorvida é usada para aquecer a superfície ou evaporar a água do solo (SILVA, 2002).

O interesse em conhecer, caracterizar e compreender a variabilidade do clima vem sendo discutida e investigada há décadas, basicamente pelas variações da radiação solar, temperatura, umidade e precipitação. Todos estes elementos estão relacionados diretamente com a variação do albedo, as variações no balanço de energia ocasionam as variações dos parâmetros atmosféricos e climáticos. O albedo é o principal fator que afeta o balanço de radiação terrestre e tem sido frequentemente considerado em estudos do clima global e regional (GIONGO, 2009).

O albedo da superfície também está diretamente relacionado com as trocas de energia e afetam os regimes radiativos, ocasionando variações na temperatura, modificação no clima local e mudanças no calor latente e sensível, alterando significativamente o balanço energético da atmosfera (PEREIRA et al., 2000).

As informações sobre o albedo da superfície são de fundamental importância na contabilização dos diversos processos físicos, como desmatamento, mudanças de temperatura, e até mesmo variação climática produzida pela atividade do homem (CHELLIAH e ARKIN, 1992; YIN, 1997; GIAMBELLUCA et. al., 1999). Das várias pesquisas pioneiras relacionados ao comportamento do albedo da superfície, possuem destaque os trabalhos de Monteith e Szeicz (1961), Stanhill et al. (1966), Chia (1967), Fritschen (1967), André e Viswanadham (1983), Fontana et al. (1991). Exemplos de valores de albedo podem ser observados na Tabela 1.

Tabela 1. Albedo de vários tipos de superfícies da Terra.

| Tipo de superfície | Albedo (%) |
|---------------------------------------|------------|
| Solo negro e seco | 14 |
| Solo negro e úmido | 8 |
| Solo nu | 7-20 |
| Areia | 15-25 |
| Florestas | 3-10 |
| Campos naturais | 3-15 |
| Campo de cultivo seco | 20-25 |
| Gramados | 15-30 |
| Água (incidência solar acima de 40°) | 2-4 |
| Água (incidência solar abaixo de 30°) | 6-40 |
| Cidades | 14-18 |

Fonte: AYOADE (1986, p.29).

O albedo pode ser influenciado por variações ocasionadas por exposição do solo, características intrínsecas ao dossel, água depositada sobre as folhas, presença de matéria orgânica no solo, rugosidade e mineralogia do solo, teor de umidade do solo e das folhas, elevação solar, partição entre radiação direta e difusa, cobertura de nuvens, composição atmosférica, entre outros (BERBET, 2002).

O albedo está associado com o balanço radiativo, ocasionando variações na temperatura da superfície e alterações nos fluxos de calor latente e sensível. Ambas as variações alteram significativamente o balanço de energia atmosférico, acarretando em modificações no clima local e global (PEREIRA et al., 2000; ICHOKU e KAUFMAN, 2005).

Quando o albedo da superfície aumenta, a energia solar disponível para o aquecimento e para a evaporação diminui, e quando há muita umidade, grande parte da energia absorvida é usada para secar a superfície, resultando em menos fluxo de calor sensível para a atmosfera e um menor aumento da temperatura em condições secas (DICKINSON, 1992; BETTS e BALL, 1995).

3. MATERIAL E MÉTODOS

3.1. LOCALIZAÇÃO DA ÁREA EXPERIMENTAL, INSTRUMENTAÇÃO E COLETA DE DADOS

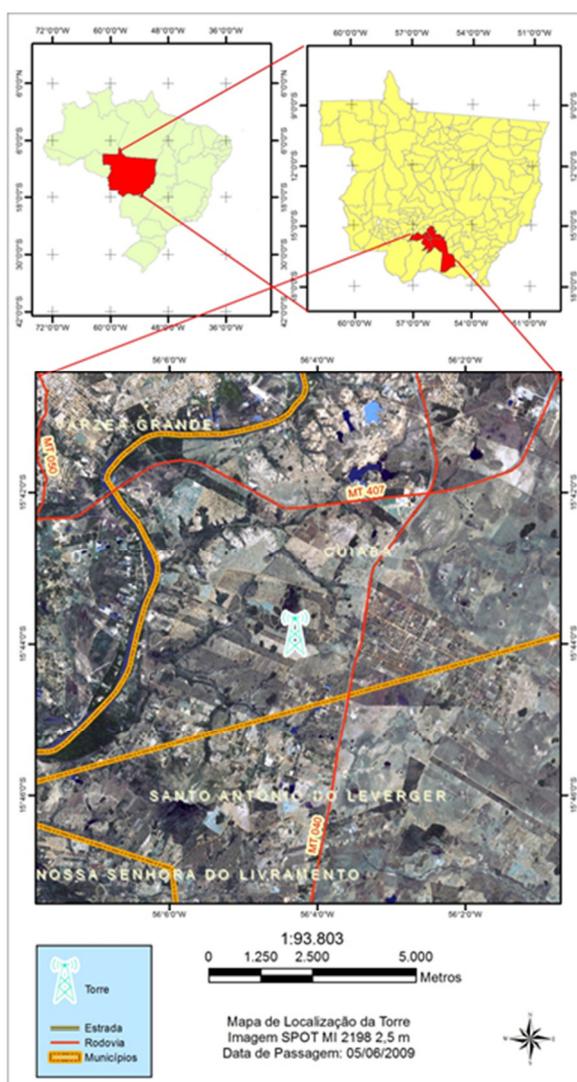


Figura 1. Localização da área experimental na Baixada Cuiabana.

Fonte: Wagner Rodrigues

Os dados para esta pesquisa foram coletados na Fazenda Miranda, de propriedade do Prof. Clóvis Miranda, situada no município de Santo Antônio de Leverger, na microrregião da Baixada Cuiabana a 15 km de Cuiabá – MT (Figura 1), nas coordenadas geográficas de latitude 15°43'53,65'' Sul e longitude 56°04'18,88'' Oeste, com altitude média de 157 m.

A região apresenta clima tipo AW, tropical chuvoso e secas de inverno, segundo a classificação de Wladimir Koppen em 1900 (AYOADE, 1996).

Considera-se a sua localização geográfica e cobertura vegetal, como um ponto representativo do Cerrado *sensu stricto* na região, pois a vegetação é caracterizada pela presença de árvores baixas, tortuosas, com ramificações irregulares, retorcidas e arbustos.

A torre micrometeorológica possui 19 metros de altura, onde estão instalados equipamentos para medidas micrometeorológicas que permitem estimar as densidades de fluxo de energia e matéria. Todos os sensores foram calibrados antes da sua instalação na torre micrometeorológica.

A radiação global incidente (R_{gi}) e a radiação global refletida (R_{gr}) foram medidas por piranômetros modelo LI-200X-L (LI-COR Biosciences, Inc., Lincon, NE, USA) instalados a 4 metros de altura, um com a face voltada para cima e o outro para baixo que pode ser visto na Figura 2.



Figura 2. Piranômetro.

Para as medidas da Temperatura e Umidade Relativa do ar, foram utilizados três Termohigrômetros modelo HMP 45AC (Vaisala, Inc., Helsinki, Finland), instalados a 5 metros, 10 metros e 18 metros de altura do solo, que pode ser visto na Figura 3.

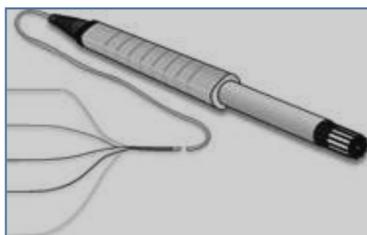


Figura 3. Termohigrômetro.

Para as medidas de Temperatura do Solo às profundidades de 1,0; 3,0; 5,0; 10,0 e 20,0 cm em um ponto de solo arenoso e outro de solo pedregoso, foram utilizados Termopares tipo T (com a junção de cobre com constantã), que pode ser visto na Figura 4.



Figura 4. Termopares.

E para, medir a precipitação foi instalado a 5 metros de altura do solo, um pluviômetro de báscula modelo TR-525M Rainfall Sensor (Texas Electronics, Inc., Dallas, TX, USA), que pode ser visto na Figura 5.

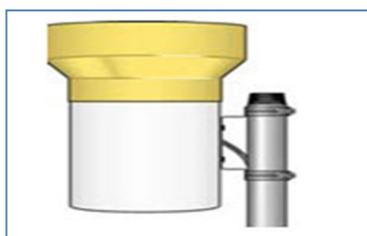


Figura 5. Pluviômetro de báscula.

Também foram instalados na torre micrometeorológica outros sensores, que não utilizamos nesta pesquisa. Os equipamentos da torre micrometeorológica foram alimentados com tensão de 12 V por uma bateria de 150 Ah, carregada por meio de um painel solar de 65 W e com regulador de tensão.

Esses dados micrometeorológicos foram armazenados em um dispositivo de armazenamento de dado Datalogger CR 1000 (Campbell Scientific, Inc., USA), com

intervalo de leitura de 30 segundos e registro das médias a cada 30 minutos. A cada 30 dias, os dados armazenados foram transferidos para um disco rígido de um laptop.

Os dados utilizados nesta pesquisa foram obtidos em dois períodos distintos, que representam o período seco (estação seca) e período chuvoso (estação chuvosa). O período seco vai de 01 de maio a 30 de setembro de 2009, referente aos dias julianos 121 a 243. Já o período chuvoso está compreendido entre os dias 01 de outubro de 2009 a 30 de março de 2010, referentes aos dias julianos 274 a 365 de 2009 e 1 a 90 de 2010.

2.4 ANÁLISE E TRATAMENTO DOS DADOS

O albedo (α) médio horário foi calculado a partir da razão entre os valores médios horários da radiação solar refletida pela superfície terrestre (R_{gr}) e a radiação solar incidente (R_{gi}), para o período de 07:00 às 17:00 h, onde α é dado em porcentagem.

$$\alpha = \frac{R_{gr} \uparrow}{R_{gi} \downarrow} \times 100\%$$

Onde:

α = albedo da superfície

$R_{gr} \uparrow$ = radiação global refletida pela superfície ($W m^{-2}$)

$R_{gi} \downarrow$ = radiação global incidente ($W m^{-2}$).

Os valores do albedo obtidos a cada uma hora foram contabilizados para gerar um dia representativo para os dois períodos em questão, sendo que temos médias representativas das 07:00 às 17:00 h.

Os valores registrados para os horários das 06:00 h e 18:00 h foram desconsiderados, pois, mostraram-se pouco confiáveis, tanto para o período seco, como para o chuvoso, uma vez que nas primeiras e nas últimas horas de brilho solar, o albedo da superfície, muda de configuração significativamente devido ao ângulo de incidência da radiação solar tangente à superfície. Querino et al. (2006), Souza Filho et al. (2006), Leivas et al. (2007), também fizeram essas observações.

Para cada variável analisada foram realizados cálculos de um dia médio a cada 1 (uma) hora com todos os dados. A partir do dia médio, foram calculadas as médias dos meses considerados período seco de maio a setembro de 2009 e o período chuvoso de outubro de 2009 a março de 2010.

Na análise estatística das variáveis climáticas desta pesquisa utilizou-se a técnica de *bootstrap* com 1000 reamostragens, e através dos seus intervalos de confiança do limite superior (LS) e do limite inferior (LI) a um nível de significância de 95%, utilizou-se também o método de comparação das médias, para avaliar qual delas variou significativamente entre os períodos seco e chuvoso.

Para a verificação entre o grau de associação entre as variáveis climáticas micrometeorológicas, com o albedo da superfície, foram realizadas análises de correlação linear de Pearson, esse método é usualmente conhecido para medir a correlação entre duas variáveis, procura-se verificar se existe relação entre duas ou mais variáveis, isto é, saber se as alterações sofridas por uma das variáveis são acompanhadas por alterações nas outras. Essas técnicas também foram utilizadas por: Rodrigues (2011), Finger (2012) e Martins (2012).

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1. DESCRIÇÃO DOS PERÍODOS SECO E CHUVOSO

Para identificar os padrões de comportamento do albedo da superfície nos período seco e chuvoso (2009/2010), primeiro identificou-se o comportamento sazonal da precipitação, conforme as figuras 2 e 3.

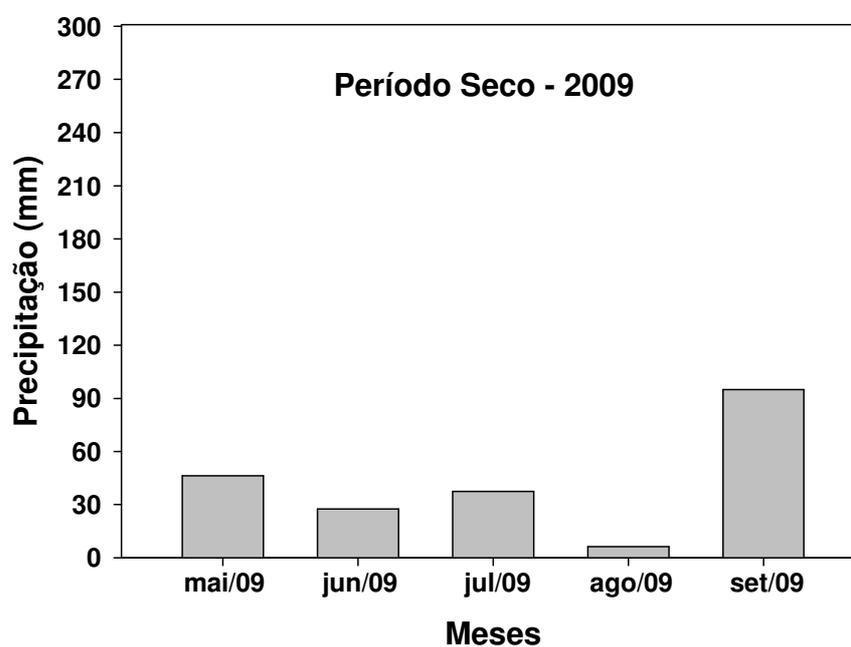


Figura 6. Precipitação no período seco 2009.

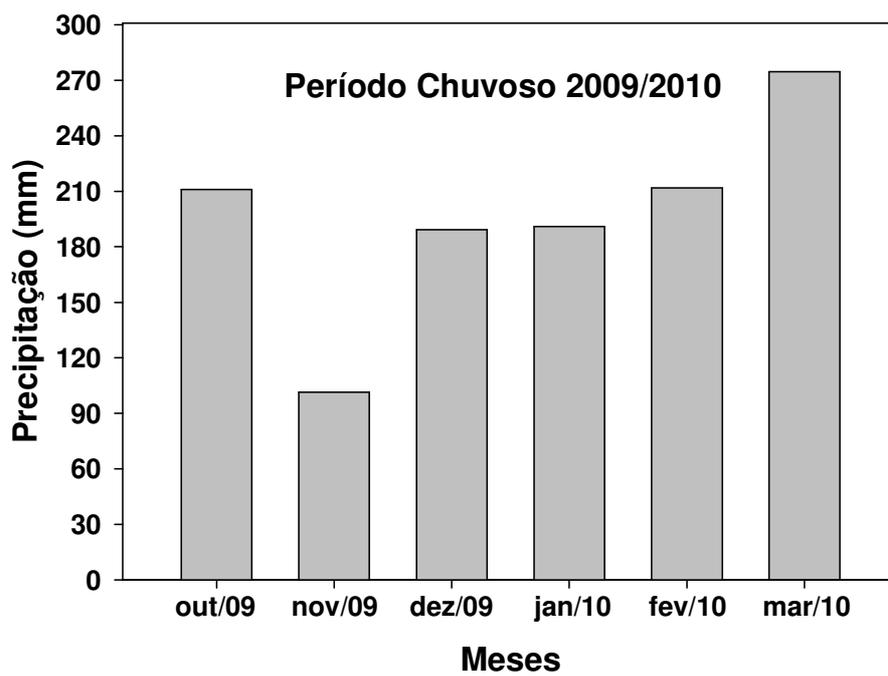


Figura 7. Precipitação no período chuvoso 2009-2010.

O período seco, que corresponde aos meses de maio a setembro de 2009, apresentou a precipitação mensal média de 42,48 mm. Enquanto, que o período chuvoso, que corresponde aos meses de outubro de 2009 a março de 2010, a precipitação mensal média foi de 196,51 mm. A precipitação acumulada no período seco foi de aproximadamente 212,4 mm e no período chuvoso foi de 1.179,1 mm.

Para caracterizar o período seco e o período chuvoso, utilizaram-se os seguintes critérios: quando a precipitação mensal acumulada for menor que 100 mm considera-se como período seco, e quando a precipitação mensal acumulada for maior que 100 mm, considera-se como período chuvoso. Assim, identificamos a sazonalidade da precipitação para a região de Cerrado da Baixada Cuiabana, (RODRIGUES, 2011).

Depois, fez-se a caracterização do albedo da superfície para o mesmo período, conforme a Figura 4 para se identificar os padrões de comportamento do albedo da superfície nos período seco e chuvoso (2009-2010).

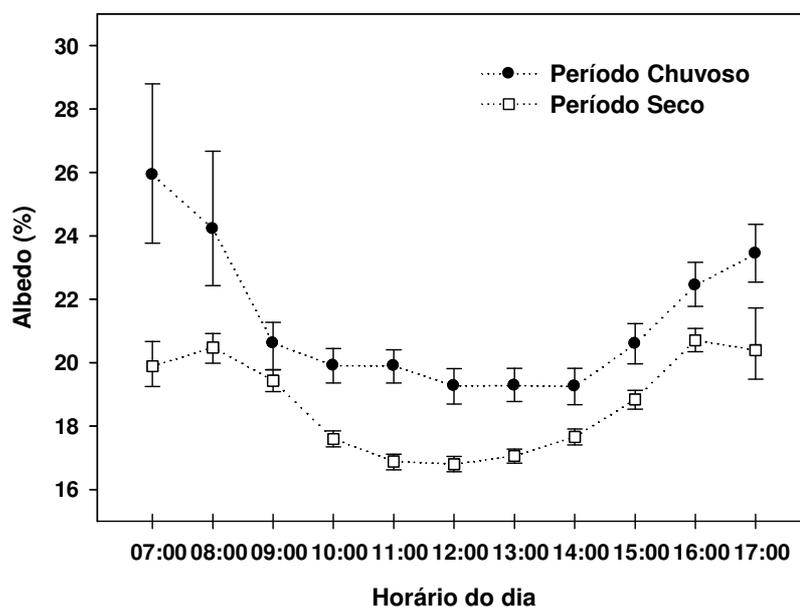


Figura 8. Albedo da superfície, média para o período seco e chuvoso.

Nota: as médias estão acompanhadas de seus respectivos intervalos de confiança obtidos por *bootstrap* com 1000 reamostragens.

Observa-se que o albedo horário médio (Figura 4), possui os menores valores do albedo para os períodos seco e chuvoso entre das 10:00 às 14:00 h, com tendência

de maior redução em torno de 12:00 h. Essa diminuição do albedo ocorre com a máxima radiação solar do dia, isso se deve à sua incidência normal sobre as superfícies, ou seja, nesse horário ocorre o ângulo máximo de inclinação solar, conseqüentemente ocorre a maior absorção da radiação incidente pela superfície vegetada, nos dois períodos.

Também é possível visualizar, que todos os valores do albedo da superfície do período seco foram menores que os valores do período chuvoso.

Uma possível explicação para essa variabilidade do albedo da superfície é que, no período seco, temos a estação predominante do inverno, e os dias possuem menos horas de brilho solar, a coloração das folhas e da superfície terrestre por estar seca apresenta-se mais clara, a vegetação pode apresentar um menor índice de área foliar e nesse período também ocorrem muitas queimadas na região o que também pode contribuir com a alteração da radiação refletida. E, temos o contrário, no período chuvoso, pois a estação predominante é o verão, onde os dias possuem mais horas de brilho solar, a coloração da superfície fica mais escura por causa da umidade do solo, entre outros fatores físicos ambientais que contribuem para uma menor reflexão da radiação.

Outro fator importante que pode explicar essa alteração nos valores do albedo da superfície, para os períodos estudados, são as chuvas, pois essa é a variação temporal que mais ocorre neste período chuvoso, e menos ocorre no período seco, contribuindo para a alteração do albedo da superfície do Cerrado na região da Baixada Cuiabana.

Nas primeiras e nas últimas horas de brilho solar, ao contrário, o albedo tende a aumentar, devido à incidência, da radiação solar, tangente à superfície, ou seja, diminuindo a proporção da radiação incidente.

Esses dados também concordam com a tendência encontrada por QUERINO et. al. (2006), que analisaram o albedo diário com a elevação solar na Região Amazônica, durante o período de 1991 a 1996.

Investigações referentes ao albedo da superfície realizadas por Silva et al. (2006), predominaram os valores de albedo mínimos e máximos entre 10 a 25% e por Oliveira et al. (2010) predominaram os valores de albedo mínimos e máximos

entre 20 a 30%, que também corroboram com os resultados encontrados nesta pesquisa.

Outras pesquisas também apontam que o albedo é um parâmetro imprescindível nos estudos de previsão do tempo bem como na compreensão de processos relacionados com mudanças climáticas, desertificação e queimadas, entre outras aplicações ambientais (YANAGI, 2006; SILVA et al., 2005; CULF et al., 1995). Acrescentar valores de albedo encontrado

Durante o dia o albedo decresce com a elevação do sol e alcança valores máximos próximo ao nascer e pôr-do-sol, enquanto os valores mínimos são observados em torno do meio dia (PINKER, 1982; STEWART, 1984; GASH e SHUTTLEWORT, 1991). O albedo é menor para ângulos de elevação solar maiores, pois possibilitam uma maior penetração de radiação no dossel, resultando no aumento da absorção e espalhamento (ECK e DEERING, 1992). De acordo com as afirmações de Robinove et al. (1981) o aumento no albedo é, primeiramente, devido ao aumento do solo exposto e a diminuição no albedo é, inicialmente, devido ao aumento da umidade do solo e densidade da vegetação.

Tabela 2. Albedos Máximos e Mínimos para os períodos pesquisados.

| Período | Mínimos | Máximos |
|----------------|----------------|----------------|
| Seco | 17,31% | 21,45% |
| Chuvoso | 19,70% | 25,93% |

No período chuvoso o valor mínimo para o albedo de superfície encontrado foi de 19,70%, enquanto que o valor máximo foi de 25,93%, e sua variação foi de aproximadamente 6,23%. No período seco o valor de mínimo para o albedo de superfície encontrado foi de 17,31%, enquanto que o valor de máximo foi de 21,45%, e sua variação foi em média de 4,14%, ou seja, a radiação global refletida nesse período foi maior do que no período chuvoso, já a radiação global incidente não apresentou diferença significativa em sua modelagem para os períodos estudados, como se pode observar nos gráficos abaixo das Figuras 5 e 6.

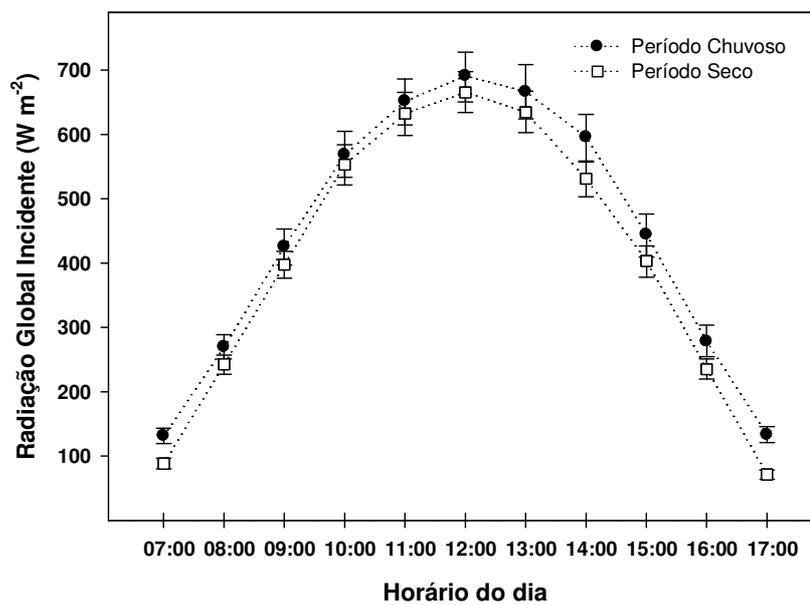


Figura 9. Radiação Global Incidente.

Nota: as médias estão acompanhadas de seus respectivos intervalos de confiança obtidos por *bootstrap* com 1000 reamostragens.

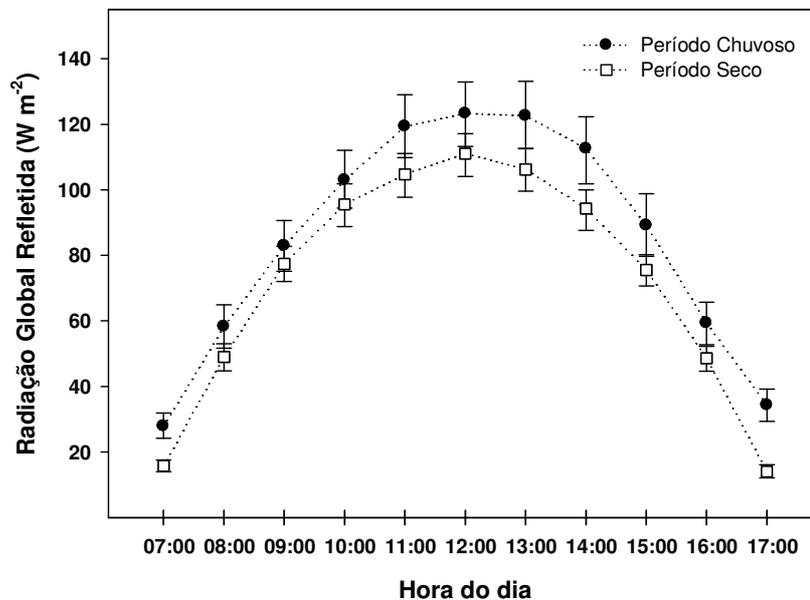


Figura 10. Radiação Global Refletida.

Nota: as médias estão acompanhadas de seus respectivos intervalos de confiança obtidos por *bootstrap* com 1000 reamostragens.

A temperatura do ar no período seco variou de 23 a 38°C, com média de 35°C, aproximadamente. A temperatura solo a 1 cm com 32°C aproximadamente. No período chuvoso variou de 25 a 31°C, com média de 29°C, aproximadamente, e a temperatura solo a 1 cm com 33°C aproximadamente.

Pode-se dizer que no período seco houve menor saldo de radiação (Rn), e que no período chuvoso o saldo de radiação foi maior. Na mesma área de investigação Rodrigues (2011), aponta com os resultados de sua pesquisa, que no período seco de 2009 a energia disponível ao ecossistema (Saldo de Radiação - Rn) para a realização de todos os processos ecofisiológicos foi em média 9,17 MJ m⁻² dia⁻¹ e sendo em sua maioria utilizado para o aquecimento do ar em forma de calor sensível, que também corrobora com esta análise.

Enquanto que o período chuvoso 2009-2010, mesmo com uma maior nebulosidade, apresentou quantidade do saldo de radiação (Rn) maior que o período seco, com um total diário médio de 11,45 MJ m⁻² dia⁻¹, pois compreende a estação de verão. Com maior energia disponível no sistema e maior quantidade de água suspensa em forma de vapor, propiciou a maior utilização da energia em forma de calor latente.

Assim, verificou-se a evidente a caracterização sazonal presente no estudo da variabilidade do albedo da superfície, no Cerrado *Sensu Stricto* da Baixada Cuiabana.

Nesta análise, as diferenças no albedo, característico dos dois períodos estudados, também podem estar relacionadas à umidade da superfície e à geometria do dossel do Cerrado da Baixada Cuiabana.

Para avaliar a correlação do albedo da superfície, as variáveis micrometeorológicas: Temperatura do Ar e Temperatura do Solo organizou-se os dados na tabela 3, para melhor visualização.

Tabela 3. Correlação entre o albedo da superfície com variáveis climáticas micrometeorológicas.

| Variáveis Climáticas Micrometeorológicas | Período | Coefficiente de Correlação | Nível de Probabilidade |
|--|---------|----------------------------|------------------------|
| <i>Temperatura do Ar</i> | Seco | -0,08 | $7,04 \times 10^{-4}$ |
| | Chuvoso | -0,30 | $9,02 \times 10^{-40}$ |
| <i>Temperatura do Solo – Laterita 1 cm</i> | Seco | -0,19 | $1,28 \times 10^{-15}$ |
| | Chuvoso | -0,38 | $4,10 \times 10^{-64}$ |
| <i>Temperatura do Solo – Arenoso 1 cm</i> | Seco | -0,17 | $4,43 \times 10^{-13}$ |
| | Chuvoso | -0,35 | $1,48 \times 10^{-55}$ |

Nota: Temperatura do ar e Temperatura do Solo – Laterita 1 cm e Temperatura do Solo – Arenoso 1 cm.

Ao analisarmos as correlação da Temperatura do Ar, da Temperatura do Solo Laterita a 1 cm e Temperatura do Solo Arenoso a 1 cm, com o albedo, para os período seco e chuvoso, os dados apontam uma correlação negativa ou seja, a correlação que existe entre essas variáveis é inversamente proporcional ao albedo da superfície.

Na medida em que o albedo da superfície aumentou no período chuvoso, a temperatura do ar, as temperaturas dos solos tipo Arenoso e Laterita, diminuiram. Nessas condições a maior parte da energia utilizada disponível ao sistema foi em forma de calor latente, além de um maior percentual da radiação refletida, essa análise corrobora com os resultados obtidos por Rodrigues (2011).

A precisão de um modelo é dada pelo coeficiente de determinação (R^2) que indica o grau de dispersão dos dados obtidos em relação à média, ou seja, o erro aleatório. A exatidão está relacionada ao afastamento dos valores estimados em relação aos observados, (CAMARGO e SENTELHAS, 1997).

A correlação apresenta-se como não-linear, e sua significância é fraca. O que pode determinar esse apontamento é o pequeno número de pares medidos. Segundo Downie e Heath (1959), existem situações em que o relacionamento entre as duas variáveis não é linear, ou uma delas não é contínua, ou o número de pares das medidas é muito pequeno.

As pesquisas de Dickinson (1992), Betts e Ball (1995), também indicam que quando o albedo da superfície aumenta, a energia solar disponível para o

aquecimento e para evaporação diminui, e quando há muita umidade, grande parte da energia absorvida é usada para secar a superfície, resultando em menos fluxo de calor sensível para a atmosfera, o que corrobora com as discussões deste trabalho.

Assim, as pesquisas relacionadas ao albedo da superfície também são importantes para qualificar os estudos de modelagem ambiental. E, para compreender melhor as interações das variáveis climáticas micrometeorológicas e suas correlações, também é necessário que sejam feitos estudos por mais períodos a fim de continuar a investigação da caracterização da variabilidade sazonal do albedo no Cerrado da Baixada Cuiabana, e seus padrões de comportamento.

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Ao investigar as características do albedo da superfície na região do Cerrado Sensu Stricto Mato-grossense na região da Baixada Cuiabana, percebeu-se que existem diferenças no padrão de comportamento do albedo da superfície para os períodos seco e chuvoso, ainda que por um curto período de observações, e que a sua variabilidade pode ser caracterizada pela radiação solar e pela presença ou ausência de precipitação.

Diretamente relacionada ao balanço energético da atmosfera-superfície, estão o albedo da superfície e as variações das temperaturas do ar e temperatura do solo, que apontam a alteração nos fluxos de calor sensível e calor latente. Pode-se inferir que o microclima é influenciado pela configuração do albedo de superfície, na região. Assim, quando houver mudanças representativas no padrão de comportamento dessas variáveis físicas ambientais, existirão alterações na dinâmica energética para o equilíbrio desse ecossistema.

As interações da biosfera-atmosfera entre as partes que o constituem geram propriedades que não costumam ser percebidas pela simples análise das partes isoladamente, quando percebemos isso ocorre, temos um sistema complexo, uma vez que os fundamentos que também podem contribuir e/ou complementar os estudos futuros dos referidos sistemas é a Ciência da Complexidade (Teoria da Complexidade). Ou seja, as análises feitas à luz da Ciência Clássica e Determinista que considera as partes em detrimento do todo, ou a simples justaposição das partes, oferecem um limite conclusivo raso, por sua incompletude teórica frente aos sistemas dinâmicos que nos propomos a pesquisar, modelar, compreender..

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALVES, A. R. **Irradiância solar global em superfície de diferentes inclinações e azimutes para Viçosa**, MG. Viçosa: UFV, 1981. 92p. Dissertação de Mestrado.

ANDRADE, N. L. R.; AGUIAR, R. G. ; SANCHES, L. ; ALVES, EDINA C.R.F. ; NOGUEIRA, J. S. . Partição do saldo de radiação em áreas de floresta amazônica e floresta de transição amazônia-cerrado. **Revista brasileira de meteorologia** (impresso), v. 24, p. 346-355, 2009.

ANDRÉ, R.G.B.; VISWANADHAM, Y. Radiation balance of soybeans grown in Brazil. **Agricultural Meteorology**, v.30, p.157-173, 1983.

AYOADE, J. O. **Introdução à Climatologia para os Trópicos**. Bertrand Brasil, Rio de Janeiro, RJ, 1996.

BALDOCCHI, D. D.; MEYERS, T. P. On using eco-physiological, micrometeorological and biogeochemical theory to evaluate carbon dioxide, water vapor and trace gas fluxes over vegetation: a perspective. **Agricultural and Forest Meteorology**, v.90, n. 1, p. 1-25, mar. 1998.

BARROS, A.F. **Análise sócio econômica e zootécnica da piscicultura na microrregião da Baixada Cuiabana-MT**. (Dissertação de Mestrado. Universidade Estadual Paulista de Jaboticabal, Programa de Pós-Graduação do Centro de Aquicultura) 2010.

BASTABLE, H. G.; SHUTTLEWOTH, W. J.; DALLAROSA, R. L. G.; FISH, G.; NOBRE, C. A. Observations of climate, albedo and surface radiation over cleared

and undisturbed Amazonian Forest. **International Journal of Climatology**, v.13, n.7, p.783-796, 1993.

BATALHA, M. A. **Análise da vegetação da ARIE Cerrado Pé-de-Gigante** (Santa Rita do Passa Quatro, SP). Dissertação Mestrado. Instituto de Biociências, São Paulo: USP, 1997. 184p.

BECERRA, J.B.; ALVALÁ, R.C.S. Detection of Tropical Savannah (Cerrado) Physiognomies in the Legal Amazon by the Application of the Vegetation and Moisture Indices with MODIS Time Series Data. In: **The 8th International Conference On Southern Hemisphere Meteorology And Oceanography**, Anais, Foz de Iguaçu. Proceedings of ICSHMO, Brazil, v. 1, p. 861-868, 2006.

BERBET, M. L. C. **Variação sazonal do albedo e sua influência na mudança do padrão de chuva, em consequência da conversão da floresta tropical em pastagem**. 2002. 33p. UFV. Dissertação (Mestrado em Meteorologia Agrícola) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa. 2002.

BETTS, A.J.; BALL, J. H. The FIFE surface diurnal cycle climate. **Journal of Geophysical Research**, v. 100, n. D12, p. 25679-25693, 1995.

BIUDES, M. S.; CAMPELO JUNIOR, J. H.; NOGUEIRA, J. S. and 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**, vol.24, n.2, p. 56-64, 2009.

CAMARGO, A. P., SENTELHAS, P. C. Avaliação do desempenho de diferentes métodos de estimativa da evapotranspiração potencial no estado de São Paulo, Brasil. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, v.5, n.1, p.89-97, 1997.

CHELLIAH, M.; ARKIN, P. Large scale inter-annual variability of monthly outgoing long-wave radiation anomalies over the global tropics. **Journal of Climate**, 5, 371–389, 1992.

CHIA, L.-S. Albedo of natural surfaces in Barbados. **Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society**, v.93, p.116-120, 1967.

CORREIA, F.W.S., ALVALÁ, R.C.S., GIELOW, R., Albedo do Pantanal Sul Matogrossense durante o período de transição seco-úmido de 2001-2002. **XII Congresso Brasileiro de Meteorologia**, Foz do Iguaçu – PR, 2002.

CULF, A. D.; FISCH, G.; HODNETT, M. G. The albedo of amazonian forest and ranch land. **Journal of Climate**, v. 8, n. 6, p. 1544-1554, 1995.

DICKINSON, R. E. Changes in land use. In: Trenberth, K. E. **Climate System modelling**. New York: Cambridge University Press, p. 689-701. 1992a.

DOWNIE, N. M.; HEATH, R. W. **Basic statistical methods**. New York: Harper & Brothers, 1959. 289p.

ECHER, E.; SOUSA M. P.; SCHUCH, N. J. The beer's law applied to the earth's atmosphere. *Revista Brasileira de Física*, Sao Paulo, v.23, n.3, p.276-283, 2001.

ECK, T. F.; DEERING, D. W. Canopy albedo and transmittance in spruce-hemlock forest in mid-September. **Agricultural and Forest Meteorology**, London, v.59, n.3 e 4, p.237-248, 1992.

EMBRAPA. EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Sistema brasileiro de classificação de solos**, Rio de Janeiro, 1999. 412 p.

FERREIRA, L.G.; YOSHIOKA, H.; HUETE, A.; SANO, E.E. Optical characterization of the Brazilian Savanna physiognomies for improved land cover monitoring of the cerrado biome: preliminary assessments from an air borne campaign over an LBA core site. **Journal Arid Environments**, v. 56, 425–447, 2004.

FERREIRA, LG.; YOSHIOKA H.; HUETE, A.; SANO, E. Seasonal landscape and spectral vegetation index dynamics in the Brazilian Cerrado: An analysis within the Large-Scale Biosphere–Atmosphere Experiment in Amazônia (LBA), **Remote Sensing of Environment**, v. 87, 534–550, 2003.

FINGER, A. **Variação sazonal do potencial fotossintético em *Combretum lanceolatum* Pohl**. 65p. Dissertação (Mestrado em Física Ambiental), Instituto de Física, Universidade Federal de Mato Grosso, Cuiabá, 2012.

FLEAGLE, R. G. and BUSINGER, J. A.: 1980, **An Introduction to Atmospheric Physics**. Academic Press, New York, 432 pp.

FONSECA, M. **Análise harmônica do regime de precipitação em duas localidades da baixada cuiabana**. 2008. 78p. Dissertação (Mestrado em Física Ambiental), Instituto de Física, Universidade Federal de Mato Grosso, Cuiabá, 2008.

FONTANA, D.C.; BERLATO, M.A.; BERGAMASCHI, H. Balanço de radiação da soja em região subtropical do Brasil. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, Brasília, v.26, n.3, p.411-418, mar. 1991.

FORINASH, K. **Foundations of Environmental Physics**. Understanding Energy Use and Human Impacts, Editor Island Press, 2010.

FRITSCHEN, L. J. Net and solar radiation relations over irrigated field. **Agricultural Meteorology**, v.4, p.55-62, 1967.

GASH, J. H. C.; SHUTTLEWORTH, W. J. Tropical deforestation: albedo and the surface-energy balance. **Climate Change**, v.19, n.1 e 2, p.123-137, 1991.

GIAMBELLUCA, T.W., FOX, J., YARNASARN, S., ONIBUTR, P., NULLET, M.A. Dry-season radiation balance of land covers replacing forest in northern Thailand. **Agricultural and Forest Meteorology**, v. 95, p. 53-65, 1999.

GIONGO, P. R.; PADOVANI, C. R.; VETTORAZZI, C. A. Variabilidade espacial e temporal do albedo obtido a partir de imagens MODIS na região do Pantanal. In: **Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto**, 14. (SBSR), 2009, Natal. Anais... São José dos Campos: INPE, 2009. p. 4715-4722. DVD, On-line.ISBN 978-85-17-00044-7.

ICHOKU, C.; KAUFMAN, Y. J. A method to derive smoke emission rates from MODIS fire radiative energy measurements. **IEEE Transactions on Geoscience & Remote Sensing**, v. 43, n. 11, p. 2636-2649, 2005.

JARVIS, P. G.; MASSHERDER, J. M.; HALE, S. E.; MONCRIEFF, J. B.; RAYMENT, M.; SCOTT, S. L. Seasonal variation of carbon dioxide, water vapor, and energy exchanges of a boreal black spruce forest. **Journal of Geophysical Research**, v.102, n. D24, p. 28953-28966, 1997.

LEITÃO, M. M. V. B. **Balço de radiação em três ecossistemas da floresta Amazônica: campina, campinarana e mata densa.** Tese de Doutorado em Meteorologia, INPE – São José dos Campos, 1994.

LEIVAS, J.; FONTANA, D.; BERLATO, M.; CARDOSO, L. Variação diária do albedo sobre uma superfície vegetada e sobre um lago na estação experimental da UFRGS-RS. **XV Congresso Brasileiro de Agrometeorologia**, Aracaju-SE, 2007.

LIEPERT B. G.; KUKLA, G. J. Decline in solar radiation with increased horizontal variability in Germany between 1964–1990. **Journal Climate**, v.10, n.1, p.2391-2401, 1997.

MARTINS, A. L. **Relação entre o balanço de ondas longas e o efeito estufa em área de pastagem com fragmentos de cerrado *Strictu Sensu*.** 2012. 55p. Dissertação (Mestrado em Física Ambiental), Instituto de Física, Universidade Federal de Mato Grosso, Cuiabá, 2012.

MONTEITH, J.L.; SZEICZ, G. Radiative temperature in the heat balance of natural surface. **Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society**, v.88, p.496-507, 1962.

MONTEITH, J.L.; SZEICZ, G. The radiation balance of bare soil and vegetation. **Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society**, v.7, p.159-170, 1961.

MOTA, F. S. **Meteorologia agrícola.** 1. ed. Sao Paulo: Nobel, 1975. 376p.

MOURA, R. G. **Estudos das radiações solar e terrestre acima e dentro de uma floresta tropical úmida.** Dissertação de Mestrado. São Jose dos Campos: INPE, 2007.146 p.

OLLINGERA, S. V.; RICHARDSON, A. D.; MARTIN, M. E.; HOLLINGER, D. Y.; FROLKING, S. E.; REICH, P. B.; PLOURDE; L. C.; KATUL, G. G. ; MUNGER, J. W.; OREN, R.; SMITH, M. L.; PAW UG, K. T.; BOLSTAD, P. V.; COOK, B. D.; DAY, M. C.; MARTIN,T. A.; MONSON R. K.; SCHMID, H. P. Canopy nitrogen, carbon assimilation, and albedo in temperate and boreal forests: Functional relations and potential climate feedbacks. **Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America.** 19336-19341, v.105, n.49, 2008.

OMETTO, J. C. **Bioclimatologia vegetal**. 1.ed. São Paulo: Agronômica Ceres, 1981. 425p.

PEREIRA, E. B., MARTINS, F. R., ABREU, S. L., COUTO, P., STUHLMANN, R.; COLLE, S. Effects of burning of biomass on satellite estimations of solar irradiation in Brazil. **Solar Energy**, 68 (1): 91-107, 2000.

PIAIA, I.I. **Geografia de Mato Grosso**. 3 edição, EDUNIC, 1997.

PINKER, R. T. The diurnal assymetry in the albedo of tropical forest vegetation. **Forest Science**, Amsterdam, v. 28, p.297-234, 1982.

QUERINO, C. A. S.; MOURA, M. A. L.; LYRA, R. F. F.; MARIANO, G. L. Avaliação e comparação de radiação solar global e albedo com ângulo zenital na região amazônica. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v.21, n.3a, p.42-49, 2006.

RATANA, P.; HUETE, A. Seasonal dynamics of native and converted cerrado physiognomies with MODIS data. **Geoscience and Remote Sensing Symposium**, 2004. IGARSS '04. Proceedings, Anais, 2004. IEEE International,4336-4339, 2004.

RIBEIRO, J. F.; WALTER, B. M. T. Fitofisionomias do Bioma Cerrado. Pp. 87-166. In: S. M. Sano & S. P. Almeida (eds.). **Cerrado: ambiente e flora**. Embrapa Cerrados, Planaltina, 1998.

Robinove, C. J.; Chavez, P. S.; Gehring, D.; Holmgren, R. Arid Land Monitoring Using Landsat Albedo difference Images. **Remote Sensing of Environment**. v. 11, p. 133-156. 1981.

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.

SÁ, L.D.A.; VISWANADHAM, Y.; MANZI, A.O. Energy flux partitioning over the Amazon Forest. **Theoretical and Applied Climatology**, v.39, p.1-16, 1988.

SALAN, A.; HIGARZY, N. A. Solar data appliication to Egypt. In: **International Symposium Workshop on to Solar Energy**, v.1, p.20-40, 1978.

SANTOS, E.V.; FERREIRA, L.A.B.; LAMBERT, D.; SOUZA, C. L.; MENDES, E.A.P.; FERREIRA, I.M. A ocupação do bioma Cerrado: da expansão da fronteira agrícola aos dias atuais. In: **Anais do VII Simpósio de História**. Repensando o fazer histórico. Catalão – UFG, 2004.

SILVA, B. B.; LOPES, G. M.; AZEVEDO, P. V. Determinação do albedo de áreas irrigadas com base em imagens Landsat 5 – TM. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, v. 13, n. 2, p. 201-211, 2005.

SILVA, R. C. **Estudo do Balanço de Radiação no Pantanal Sul Mato-grossense**. Dissertação de Mestrado em Meteorologia, Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos. 213 p. 2002.

SOUZA FILHO, J. D. C.; RIBEIRO, A.; COSTA, M. H.; COHEN, J. C.P.; ROCHA, E.J.P.; Variação Sazonal do Balanço de Radiação em um Floresta Tropical no Nordeste da Amazônia. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v.21, n.3b, 318-330, 2006.

STANHILL, G.; HOFSTEDE, G.J.; KALMA, J.D. Radiation balance of natural and agricultural vegetation. **Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society**, v.92, p.128-140, 1966.

STEWART, J. B. The albedo of a pine forest. **Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society**, London, v.110, n.466, p.1163-1169, 1984.

TUBELIS, A.; NASCIMENTO, J. L. **Meteorologia Descritiva: fundamentos e aplicações brasileiras**. 1.ed., São Paulo: Livraria Nobel, 1992. 374p.

VAREJÃO-SILVA, M. A. **Meteorologia e Climatologia**. Versão Digital 2, Recife, PE, 2006.

YAMASOE, M. A. ; VON RANDOW, C. ; MANZI, A. O. ; SCHAFER, J. S. ; ECK, T. F. ; HOLBEN, B. N. **Effect of smoke and clouds on the transmissivity of photosynthetically active radiation inside the canopy**. Atmospheric Chemistry and Physics, Alemanha, v. 6, p. 1645-1656, 2006.

YANAGI, S. N. M. **Albedo de uma floresta tropical amazônica: Medições de campo, sensoriamento remoto, modelagem, e sua influencia no clima regional**.

2006. 128p. UFV. Tese Doutorado em Meteorologia Agrícola – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa. 2006.

YIN, X. The albedo of vegetated land surfaces: systems analysis and mathematical modelling. **Theoretical Applied Climatololy**. 60, 121–140, 1997.