

UNIVERSIDADE FEDERAL DE PELOTAS
Faculdade de Meteorologia
Graduação em Meteorologia



Trabalho de Conclusão de Curso

**Radiação solar direta e difusa em uma área de pastagem no
sudoeste da Amazônia**

Guilherme Alves Borges

Pelotas, 2018

Guilherme Alves Borges

**Radiação solar direta e difusa em uma área de pastagem no
sudoeste da Amazônia**

Trabalho de conclusão de curso
apresentado à faculdade de Meteorologia
da Universidade Federal de Pelotas, como
requisito parcial à obtenção do título de
Bacharel em Meteorologia.

Orientador: Prof^ª. Dr^ª. Graciela Redies Fischer

Coorientador: Leonardo José Gonçalves de Aguiar

Pelotas, 2018

Universidade Federal de Pelotas / Sistema de Bibliotecas
Catalogação na Publicação

B732r Borges, Guilherme Alves

Radiação solar direta e difusa em uma área de pastagem no sudoeste da Amazônia / Guilherme Alves Borges ; Graciela Redies Fischer, Leonardo José Gonçalves de Aguiar, orientadoras. — Pelotas, 2018.

60 f.

Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Meteorologia) — Faculdade de Meteorologia, Universidade Federal de Pelotas, 2018.

1. Região amazônica. 2. Estimativa. 3. Nebulosidade. I. Fischer, Graciela Redies, orient. II. Aguiar, Leonardo José Gonçalves de, orient. III. Título.

CDD : 551.5271

Radiação solar direta e difusa em uma área de pastagem no sudoeste da
Amazônia

Trabalho de Conclusão de Curso aprovado, como requisito parcial, para
obtenção do grau de Bacharel em Meteorologia, Faculdade de Meteorologia,
Universidade Federal de Pelotas.

Data da Defesa: 04/12/2018

Banca examinadora:

.....
Prof^a.Dra. Graciela Redies Fischer(Orientador)
Doutora em Meteorologia Agrícola pela Universidade Federal de Viçosa
.....

Prof^a. Dr. André Becker Nunes
Doutorado em Meteorologia pelo Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais
(INPE).....
....

Prof^a. Dr. Marcelo Felix Alonso
Doutorado em Meteorologia pelo Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais
(INPE)
.....

Prof^a. Dr. Leonardo José Gonçalves de Aguiar.....
Doutorado em Meteorologia Aplicada pela Universidade Federal de Viçosa.....

Dedico está trabalho aos meus pais e irmãos.

Agradecimentos

As pessoas mais importantes da minha vida, meus pais, Mario e Regina, pelo amor incondicional, educação, carinho, apoio e compreensão, especialmente nos momentos mais difíceis.

À minha esposa, pelo apoio de sempre, e por proporcionar um dos momentos mais lindos da minha vida, que é chegado do nosso filho, Murilo.

À minha avó Nathalia, pelo apoio e carinho de sempre.

As minhas irmãs Eduarda e Deise pelas sugestões, amizade e apoio de sempre.

Aos meus tios e Pedro e Isolete e seus filhos, pelo apoio no início da caminhada.

Aos colegas que me incentivaram e ajudaram nos momentos de dificuldade durante a faculdade.

À minha orientadora Graciela Redies Fischer e o coorientador Leonardo José Gonçalves de Aguiar pela amizade, paciência, dedicação e carinho; pelos ensinamentos transmitidos, e por tornar possível a realização e conclusão deste trabalho.

À todos os professores da Faculdade de Meteorologia, pelos ensinamentos e contribuições para a formação profissional e pessoal de todos os alunos.

Aos projetos SONDA e LBA, por disponibilizar os dados, para realização desse trabalho.

À Universidade Federal de Pelotas, pela oportunidade.

*“O sucesso é ir de fracasso em fracasso sem
perder entusiasmo.”*

(Winston Churchill)

Resumo

BORGES, Guilherme Alves. **Radiação solar direta e difusa em uma área de pastagem no sudoeste da Amazônia**. 2018. 59f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) – Faculdade de Meteorologia. Universidade Federal de Pelotas, Pelotas.

O presente trabalho tem como objetivo analisar as variações diárias e horárias da Irradiância solar global e suas componentes, bem como determinar e validar modelos de estimativa das irradiâncias solar direta e difusa. O estudo foi realizado para sítio de pastagem em Rondônia, localizado próximo a Ouro Preto d'Oeste, e encontra-se no centro de uma área desmatada. Foram utilizados dados de Irradiância solar global (R_s), direta (R_{dir}) e difusa (R_{dif}), fração direta (F_{dir}) e difusa (F_{dif}) da R_s , precipitação (p), temperatura do ar (T), e umidade específica (q) durante o período de julho de 2004 a junho de 2005. Os dados de irradiância solar foram obtidas através do projeto SONDA (Sistema de Organização Nacional de Dados Ambientais) em uma área de pastagem na Fazenda Nossa Senhora, localizada no município de Ouro Preto d'Oeste e os dados de temperatura do ar, precipitação e umidade relativa foram obtidas através do sítio experimental pertencentes à rede de torres do Experimento de Grande Escala da Biosfera – Atmosfera na Amazônia – LBA, que fica distante 20 metros da estação do projeto SONDA. Após análise de qualidade dos dados, com eliminação de dados espúrios, foram transformados em médias horárias, diárias e mensais sendo calculadas as frações difusa e direta da irradiância solar global para a determinação dos modelos polinomiais de terceira ordem. A nebulosidade se mostrou como a principal moduladora da irradiância ao longo do ano, tanto na magnitude quanto no particionamento entre as componentes direta e difusa da irradiância solar global. Foram observadas relações bem definidas entre as frações difusa e direta com o k_t , e apesar da diferença entre as regressões serem pequenas, houve um melhor ajuste da regressão entre as frações difusa e o k_t , tanto na estação chuvosa quanto na seca. Os modelos de estimativa da irradiância solar direta e difusa apresentaram bons resultados. Apesar dos modelos de fração difusa apresentarem melhores coeficientes de determinação, os erros estatísticos (RMSE, MAE e MBE) foram maiores para a estimativa da R_{dif} do que para a R_{dir} . Foi observado que os maiores erros de estimativa ocorreram para índices de claridade intermediários, em que a irradiância solar difusa tende a ser máxima, havendo subestimativa da R_{dif} , sendo a ocorrência do fenômeno “cloud gap

effect” o provável responsável por esse comportamento. Uma possível minimização desses erros seria a determinação de modelos de estimativa para cada estação ou mesmo para cada mês do ano.

Palavras-chave: Região Amazônica; Estimativa; Nebulosidade.

Abstract

BORGES, Guilherme Alves. **Direct and diffuse solar radiation in a pasture area in southwest Amazonia**. 2018. 59f. Course Completion Work (Graduation) - Faculty of Meteorology. Federal University of Pelotas, Pelotas.

The present work aims to analyze the daily and hourly variations of global solar irradiance and its components, as well as to determine and validate estimation models of direct and diffuse solar irradiance. The study was carried out at a pasture site in Rondônia, located near Ouro Preto d'Oeste, and is the center of a deforested area. For this study, data from Global solar irradiance (R_s), direct (R) and diffuse (R_{dif}), direct (F_{dir}) and diffuse fraction (F_{dif}) of R_s , precipitation (p), air temperature (T), and specific humidity (q) during the period from July 2004 to June 2005. The solar irradiance data were obtained through the SONDA (National Environmental Data Organization System) project in a pasture area at Fazenda Nossa Senhora, located in the municipality of Ouro Preto d'Oeste, and data on air temperature, precipitation and relative humidity were obtained through the experimental site belonging to the tower network of the Biosphere - Atmosphere Experiment in Amazonia - LBA, which is 20 meters away from the SONDA project station. After data quality analysis, with elimination of spurious data, they were transformed into hourly, daily and monthly averages, being calculated the diffuse and direct fractions of the global solar irradiance for the determination of third order polynomial models. The cloudiness was shown to be the main modulator of irradiance throughout the year, both in the magnitude and in the partitioning between the direct and diffuse components of global solar irradiance. Well-defined relationships between the diffuse and direct fractions with kt were observed, and despite the difference between the regressions being small, there was a better adjustment of the regression between the diffuse and the kt fractions, both in the rainy season and in the dry season. The models of direct and diffuse solar irradiance showed good results. Although the diffuse fraction models presented better determination coefficients, the statistical errors (RMSE, MAE and MBE) were higher for the R_{dif} estimation than for R_{dir} . It was observed that the biggest errors of estimation occurred for intermediate clarity indexes, in which the diffuse solar irradiance tends to be maximum, with underestimation of R_{dif} , and the occurrence of the cloud gap effect phenomenon is likely responsible for this behavior. One possible minimization of these errors would

be the determination of estimation models for each season or even for each month of the year.

Keywords: Amazon Region; Estimation; Cloudiness.

Lista de Figuras

Figura 1	Figura 1 - Mapa de localização do sítio experimental pertencente à rede de torres do Experimento de Grande Escala da Biosfera Atmosfera na Amazônia – LBA.	29
Figura 2	Sensores de radiação solar global (a), difusa (b) e rastreador solar (c)..... Fonte: AGUIAR, 2011.	30
Figura 3	Temperatura média (T_{med}), mínimas (T_{mim}) e máximas (T_{max}) para o período.....	34
Figura 4	Valores médios mensal do índice de claridade (K_t).....	36
Figura 5	Distribuição mensal da precipitação e umidade específica ao longo do período de estudo.....	37

Figura 6	Ciclo anual da irradiância solar global (R_s), direta e difusa ao longo do período de estudo.....	39
Figura 7	Ciclo anual das frações direta (F_{dir}) e difusa (F_{dif}) da irradiância solar global.....	40
Figura 8	Relações entre os valores médios diários das frações difusa (a) e direta (b) da irradiância solar global com os do índice de claridade (k_t) para todo o período analisado.....	41
Figura 9	Ciclo médio diário das irradiâncias solar global (R_s), direta (R_{dir}) e difusa (R_{dif}) para o período chuvoso(a) e seco(b).....	42
Figura 10	Ciclo médio diário do índice de claridade (k_t) e das frações direta (F_{dir}) e difusa (F_{dif}) da irradiância solar global para o período chuvoso (a) e seco (b).....	44
Figura 11	Relação da fração difusa da irradiância solar global com o índice de claridade (K_t) para as estações chuvosa (a) e Seca (b).....	45
Figura 12	Relação da fração direta da irradiância solar global o índice de claridade (K_t) para as estações chuvosa (a) e seca (b).....	46

Figura 13	Comparação entre os valores observados e estimados das irradiâncias solar difusa (a) e direta (b) em base horária.....	48
Figura 14	Comparação entre os valores observados e estimados das irradiâncias solar difusa (a) e direta (b) em base diária.....	49
Figura 15	Comparação entre os valores observados e estimados das frações difusa (a) e direta (b) da irradiância solar em base horária.....	50
Figura 16	Comparação entre os valores observados e estimados das frações difusa (a) e direta (b) da irradiância solar em base diária.....	51
Figura 17	Relação entre os erros de estimativa da irradiância solar difusa com a elevação solar (a) e o índice de claridade (k_t) (b).....	52
Figura 18	Relação entre os erros de estimativa da irradiância solar direta com a elevação solar (a) e o índice de claridade (k_t) (b).....	53
Figura 19	Erros estatísticos para as estimativas das irradiâncias solar difusa (a) e direta (b) em base horária.....	54

Lista de Tabelas

Tabela 1	Coeficientes dos modelos determinados através de regressão polinomial de terceiro grau em que a, b, c e d são os coeficientes da regressão, R^2 é o coeficiente de determinação e N é o número de dados da amostra.....	47
Tabela 2	Estatísticas relacionadas aos valores observados e estimados das irradiâncias solar difusa direta em base horária e diária. O MAE, MBE e RMSE estão em %, o R^2 e o d são adimensionais.....	48
Tabela 3	Estatísticas relacionadas aos valores observados e estimados das frações difusa e direta da irradiância solar global em base horária e diária. O MAE, MBE e RMSE %, o R^2 e o d são adimensionais.....	50

Lista de Abreviaturas e Siglas

d	Índice de Concordância de Willmott.
e	Pressão de Vapor d'água (hPa).
e _s	Pressão de Saturação de Sapor d'água (hPa).
F _{dir}	Fração Direta da Radiação solar.
F _{dif}	Fração Difusa da Radiação solar.
k _t	Índice de Claridade.
LBA	Experimento de Grande Escala da Biosfera – Atmosfera na Amazônia
MAE	Erro Médio Absoluto.
MBE	Erro de Viés Médio.
R ²	Coefficiente de Determinação.
RMSE	Raiz do Erro Médio Quadrático.
P	Precipitação (mm).
R _{dir}	Irradiação Direta.
R _{dif}	Irradiação Difusa.
R _s	Irradiação Solar Global.
R _o	Irradiação Solar Extraterrestre
SONDA	Sistema de Organização Nacional de Dados Ambientais

T

Temperatura Do Ar (°C).

Sumário

1 Introdução.....	19
2 Revisão Bibliográfica	22
2.1 Clima Amazônia.....	22
2.2 Aerossóis	24
2.3 Radiação Direta	25
2.4 Radiação Difusa	26
3 Metodologia	29
3.1 Área de Estudo	29
3.2 Período de Dados e Instrumentos Utilizados.....	30
3.3 Tratamento de Dados	31
3.4 Método para Determinação das Frações Direta e Difusa	32
3.5 Análise Estatística	32
4 Resultados e Discussão	34
4.1 Caracterização de Área Experimental	34
4.2 Análise Mensal da Radiação	38
4.3 Análise Horária da Radiação	42
4.4 Modelos de Estimativa das Frações Direta e Difusa	47
5 Conclusão	56
Referências Bibliográficas	58

1 Introdução

A Amazônia é uma floresta equatorial úmida que cobre a maior parte da Bacia Amazônica. Esta bacia abrange sete milhões de quilômetros quadrados, dos quais 5.032.825 km² são cobertos pela floresta tropical. Esta região inclui territórios pertencentes a nove nações. A maioria das florestas está contida dentro do Brasil, com 60%, seguida pelo Peru com 13% e com partes menores na Colômbia, Venezuela, Equador, Bolívia, Guiana, Suriname e França (Guiana Francesa). A floresta Amazônica ocupa 49,29% do território brasileiro e abrange três das cinco divisões regionais do país (Norte, Nordeste e Centro-Oeste) (OECD, 2013).

A região Amazônica por localizar-se em uma região equatorial, recebe elevados valores de radiação solar sendo este um dos fatores fundamentais para caracterização do seu clima, fazendo com que a amplitude térmica praticamente não varie ao longo do ano. A análise do comportamento da radiação solar na região Amazônica é de grande importância, pois ela influencia diversos processos físicos e biológicos que ocorrem na biosfera, tais como os processos de fotossíntese, evapotranspiração e aquecimento da superfície.

A radiação solar ao penetrar na atmosfera sofre com processos de reflexão, espalhamento e absorção, decorrentes da cobertura de nuvens, da concentração de vapor de água e de outros aerossóis atmosféricos (LIU, 2002). Apenas uma fração desta radiação atinge diretamente a superfície terrestre, enquanto que o restante representa as contribuições difusas e térmicas da atmosfera (OKE, 1987). Procópio e Artaxo (2003), em um experimento feito entre agosto e outubro de 2003 no sul da bacia amazônica observaram que cerca de 20% da radiação solar é absorvida ou refletida para o espaço pelos aerossóis de queimadas, levando a uma redução de aproximadamente 33% na radiação direta que atinge a superfície e aumentando em sete vezes a radiação difusa. Esse acréscimo da radiação difusa tende a aumentar a assimilação de carbono devido a melhor distribuição da radiação solar ao longo do

dossel e conseqüentemente, à maior quantidade de radiação que chega a níveis mais baixos do dossel, em que as folhas são mais eficientes no uso da radiação (URBAN et al., 2007).

Adicionalmente, durante os meses de abril a setembro a Amazônia sofre influência de friagens que são massas polares que conseguem penetrar nos Trópicos reduzindo a temperatura do ar e modificando a estrutura atmosférica e as condições meteorológicas da região. Hamilton e Tarifa (1978) e Marengo et al. (1997) ressaltam que os eventos são relativamente comuns na região amazônica, em média esses eventos tendem a reduzir a temperatura mínima no sudoeste da Amazônia até 8°C e têm duração de 5 a 6 dias, podendo ocasionar modificação nas condições de cobertura de nuvens da região. Essas modificações podem ocasionar alterações tanto na magnitude quanto na fração da radiação solar direta e difusa em relação à radiação solar global. Considerando que as medições contínuas de variáveis como irradiância solar direta (R_{dir}) e irradiância solar difusa (R_{dif}), ainda são escassos na Amazônia, tornam-se necessários estudos sobre a variabilidade dessas variáveis ao longo do ano e a determinação de modelos de estimativa.

A estimativa da radiação à superfície é um importante objeto de análise, incluído o caso de céu claro. Por exemplo, Charlock e Alberta (1996) descrevem resultados de um experimento intensivo comparando medições de instrumentos precisos com estimativas teóricas baseadas em um razoável conhecimento das condições atmosféricas. Entre as fontes de erro são citadas a variabilidade espacial e temporal da água precipitável e da carga de aerossol, fatores difíceis de monitorar (CEBALLOS, 2000). Nestas condições, um modelo simples com erros semelhantes e que dispense o uso da alta resolução espectral pode ser de grande utilidade prática em diversas áreas da meteorologia, nas quais estudos das mudanças de transmissividade atmosférica implicam em estimar previamente a irradiância esperada como, por exemplo, em condições de céu claro realizado no artigo de (FEITOSA et al., 1998). Em geral, os dados da irradiância solar direta são obtidos através da diferença entre a irradiância solar global e a difusa, visto a dificuldade em se obter essa medida devido aos altos custos dos equipamentos envolvidos na mensuração.

A obtenção da irradiância solar global, direta e difusa por meio de medidas diretas torna os resultados mais confiáveis, visto que se pode verificar a acurácia dos

sensores confrontando os dados das três variáveis. Diante do exposto, este trabalho tem como objetivo analisar o comportamento e determinar modelos de estimativa das irradiâncias solar direta e difusa em sitio de pastagem no sudoeste da Amazônia, entre julho de 2004 e junho de 2005.

2 Revisão Bibliográfica

2.1 Clima da Amazônia

Amazônia possui uma área estimada de 6,3 milhões de quilômetros quadrados, cerca de 5 milhões em território brasileiro e o restante dividido entre países como Bolívia, Colômbia, Equador e Peru. Segundo o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) a Amazônia legal no Brasil compreende os estados do Pará, Amazonas, Rondônia, Roraima, Acre e Amapá e parte dos territórios do Tocantins, Mato Grosso e Maranhão. A cobertura vegetal da Amazônia legal, é caracterizada por floresta (cerca de 64%) e cerrados e campos representam cerca de 24%, sendo que os 12% restantes da Amazônia sofreram com o desmatamento (LENTINI et al., 2003).

A precipitação na Amazônia brasileira é tomada como o elemento climático que apresenta uma grande variabilidade. Estudos que buscam caracterizar a variabilidade espacial da precipitação mostram que a região apresenta locais com total anual de chuva oscilando entre 1.000 e 3.600 mm, e que os regimes pluviométricos apresentam duas estações de chuva bem definidas, como: chuvosa (dezembro a janeiro) podendo ter duração de cinco a seis meses, e a menos chuvosa compreendendo os demais meses do ano (BASTOS, 1972; NÓE-DOBREA; SANIDS, 1979; BASTOS, 1982; CUTRIM, 1983).

A convecção na região Amazônica é um importante mecanismo de aquecimento da atmosfera tropical e sua variação, em termos de intensidade e posição, possui um papel importante na determinação do tempo e clima desta região. Segundo Molion e Dallarosa (1990), os mecanismos que provocam chuva na Amazônia podem ser agrupados em 3 tipos: (a) convecção diurna resultante do aquecimento da superfície e condições de larga-escala favoráveis; (b) linhas de instabilidade originadas na costa Norte-Nordeste do litoral do Atlântico; (C)

aglomerados convectivos de mesoescala e larga escala, associados com a penetração de sistemas frontais na região Sul/Sudeste do Brasil e interagindo com a região Amazônica. Desta forma, a nebulosidade e o regime de precipitação determinam o clima amazônico sendo que suas características são resultado de um complexo sistema de interações de fenômenos meteorológicos (FISCH et al., 1996).

A precipitação total anual na Amazônia excede a perda de água por evapotranspiração e, admite-se que essas áreas devem possuir clima favorável para o cultivo de plantas que necessitam de um ano para alcançar a maturidade sem necessidade de irrigação (WILLIAMS; JOSEPH, 1974). Porém Nobre et al. (1991) verificaram uma diminuição na evapotranspiração de 30% e um decréscimo de 20 a 30% na precipitação em estudo de modelagem simulando a substituição total da floresta por pastagem. Correia et al. (2006) relataram, que embora ocorra uma diminuição na precipitação quando toda a floresta é substituída por pastagem, a distribuição não é homogênea, apresentando redução na parte leste da bacia e aumento na parte oeste. Contudo de acordo com a classificação climática de Koppen (IBGE) o estado de Rondônia apresenta diferentes classificações climáticas, porém diversos fatores podem influenciar a precipitação da região, como o ramo subsidente da célula de Walker, El Niño, maior convergência dos alísios entre outros fatores.

Um agravante para diminuição da precipitação, além de menor saldo de radiação disponível na pastagem, é o aumento da quantidade de aerossóis de queimada na região Amazônica, os quais agem como núcleos de condensação de nuvens, tornando as gotículas das nuvens muito pequenas, não tendo peso suficiente para precipitarem (AGUIAR, 2007).

Devido aos altos valores de energia que incide na superfície, o comportamento da temperatura do ar mostra uma pequena variação ao longo do ano, com exceção da parte mais ao sul (Rondônia e Mato Grosso) (FISCH et al., 1996). De acordo com Gomes (2011) o clima da REBIO Jaru (Reserva Biológica do Jaru), localizada na Amazônia, encontrou que a temperatura do ar média na estação chuvosa é de $24,75 \pm 0,33^{\circ}\text{C}$ e de $26,2 \pm 0,46^{\circ}\text{C}$ na estação seca. Setembro é o mês que apresenta em média os maiores valores de temperatura do ar – cerca de $26,5 \pm 0,38^{\circ}\text{C}$ - e o mês de maio, devido à ocorrência dos eventos localmente conhecidos como “friagens”, apresenta os menores valores, - aproximadamente $23,24 \pm 0,69^{\circ}\text{C}$.

Outro fator importante para a caracterização do clima da Amazônia é o El- Niño, o fenômeno pode reduzir a quantidade de precipitação que ocorre na região Amazônica, como observado por Kayano e Moura (1986) onde um evento de El – Niño entre 1982 – 1983, foi um dos mais intensos que afetou a América do Sul. No caso da região Amazônica o fenômeno causou período extremamente seco (Jan/Fev) durante a estação chuvosa, e este comportamento ocorreu devido ramo descendente da célula de Walker deslocar-se para região Amazônica, inibindo a formação de atividades convectivas (NOBRE; RENO, 1985; NOBRE; OLIVEIRA, 1987).

2.2 Aerossóis

O grupo de cientistas que constituem o Painel intergovernamental sobre Mudanças Climáticas (IPCC, 2014), considera que o aquecimento global é uma realidade e a contribuição do ser humano é significativo para a ocorrência de fenômenos ligados às mudanças climáticas (IPCC, 2014). Desde a revolução industrial, no século XVIII, o nível de dióxido de carbono na atmosfera aumentou cerca de 30% e o de metano, 150%. Esses dois gases funcionam como uma proteção que impede que parte da radiação infravermelha emitida pela terra seja perdida para o espaço, atuando como uma estufa natural do planeta, isso evita que o globo se esfrie em demasia. O problema é que, com essa camada cada vez mais concentrada, há aumento da retenção de calor (GARCIA, 2005).

As mudanças impostas pelas atividades humanas têm alterado a aparência da região amazônica. Tais alterações, como queimadas, desmatamento para plantações e pecuária, são alguns processos responsáveis por proporcionarem efeitos, a longo prazo, no balanço global de carbono, na concentração dos gases do efeito estufa e das partículas de aerossóis, além da capacidade de oxidação da atmosfera planetária (GARCIA, 2005). Durante o inverno no Hemisfério Sul, a região do Brasil Central e a porção sul da Amazônia são caracterizadas pela diminuição da incidência de precipitação, o que, por sua vez, estimula a ocorrência de queimadas na região. As partículas de aerossóis provenientes da emissão das queimadas apresentam efeitos mensuráveis na radiação solar e são suficientemente bem espalhadas ao ponto que esses efeitos tenham implicações no estudo do clima.

Adicionalmente, essa espessa coluna de aerossóis aumenta a fração de radiação difusa na atmosfera, elevando a penetração da radiação no dossel da floresta, o que ameniza em parte os efeitos da redução do fluxo direto da radiação (ARTAXO et al., 2005). Além disso, a modificação das concentrações de CCN (fração de partículas de aerossóis) por meio de atividades antropogênicas, tais como emissões de poluentes industriais e queima de biomassa, poderia resultar em alterações do equacionamento dos ciclos meteorológicos e afetar o clima na Bacia Amazônica (ROBERTS et al., 2002).

Assim os aerossóis de queimadas são um importante controlador da quantidade e composição da radiação que chega à superfície, absorvendo e espalhando a radiação solar. Estudos em algumas áreas da região amazônica, onde as queimadas são frequentes, mais precisamente em Ji-Paraná, Rondônia, no período de agosto a outubro (PROCÓPIO; ARTAXO, 2003).

2.3 Radiação direta

O sol emite radiação em praticamente todos os comprimentos de onda, embora 99,9% da energia vinda do sol se situem na faixa compreendida entre 0,15 e 4,0 μm de comprimento de onda, por isso mesmo conhecida como radiação solar (VAREJÃO, 2000). Dentro desse intervalo, cerca de 51% da radiação solar que atinge a superfície da Terra está na faixa espectral do infravermelho, 44% na do visível e 4% na do ultravioleta (LEMON, 1965).

A energia solar que, em um dado instante e local, atinge a superfície terrestre é chamada de irradiância solar global, e ao atravessar a atmosfera, passa por processos de absorção e reflexão. A radiação que chega diretamente à superfície do solo é caracterizada como radiação solar direta. Os valores médios, da radiação que consegue atravessar a atmosfera é de aproximadamente 51% e esse valor é particionado em 25% que chega de forma direta até a superfície e 26% de forma difusa (OMETTO, 1981).

Com tudo, estudos da radiação solar direta são muito escassos comparados à radiação difusa. Porém, vários modelos de estimativa da radiação estão ganhando espaço, pois permitem estimar tanto a radiação direta quanto a difusa em superfícies

horizontais. Geralmente nessas estimativas existem dois tipos de modelos: os estatísticos e os paramétricos. Estatísticos são representados por equações matemáticas ajustadas por meio de regressão linear ou polinomial em correlações com as frações radiométricas. Já os paramétricos necessitam de informações mais detalhadas das condições atmosféricas locais (LIU; JORDAN, 1960; NOTTON et al., 2006; TURCO; RIZZATTI, 2006; JIANG, 2009; EL-SEBAIL et al., 2010).

Querino et al. (2011) em um estudo da radiação solar global para uma área de floresta em Alagoas, verificou uma grande variação nos resultados de radiação solar global entre as estações (seca, chuvosa). Lembrando que radiação solar global, corresponde a soma da componente direta, mais a componente difusa, assim os resultados obtidos mostram a grande dependência que a penetração de raios solares tem com o ângulo zenital solar e com as estações do ano, onde se constatou que a redução de até 66% entre os períodos seco e chuvoso. Verificando também que até 35% da radiação incidente na copa atingiu a superfície interna do mangue.

2.4 Radiação difusa

A energia radiante do sol, quando passa pela atmosfera, sofre diferentes processos. Da camada exterior à atmosfera até chegar à superfície da Terra, a energia radiante pode ser absorvida, transmitida ou espalhada. Devido ao espalhamento desta energia observamos ao nível da superfície do solo, não somente radiação solar direta, na forma de um feixe de raios solares paralelos, mas também a radiação difusa provinda de cada ponto do céu. A radiação solar direta e a radiação difusa constituem a radiação solar global (DRECHMER, 2005).

A radiação solar difusa é muito importante nas altas latitudes. Nas latitudes médias, a radiação difusa pode contribuir com 30% ou 40% da radiação solar total, porém essa contribuição da difusa é muito maior durante os meses de inverno quando o ângulo solar é baixo. A nebulosidade também aumenta, consideravelmente, a razão entre a radiação difusa e a radiação direta. Os efeitos da radiação difusa nas plantas podem ser mais significativos do que o valor de sua energia. A radiação difusa consegue penetrar na parte vegetal mais efetivamente do que os raios diretos (OMETTO, 1981).

A medida da radiação solar difusa pode ser obtida através de métodos instrumentais diferentes. O primeiro, parte do princípio que a radiação solar global é a soma das radiações solar direta e difusa. Neste caso, mede-se a radiação solar global e a radiação solar direta usando-se um pireliômetro. Por diferença, global menos a direta, obtém-se a radiação solar difusa.

O segundo método, consiste na medida instrumental da radiação solar difusa, através de piranômetro sombreado, que é destinado a medir a quantidade de radiação solar que atinge uma superfície plana. Neste último caso o sensor é protegido da radiação solar direta por meio de uma faixa de metal curva, cuja inclinação deve ser ajustada de modo a acompanhar o movimento aparente do sol na abóbada celeste. Mas essa faixa constitui, igualmente, um anteparo parcial à radiação difusa, introduzindo um erro sistemático nas determinações, o que exige a aplicação de certo fator de correção para compensá-lo (VAREJÃO, 2000).

As copas florestais recebem radiações solares diretas e difusas. Porém a radiação difusa é muito estudada por conseguir penetrar as partes mais baixas das plantas. Foi demonstrado em alguns estudos que a produtividade da vegetação é sensível as flutuações na radiação solar difusa, sendo mais eficiente que a radiação solar direta (WEISS; NORMAN, 1985). Por causa de seus múltiplos ângulos de incidência, a radiação solar difusa pode penetrar mais profundamente no dossel inferior, o qual é limitado à luz, estimulando, assim, a fotossíntese e a produtividade.

Devido à falta de uma rede de mensuração da radiação solar, tanto na componente difusa quanto direta, o melhor caminho acaba sendo a estimativa da radiação solar difusa, e dentre essa mensuração acaba aparecendo modelos para estimativa, assim com o desenvolvimento desses modelos a validação de desempenho desses modelos, acaba sendo de suma importância. Butt et al. (2008) realizou um estudo da radiação solar difusa e as relações da fração de nuvem em dois locais de floresta tropical. Juntamente com a radiação total recebida, a proporção de radiação solar difusa para direta pode influenciar na floresta a fotossíntese e a ciclagem do carbono. Os resultados mostraram que a fração de nuvem pode ser aproximada usando a relação topo observado e calculado da radiação do dossel, logo após a radiação difusa pode então ser predita da fração de nuvem. No estudo a demonstração também de que os dados de nuvem de satélite, podem ser usados

como insumos para modelo de radiação solar difusa, para fornecer estimativas, da radiação difusa anual e mensal.

Arias et al. (2009) trabalhou em um modelo regressivo para a radiação solar difusa por hora, todas as condições de céu. Usando modelo baseado em uma função sigmoid e usa o índice de claridade e a massa óptica relativa como preditores. A performance do modelo foi comparada com outros cinco modelos regressivos usando dados de radiação correspondente a 21 estações no EUA e na Europa. Os resultados obtidos demonstram que o novo modelo fornece estimativas ligeiramente melhores. Em uma segunda parte, o potencial global do novo modelo, foi ajustado, usando todo conjunto de dados. Os resultados mostraram que o modelo de montagem global fornece estimativas globais melhor que os modelos instalados localmente. Assim o modelo demonstra vantagens em comparação com outros modelos avaliados, apesar de usar menos parâmetros do que outros modelos testados.

3 Metodologia

3.1 Área de Estudo

O presente estudo foi realizado em um sítio experimental de pastagem pertencente à rede de torres do Programa de Grande Escala da Biosfera-Atmosfera na Amazônia - LBA, localizados no Estado de Rondônia.

O sítio de pastagem em Rondônia está localizado na Fazenda Nossa Senhora (FNS) ($10^{\circ}45'S$; $62^{\circ}21'W$, 290 m), próximo a Ouro Preto d'Oeste (Figura 1), e encontra-se no centro de uma área desmatada com aproximadamente 50 km de raio. Tem como cobertura vegetal predominante a gramínea *Brachiaria brizantha* (AGUIAR et al., 2011).

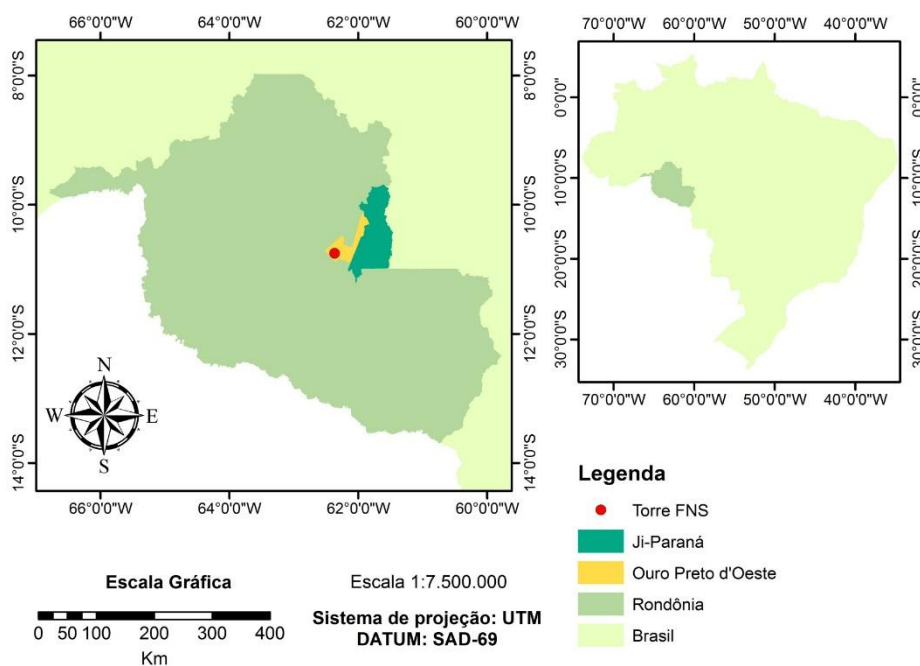


Figura 1 - Mapa de localização do sítio experimental pertencente à rede de torres do Experimento de Grande Escala da Biosfera Atmosfera na Amazônia – LBA.

3.2 Período de dados e Instrumentos utilizados

Para a realização desse estudo foram utilizados dados do período de julho de 2004 a junho de 2005 das seguintes variáveis: irradiância solar global (R_s , piranômetro Kipp&Zonen (CM21)), direta (R_{dir} , pireliômetro) e difusa (R_{dif} , piranômetro), coletados em uma estação experimental pertencente à rede SONDA (Sistema de Organização Nacional de Dados Ambientais) observado na (Figura 2). As leituras dos sensores foram realizadas em intervalos de um segundo, com médias a cada minuto.

Para análise da temperatura e precipitação, utilizaram-se os dados da torre da LBA, devido aos dados do projeto SONDA apresentarem falhas durante os meses de outubro e novembro. A torre da LBA, fica a cerca de 20 metros de distância da estação do projeto SONDA.

Para armazenar os dados foram utilizados dataloggers CR23X, fabricados pela Campbell Scientific Instrument, Utah, USA. Na figura 1 são apresentados os sensores utilizados neste estudo.



Figura 2 - Sensores de radiação solar global (a), difusa (b) e rastreador solar (c).
Fonte: Aguiar et al. (2011), p.18.

3.3 Tratamento de dados

A análise da qualidade dos dados foi realizada observando o comportamento das variáveis, verificando se os valores obtidos eram fisicamente possíveis. Os dados de radiação foram considerados espúrios quando a soma da componente direta com a difusa excedeu o erro de 10%, tanto para mais quanto para menos, sendo realizada uma análise para as três variáveis para verificar qual apresentava erro. Para essa análise mais cuidadosa da qualidade dos dados, foram verificados os dados de 10 em 10 minutos para todos os dias, sendo realizadas, posteriormente, as médias horárias, diárias e mensais para a análise dos resultados. Outro método para verificar a qualidade dos dados de irradiação solar foi utilizar o índice de claridade (k_t , razão entre a irradiância solar global à superfície e a irradiância solar extraterrestre) como referência, pois quando o k_t apresentou valores acima de 1 a R_s foi considerada errada.

Para os dados de temperatura, umidade relativa, pressão (que foram utilizados para calcular a umidade específica) foi realizado uma análise visual, para verificar o comportamento horário e o padrão diário de cada componente.

Para a determinação de umidade específica foi utilizada a equação 1:

$$e_s = 6,1078 \times 10^{(7,5T)/(237,3+T)} \quad (1)$$

em que T é a temperatura do ar ($^{\circ}\text{C}$).

A pressão atual de vapor d'água (e) foi calculada por meio da equação 2:

$$e = \frac{e_s \times UR}{100} \quad (2)$$

em que e e UR é a umidade relativa (%).

A umidade específica foi obtida por meio da equação 3:

$$q = \frac{0,622 \times e}{P - 0,378e} \quad (3)$$

em que P é a pressão atmosférica (hPa).

O índice de claridade foi calculado através da equação 4:

$$k_t = \frac{R_s}{R_0} \quad (4)$$

em que R_s é a irradiância solar global e R_0 a irradiância solar extraterrestre.

3.4 Método para determinação das frações direta e difusa

Após análise de qualidade dos dados, com eliminação de dados espúrios, foram transformados em médias horárias, diárias e mensais calculadas as frações direta e difusa da irradiação solar global para a determinação dos modelos polinomiais de terceira ordem, como na equação 5 e 6.

$$\frac{R_{dir}}{R_s} = a + bk_t + ck_t^2 + dk_t^3 \quad (5)$$

$$\frac{R_{dif}}{R_s} = a + bk_t + ck_t^2 + dk_t^3 \quad (6)$$

em que R_{dir} é a irradiância solar direta, R_{dif} é a irradiância solar difusa, k_t é o Índice de claridade e a, b, c e d são coeficientes das regressões.

3.5 Análise estatística

Para a determinação e validação dos modelos, foi utilizada a técnica de validação cruzada k-fold, em que foram utilizados 70% dos dados para a determinação dos modelos e os 30% restantes para a validação. A separação dos dados foi realizada através de modelo randômico (modelagem com base em distribuições de probabilidades, de onde os valores são obtidos (sorteios) para dirigir a simulação). Para avaliar estatisticamente o desempenho dos modelos foram utilizados o erro médio absoluto (MAE, equação 7), o erro de viés médio (MBE, equação 8), a raiz do

erro médio quadrático (RMSE, equação 9), o coeficiente de determinação (R^2 , equação 10) e o índice de concordância de Willmott (d , equação 11).

$$MAE = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N |y_i - x_i| \quad (7)$$

$$MBE = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (y_i - x_i) \quad (8)$$

$$RMSE = \left(\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (y_i - x_i)^2 \right)^{1/2} \quad (9)$$

$$R^2 = \left\{ \frac{[\sum_{i=1}^N (y_i - \bar{y})(x_i - \bar{x})]^2}{[\sum_{i=1}^N (y_i - \bar{y})^2][\sum_{i=1}^N (x_i - \bar{x})^2]} \right\} \quad (10)$$

$$d = 1 - \left[\frac{\sum_{i=1}^N (y_i - x_i)^2}{\sum_{i=1}^N (|y_i - \bar{x}| + |x_i - \bar{x}|)^2} \right] \quad (11)$$

em que N é o número de dados da amostra, y refere-se aos valores estimados, x aos valores medidos e a barra acima da variável corresponde ao valor médio da variável.

4 Resultados e discussão

4.1 Características da área experimental

Nesta parte, as principais características do clima da cidade de Ji-Paraná-RO são avaliadas com base em medições realizadas pelo projeto LBA. Nesta seção, junto com os valores, serão integrados os valores de intervalo de confiança calculado para todas as variáveis, (valor \pm IC unidade). Segundo Sampaio et al. (2011) de acordo com a classificação climática de Koppen-Geiger, o Estado de Rondônia possui um clima do tipo Aw - Clima Tropical Chuvoso, com média climatológica da temperatura do ar, durante o mês mais frio, superiores a 18°C, e um período seco bem definido durante a estação de inverno.

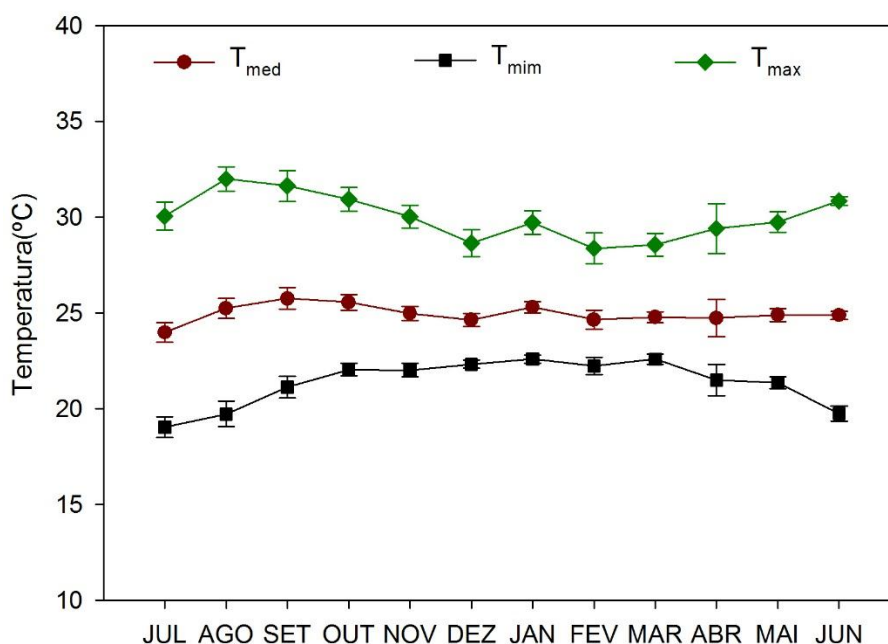


Figura 3- Temperatura média (T_{med}), mínimas (T_{mim}) e máximas (T_{max}) para o período.

A variabilidade da temperatura média mensal para o período estudado foi de aproximadamente 2°C (Figura 3), com as médias mensais das temperaturas máximas e mínimas apresentando maior variação. O mês de julho apresentou maior amplitude térmica (diferença entre a temperatura máxima e mínima), com média mensal da temperatura mínima de $(19,04 \pm 0.54 \text{ } ^\circ\text{C})$ enquanto que a média mensal da temperatura máxima atingiu valores de $(30,05 \pm 0.74 \text{ } ^\circ\text{C})$. Após a ocorrência do pico máximo da temperatura máxima, há uma tendência de redução da amplitude térmica com o passar do ano, apresentando seu menor valor no mês de janeiro, onde as médias mensais das temperaturas mínima e máxima foram de aproximadamente $(22,6 \pm 0.22 \text{ } ^\circ\text{C})$ e $(29,72 \pm 0.63 \text{ } ^\circ\text{C})$, respectivamente.

Essa pequena variação ocorre devido posição geográfica do sítio experimental, localizado próximo ao equador. Embora ocorra o movimento de translação da terra, que resulta nas estações do ano, não ocorre grande variação da temperatura média. É possível observar uma amplitude térmica maior durante os meses que compõe a estação seca (julho a setembro), comparado ao período chuvoso (janeiro a março). Isso ocorre devido ao período seco apresentar uma menor cobertura de nuvens na região, como indicado pelos maiores valores do índice de claridade (razão entre a irradiância solar global à superfície e a irradiância solar extraterrestre, k_t) (Figura 4), aumentando a quantidade de irradiação solar que chega a superfície do solo. Essa maior quantidade de irradiação solar que atinge a superfície provoca um maior aquecimento do solo e, conseqüentemente, da atmosfera, havendo ocorrência de temperaturas máximas mais elevadas. Durante a noite a menor nebulosidade ocasiona em uma maior perda radiativa da superfície, levando a um maior resfriamento, com mínimos de temperatura do ar mais baixos, resultando na maior amplitude térmica observada.

Por outro lado, para o período chuvoso a maior cobertura de nuvens (Figura 4) reduz tanto a quantidade de radiação solar que atinge a superfície durante o dia quanto a perda radiativa durante a noite, levando a uma menor amplitude térmica.

Como mencionado anteriormente, o índice de claridade pode ser utilizado como um indicador de nebulosidade, sendo de fundamental importância o conhecimento do seu comportamento para o entendimento da variabilidade da temperatura do ar em uma determinada região. A variação do índice ocorre com a quantidade de nuvens e aerossóis presentes na atmosfera, afetando as componentes direta e difusa da

radiação solar que chega até a superfície, sendo, portanto, um indicador de nebulosidade e não uma medida de cobertura de nuvens.

Na figura 4 é apresentado o comportamento do índice de claridade para o período estudado. Nos meses de outubro e novembro houve falha no sensor, apresentando interrupção na série de dados.

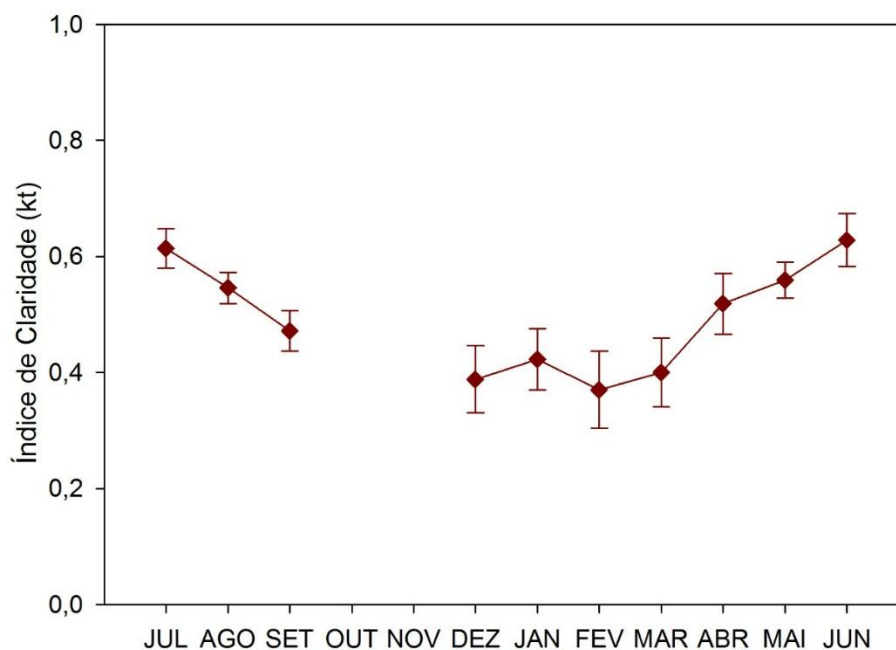


Figura 4 - Valores médios mensais do índice de claridade (k_t).

Durante o mês de julho o índice de claridade atingiu seu valor máximo ($0,61 \pm 0,03$), indicando menor nebulosidade, podendo ser classificado como condição de céu claro. Seguindo a mesma metodologia de Souza Filho et al. (2002). Para valores de k_t menores que 0,35 a condição de céu é classificado como nublado, entre 0,35 e 0,5 é classificado como céu parcialmente nublado e acima de 0,5 como céu claro ou com poucas nuvens. Porém, o k_t atingiu o valor mínimo durante o mês de fevereiro ($0,37 \pm 0,07$), podendo ser classificado como condição de céu parcialmente nublado. Pode-se observar uma menor variabilidade do k_t entre dezembro e março, indicando uma cobertura de nuvens similar ao longo desses meses.

Além do padrão de radiação controlado pelas nuvens, há outra variável que apresenta grande influência na temperatura do ar da região, a precipitação. Segundo

tota et al. (2000) o padrão de formação de precipitação da região para estação chuvosa ocorre devido a duas formas: convecção isolada e convecção por Sistemas Convectivos de Mesoescala (SCM). Durante a estação seca a precipitação é influenciada por friagens, que ajudam em sua caracterização.

A distribuição de precipitação apresenta um acumulado de 1703,6 mm e um padrão de distribuição definido durante as estações (Figura 5). Porém o volume de precipitação está abaixo do volume pluviométrico normal da região que é de cerca de 1850 - 2050mm segundo os mapas de precipitação Instituto Nacional de Meteorologia (INMET). Um fator importante para essa redução na precipitação, pode ser devido a região estar sobre atuação de El-Niño, fenômeno que tem efeito importante a caracterização da precipitação da região. Durante o período mais seco os acumulados de precipitação são inferiores à 50 mm. Os períodos de transição e o período mais chuvoso apresentaram maiores acumulados, sendo superiores à 100 mm.

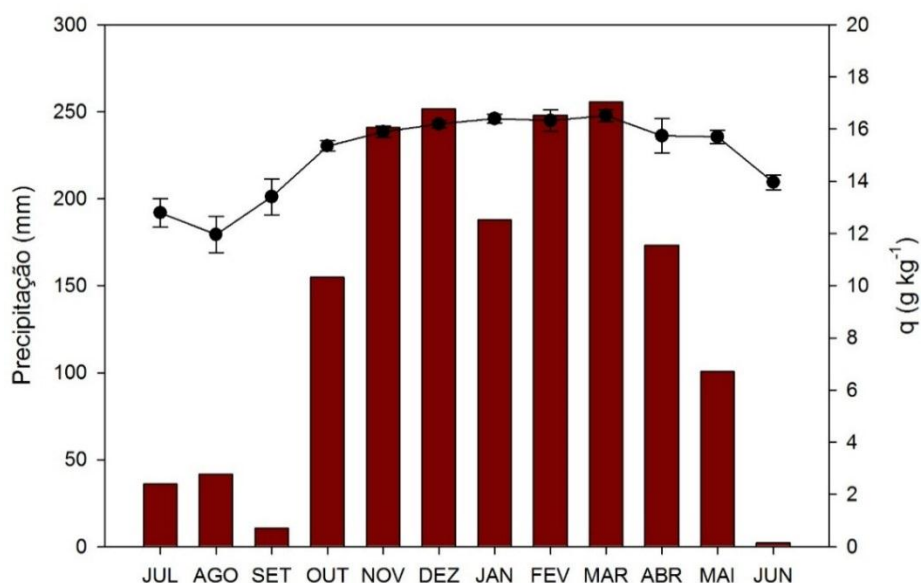


Figura 5 - Distribuição mensal da precipitação e umidade específica ao longo do período de estudo.

O maior acumulado mensal ocorreu durante o mês de março, totalizando 255 mm. Como há uma maior quantidade de energia radiante disponível na estação seca (AGUIAR, 2007) e uma menor quantidade de água no solo, resulta que a maior parte da energia disponível é utilizada para o aquecimento do ar (calor sensível), sendo menos energia utilizada para evapotranspiração (calor latente) (VON RANDOW et al.,

2004), como pode ser observado pelos menores valores de umidade específica (Figura 5) e maiores valores de temperatura do ar máxima (Figura 3) nos meses com menos precipitação.

A umidade específica apresenta pouca variabilidade de outubro a abril, havendo maior variação à medida que precipitação reduz e passa a haver restrição da disponibilidade de água no solo, ocasionando em menor evapotranspiração pela cobertura de pastagem. Os valores mais baixos de q ocorreram na estação seca, variando entre $(11,96 \pm 0,70 \text{ g kg}^{-1})$ e $(13,41 \pm 0,61 \text{ g kg}^{-1})$, na estação chuvosa os valores ficaram contidos entre os limites de $(16,32 \pm 0,41 \text{ g kg}^{-1})$ e $(16,52 \pm 0,23 \text{ g kg}^{-1})$.

4.2 Análise Mensal da Radiação

A irradiância solar global (R_s) apresentou maiores valores no período de transição chuvoso-seco (abril a junho), atingindo valor máximo no mês de junho $(18,29 \pm 1,34 \text{ MJ m}^{-2} \text{ d}^{-1})$. A menor nebulosidade nesse período, com k_t médio de 0,57, foi fator preponderante para a maior quantidade de R_s que atingiu à superfície da região nesse período (Figura 6). Apesar de no período chuvoso (janeiro a março) o planeta estar mais próximo do sol, a R_s atingiu seu valor médio mensal mínimo $(14,73 \pm 2,65 \text{ MJ m}^{-2} \text{ d}^{-1})$ no mês de fevereiro. Embora ocorra essa proximidade e tenha uma maior quantidade de radiação chegando no topo da atmosfera há uma grande quantidade de nebulosidade na região durante esse período, resultando em uma redução da quantidade de radiação que atinge a superfície, como podemos observar pelos menores valores do k_t (Figura 4). Esses resultados são muito próximos aos obtidos por Aguiar (2007) estudando o comportamento do balanço de radiação para a mesma região. Embora o autor tenha encontrado maiores valores da R_s para a estação seca. Essa diferença pode ter sido ocasionada pela forma como a estação seca foi definida, em que neste estudo considerou-se o período de julho a setembro enquanto Aguiar (2007) utilizou os meses de junho, julho e agosto.

A irradiância solar global pode ser particionada em uma componente direta e uma componente difusa. A irradiância solar direta (R_{dir}) apresentou redução a partir de julho, atingindo seu valor mínimo em fevereiro $(4,54 \pm 1,94 \text{ MJ m}^{-2} \text{ d}^{-1})$. Esse

comportamento deve-se, provavelmente, ao aumento dos aerossóis de queimadas na estação seca e a elevação gradativa da nebulosidade. Com a redução da nebulosidade a partir de fevereiro, a irradiância solar direta volta a aumentar, atingindo o valor máximo em junho ($13,13 \pm 1,91 \text{ MJ m}^{-2} \text{ d}^{-1}$)

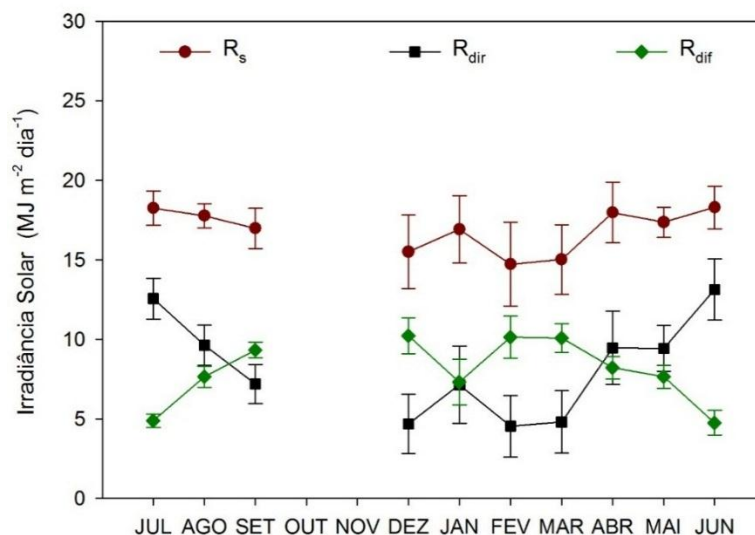


Figura 6 - Ciclo anual da irradiância solar global (R_s), direta e difusa ao longo do período de estudo.

Para a irradiância solar difusa (R_{dif}) a variação é inversa à da irradiância solar direta (R_{dir}), havendo um aumento gradativo a partir de julho até março, atingindo seu valor máximo em dezembro ($10,23 \pm 1,13 \text{ MJ m}^{-2} \text{ d}^{-1}$). Esse comportamento também pode ser atribuído ao aumento da concentração dos aerossóis de queimadas e à maior nebulosidade da região nesse período, favorecendo o espalhamento da radiação solar. Com a redução da nebulosidade a partir de fevereiro, a R_{dif} também diminui, atingindo valor mínimo em junho ($4,75 \pm 0,78 \text{ MJ m}^{-2} \text{ d}^{-1}$). Os valores encontrados para irradiância solar difusa, foram maiores aos valores encontrados por Marques Filho et al. (2006) para o Rio de Janeiro. O máximo de irradiância solar difusa de Rondônia e do Rio de Janeiro, foram obtidas em dezembro. Porém, o valor mínimo irradiância solar difusa obtido por Marques Filho et al. (2006) para o Rio de Janeiro foi para o mês de Julho.

Deve-se ressaltar que infelizmente não se pode afirmar com certeza os meses de ocorrência dos menores valores da R_{dir} e maiores da R_{dif} , uma vez que estão faltando dados nos meses de outubro e novembro, nos quais ocorrem a maior

quantidade de queimadas na região. Essa lacuna nos dados foi ocasionada por problemas no sensor de rastreamento solar.

Quando analisado o particionamento da irradiância solar global em suas componentes direta e difusa através de suas frações, nota-se que a fração difusa é maior do que a direta entre os meses de setembro a abril, com a fração difusa sendo máxima no mês de fevereiro, em que aproximadamente ($74 \pm 9\%$) da irradiância solar global chegou na forma difusa, enquanto apenas ($25 \pm 9\%$) alcançou a superfície na forma direta. Deve-se ressaltar que a soma das duas frações não resulta em 100% da R_s devido a medição das três variáveis ser realizada por três sensores diferentes, um para cada variável. Como cada sensor apresenta erros de medidas de aproximadamente 3%, considerou-se uma margem de 10% de erro para a soma das componentes direta e difusa, como mencionado no material e métodos.

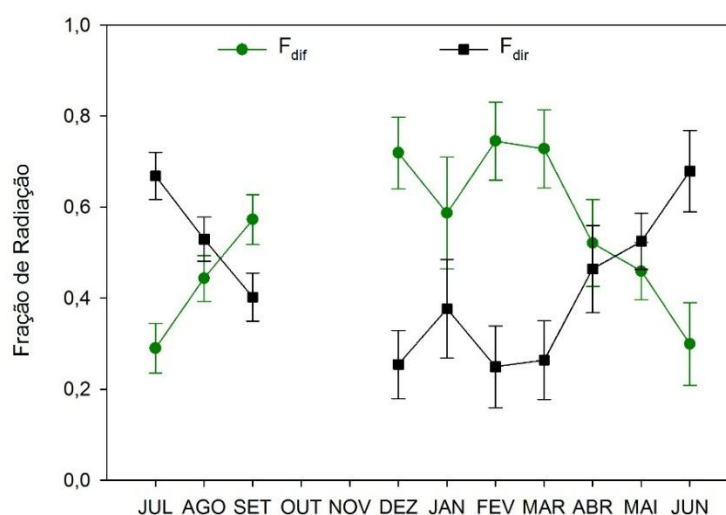


Figura 7- Ciclo anual das frações direta (F_{dir}) e difusa (F_{dif}) da irradiância solar global.

Entre os meses de maio e agosto, a fração direta (figura 7) passa a ser mais elevada do que a difusa, apresentando máximo valor em junho, sendo responsável por ($68 \pm 9\%$) da irradiância solar que chega à superfície. Devido ao comportamento inverso com a fração direta, a fração difusa atinge seu mínimo no mês de junho, representando apenas ($30 \pm 9\%$) da R_s . Em média, na estação chuvosa, as frações direta e difusa representam aproximadamente ($29 \pm 5\%$) e ($70 \pm 5\%$) da R_s , respectivamente. Na estação seca, estes valores passam a ser de ($54 \pm 4\%$) para a

fração direta e $(43 \pm 4\%)$ para a difusa, representando um aumento de aproximadamente 83% da fração direta e uma redução de 38% na difusa na estação seca em relação à chuvosa.

Esse comportamento ao longo do ano, tanto da fração direta quanto da difusa, está relacionado com a variabilidade da nebulosidade, havendo uma relação bem definida entre os valores médios diários das frações direta e difusa com os do índice de claridade (figura 8). A medida que o índice de claridade aumenta, a fração difusa decai (figura 8a) e a direta se eleva (figura 8b), podendo serem ajustadas regressões polinomiais de terceira ordem, as quais obtiveram coeficientes de determinação (R^2) de 0,86 (fração difusa) e 0,83 (fração direta), evidenciando o controle que a nebulosidade exerce sobre a forma com que a irradiância solar global chega à superfície.

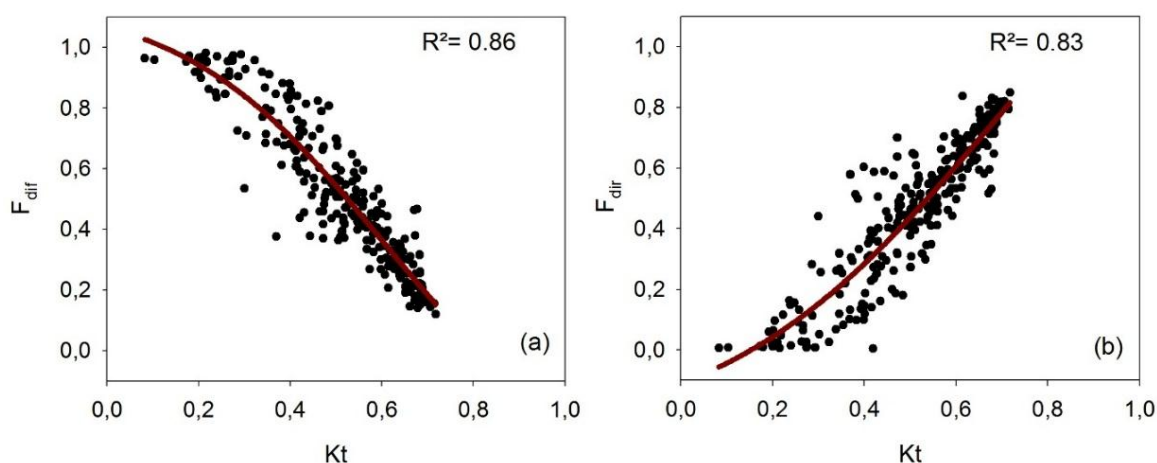


Figura 8- Relações entre os valores médios diários das frações difusa (a) e direta (b) da irradiância solar global com os do índice de claridade (k_t) para todo o período analisado.

Essa forte relação entre o k_t e a fração difusa foi observada em inúmeros trabalhos ao redor do planeta, como o de Marques Filho et al. (2006) comparou a dispersão de fração difusa em relação ao índice de claridade para o Rio de Janeiro, obtida em seu trabalho com relação a modelos desenvolvidos para região localizadas no Hemisfério Sul, dos quais todos obtiveram coeficiente de determinação superior 0,85. Estes valores são semelhantes aos observados Boland et al. (2008) para a Austrália e Khorasanizadeh et al. (2016) para a cidade de Kerman, Iran. Porém, Sendo

a nebulosidade a principal moduladora da quantidade da irradiância solar global que chega de forma difusa à superfície da Terra.

4.3 Análise horária da Radiação

A irradiância solar global e suas componentes direta e difusa apresentam um ciclo diurno bem definido, com picos máximos ocorrendo próximo ao meio dia, tanto na estação chuvosa (Figura 9a) quanto na seca (Figura 9b). Na estação chuvosa a R_s atingiu valores de $(578,9 \pm 66.16 \text{ W m}^{-2})$, enquanto que para a estação seca alcançou $(736 \pm 24.28 \text{ W m}^{-2})$, sendo aproximadamente 27,15% maior em relação à estação chuvosa.

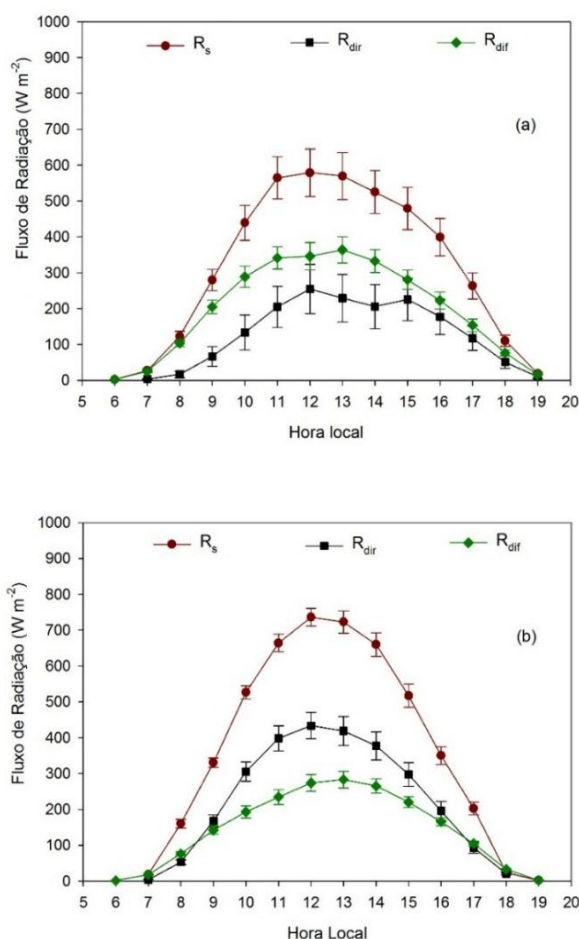


Figura 9- Ciclo médio diário das irradiâncias solar global (R_s), direta (R_{dir}) e difusa (R_{dif}) para o período chuvoso(a) e seco(b).

Na estação chuvosa a R_s obteve uma elevação mais acentuada no período da manhã, apresentando um ciclo diário assimétrico ocasionado pela menor nebulosidade nesse período (Figura 9a). Esse comportamento é característico da estação, visto que a maior parte das chuvas que ocorrem na estação chuvosa é devido à processos convectivos, elevando a cobertura de nuvens ao longo do dia (SILVA DIAS et al., 1987). Nota-se que tanto a irradiância solar direta quanto a difusa acompanham bem o ciclo diurno do k_t em ambas as estações, havendo, na estação chuvosa, diminuição da R_{dir} entre 12 e 15 horas, não resultando em uma redução mais acentuada na R_s , devido ao aumento da R_{dif} . A R_{dir} atingiu picos máximos de $(433,67 \pm 36,69 \text{ W m}^{-2})$ na estação seca, representando um aumento em torno 70,0% em relação à estação chuvosa $(254,55 \pm 68,43 \text{ W m}^{-2})$. Por outro lado, a irradiância solar difusa apresentou redução no pico máximo de aproximadamente 22,2% na estação seca $(282,84 \pm 23,10 \text{ W m}^{-2})$ em relação à chuvosa $(363,78 \pm 36,46 \text{ W m}^{-2})$.

Os ciclos médios diários das frações direta (F_{dir}) e difusa (F_{dif}) da R_s são apresentados na (Figura 10). Para uma análise mais completa do comportamento horário das frações é adicionado a evolução diária do índice de claridade (k_t). É possível notar que a máxima amplitude do índice de claridade para estação chuvosa (Figura 10a) foi de $(0,46 \pm 0,05)$, ocorrendo às 11h. Porém, para a estação seca o comportamento do índice de claridade muda. Devido a redução na nebulosidade o índice cresce e atinge pico máximo às 12h $(0,62 \pm 0,02)$. A fração direta (F_{dir}) apresenta comportamento semelhante ao índice de claridade, pois quando ocorre redução no índice de claridade, a fração direta diminui, aumentando a componente de fração difusa, devido a uma maior quantidade de nuvens no céu. O mesmo padrão ocorre para o caso de um aumento do índice de claridade, onde haverá uma diminuição na quantidade de nuvens, aumentando a fração direta e diminuindo a fração difusa.

Assim a fração direta é muito afetada para o período chuvoso e atinge seu máximo as 16h $(0,30 \pm 0,08)$. Contudo para estação seca a magnitude da fração direta aumenta (Figura 10b) e atinge seu máximo valor às 12h $(0,57 \pm 0,04)$. Os valores mínimos de fração direta ocorrem ao nascer e pôr do sol, mesmo período de ocorrência dos valores máximos da fração difusa.

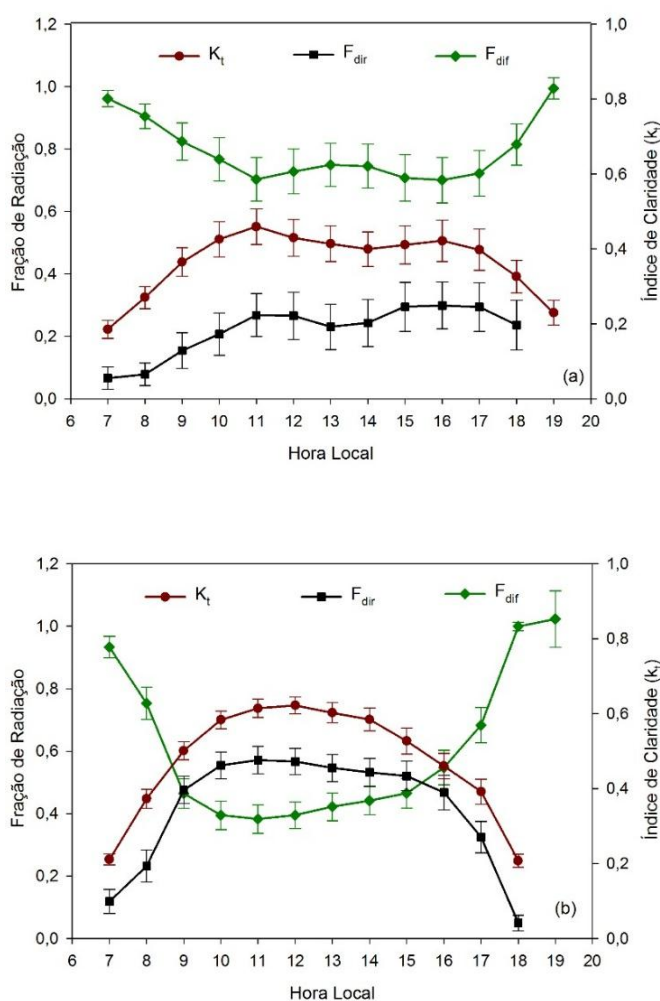


Figura 10- Ciclo médio diário do índice de claridade (k_t) e das frações direta (F_{dir}) e difusa (F_{dif}) da irradiância solar global para o período chuvoso (a) e seco (b).

Esse comportamento ocorre, provavelmente, devido ao maior caminho óptico que a radiação solar tem que atravessar nesses períodos, aumentando a interação dos constituintes atmosféricos com a irradiância solar. O mínimo de irradiância difusa para estação chuvosa ocorreu às 11h ($0,70 \pm 0,07$), em que o caminho óptico que a irradiância solar tem que atravessar está próximo do valor mínimo. Contudo, para a estação seca há uma redução de aproximadamente 46% da F_{dif} ($0,38 \pm 0,05$) devido a menor nebulosidade.

Analisando a relação existente entre os valores horários da fração difusa e do índice de claridade, observa-se que há uma maior dispersão da fração difusa a partir de índices de claridade superiores a 0,4 para a estação chuvosa (Figura 11a),

havendo uma maior variabilidade da fração difusa para o mesmo valor de k_t . Esse resultado pode estar associado à dois fatores principais: 1) maior variabilidade das condições atmosféricas, tanto da nebulosidade quanto da quantidade de aerossóis. Provavelmente, após a ocorrência de precipitação a quantidade de aerossóis presentes na atmosfera reduz, diminuindo a reflexão da irradiação solar por meio desses aerossóis, fazendo com que para uma mesma condição de nebulosidade, ocorra frações difusa distintas; 2) aumento da fração difusa devido à reflexão da radiação pelos lados das nuvens, ocasionando o surgimento do fenômeno denominado por Gu et al. (1999) de efeito da lacuna de nuvem (*cloud gap effect*, em inglês), em que a irradiância solar global que chega em um determinado ponto na superfície, localizado no final do caminho de feixes solares que passam através de aberturas formadas por nuvens individuais, é maior em dias com nuvens do que em dias totalmente claros devido ao maior aporte de irradiância solar difusa. Esse fenômeno pode ocasionar em uma fração difusa maior para dias com nuvens do que em dias claros para um mesmo valor de k_t .

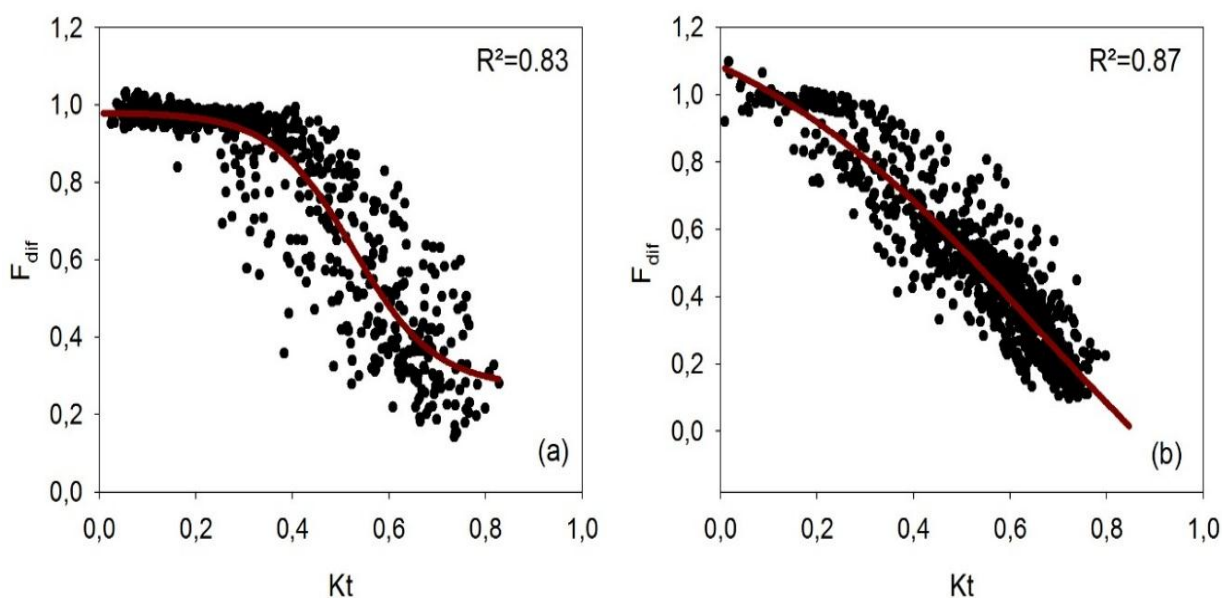


Figura 11 – Relação da fração difusa da irradiância solar global com o índice de claridade (K_t) para as estações chuvosa (a) e Seca (b).

Ajustando uma curva de regressão sigmoidal de quarta ordem, nota-se um melhor ajuste na estação seca ($R^2=0,87$) do que na chuvosa ($R^2=0,83$), evidenciando

a menor variabilidade da fração difusa em relação ao k_t , indicando que as condições atmosféricas na estação seca são mais homogêneas do que da estação chuvosa.

No mesmo contexto, foi avaliada a relação da fração direta com o índice de claridade em base horária, apresentado na (Figura 12). A fração direta apresentou grande variabilidade na estação chuvosa (Figura 12a), podendo estar associada aos mesmos fatores que influenciaram a fração difusa, mencionados anteriormente. Entretanto, o ajuste com uma curva de regressão sigmoidal de quarta ordem obteve coeficientes de regressão menores tanto para a estação chuvosa ($R^2=0,80$) quanto para a seca ($R^2=0,82$) em relação ao ajuste da fração difusa com o k_t .

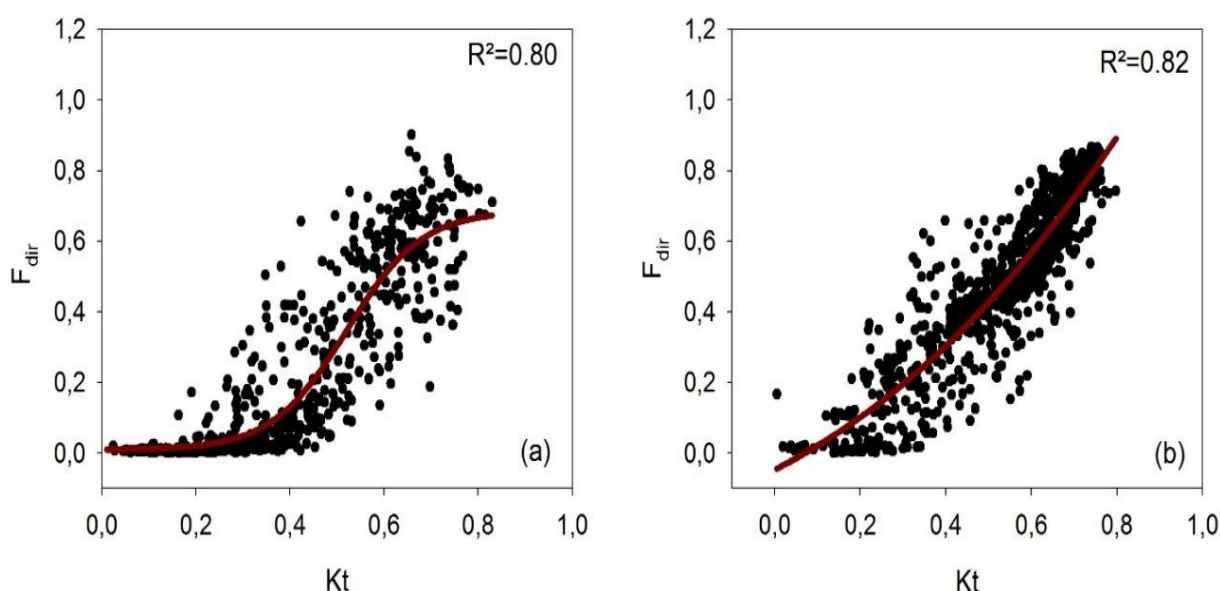


Figura 12 – Relação da fração direta da irradiância solar global o índice de claridade (K_t) para as estações chuvosa (a) e seca (b).

Apesar da diferença entre os ajustes para as frações difusa e direta com o k_t serem pequenas, isso indica que há uma relação melhor estabelecida entre as frações difusa e o k_t , sendo este um dos motivos pelo qual os trabalhos de estimativa das componentes da irradiância solar global estimam a fração difusa, obtendo posteriormente a irradiância solar difusa e, por diferença com a irradiância solar global, a direta.

4.4 Modelos de estimativa das frações direta e difusa da R_s

Os modelos de estimativa das frações direta e difusa a partir do índice de claridade (Tabela 1), apresentaram bons resultados tanto em base diária quanto em horária, com coeficientes de determinação superiores a 0,8, sendo que os modelos das frações difusa diária e horária apresentaram os melhores coeficientes de determinação, evidenciando a melhor relação entre a fração difusa e o índice de claridade.

Tabela 1 – Coeficientes dos modelos determinados através de regressão polinomial de terceiro grau em que a, b, c e d são os coeficientes da regressão, R^2 é o coeficiente de determinação e N é o número de dados da amostra.

Frações	a	b	c	d	R^2	N
Fdif - Horária	0.88	1.60	-6.49	4.19	0.84	828
Fdir - Horário	0.11	-1.53	5.99	-3.73	0.81	788
Fdif - Diário	1.02	-0.03	-2.22	0.76	0.86	75
Fdir - Diário	-0.14	0.70	1.00	-0.16	0.82	74

Para a validação dos modelos, foram determinadas as frações difusa e direta da irradiância solar global através dos modelos desenvolvidos para os 30% dos dados horário e diário destinados à validação. Os valores das frações difusa e direta foram multiplicados pela irradiância solar global para a determinação das irradiâncias solar difusa e direta e com esses valores foram calculados as estatísticas de avaliação do desempenho dos modelos.

Observa-se que o índice de concordância (d) apresentou bons resultados para todos os períodos (Tabela 2), porém com melhores desempenhos para a R_{dir} -horária e R_{dir} -diária, concordando com os maiores valores do coeficiente de determinação (R^2). O MAE apresentou resultados muito próximos entre as estimativas das irradiâncias difusa e direta, com valores de aproximadamente 20,76% e 19,42%, respectivamente, em base horária e de 12,9% em base diária, os menores erros para as estimativas em base diária já era esperado, visto que ao realizar médias em intervalos de tempo maiores a variabilidade dos dados é suavizada, fortalecendo as relações entre as frações direta e difusa com o k_t .

Essa maior variabilidade dos dados em base horária é evidenciada pelos maiores valores do RMSE em relação à base diária. Uma vez que para o cálculo do RMSE é utilizada a distância entre os valores estimados e observados elevada ao quadrado, sendo o RMSE mais sensível a erros de estimativa. O RMSE foi de aproximadamente 31,78% (R_{dif}) e de 28,93% (R_{dir}) em base horária e de 18,27% (R_{dif}) e 17,12% (R_{dir}) em base diária

Tabela 2 – Estatísticas relacionadas aos valores observados e estimados das irradiâncias solar difusa direta em base horária e diária. O MAE, MBE e RMSE estão em %, o R^2 e o d são adimensionais.

Radiação	MAE	RMSE	MBE	R^2	d
Rdif - Horário	20,76	31,78	-2,45	0,79	0,92
Rdir - Horário	19,42	28,93	2,49	0,91	0,97
Rdif - Diário	12,90	18,27	-0,59	0,62	0,88
Rdir - Diário	12,90	17,12	2,35	0,90	0,97

Através do MBE, em que os valores negativos indicam subestimativa e os valores positivos superestimativa, observa-se subestimativas da irradiância solar difusa tanto em base horária (-2,45%) quanto diária (-0,59%) enquanto a irradiância solar direta apresentou superestimativas de 2,49% em base horária e de 2,35% em diária.

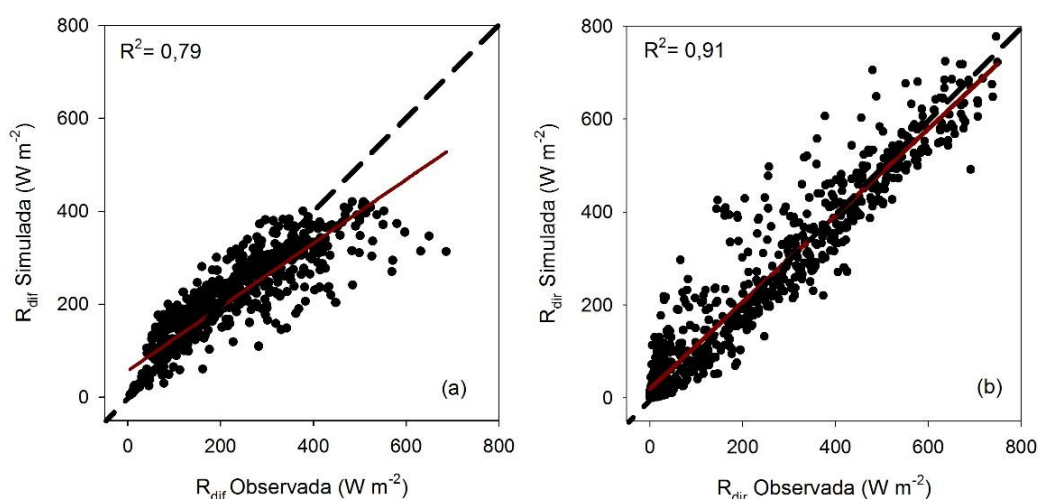


Figura 13 – Comparação entre os valores observados e estimados das irradiâncias solar difusa (a) e direta (b) em base horária.

Fazendo uma regressão linear entre os valores estimados e observados da irradiância solar difusa e direta em base horária (Figura 13) e diária (Figura 14) observa-se que a tendência de subestimativa aumenta à medida que se elevam os valores da R_{dif} o que não é tão evidente para a R_{dir} .

Esses resultados auxiliam também no entendimento de apesar dos modelos de fração difusa apresentarem melhores coeficientes de determinação, os erros estatísticos (RMSE, MAE e MBE) serem maiores para a estimativa da R_{dif} do que para a R_{dir} . Entretanto, não esclarece os motivos que levaram a isso.

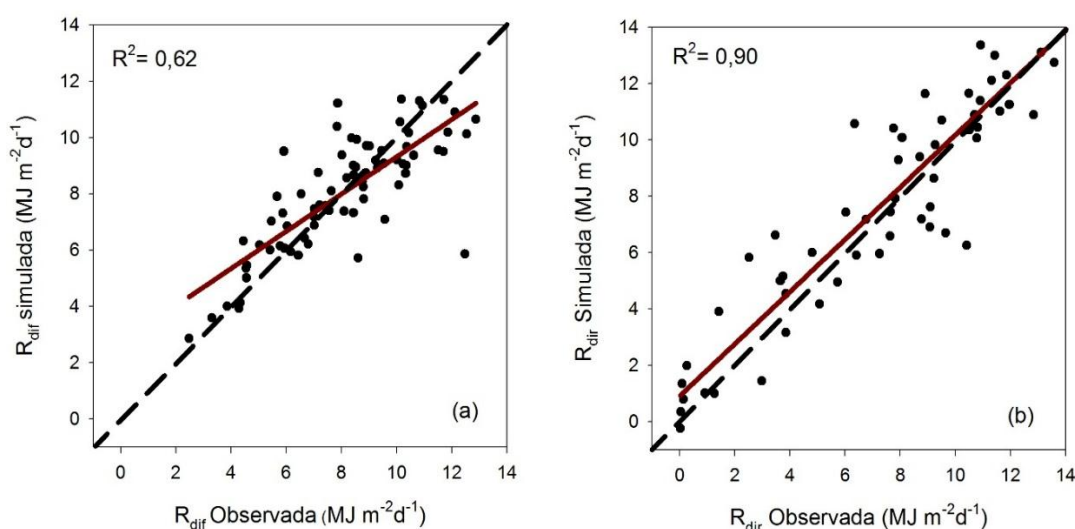


Figura 14 – Comparação entre os valores observados e estimados das irradiâncias solar difusa (a) e direta (b) em base diária.

Para um melhor entendimento dos motivos que levaram a maiores erros estatísticos para a irradiância solar difusa, calcularam-se os erros estatísticos com os dados de frações difusa e direta para verificar se há alguma tendência de erro perceptível. Observa-se que, em geral, os erros estatísticos (MAE, MBE e RMSE) apresentaram menores valores para a estimativa das frações em relação às irradiâncias, exceto para a fração direta em base diária (Tabela 3). Além disso, as frações difusa em base horária e diária apresentaram menores erros do que as frações direta, como esperá-va-se encontrar para os erros estatísticos calculados utilizando os dados das irradiâncias. Provavelmente, os maiores erros nas frações difusa estão associados a valores mais elevados de R_{dif} enquanto que os maiores erros das frações direta ocorrem quando a R_{dir} é pequena.

Tabela 3 – Estatísticas relacionadas aos valores observados e estimados das frações difusa e direta da irradiância solar global em base horária e diária. O MAE, MBE e RMSE %, o R^2 e o d são adimensionais.

Fração	MAE	RMSE	MBE	R^2	d
Fdif - Horário	14,94	19,95	0,23	0,84	0,95
Fdir - Horário	16,27	21,83	-0,65	0,94	0,80
Fdif - Diário	11,77	15,54	-0,39	0,96	0,86
Fdir - Diário	14,58	18,86	1,92	0,84	0,95

Nas Figuras 15 e 16 pode-se observar que os maiores erros de estimativa ocorrem em frações difusa e direta observadas intermediárias tanto em base horária (Figura 15) quanto em diária (Figura 16). Isso reforça a hipótese de que os maiores erros nas estimativas da fração difusa ocorrem para valores mais elevados da R_{dif} , visto que para momentos em que o céu está mais claro (F_{dif} menores) ou nublado (F_{dif} maiores) a R_{dif} será baixa.

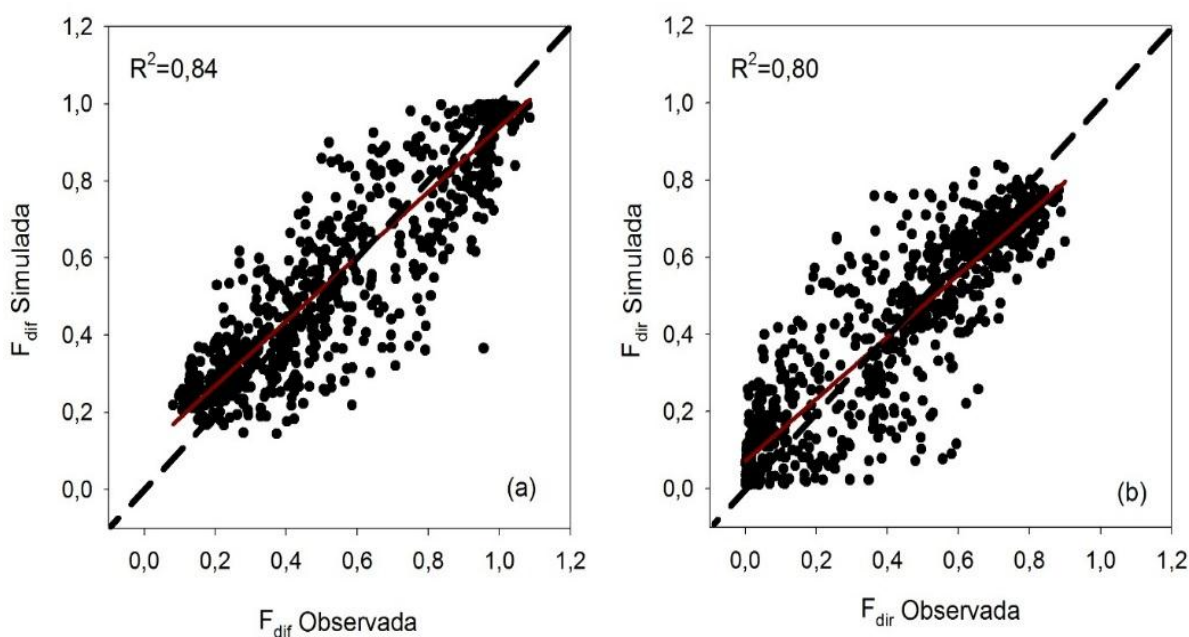


Figura 15 – Comparação entre os valores observados e estimados das frações difusa (a) e direta (b) da irradiância solar em base horária.

Por outro lado, há menores erros nas estimativas da fração direta para frações observadas superiores a 0,6, indicando que em momentos mais claros, em que a R_{dir} será maior, a fração direta é melhor estimada.

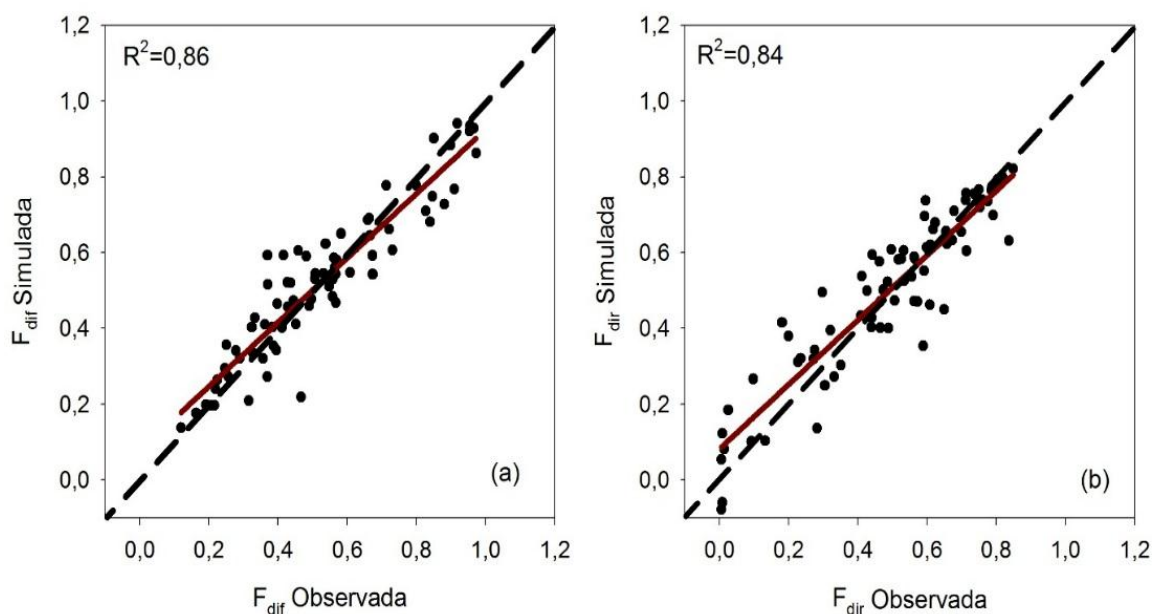


Figura 16 – Comparação entre os valores observados e estimados das frações difusa (a) e direta (b) da irradiância solar em base diária.

Buscando uma melhor compreensão dos erros nas estimativas da R_{dif} e R_{dir} , as diferenças entre os valores simulados e observados utilizados na validação foram separados em dez classes em ordem crescente em relação à elevação solar, sendo calculados os valores médios para cada classe. Após o cálculo das médias os dados foram reclassificados em ordem crescente em relação ao índice de claridade.

Observa-se que as subestimativas mais elevadas da irradiância solar difusa ocorrem em elevações solares superiores a 40 graus (Figura 17a) bem como para índices de claridade intermediários (Figura 17b), características propícias para o surgimento do fenômeno “*cloud gap effect*”, como observado por Borges et al. (2016), em que o fenômeno apresentou dois picos de ocorrência ao longo do dia, próximo a elevações solares de 45 e 65 graus. O surgimento desse fenômeno pode fazer com que chegue mais irradiância solar difusa do que foi estabelecido através dos modelos de regressão, ocasionando subestimativa da R_{dif} .

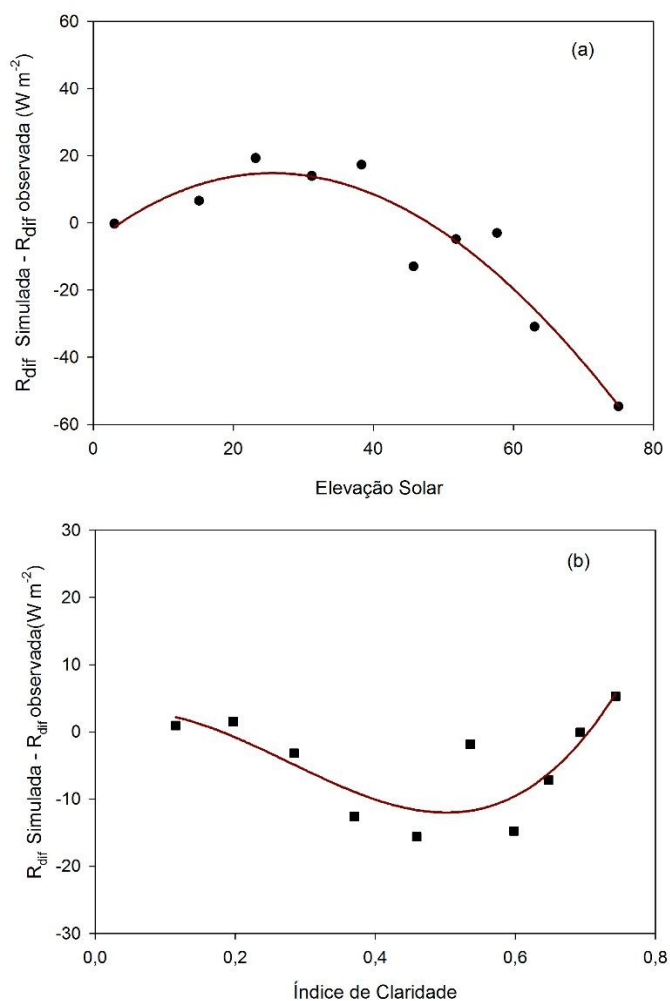


Figura 17- Relação entre os erros de estimativa da irradiância solar difusa com a elevação solar (a) e o índice de claridade (k_t) (b).

A superestimativa da irradiância solar direta (figura 18a) para elevações solares acima de 40 graus de elevação pode estar associado ao mesmo fenômeno, uma vez que com a ocorrência do “*cloud gap effect*” a quantidade de irradiância solar direta que chega permanece a mesma, entretanto a quantidade de irradiância solar global aumenta devido a elevação na irradiância solar difusa, fazendo com que o índice de claridade aumente. Como os modelos de estimativa da fração direta da R_s são equações polinomiais de terceira ordem, valores de k_t mais elevados tendem a estimar frações direta maiores, o que conduz a superestimativa da R_{dir} nos momentos de ocorrência do fenômeno “*cloud gap effect*”.

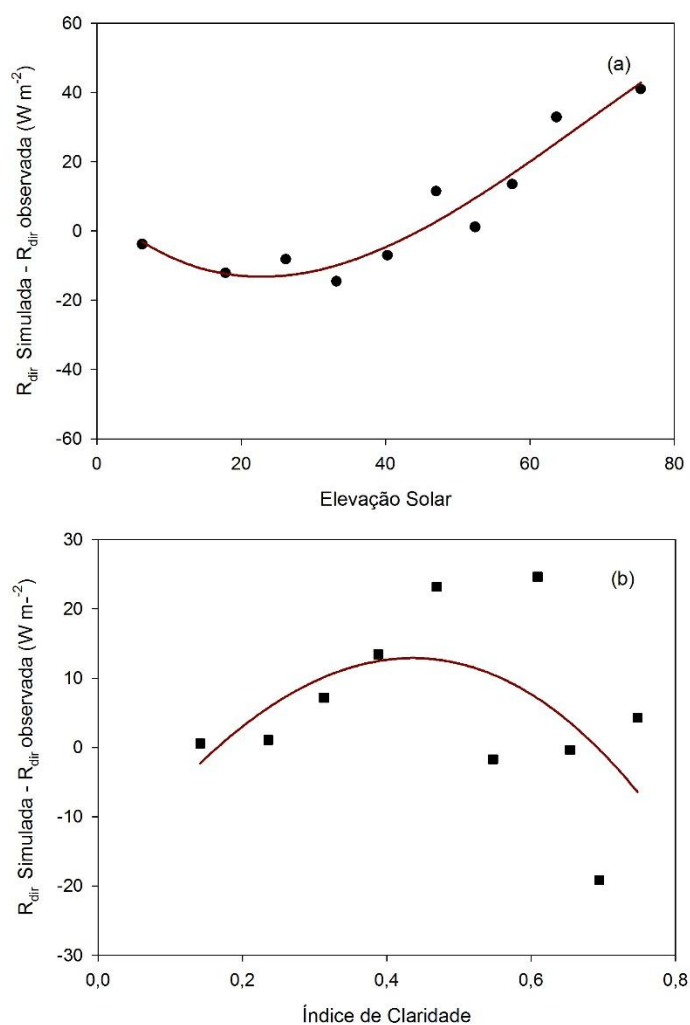


Figura 18- Relação entre os erros de estimativa da irradiância solar direta com a elevação solar (a) e o índice de claridade (k_t) (b).

Para uma melhor identificação dos padrões sazonais dos erros e análise do comportamento dos mesmos para as irradiâncias solar difusa e direta, foram calculadas as médias mensais do MAE, MBE e RMSE para os dados horários e diários destinados à validação dos modelos.

Na figura 19, são apresentados os ciclos anuais dos erros para a irradiância solar difusa (a) e direta (b). Nota-se valores mais elevados de RMSE e MAE na estimativa da R_{dif} para os meses de junho e julho, sendo superiores a 35%. Estes erros são mais elevados do que os de MAE encontrados para todo o período, ficando abaixo de 21%. Essa pior estimativa da fração difusa ocorre, provavelmente, devido ao

modelo de estimativa ser desenvolvido para uma condição média anual e nos meses de junho e julho haver uma menor fração difusa em relação a condição média, ficando evidente ao se analisar o comportamento do MBE, em que há superestimativas nos meses de junho e julho e subestimativa nos demais meses.

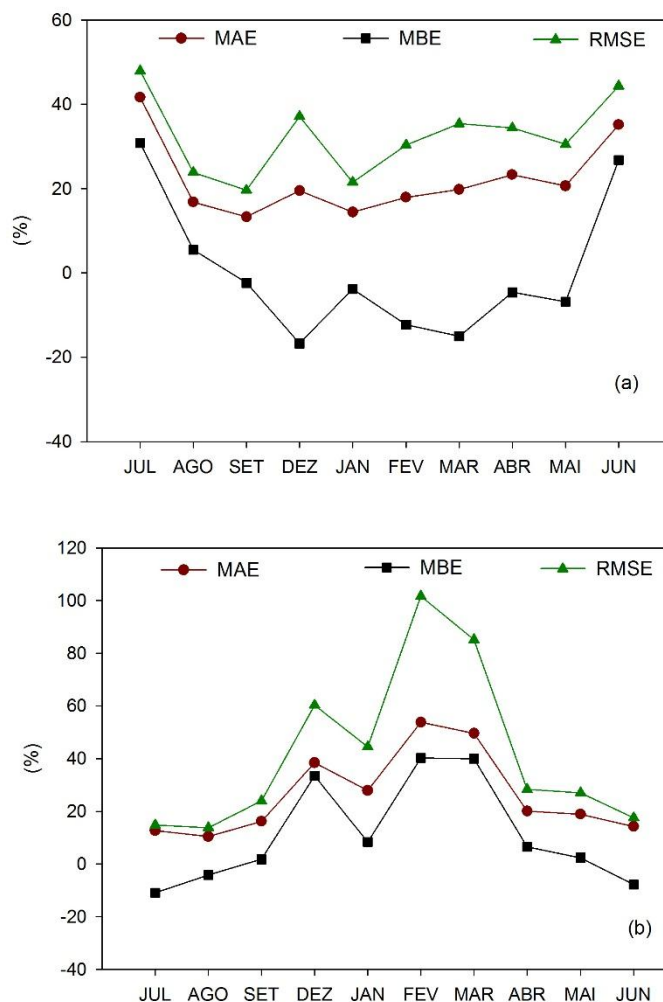


Figura 19- Erros estatísticos para as estimativas das irradiâncias solar difusa (a) e direta (b) em base horária.

Analisando os erros estatísticos para a R_{dir} (figura 19b), observa-se maiores erros nos meses de dezembro, fevereiro e março, em que a fração direta é menor do que a condição média anual, havendo superestimativas da R_{dir} nesses meses. O RMSE alcança erros de cerca de 100% no mês de fevereiro, podendo ser um indicativo de maior ocorrência do fenômeno “cloud gap effect” nesse mês, uma vez que o RMSE é altamente sensível a erros de estimativa mais elevados (Willmot, 1982).

5 Conclusão

Concluindo, à análise das características do clima para o período de julho de 2004 a julho de 2005, foram fundamentais para o entendimento da distribuição das variáveis e determinação dos modelos. A nebulosidade se mostrou como a principal moduladora da irradiância ao longo do ano, tanto na magnitude quanto no particionamento entre as componentes direta e difusa da irradiância solar global.

No período entre setembro e abril, em que o índice de claridade obteve valores menores, a maior parte da irradiância solar global chegou à superfície de forma difusa, enquanto que nos outros meses alcançou a superfície de forma direta.

Foram observadas relações bem definidas entre as frações difusa e direta com o k_t , e apesar da diferença entre as regressões serem pequenas, houve um melhor ajuste da regressão entre as frações difusa e o k_t , tanto na estação chuvosa quanto na seca.

Os modelos de estimativa da irradiância solar direta e difusa apresentaram bons resultados. Apesar dos modelos de fração difusa apresentarem melhores coeficientes de determinação, os erros estatísticos (RMSE, MAE e MBE) foram maiores para a estimativa da R_{dif} do que para a R_{dir} . Foi observado que os maiores erros de estimativa ocorreram para índices de claridade intermediários, em que a irradiância solar difusa tende a ser máxima, havendo subestimativa da R_{dif} , sendo a ocorrência do fenômeno “*cloud gap effect*” o provável responsável por esse comportamento.

A alta variabilidade dos erros estatísticos evidencia a dependência dos modelos de estimativa das frações difusa e direta com as condições atmosféricas em que foram desenvolvidos, fazendo com que mesmo modelos desenvolvidos com dados dos locais de utilização possam incorrer em grandes erros de estimativa, bastando apenas que as condições atmosféricas no período da estimativa sejam diferentes das que foram estabelecidos os modelos. Uma possível minimização desses erros seria a

determinação de modelos de estimativa para cada estação ou mesmo para cada mês do ano.

Referências Bibliográficas

AGUIAR, Leonardo José Gonçalves. **Balço de radiação em áreas de floresta e de pastagem em Rondônia**. 2007. 91f. Dissertação (Mestrado em Meteorologia Agrícola) – Escola meteorologia, Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, Minas Gerais, 2007.

AGUIAR, L. J. G.; COSTA, J. M. N.; FISCHER, G. R.; AGUIAR, R. G.; COSTA, A. C. L.; FERREIRA, W. P. M. Estimativa da Radiação de Onda Longa Atmosférica em Áreas de Floresta e de Pastagem no Sudoeste da Amazônia. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 26, n.2, p.215-224, 2011.

ARIAS, J. A. R.; ALSAMAMRA, H.; PESCADOR, J. T.; VÁSQUEZ, D. P. Proposal of a regressive model for the hourly diffuse solar radiation under all sky conditions. **Energy Conversion and Management**. v.15, n.1, p.881-893, 2009.

ARTAXO, P.; GATTI, L. V; LEAL, A. M. C.; LONGO, K M.; FREITAS, S. R.; LARA, L. L.; PAULIQUEVIS, T. M.; PROCÓPIO A. S., RIZZO L. V. Química atmosférica na Amazônia: A floresta e as emissões de queimadas controlando a composição da atmosfera amazônica. **Acta Amazônia**, v.35, n.2, p.185-196, 2005.

BASTOS, T.X. O estudo atual dos conhecimentos das condições climáticas da Amazônia brasileira. **IPEAN**, v.1, n.1 p.68-122,1979.

BASTOS, T.X. O clima da Amazônia brasileira segundo Koppen. **Embrapa Amazônia Oriental - Séries anteriores (INFOTECA-E)**, v.1, n.4, p.4,1982.

BUTT, N.; NEW, M.; MALHI, Y.; COSTA, A. C. L.; OLIVEIRA, P.; ESPEJO, J. E. S. Diffuse radiation and cloud fraction relationships in two contrasting Amazonian. **Agricultural and Forest Meteorology**, v.3, n.1. p.361-368, 2008.

BOLAND, J.; RIDLEY, B.; BROWN, B. Models of diffuse solar radiation. **Renewable**

Energy, v.33, n.1, p. 575–584, 2008.

BORGES, Guilherme Alves; PAIM, Bruna; AGUIAR, Leonardo José Gonçalves; FISCHER, Graciela Redies. análise da ocorrência do fenômeno “cloud gap effect” em área de pastagem no sudoeste da amazônia. In: XXV CONGRESSO DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA, 4.,2016, Pelotas – Rs, **Anais do...**Pelotas, 2016. 4.

CEBALLOS, J. Estimativa de Radiação solar à superfície com céu claro: um modelo simplificado. **Revista Brasileira De Meteorologia**, v.15, n.1, p.113-122, 2000.

CHARLOCK, T.P.; ALBERTA, T.L. The CERES/ARM/GEWEX experiment (CAGEX) for the retrieval of radiative fluxes with satellite data. **Bulletin of American Meteorological Society**, v.77, n.1, p.2673-2683,1996.

CORREIA, F. W. S.; ALVALÁ, R. C. S.; MANZI, A. O Impacto das modificações da cobertura vegetal no balanço de Água na Amazônia: um estudo com modelo de circulação geral da atmosfera. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v.21, n.2, p.153-167, 2006.

CUTRIM, Eliana Maria. **Estimating monthly rainfall from geostationary satellite imagery over Amazonia, Brazil**.1983, 107f. Tese (Doutorado em ciências atmosféricas) - Faculdade de ciências atmosféricas, Universidade Michigan, ann arbor, Michigan, 1983.

DRECMER, Patricia Aparecida de Oliveira. **Comportamento e correção da radiação solar difusa obtida com o anel de sombreamento**. 2005, 86f. Dissertação (Mestrado em engenharia agrícola) – Faculdade de ciências exatas e tecnológicas, Universidade de estadual do oeste do paraná, Paraná

EL-SEBAIL, A.A.; AL-HAZMI, F.S.; AL-GHAMDI, A.A.; YAGHMOUR, S.J. Global, direct and diffuse solar radiation on horizontal and tilted surfaces in Jeddah, Saudi Arabia. **Applied Energy**, v.87, n.1, p.568-576, 2010.

FEITOSA, J. R. P.; COSTA, R. F.; FISCH, G.; SOUZA, S.; NOBRE, E. C. A. Radiação solar global em áreas de floresta e pastagem na Amazônia. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, v. 6, n.3, p.1-7, 1998.

FISCH, G.; WRIGHT, I.R.; BASTABLE, H.G. Albedo of tropical grass: a case study of

pre-and-post burning. **International Journal of Climatology**. v. 14, n.1, p. 103, 1994.

GARCIA, Marcelo Pinheiro. **Resultados de um estudo estatístico das propriedades ópticas das partículas de aerossol de queimadas na Amazônia via AERONET**. 2005. 155f. Dissertação (Mestrado em Ciências) – Instituto de Astronomia, Geofísica e Ciências Atmosféricas, Universidade Federal de São Paulo, São Paulo, 2005.

GOMES, J. B. **Conversão de florestas tropicais em sistemas pecuários na Amazônia: quais são as implicações no microclima da região?** 2011. 61f. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Ambiental) – Departamento de Engenharia Ambiental, Universidade Federal de Rondônia - Campus de Ji-Paraná, Ji-Paraná, Rondônia, 2011.

GU, L.; FUENTES, J. D.; SHUGART, H.; SWAP, R. J. Responses of net ecosystem exchanges of carbon dioxide to changes in cloudiness: Results from two North American deciduous forests. **Journal of Geophysical Research**, v. 104, n. 24, p.31, 1999.

HAMILTON, M. G.; TARIFA, J. R. Synoptic aspects of a polar outbreak leading to frost in tropical Brazil, July 1972. **Monthly Weather Review**, v.106, n.11, p.1545 - 1556,1978.

IBGE, **ATLAS nacional do Brasil Milton Santos**. Rio de Janeiro: IBGE, 2010. 307 p.

INMET, Instituto Nacional de Meteorologia. Disponível em:<<http://www.inmet.gov.br/portal/index.php?r=clima/normaisclimatologicas>>. Acesso em 6 de dez. 2018.

IPCC (intergovernmental Panel on Climate Change). Climate Change 2014 Synthesis Report Summary for policymakers, Disponível em:<https://www.ipcc.ch/pdf/assessment-report/ar5/wg3/WGIIIAR5_SPM_TS_Volume.pdf>. Acesso em: 2 nov. 2017.

JIANG, Y. Estimation of monthly mean daily diffuse radiation in China. **Applied Energy**, v.86, n.1, p.1458-1464, 2009.

KAYANO, M. T.; MOURA, A. D. O El-niño de 1982-83 e a precipitação sobre a América

do Sul. **Revista Brasileira de Geofísica**, v.4, n.1, p.201-214, 1986.

KHORASANIZADEH, H.; MOHAMMADI, K.; GOUDARZI, N. Prediction of horizontal diffuse solar radiation using clearness index based empirical models; A case study. **International Journal of Hydrogen Energy**. v.41, n.47. p. 21888-21898, 2016.

LEMON, E. R. **Energy conversion and water use efficiency in plants**. Madison: American Meteorological Society, 1965. 55 p.

LENTINI, M.; VERÍSSIMO, A.; SOBRAL, L. **Fatos Florestais da Amazônia**. Belém: Imazon, 2003. 110 p.

LIU, K. N. **An Introduction to Atmospheric Radiation**, New York: Academic Press, 2002. 255 p.

LIU, B.Y.H.; JORDAN, R.C. The interrelationship and characteristic distribution of direct, diffuse and total solar radiation. **Solar Energy**, v.4, n.1, p.1-19, 1960.

MARENGO, J. A.; NOBRE, C. A.; CULF, A. D. Climatic Impacts of "Fragens" in forested and deforested Areas of the Amazon basin. **Journal of Applied Meteorology**, v.36, n.1, p. 1553-1566, 1997.

MARQUES FILHO, E. P.; OLIVEIRA, A. P.; VITA, W. A.; MESQUITA, F. L. L.; CODATO, G.; ESCOBEDO, J. F.; CASSOL, M.; FRANÇA, J. R. A. Radiação solar global, difusa e direta na superfície da cidade do Rio de Janeiro: caracterização observacional e modelagem empírica. **Renewable Energy Elsevier**, v. 91, n.2, p. 64-74, 2016.

MOLION, L. C. B.; DALLAROSA, R. L. G. pluviometria da Amazônia: são dados confiáveis? Climanálise. Boletim de Monitoramento e Análise Climática, v.1, n.1, p. 40-42, 1990.

NOBRE, C. A.; OLIVEIRA, A. Precipitation and circulations anomalies in south America and the 1982-83 El niño/Southern Oscillation episode. In: Anon (ed.). Conference of geophysical fluid dynamics with special emphasis on "El niño". **Ministério da Ciência e Tecnologia e centro Latinoamericano de Física**. 1987. P. 325-328.

NOBRE, C. A.; RENNO, N. O. Droughts and floods in south America due to the 1982-1983 El Niño/southern Oscillation episode. **Relatório Técnico INPE**. p.4, 1985.

NOBRE, C. A.; SELLERS, P.J.; SHUKLA, J. Amazonian Deforestation and regional climate change. **Journal of Climate**, v.10, n.2, p. 957-988. 1991.

NOE-DOBREA, I.; SANIDS, O. C. O. Esboço para uma zonificação climática da bacia amazônica brasileira. **SUDAM/PHCA**, v.1, n.2, p.254, 1979.

NOTTON, G.; CRISTOFARI, C.; POGGI, P. Performance evaluation of various hourly and daily slope irradiation models using Mediterranean experimental data of Ajaccio. **Energy, Conversion and Management**, v.47, n.3, p.147-173, 2006.

OEKO-ORG, Associação OEKO, Disponível em:<<http://www.oeko.org.br/dicionarioambiental/27275-entendendo-a-amazonia>>. Acesso em: 1 de jun. 2016.

OMETTO, José Carlos. **Bioclimatologia Vegetal**. 1. ed. São Paulo: Agronômica Ceres, 1981.80p.

OKE, Timothy Richard. **Boundary Layer Climates**, 2. ed. London:Psychology Press, 1987. 435p.

PROCÓPIO, A. S.; ARTAXO, E. P. Queimadas esfriam a Amazônia. **Pesquisa Fapesp**, São Paulo, v.3, n.1, p.33, 2003.

QUERINO, C. A. S.; MOURA, M. A. L.; QUERINO, J. K. A. S.; RADOW, C. V.; FILHO, A. O. M.; 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.

ROBERTS, G. J.; ZHOU, J.; ARTAXO, P.; SWIETLICKI, E.; ANDREAE, M. O. Sensitivity of CCN spectra from the Amazon Basin on chemical and physical properties of the aerosol. **Journal Geophysical Research**. v.1, n. D20, p.107, 2002.

SAMPAIO, M. S.; ALVES, M. C.; CARVALHO, L. G.; SANCHES, L. Uso de Sistema de Informação Geográfica para comparar a classificação climática de Koppen-Geigger e Thornthwaite. In: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto – SBSR, 15., 2011, Curitiba – PR, **Anais do...** Curitiba, 2011. 8p.

SILVA DIAS, M. A. F.; BONATTI, J. P.; KOUSKY, V. E. Diurnally forced tropical tropospheric circulation over South America. **Monthly Weather Review**, v.115, n.1, p. 1465-1478, 1987.

SOUZA FILHO, J. D. C.; **Variação Sazonal dos Componentes do Balanço de Radiação e Energia sobre a Floresta de Caxiuana**. 2002. 67f. Dissertação (Mestrado em Meteorologia Agrícola) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, Minas Gerais, 2002.

TOTA, J.; FISCH, G.; FUENTES, J.; OLIVEIRA, P. J.; GARSTANG, M.; HEITZ, R.; SIGLER, J. Análise da variabilidade diária da precipitação em área de pastagem para a época chuvosa de 1999 - projeto TRMM/LBA. **Acta Amazonica**. v.30, n.4, p. 629-639, 2000.

TURCO, J.E.P.; RIZZATTI, G.S. Avaliação de modelo matemático para estimar a radiação solar incidente sobre superfícies com diferentes exposições e declividades. **Pesquisa Fapesp**, v.26, n.1, p.257-267, 2006.

URBAN, O.; JANOUS, D.; ACOSTA, M.; CZERNY, R.; MARKOVA, I.; NAVRATIL, M.; PAVELKA, M.; POKORNY, R.; SPRTOVA, M.; ZHANG, R.; SPUNDA, V.; GRACE, J.; MAREK, M. V. Ecophysiological controls over the net ecosystem exchange of mountain spruce stand. Comparison of the response in direct vs. diffuse solar radiation. **Global Change Biology**, v.13, n.1, p.157–168, 2007.

VON RANDOW, C.; MANZI, A. O.; KRUIJT, B.; OLIVEIRA, P. J.; ZANCHI, F. B.; SILVA, R. L.; HODNETT, M.; GASH, J.; ELBERS, J. A.; Waterloo, M. 2004. Comparative measurements and seasonal variations in energy and carbon exchange over forest and pasture in south west Amazonia. **Theoretical and Applied Climatology**, v.78, n.2, p.5-26, 2004.

VAREJÃO, Silva. **Meteorologia e Climatologia**.1. ed. INMET: Brasília, 2000. 50 p.

WILMOTT, C. J. Some Comments on the Evaluation of Model Performance. **Bulletin American Meteorological Society**. v.63, n.11, p. 1317. 1982.

WEISS, A.; NORMAN, J. M. Partitioning solar radiation into direct and diffuse, visible and near-infrared components. **Agricultural and Forest Meteorology**, v.34, n.4,

p.205–213, 1985.