

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE CAMPINA GRANDE
CENTRO DE TECNOLOGIA E RECURSOS NATURAIS
UNIDADE ACADÊMICA DE CIÊNCIAS ATMOSFÉRICAS**

PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM

METEOROLOGIA



DISSERTAÇÃO DE MESTRADO

RAYONIL GOMES CARNEIRO

**PERFIL DA TEMPERATURA DO SOLO NOS BIOMAS FLORESTAIS DA
AMAZÔNIA E MATA ATLÂNTICA COM APLICAÇÃO DA
TRANSFORMADA EM ONDELETAS**

Campina Grande – PB, Fevereiro de 2014



UNIVERSIDADE FEDERAL DE CAMPINA GRANDE
CENTRO DE TECNOLOGIA E RECURSOS NATURAIS
UNIDADE ACADÊMICA DE CIÊNCIAS ATMOSFÉRICAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM METEOROLOGIA

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO

**PERFIL DA TEMPERATURA DO SOLO NOS BIOMAS FLORESTAIS DA
AMAZÔNIA E MATA ATLÂNTICA COM APLICAÇÃO DA
TRANSFORMADA EM ONDELETAS**

RAYONIL GOMES CARNEIRO

Campina Grande – PB

Fevereiro de 2014

RAYONIL GOMES CARNEIRO

**PERFIL DA TEMPERATURA DO SOLO NOS BIOMAS FLORESTAIS DA
AMAZÔNIA E MATA ATLÂNTICA COM APLICAÇÃO DA
TRANSFORMADA EM ONDELETAS**

Dissertação apresentada ao Curso de
Mestrado em Meteorologia da Universidade
Federal de Campina Grande como requisito
para a obtenção do título de Mestre em
Meteorologia.

Orientador: Prof.^o Dr. Vicente de Paulo Rodrigues da Silva

Campina Grande – PB

Fevereiro de 2014

FICHA CATALOGRÁFICA ELABORADA PELA BIBLIOTECA CENTRAL DA UFCG

C289p

Carneiro, Rayonil Gomes.

Perfil da temperatura do solo nos biomas florestais da Amazônia e Mata Atlântica com aplicação da transformada em ondoletas / Rayonil Gomes Carneiro. – Campina Grande, 2014.

79 f. : il. Color.

Dissertação (Mestrado em Meteorologia) - Universidade Federal de Campina Grande, Centro de Tecnologia e Recursos Naturais.

"Orientação: Prof. Dr. Vicente de Paulo Rodrigues da Silva".

Referências.

1. Floresta Tropical. 2. Transformada em Ondoletas. 3. Temperatura do Solo. I. Silva, Vicente de Paulo Rodrigues. II. Título.

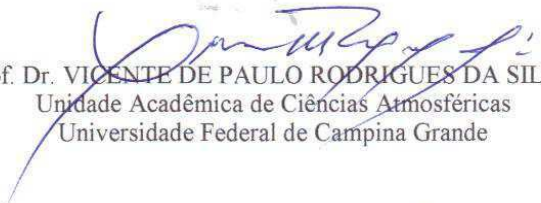
CDU 630*4(043)

RAYONIL GOMES CARNEIRO


PERFIL DA TEMPERATURA DO SOLO NOS BIOMAS FLORESTAIS DA
AMAZÔNIA E MATA ATLÂNTICA COM APLICAÇÃO DE TRANSFORMADA
EM ONDELETAS

DISSERTAÇÃO APROVADA EM 25/02/2014


BANCA EXAMINADORA



Prof. Dr. VICENTE DE PAULO RODRIGUES DA SILVA
Unidade Acadêmica de Ciências Atmosféricas
Universidade Federal de Campina Grande



Prof. Dr. JOSÉ IVALDO BARBOSA DE BRITO
Unidade Acadêmica de Ciências Atmosféricas
Universidade Federal de Campina Grande



Prof. Dr. MARCOS ANTONIO LIMA MOURA
Instituto de Ciências Atmosféricas
Universidade Federal de Alagoas

Dedico este trabalho a Deus e aos meus pais Raimundo Pereira Carneiro (*in memoriam*) e Darlene Gomes Carneiro por todo amor e dedicação na minha formação e caráter.

Agradecimentos

Agradeço aos meus pais, meu irmão e minha irmã, que sempre acreditaram, e continuam acreditando, nos meus sonhos, e que se desdobraram várias vezes para me auxiliar nessa caminhada.

Ao meu orientador, Prof. Dr. Vicente de Paulo Rodrigues da Silva, que acreditou na proposta desta pesquisa e jamais poupou esforços no sentido de me ajudar a realizá-la.

Ao Professor Dr. Marcos Antonio Lima Moura, do Instituto de Ciências Atmosféricas da Universidade Federal de Alagoas, por ter disponibilizado parte dos dados utilizados nesta pesquisa além de toda sua contribuição para a realização da mesma e também, ao Professor Dr. Rosiberto Salustiano da Silva Júnior por sua decisiva contribuição ao início do andamento deste trabalho.

Agradeço ao CNPq (Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico) pelo financiamento para a realização deste estudo, ao Instituto Nacional de Pesquisas na Amazônia que por meio do grupo de micrometeorologia do LBA cederam os dados presentes na minha dissertação e, à Usina Coruripe Açúcar e Álcool S/A pelo apoio e por ter disponibilizado a área de estudo.

Agradeço a todos os meus professores do Programa de Pós-Graduação em Meteorologia da Universidade Federal de Campina Grande, pelos ensinamentos e pelas inúmeras contribuições. Em especial aos Professores José Ivaldo Barbosa de Brito, Carlos Antônio Costa dos Santos, Manoel Francisco Gomes Filho, Clênia Rodrigues Alcântara e Pedro Vieira de Azevedo. A Técnica Administrativa Divanete Cruz Rocha Farias por todo seu trabalho e esforço para suprir nossos problemas burocráticos sem atrapalhar a pesquisa.

Agradeço de forma especial a Camilla Kassar Borges que esteve ao meu lado em momentos cruciais da elaboração dessa dissertação e por todo seu companheirismo e paciência.

Agradeço aos meus amigos que de alguma forma contribuíram para o fim desta jornada, Antônio Marcos, Aurilene Barros, Alane Saldanha, Júlia Lopes, Raimundo Mainar, Alexandra Lima, Edicarlos Sousa, Diva Cordeiro, Ruany Maia, Maurilio Neemias, Jefferson Melo e a todos do Manuel e Espeto.

A todos, o meu muito Obrigado!

Sumário

Lista de Figuras	viii
Lista de Abreviações, Siglas e Símbolos	xi
Resumo	xii
Abstract	xiii
1. Introdução	14
2. Revisão Bibliográfica	16
2.1. Floresta Amazônica	16
2.2. Mata Atlântica	18
2.3. Radiação solar e o sistema florestal	19
2.4. Temperatura do solo	21
2.4.1. Liteira	24
2.5. Transformada de ondeletas e suas aplicações em meteorologia	25
3. Material e Métodos	28
3.1. Área experimental I (Floresta Amazônica)	28
3.1.1. Descrição e climatologia	28
3.1.2. Medidas micrometeorológicas	30
3.2. Área experimental II (Mata Atlântica)	31
3.2.1. Descrição e climatologia	31
3.2.2. Medidas micrometeorológicas	33
3.3. Transformada em ondeletas (TO)	34
4. Resultados e Discussão	37
4.1. Bioma Amazônico	37
4.2. Bioma Mata Atlântica	46

4.3. Aplicação da transformada em ondeletas (TO)	55
4.3.1. Floresta Amazônica	55
4.3.2. Mata Atlântica	60
5. Conclusões	66
6. Referências Bibliográficas	68

Lista de Figuras

	Pág.
Figura 1.	Imagem da área de estudo I. Reserva Biológica do Cuieiras (dentro do retângulo) de floresta tropical (Manaus-AM). Fonte: Oliveira, (2008) (Adaptado). 28
Figura 2.	Esquema representativo da Torre K34, montada na Reserva Biológica do Cuieiras, do INPA (Manaus-AM). Fonte: Oliveira, (2008). 30
Figura 3.	Imagem da área de estudo II, Reserva Particular do Patrimônio Natural (dentro do retângulo) de mata atlântica tropical (Coruripe-AL). 32
Figura 4.	Esquema representativo da Torre micrometeorológica automática, montada na Reserva Particular do Patrimônio Natural, Coruripe-AL. Fonte: Querino (2006) (Adaptado). 33
Figura 5.	Variação temporal do total horário acumulado de precipitação (mm) na Floresta Amazônica para o ano de 2009. 38
Figura 6.	Variação temporal da Radiação Solar Global (R_g) ($W m^{-2}$) acima do dossel da Floresta Amazônica para o ano de 2009. 39
Figura 7.	Variação temporal do Fluxo de Calor no Solo (FCS) ($W m^{-2}$) na Floresta Amazônica para o ano de 2009. 41
Figura 8.	Perfil das médias horárias das temperaturas no solo (TS) ($^{\circ}C$) na Floresta Amazônica para o ano de 2009. 42
Figura 9.	Perfil das médias horárias das temperaturas no solo (TS) ($^{\circ}C$) 44

	no período chuvoso da Floresta Amazônica.	
Figura 10.	Perfil das médias horárias das temperaturas no solo (TS) ($^{\circ}\text{C}$) no período seco da Floresta Amazônica.	45
Figura 11.	Variação temporal do total horário acumulado de precipitação (mm) na mata atlântica para o ano de 2010.	47
Figura 12.	Variação temporal da Radiação Solar Global (Rg) (W m^{-2}) a 2 metros dentro da Mata Atlântica para o ano de 2010.	48
Figura 13.	Variação temporal do Fluxo de Calor no Solo (FCS) (W m^{-2}) na Mata Atlântica para o ano de 2010.	50
Figura 14.	Perfil das médias horárias das temperaturas no solo (TS) ($^{\circ}\text{C}$) na Mata Atlântica para o ano de 2010.	51
Figura 15.	Perfil das médias horárias das temperaturas no solo (TS) ($^{\circ}\text{C}$) no período chuvoso da Mata Atlântica.	53
Figura 16.	Perfil das médias horárias das temperaturas no solo (TS) ($^{\circ}\text{C}$) no período seco da Mata Atlântica.	54
Figura 17.	Índice de variabilidade da TS nas profundidades de 2 cm (i), 20 cm (ii) e 50 cm (iii) (a), Espectro de energia da ondeleta (EPW) (b) e Espectro global de ondeleta (GWP), para a mesma variável e profundidades (c) na Floresta Amazônica.	57
Figura 18.	Índice de variabilidade da precipitação (a), Espectro de energia da ondeleta (EPW) (b) e Espectro global de ondeleta (GWP) (c) na Floresta Amazônica.	59
Figura 19.	Índice de variabilidade da radiação solar global (a), Espectro	60

de energia da ondeleta (EPW) (b) e Espectro global de ondeleta (GWP) (c) acima do dossel da Floresta Amazônica.

Figura 20. Índice de variabilidade da TS nas profundidades de 1 cm (i), 20 cm (ii) e 50 cm (iii) (a), Espectro de energia da ondeleta (EPW) (b) e Espectro global de ondeleta (GWP), para a mesma variável e profundidades (c) na Mata Atlântica. 62

Figura 21. Índice de variabilidade da precipitação (a), Espectro de energia da ondeleta (EPW) (b) e Espectro global de ondeleta (GWP) (c) na Mata Atlântica. 64

Figura 22. Índice de variabilidade da radiação solar global (a), Espectro de energia da ondeleta (EPW) (b) e Espectro global de ondeleta (GWP) (c) a 2 metros dentro da Mata Atlântica. 65

Lista de Abreviações, Siglas e Símbolos

AL	–	Alagoas
AM	–	Amazonas
AWS	–	Automatic Weather Station
COI	–	Cone de influência
DJ	–	Dia Juliano
FCS	–	Fluxo de calor do solo
GWP	–	Espectro global de ondeletas
INPA	–	Instituto Nacional de Pesquisa da Amazônia
INPE	–	Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais
LBA	–	Large Scale Biosphere-Atmosphere Experiment in Amazonia
MMA	–	Ministério do Meio Ambiente
R_g	–	Radiação Solar Global
R_L	–	Radiação de onda longa
R_s	–	Radiação de onda curta
R_N	–	Saldo de radiação
RPPN	–	Reserva Particular do Patrimônio Natural
SERHI	–	Secretaria de Estado de Recursos Hídricos e Irrigação
TS	–	Temperatura do solo
TO	–	Transformada em ondeletas
UR	–	Umidade relativa do ar
ha	–	Hectare (unidade de área)
mm	–	Milímetros
cm	–	Centímetros
$W m^{-2}$	–	<i>Watts</i> por metro quadrado (unidade de potência de acordo com o S.I.)
h	–	Hora
°C	–	Grau <i>Celsius</i>

RESUMO

A temperatura do solo (TS) é importante em estudos de respiração do solo em ambientes florestais. Este estudo teve como objetivo avaliar e comparar os perfis sazonal e espacial da temperatura do solo em dois biomas de florestas tropicais, floresta amazônica e mata atlântica, utilizando a transformada em ondeletas. Para a área da Floresta Amazônica foram utilizados os dados do ano de 2009 nas profundidades 2, 5, 10, 20 e 50 cm medidos com os sensores MCM 101 (IMAG-DLO, Wageningen The Netherlands) na torre K34 (2° 36' 32" S, 60° 12' 33" W) na Reserva Biológica do Cuieiras localizada no município de Manaus-AM, pertencente ao grupo de micrometeorologia do LBA-INPA. Na Mata Atlântica utilizou-se dados do ano de 2010 nas profundidades 1, 5, 10, 20 e 50 cm medidos através de termopares tipo cobre/constantan em uma torre micrometeorológica (10° 17' 36" S, 36° 17' 24" W) na Reserva Particular do Patrimônio Natural localizada no município de Coruripe, AL. Os resultados mostraram que a TS na floresta amazônica apresenta pouca variação no tempo, com amplitude térmica inferior a 5 °C. Já na mata atlântica a TS exibiu amplitude térmica elevada, ao longo do ano, com amplitude térmica acima de 10 °C. O cálculo da transformada em ondeletas (TO) apresentou que a variabilidade da TS nas regiões florestais é definida por multi-escalas temporais. Na Floresta Amazônica a TO apresentou periodicidade nas escalas de 24 horas e de 8 a 16 dias com alto grau de persistência, homogeneidade e energia elevada. Enquanto a Mata Atlântica exibiu oscilações com essas mesmas características nas escalas de 24 horas e de 4 a 16 dias.

Palavras-Chave: floresta tropical, transformada em ondeletas, temperatura do solo

ABSTRACT

The soil temperature (TS) is important in soil respiration studies for tropical rain forest. The objective of this study was to evaluate and compare the seasonal and spatial profiles in soil temperature for two biomes in tropical rainforests, Amazon rainforest and Atlantic forest, by using wavelet transforms. For the area of the Amazon rainforest we used data of 2009 depths 2, 5, 10, 20 e 50 cm measured with sensors 101 MCM (IMAG - DLO, Wageningen, The Netherlands) the K34 (2° 36' 32" S, 60° 12' 33" W) tower in the Biological Reserve Cuieiras located in Manaus-AM, belonging to the group of micrometeorology LBA-INPA. In the Atlantic forest we used data from the 2010 depths 1, 5, 10, 20 e 50 cm measured by thermocouples type copper/constantan in a micrometeorological tower (10° 17' 36" S, 36° 17' 24" W) in the Private Natural Heritage Reserves located in Coruripe-AL. The results showed that TS in the Amazon rainforest shows little variation in time, with thermal amplitude bottom 5 °C. Already in the Atlantic forest the TS showed high thermal amplitude, throughout the year, with thermal amplitude above 10 °C. The calculation of wavelet transforms (TO) showed that variability in the forested regions of the TS is defined by multi-temporal scales. In the Amazon Rainforest TO periodicity presented in ranges of 24 hour and 8 to 16 days with a high degree of persistence, uniformity and high energy. While the Atlantic Forest exhibited oscillations with these same characteristics at scales of 24 hours and 4-16 days.

Keywords: rainforest, wavelet transforms, soil temperature

1. Introdução

Estudos da temperatura do solo em diferentes profundidades possibilitam melhor conhecimento do seu comportamento, da difusividade e condutividade térmica, propriedades importantes para a caracterização do solo. Segundo Ramana Rao et al. (2005), essas propriedades são resultantes de um conjunto de fatores, nos quais se incluem a textura e a composição química do solo. Por outro lado as flutuações diárias, sazonais e, anuais da temperatura do solo influenciam nos processos biológicos e químicos, nas taxas de decomposição e de mineração da matéria orgânica e na liberação de CO₂. Além disso, a temperatura é um dos principais fatores que influenciam os processos de respiração do solo, particularmente nas florestas tropicais (Graham et al., 2010).

Segundo Kaiser et al. (2001), a temperatura do solo é uma variável meteorológica que determina os níveis de evaporação e aeração, então a dinâmica da temperatura do solo é fundamental no desenvolvimento ecológico, pois sua variação interfere diretamente na germinação e no crescimento das plantas, assim como na sua absorção de água e nutrientes. Nesse aspecto, Bergamaschi e Guadagnin (1993) assegura que a temperatura do solo é de fundamental importância, por influenciar a germinação das sementes, para o desenvolvimento e a atividade das raízes em absorver água e nutrientes do solo, na atividade de microrganismos, na difusão de solutos e gases, no desenvolvimento de doenças e na velocidade das reações químicas do solo.

As florestas tropicais desempenham importante papel na manutenção do clima regional e global, pois influenciam diretamente na emissão ou retenção de gases, na evapotranspiração e no fornecimento de vapor de água, entre outros fatores. Esses biomas, por suas condições de umidade e calor, são os ecossistemas terrestres que dispõem da maior diversidade de seres vivos. A floresta Amazônica e a floresta tropical Atlântica do Brasil (Mata Atlântica) possuem as maiores biodiversidade do país (Ledru et al., 2005).

O bioma amazônico por ser a maior área de floresta tropical do mundo, representando 28% das florestas tropicais mundiais, contém 15 a 20% dos recursos hídricos e cerca de 1/3 de toda a biodiversidade do planeta (Freitas e Castro Júnior, 2004). Esse bioma é importante para o sequestro do carbono (absorção de dióxido de carbono) da atmosfera, sendo que a vegetação por meio da fotossíntese absorve aproximadamente 1,2 bilhões de toneladas de dióxido de carbono por ano. O

desflorestamento da floresta Amazônica já atingiu 17%. Apenas considerando os últimos vinte anos foram devastados 360.000 km² de mata, o que corresponde à área do Estado de Goiás (INPE, 2013). O desflorestamento ocorre para o estabelecimento de pastagens para atividade pecuária, plantio de soja e exploração de madeira. Já o bioma mata atlântica, que é um complexo e exuberante conjunto de ecossistemas de reconhecida importância nacional e internacional no meio científico, é representada por vários tipos de vegetações como as Florestas Ombrófilas Densa, Mista e Aberta; Floresta Estacional Decidual e Semidecidual; Mangue; Restingas; Campos de Altitudes; Brejos Interioranos, Encraves e Zonas de Tensão Ecológicas abrigo assim parcela significativa da biodiversidade do Brasil. Atualmente encontra-se bastante fragmentada, cuja fragmentação é a principal causa da perda da biodiversidade (INPE/SOS MATA ATLÂNTICA, 2012). Nos dados do Atlas dos Remanescentes Florestais da Mata Atlântica (2011 – 2012), estimou-se que atualmente o domínio da mata atlântica remanescente seja de apenas 95.000 km², cerca de 7,3% da área original.

Recentemente, a transformada em ondeletas tem sido amplamente utilizada como uma ferramenta de tempo-frequência. Esta é capaz de detectar variações de energia dentro de dados meteorológicos (Chellali et al., 2010). É uma ferramenta muito adequada para analisar séries temporais meteorológicas que contêm informações em diferentes escalas de tempo, tais como escalas diurna, sazonal e anual. A complexa interação entre o solo, a vegetação e a atmosfera precisa ser bem entendida para aperfeiçoar os estudos meteorológicos, além de ajudar a monitorar e analisar os processos físicos naturais ocorrentes na região, como também, os impactos ambientais causados pelas atividades antrópicas.

Diante da importância de melhor entender o comportamento térmico do solo dentro de regiões florestais e da escassez desse tipo de estudo, o presente trabalho objetivou avaliar e comparar através da aplicação da Transformada em Ondeletas (TO) as escalas de variabilidades da temperatura do solo (TS) dentro de dois biomas, floresta amazônica e mata atlântica, e averiguar a influência de outras variáveis micrometeorológicas no comportamento sazonal e espacial nos biomas estudados.

2. Revisão Bibliográfica

2.1. Floresta Amazônica

A floresta Amazônica é considerada a mais abrangente das florestas naturais, ocupava originalmente uma área de aproximadamente $5,5 \times 10^6$ km² presente em 9 países da América do Sul, são eles: Brasil, Bolívia, Peru, Equador, Colômbia, Venezuela, Guiana, Suriname e Guiana Francesa. A porção brasileira abrangia $3,85 \times 10^6$ km², representando 45% do território nacional. Definida como floresta equatorial de clima quente e úmido, a Amazônia possui características peculiares, como a ocorrência de longos e intensos períodos de chuva (precipitação anual média de 1700 mm, podendo ultrapassar 3000 mm e duração de aproximadamente seis meses). A vegetação é latifoliada (folhas amplas), higrófila, estratificada (exibindo diferentes alturas, cada qual ocupando um determinado estrato). Ela possui um terço da biodiversidade global. Estima-se que só a comunidade de plantas vasculares tenha cerca de quarenta mil espécies, das quais trinta mil são endêmicas (Mittermeier et al., 2003).

A grande maioria dos solos de terra firme da Amazônia é considerada pobre em nutrientes, ácidos e com baixa capacidade de troca de cátions (Vieira e Santos, 1987). Os solos da floresta primária de terra firme na Amazônia Central apresentam essas características (Ferraz et al., 1998; Ferreira et al., 2001), além de uma baixa capacidade de disponibilizar água para as plantas (Ferreira et al., 2002; Ferreira et al., 2004). O clima da região, que é quente e úmido, favorece os processos de intemperização de rochas e a lixiviação dos metais alcalinos e alcalino terrosos. A exposição do solo por longo tempo à ação das chuvas abundantes e de temperaturas elevadas, aliada às grossas texturas do substrato geológico, permite fácil drenagem da água de percolação, tornando o intemperismo mais intenso (Schubart et al., 1984).

As florestas tropicais, a exemplo da amazônica, geralmente apresentam abundância e diversidade de biomassa (Pires e Prance, 1985), muito embora a floresta se desenvolva com intemperismo e com solos pobres em nutrientes. Esses fatores não contribuem para formação de biomassa. Assim, assume-se que esta riqueza é resultante, além da radiação solar e precipitação abundante, de mecanismos inerentes e eficientes para conservação de nutrientes e reciclagem (Herrera et al., 1978). Na floresta amazônica há uma substancial variabilidade dos tipos de ecossistemas florestais e biomassa florestal, mesmo em pequenas escalas espaciais, onde também há

variabilidade na nutrição, textura e drenagem do solo (Luizão et al., 2004). O bioma em questão compõe quase a metade das florestas tropicais úmidas presentes no globo e possui uma grande área de savana tropical, que constitui uma grande fonte de recursos naturais. A vasta extensão da Amazônia e sua posição no trópico úmido conferem à região um potencial significativo para influenciar os balanços globais de energia, água e carbono, por isso desempenha papel fundamental no equilíbrio térmico da Terra.

A região amazônica vem sofrendo nas últimas décadas uma relevante mudança no padrão de uso do solo, através de intenso processo de ocupação humana (Nobre et al., 1996, Artaxo & Silva Dias, 2003, Davidson e Artaxo, 2004). O desflorestamento deste bioma é preocupante em virtude da perda de habitats e nichos ecológicos para uma série de espécies, que podem colocá-las em via de extinção. Considerando-se que o solo da Floresta Amazônica é pobre e arenoso, sem a cobertura vegetal eleva-se a erosão e a lixiviação do solo, conduzindo na improdutividade deste. O desflorestamento também, contribui para o acúmulo de matéria orgânica seca, fator que favorece a ocorrência de queimadas. A perda de cobertura vegetal compromete a capacidade de absorção de dióxido de carbono, o que amplifica o efeito estufa.

As alterações dos ciclos de água, energia solar, carbono e nutrientes, resultante da mudança da cobertura vegetal na Amazônia afetam o clima e o meio ambiente em escalas local, regional e global (Nobre et al., 1991). Segundo Dias e Regnier (1996), regiões desmatadas podem produzir anomalias com impacto importante nos transportes de energia e de água. Mudanças em grande escala na cobertura da superfície alteram as transferências regionais de calor sensível e latente e de momentum entre a superfície e a atmosfera, resultando em variações nos campos de precipitação e de temperatura (Gash e Nobre, 1997). A queima da biomassa e alterações na função fotossintética da vegetação provocam impactos significantes sobre o balanço global de carbono. Além disso, a extinção de espécies na região, devido à fragmentação do habitat, pode levar a uma perda irreversível de biodiversidade. O clima também é alterado, pois a transpiração foliar é responsável pela formação de pelo menos metade das nuvens da região. A elevada umidade relativa do ar contribui para a absorção de calor, ou seja, sem a floresta o clima ficaria mais quente e seco; muitas espécies de seres vivos não tolerariam tais mudanças, assim, teriam sua sobrevivência ameaçada.

2.2. Mata Atlântica

A floresta Tropical Atlântica (Mata Atlântica) é o segundo ecossistema mais ameaçado do mundo, atrás apenas das quase extintas florestas da ilha de Madagascar, na costa Leste da África. Recentemente, foi considerada a principal prioridade para a conservação de biodiversidade em todo o continente americano. Heinisch et al. (2007) mencionam que o complexo de Ecorregiões da Mata Atlântica situado no Brasil possui apenas 7,3% dos seus $1,3 \times 10^6$ km² originais de cobertura florestal. A Mata Atlântica se estende desde as latitudes tropicais dos Estados do Ceará e Rio Grande do Norte, na costa Nordeste do Brasil, até as latitudes subtropicais, com clima temperado do Estado do Rio Grande do Sul. Avançando do Oceano Atlântico para o interior do continente, em direção Oeste, passando pelas montanhas costeiras do Brasil até a bacia do Rio Paraná, a Leste do Paraguai e na Província de Misiones, na Argentina (Ab'Sáber, 2003; MMA, 2003).

Extremamente heterogênea em sua composição, a Mata Atlântica cobre uma ampla variedade de zonas climáticas e formações vegetacionais, dos tipos tropicais a subtropicais. A elevação vai desde o nível do mar até 2.900 m, com mudanças abruptas no tipo e profundidade dos solos e na temperatura média do ar (Mantovani, 2003). Variações longitudinais são igualmente marcantes. Quanto mais interioranas, mais sazonais tornam-se as florestas, com altos índices de pluviosidade chegando a valores entre 1800 a 3600 mm por ano, devido à condensação da brisa oceânica carregada de vapor d'água que é empurrada para as regiões continentais em algumas áreas da Serra do Mar (Oliveira-Filho & Fontes, 2000; Mantovani, 2003). Junto com a floresta tropical, a Mata Atlântica abrange formações mistas de araucária ao sul, com distinta dominância de lauráceas, e florestas decíduas e semidecíduas no interior. Várias formações encontram-se associadas ao bioma, como mangues, restingas, formações campestres de altitude e brejos, florestas úmidas resultantes de precipitação orográfica em meio a formações semiáridas no nordeste brasileiro (Câmara, 2003).

A Mata Atlântica possui como característica fundamental a biodiversidade, devido a sua extensão e sazonalidade. Das espécies que ocupam a região, metade delas é endêmica. Por suas condições de umidade e temperatura, esses são os ecossistemas terrestres que dispõem da maior diversidade de seres vivos. A Mata Atlântica tem a segunda maior biodiversidade no Brasil, a primeira é a floresta Amazônica (Ledru et al., 2005). Apresenta três características – 93% da área originalmente ocupada já ter sido

devastada; a riqueza de espécie e o alto grau de endemismos – caracteriza a Mata Atlântica como um *hotspot* (Myers et al., 2000). *Hotspot* é toda área prioritária para conservação, isto é, de alta biodiversidade e ameaçada no mais alto grau.

O principal determinante da distribuição das formações vegetais no domínio da Mata Atlântica é certamente o macro clima (tropical e úmido), influenciado pelo relevo, pela proximidade do mar, pelo padrão predominante de circulação das massas de ar costeiras de leste para oeste e pelas correntes oceânicas do Atlântico sul, que se deslocam predominantemente no sentido anti-horário, isto é, do equador para o sul na costa brasileira, redistribuindo calor. Por isso a variação latitudinal da temperatura é sutil, mas relevante quando agregada á interiorização ou a altitude (Franke et al., 2005).

Paradoxalmente, na sua maior parte, a Mata Atlântica recobre ampla variedade de solos de baixa fertilidade relativa: argissolos, latossolos sobre o relevo mamelonar; solos pouco desenvolvidos do tipo cambissolo e neossolo litólico nos declives acentuados das serras (Lepsch, 2002).

O Estado de Alagoas possui fragmentos de Mata Atlânticas extremamente importantes, que merecem estudos mais detalhados e políticas mais eficientes de conservação. A intensificação das pesquisas na Mata Atlântica alagoana tem levado à descoberta de novas espécies desconhecidas pela ciência. Do ano 2000 até 2004 já foram descoberta três novas espécies de répteis e duas de anfíbios. Estas espécies até o momento são consideradas endêmicas, uma vez que foram registradas exclusivamente no estado de Alagoas. A flora alagoana também tem sua singularidade, com recentes descobertas de bromélias de ocorrência exclusiva para Alagoas e Pernambuco. O fato de alguns fragmentos de Mata Atlântica abrigar espécies endêmicas significa que a remoção da floresta nessas áreas poderá implicar a extinção dessas espécies (Moura, 2006).

2.3. Radiação solar e o sistema florestal

Um dos fatores mais importantes que influencia o microclima é a atenuação da radiação solar pela copa das florestas naturais, pois atua diretamente no balanço de energia e, conseqüentemente, nas condições ambientais (Hernandes et al., 2004). O ângulo de incidência solar tem forte influencia na interceptação e transmissão da radiação solar pelo dossel das árvores, o que influencia na atenuação da radiação que chega ao solo (Hardy et al., 2004). Essa interação existente entre a radiação solar e o

sistema florestal é de grande importância para a compreensão dos processos de fisiologia vegetal, produtividade de biomassa e trocas turbulentas de energia e massa entre a floresta e a atmosfera (Moura, 2001). Geralmente, a quantidade de radiação solar interceptada e transferida no dossel, depende principalmente de sua orientação, densidade da planta e estrutura geométrica da copa (Li et al., 2000). A interceptação da radiação solar pela vegetação determina em grande parte a transpiração e a fotossíntese das coberturas vegetais (Marin et al., 2002).

A caracterização da radiação solar dentro do dossel de fragmentos florestais é importante como subsídio para compreender o processo de sucessão em floresta secundária. Entretanto, essa caracterização da radiação solar no dossel de uma floresta tropical é complexa, uma vez que existem várias camadas que interceptam essa radiação e condicionam a distribuição vertical da mesma e as espécies arbóreas existentes (Pezzopane et al., 2000).

Larcher (1986) verificou que a conversão de energia é mais pronunciada na parte superior da copa das árvores, onde a flutuação diária da temperatura do ar é maior, porém próximo do solo, onde apenas uma pequena parte da energia é convertida, a flutuação de temperatura é pequena. Como as plantas trocam energia com o meio ambiente, a temperatura das partes da planta acima do solo pode divergir consideravelmente da temperatura do ar. As trocas de calor da vegetação com o meio ambiente por convecção serão mais eficazes, quanto menores e mais divididas forem às folhas. As constantes modificações na composição foliar do dossel vegetativo alteram sua rugosidade, influenciando o padrão do vento e os transportes turbulentos.

A energia solar ao atingir a superfície terrestre se destina basicamente aos processos físicos de aquecimento do ar através do fluxo convectivo do calor sensível e do interior do solo, através do processo de condução molecular de calor. Gasparim et al. (2005) afirmam que é a partir da quantidade de radiação solar absorvida e perdida que a camada superficial do solo se aquece ou se resfria no decorrer do dia e do ano. Em resposta a tais fatores, ela gera variações térmicas nas camadas mais próximas da superfície. Pelo fato da absorção e da perda de energia ocorrer na superfície, aliado à baixa velocidade de propagação do calor no interior do solo, as variações térmicas se limitam aos horizontes mais superficiais.

2.4. Temperatura do solo

O solo é um sistema complexo, onde sua mistura é formada por um material heterogêneo dividido em partes sólidas, líquidas e gasosas. O solo pode ser considerado resultado da adaptação das rochas às condições de equilíbrio do meio em que se encontram expostas, geralmente diferentes daqueles que provocou a sua origem (Embrapa, 2000), ou através de processos químicos, físicos e biológicos de desintegração, decomposição e recombinação de rochas, que se transformaram no decorrer das eras geológicas, de material poroso com características peculiares (Reichardt, 1996). O interesse nas práticas de utilização do solo nos últimos tempos vem tendo um grande avanço, principalmente, na agricultura. Por esse motivo, diversos pesquisadores têm se dedicado ao uso e manejo do solo no sentido de conhecê-lo detalhadamente, permitindo usufruir o que o mesmo tem para oferecer quanto ao melhor desenvolvimento de plantas e sementes.

A temperatura do solo é um fator variável no tempo e no espaço assumindo grande importância na determinação das taxas e direções de processos físicos do solo e as trocas de energia e massa com a atmosfera. Variam em resposta as alterações nas trocas de energia radiante, térmica e latente que ocorrem principalmente através da superfície do solo (Tyagi e Satyanarayana, 2010). Essa temperatura é afetada pelas mudanças das propriedades térmicas do solo, tais como capacidade de armazenar calor, condutividade térmica, umidade e variação destas propriedades com a profundidade. Ela também depende da localização geográfica, cobertura vegetal, tipo de solo e gestão humana (Oke, 1978). A temperatura do solo também determina as taxas de evaporação e aeração, assim como o tipo e a intensidade das reações químicas. Devido a isso, o conhecimento da dinâmica da temperatura do solo é fundamental, pois sua variação influencia fortemente a uma ampla gama de fatores biológicos, tais como, a germinação, o crescimento radicular, a absorção de água e nutrientes pelas plantas, a produção de CO₂ e processos que incluem a atividade microbiana e do metabolismo das raízes, além de afetar as distribuições vegetais em ambas as escalas, grandes e pequenas (Körner e Paulsen, 2004; Schob et al., 2009).

Nos processos de interação solo-atmosfera, os perfis de temperatura e umidade de solos dependem dentre outros fatores, das características físicas e das trocas de calor e vapor d'água com a atmosfera, que por sua vez dependem do clima e da cobertura vegetal local (Alvalá et al., 2002a). Em particular, o fluxo de calor na superfície e sua

estimativa possibilitam a avaliação da evaporação e do fluxo de calor sensível no ar (Antonino et al., 1997). Das características físicas que se alteram pela retirada da cobertura vegetal, a temperatura do solo atinge suas amplitudes máximas quando se passa de um ambiente vegetado para uma situação de solo desnudo. Tratando-se de uma relação entre a energia calorífica absorvida e perdida pelo solo. A superfície do solo, com ou sem cobertura vegetal, é a principal responsável pela troca e armazenamento de energia térmica nos ecossistemas terrestres. É a partir da intensidade da radiação solar na superfície do solo que ele se aquece e se resfria, no decorrer do dia e do ano, provocando variações térmicas nas camadas subjacentes (Gasparim et al., 2005).

A temperatura do solo é influenciada por uma série de fatores, nomeadamente as condições meteorológicas, sendo estes fatores de acordo com Wiseman e Seiler (2004), considerados externos, ou seja, a radiação solar global, temperatura do ar, nebulosidade, chuva e vento, os quais afetam o balanço de energia a superfície e, posteriormente, o fluxo de energia no solo. Além destes parâmetros, a topografia local, tipo do solo, teor de água, a textura e a área de superfície coberta por lixo e copa das plantas também influenciam a temperatura. Como resultado, alguns modelos atualmente disponíveis para estimar a temperatura do solo são baseadas em fluxo de calor no solo e balanço energético, mas eles têm requisitos de dados relativamente grandes, incluindo-se, por vezes, entradas de umidade, velocidade do vento e nebulosidade, difíceis de obter ou não disponíveis (Yin et al., 1993).

Medidas ou estimativas da temperatura do solo também são componentes necessários para a estimativa de carbono local e continental, assim como para balanço energéticos e cálculos dos fluxos de evaporação (Zheng et al., 1993; Gaumont-Guay et al., 2009). Estudos têm mostrado que a taxa de respiração do solo é um indicativo da atividade microbiana, aumentando linearmente com a temperatura (Bekku et al., 2003; Subke et al., 2003). Esses trabalhos consideram que a produção do CO_2 dentro do solo é basicamente um processo bioquímico e responde fortemente às variações de temperatura. Isso pode mudar com a idade da matéria orgânica, como também com a disponibilidade de água para as reações bioquímicas relevantes (Fang e Moncrieff, 2001). Segundo Kang et al. (2003), a respiração do solo em altas temperaturas pode ser reduzida, considerando que ela exerce influência na velocidade das reações enzimáticas da microbiota do solo, pois nesta condição, as atividades microbianas podem ser restringidas. Reações químicas que liberam nutrientes para as plantas poderão ser

interrompidas se o solo não se apresentar dentro de uma faixa de temperatura adequada para a manutenção dos processos fisiológicos envolvidos (Prevedello, 1996).

As propriedades térmicas do solo, devido às suas dependências do conteúdo de umidade, variam em ambos espaço e tempo, causando dois tipos de heterogeneidades (Verhoef et al., 1996). Primeiro, uma heterogeneidade de meso-escala, que pode ser induzida por chuvas que variam espacialmente, a qual influencia estas propriedades (e, portanto, a temperatura e o fluxo de calor) através de mudanças no conteúdo de umidade no solo em uma escala de diversos quilômetros. Segundo, uma heterogeneidade de micro-escala, a qual depende das condições da superfície, isto é, se o solo apresenta-se nu ou coberto com vegetação. A cobertura pode ser densa ou ser esparsa em diferentes graus. Isso influencia a camada de solo próximo à superfície por sombreamento homogêneo ou não, com conseqüente influência sobre a umidade do solo e, portanto, sobre as suas propriedades térmicas. Além das variações espaciais, grandes variações sazonais ocorrem quando períodos com chuvas fortes são alternados por períodos secos.

Todo o experimento que envolva determinação de temperatura do solo, estando com cobertura vegetal ou não, a umidade é de grande importância, pois a presença de água afeta o fluxo de calor no solo e, conseqüentemente, a difusividade térmica. De forma geral, as trocas de calor e umidade entre a superfície e a atmosfera são, frequentemente, os mecanismos dominantes nas circulações de meso-escala (Alvalá et al., 2002b). Por esse motivo, a importância de calcular o percentual de umidade do solo, acarretará no entendimento dos seus processos físico-químicos, pois sendo considerado um grande reservatório natural para a atmosfera e para as camadas do próprio solo (Loyola e Prevedelo, 2003), muitas pesquisas foram elaboradas no sentido de procurar aferir essa quantidade de água existente. Essa água circula na superfície através dos fenômenos de infiltração e evaporação, nos perfis de solo por meio da chamada drenagem interna, e tal fenômeno que ocorre dentro do solo, faz parte de um dos processos conhecidos do ciclo hidrológico.

A difusividade térmica é uma medida mais apropriada para saber com qual rapidez as variações na temperatura da superfície do solo são transmitidas para as camadas mais profundas. A presença da umidade no solo modifica a amplitude de temperatura ao nível da superfície por causa do aumento na evaporação. Os solos úmidos têm valores maiores de capacidade de calor e condutividade térmica. A condutividade e a difusividade são relacionadas pela capacidade volumétrica de calor, o

que permite calcular uma dessas propriedades, quando se conhece as outras duas (Passerat de Silas, 1996). A difusividade térmica é estimada porque é descrita por um processo transiente da condução de calor com a temperatura nas condições de contorno. O que ocorre, de fato, é que o fenômeno de transferência de calor para o solo ocorre por um sistema complexo da natureza que envolve os processos de convecção e condução.

2.4.1. Liteira

A quantidade do material vegetal que se deposita no solo resulta dos componentes senescentes da parte aérea das plantas, que ao caírem sobre o solo forma uma camada denominada liteira, que compreende as folhas, caules, flores e frutos (Golley et al., 1978). É por meio dos mecanismos de transferência entre a vegetação e o solo que ocorrem os processos de grande importância na nutrição e na sustentabilidade de florestas que crescem em solos pobres em nutrientes, tais como as florestas de região tropical. Com o crescimento e o aumento da idade das árvores, inicia-se a queda de folhas, gravetos e partes reprodutivas para a formação da camada de liteira, sendo que sua decomposição e liberação de nutrientes constituem os principais processos dos ciclos biogeoquímicos. A quantidade de liteira depositada pode variar dentro de um mesmo tipo de vegetação. Segundo (Werneck et al., 2001), a maioria dos ecossistemas florestais apresenta produção contínua de liteira durante todo o ano, sendo que a quantidade total produzida nas diferentes épocas depende do tipo de vegetação (Leitão Filho et al., 1993).

Uma série de fatores, bióticos e abióticos, influencia na produção de liteira: latitude, altitude, temperatura do ar, precipitação, estágio sucessional, herbivoria, disponibilidade hídrica e estoque de nutrientes do solo (Portes et al., 1996), umidade do solo (Burghouts et al., 1994) e vento (Dias e Oliveira Filho, 1997). A liteira é uma das principais formas de entrada da matéria orgânica no solo, podendo agir também como fonte de nutrientes, como fator mecânico modificador das condições de micro sítios (umidade, luz, disponibilidade de nutrientes), nos quais as sementes germinam e plântulas se estabelecem e participam ativamente do processo de ciclagem de nutrientes (Yano e Luizão, 2001). Segundo Tapia-Coral et al. (2005), a liteira desempenha importantes funções como, a redução da perda de água por evaporação, resultando na redução da flutuação da temperatura na superfície do solo, proteção dos solos contra

erosão, excesso de luz, compactação, lixiviação, funcionando como um reservatório de nutrientes.

2.5. Transformada de ondeletas e suas aplicações em meteorologia

Os primeiros rudimentos sobre a construção de funções de ondeletas foram introduzidos pelo físico Alfred Haar em 1910, o qual se dá por um sistema completo de funções ortogonais e que foi formalizado pela primeira vez na década de 1980 (Morlet, 1983). O termo em inglês *wavelet* ou em francês *ondelettes* está associado à idéia de “pequenas ondas”. No sentido desta análise, esse termo está associado a ondas localizadas, ou seja, ondas que crescem e decaem em um período limitado de tempo (Balthazar et al., 2003). A inovação revolucionária dessa transformada consiste em introduzir uma “janela variável” que pode dilatar-se ou comprimir-se, dependendo da escala de análise. Desde então, suas propriedades tem sido amplamente exploradas por vários autores, tanto do ponto de vista teórico, quanto de aplicações e análise de sinais.

Estudos que utilizam as ondeletas vêm crescendo em várias áreas. Este método envolve transformação de uma série unidimensional em um espaço de tempo e frequência, o que permite determinar as escalas de variabilidade dominantes e suas variações temporais. Segundo Barbosa et al. (2004), basicamente, a ideia central da transformada de ondeletas (TO), no contexto de análises de sinais, consiste em decompor uma série temporal em diferentes níveis de resolução tempo-frequência e, então, determinar as componentes da variabilidade dominante. Na meteorologia, houve grande quantidade de trabalhos aplicando a TO ao sinal turbulento (Farge, 1992). No que se refere à climatologia e à dinâmica atmosférica, poucos estudos utilizaram esta metodologia até o momento. A grande maioria dos trabalhos desenvolvidos na dinâmica atmosférica enfoca as escalas climáticas, desde a sua variabilidade interdecadal a intrasazonal. Em geral, esses trabalhos buscam uma metodologia eficaz na localização de fenômenos transientes e que atuem simultaneamente em várias escalas de tempo, proporcionando novas perspectivas e abordagens de análises, impossíveis de se efetuarem através dos métodos tradicionais.

Torrence e Compo (1998), aplicaram as TOs de Morlet e de Chapéu Mexicano a dados de temperatura da superfície do mar (TSM) na região do Niño3 (1871-1996) e do índice de oscilação sul (IOS), obtido da pressão ao nível do mar (PNMM) (1871-1994) entre o Pacífico leste e oeste. Os resultados mostraram que a variância dos ENOS (El

Niño-Oscilação Sul) mais intensa ocorre nas escalas de tempo interdecadal de 1880-1920 e 1960-1990, com um período de baixa variância entre 1920 a 1960. Estes períodos estiveram relacionados com maior variância nas escalas de tempo de 2 a 8 anos. Trigo et al. (1999), ao aplicar as ondeletas no estudo da variabilidade de descargas diárias em bacias portuguesas e brasileiras, determinaram para o rio Mondego (localizado na região centro-oeste da Península Ibérica) evidente variabilidade anual, sendo possível distinguir o período chuvoso e o seco. Foram determinados também máximos do espectro de potência em torno das escalas de 64 a 128 dias, correspondente ao período semi-anual, e da escala de 2 a 16 dias, referente a fenômenos meteorológicos de escala sinótica. Para o rio Piancó (situado no Estado da Paraíba, NEB), a ferramenta matemática evidenciou uma periodicidade anual. O rio Piancó apresentou em vários anos e de forma irregular uma forte variabilidade nas escalas compreendidas entre 256 e 1024 dias, associada à frequência irregular dos episódios do El Niño. Por outro lado, Andreoli et al. (2004) utilizaram a TO para analisar as variações da precipitação em Fortaleza e da TSM nos oceanos Pacífico e Atlântico para o período de 1856 a 1991 e foi identificado um pico dominante de 12,7 anos na série. Confirmou-se, ainda, uma alta coerência entre a variabilidade de precipitação no norte do NEB e o gradiente inter-hemisférico de anomalias de temperatura de superfície do mar ATSM no Atlântico na escala decadal.

Schneider et al. (2005), aplicaram a TO via função de Morlet em dados meteorológicos de temperatura, radiação de onda longa emergente (ROLE) e índices globais, em estudos de casos de 2003 e 2004, com o intuito de diagnosticar as múltiplas escalas de tempo existentes no sinal atmosférico. Ao analisarem o IOS de 1994 até o final de 2005, detectou-se uma forte oscilação na banda de 1300-1400 dias (3,5-4 anos) tendo maior amplitude entre 1994 e 1999. A partir de 2000 houve predomínio da oscilação próxima de 4 anos (1500 dias). Eles concluíram que a consolidação de eventos extremos de frio-calor e chuvoso-seco ocorrem quando se observa sobreposição ou interação das escalas de baixa e alta frequência. Já projeções de curto prazo (uma semana, por exemplo) são possíveis quando o ambiente de alta frequência predomina. Por outro lado, Ferreira (2009), mostrou que TO revelou características relevantes de transporte, sazonalidade e intensidade, em estudo das interações do sistema brisa marinha/terrestre com sistemas sinóticos na costa leste de Alagoas.

Chellali et al. (2010), aplicaram a TO a uma análise dos dados meteorológicos de temperatura e de velocidade do vento para a região de Adrar na Argélia. Os autores

observaram que ocorreram oscilações sinóticas de períodos entre 2 e 16 dias principalmente na estação fria, tanto vento e séries temporais de temperatura, como também, o espectro de potência da TO revelou a presença de oscilações intra-sazonais de períodos entre 30 e 60 dias observadas principalmente nas estações quentes.

3. Material e Métodos

3.1. Área experimental I (Floresta Amazônica)

3.1.1. Descrição e climatologia

A área experimental I ($2^{\circ} 35' 22''\text{S}$, $60^{\circ} 06' 55''\text{W}$) está localizado na Reserva Biológica do Cuieiras (Figura 1). Esta área pertence ao Instituto Nacional de Pesquisa da Amazônia (INPA), situada a cerca de 60 km ao norte da cidade de Manaus (AM). A referida reserva tem uma área de 22.735 ha e faz parte de uma vasta área de floresta tropical preservada. O acesso à reserva é feito por via rodoviária e através de uma estrada de terra ZF-2 (Araújo et al., 2002; Andreae et al., 2002; Marques Filho et al., 2005).

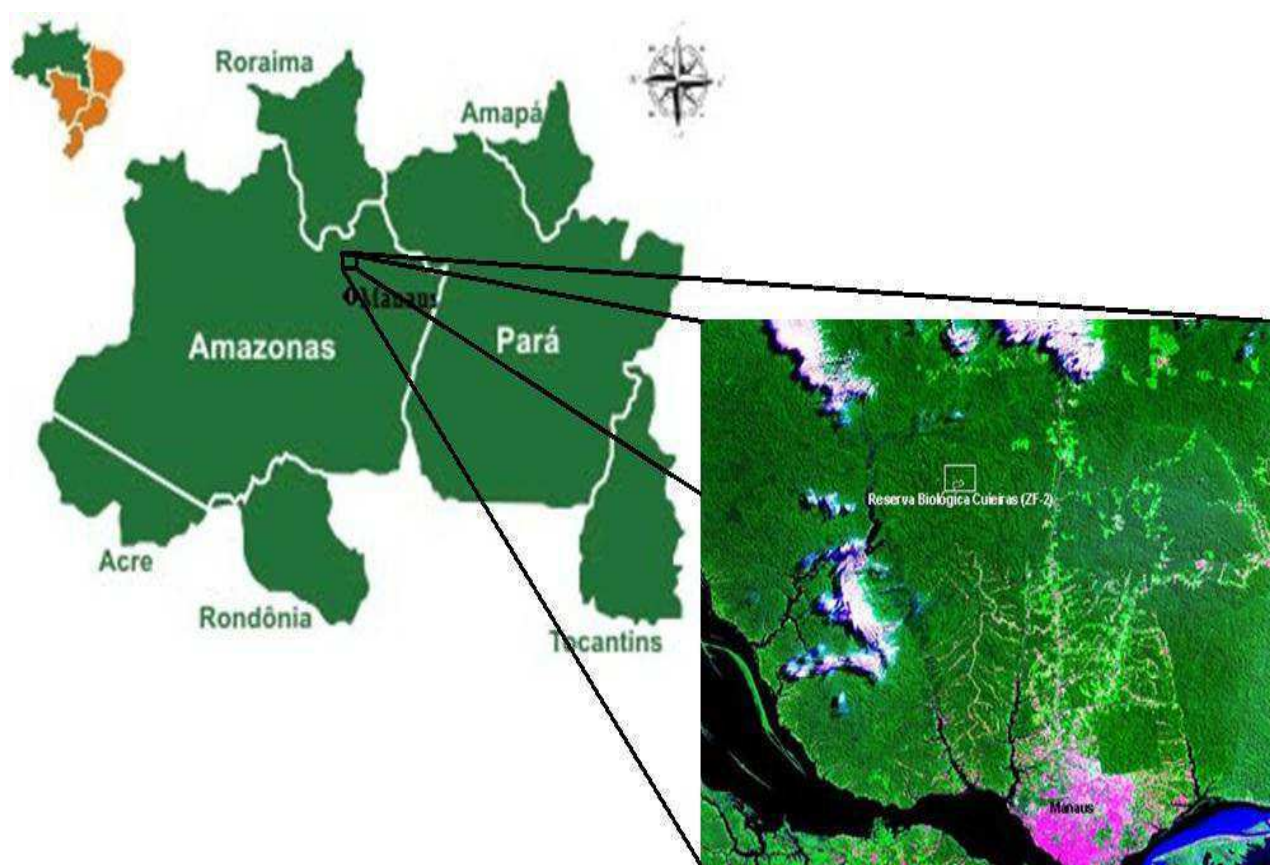


Figura 1. Imagem da área de estudo I. Reserva Biológica do Cuieiras (dentro do retângulo) de floresta tropical (Manaus-AM). Fonte: Oliveira, (2008) (Adaptado).

O relevo da Reserva Biológica do Cuieiras é fortemente ondulado e tem sua rede de drenagem entre platôs (áreas mais elevadas da topografia) e baixios (áreas mais baixas da topografia). Nos baixios aparecem vários igarapés compondo uma rica rede de escoamento, com diferença máxima de altura entre platôs e baixios de aproximadamente 60 m. O platô é recoberto por latossolo amarelo álico (Oxissol), com textura argilosa, pobre em nutrientes (Malhi et al., 2002). Enquanto o baixio é essencialmente constituído de solo mais arenoso (Araújo et al., 2002). O sítio experimental é uma área típica de vegetação tropical primária não perturbada, com dossel variando entre 30-40 m.

A Amazônia Central é caracterizada por temperatura e umidade elevadas e abundância de precipitação ao longo do ano e uma curta estação seca. As temperaturas máximas diárias variam entre 31 °C e 33 °C, e as temperaturas mínimas diárias variam entre 23 °C e 24 °C, mostrando pouca variabilidade. Os totais pluviométricos apresentam variações significativas ao longo do ano, com um mínimo em agosto (precipitação média, 50 mm mês⁻¹) e máximo em março (precipitação média, 330 mm mês⁻¹). Essa tendência sazonal é devido ao efeito do movimento da Zona de Convergência Intertropical (ZCIT). A estação mais seca normalmente dura de junho a setembro, mas pode ser muito variável em duração e intensidade. Umidade relativa média diária varia de valores mínimos de 75% durante o mês relativamente mais seco (agosto) para 92% durante o auge da temporada de chuvas em abril (Araújo et al., 2002).

Três mecanismos de macro e meso-escala também são determinantes para a ocorrência de chuva na região: a convecção diurna devido ao aquecimento da superfície; a propagação de linhas de instabilidade da costa do Atlântico, e a convecção de meso e grande escala associada com sistemas frontais de S-SE (Fisch et al., 1998). A ocorrência de valores extremos de temperatura nos meses secos, tanto máximos como mínimos, pode ser explicada pela baixa nebulosidade da estação, que permite maior quantidade de radiação solar à superfície durante o dia e uma maior perda radiativa durante a noite, associada com a presença mais frequente de sistemas frontais provenientes do sul durante o período (Marques Filho et al., 2005).

3.1.2. Medidas micrometeorológicas

As variáveis micrometeorológicas analisadas neste experimento vêm sendo monitoradas pelo grupo de micrometeorologia do LBA (The Large Scale Biosphere-Atmosphere Experiment in Amazônia), através do sistema automático de aquisição de dados (“Automatic Weather Station” - AWS).

Os instrumentos estão instalados em uma torre micrometeorológica, denominada K34, que possui estrutura de alumínio de 1,5 m x 2,54 m de seção e 54,0 m de altura, em uma área de platô (2° 36' 32" S, 60° 12' 33" W), no quilômetro 34 da ZF-2 (Figura 2).

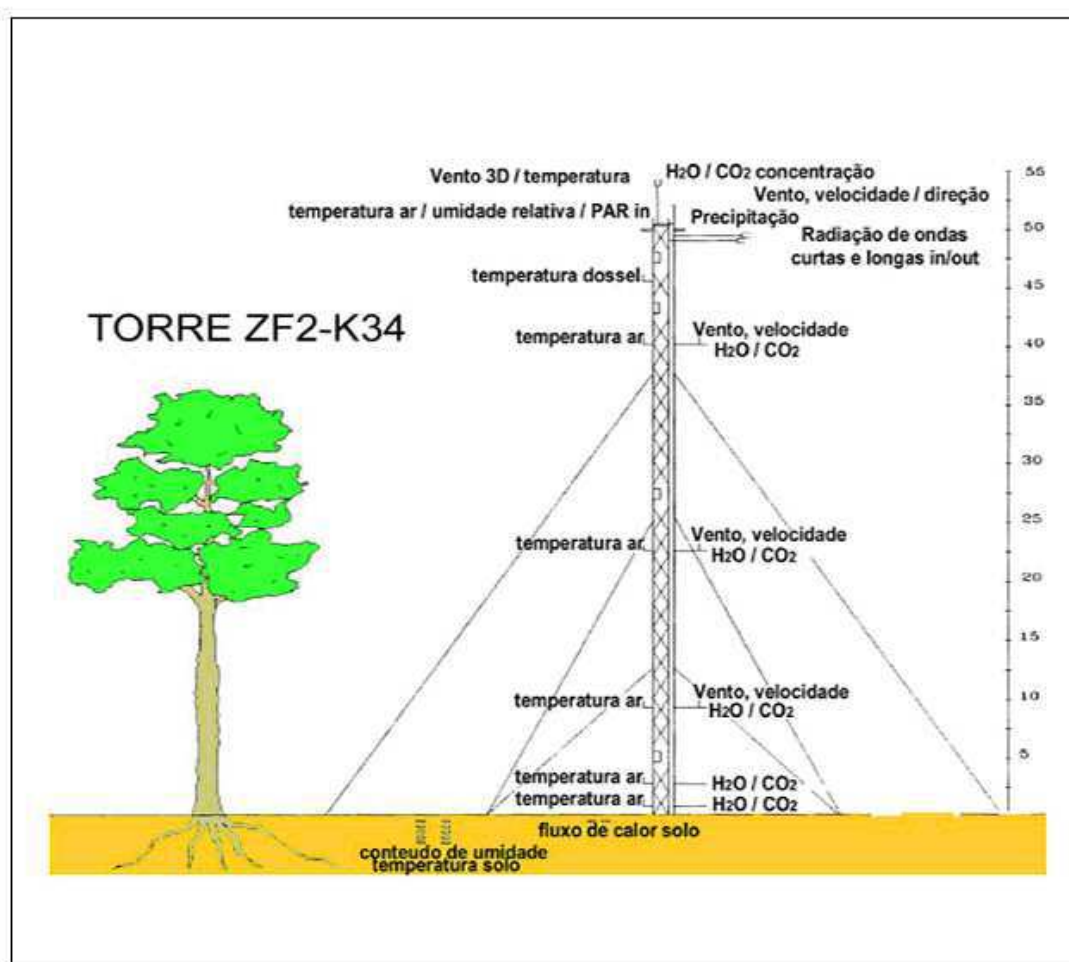


Figura 2. Esquema representativo da Torre K34, montada na Reserva Biológica do Cuieiras, do INPA (Manaus-AM). Fonte: Oliveira, (2008).

As análises do perfil de temperatura do solo (TS) foram realizadas nas profundidades 2, 5, 10, 20 e 50 cm através de sensores MCM 101 (IMAG-DLO, Netherlands, Wageningen) instalados na base da torre. Foram utilizadas medições para estas profundidades no período de janeiro a dezembro de 2009. Também foram realizadas medidas de radiação de onda curta (R_s) incidente e refletida por meio de *Pyranometer CM 21*, e de radiação de onda longa (R_L) incidente e refletida por *Pyranometer CG 1* ambos da *Kipp & Zonen* (The Netherlands), para estimar o total de R_g que atinge a superfície do solo. Entretanto, neste estudo se utilizou o valor médio de 3,5%, encontrado por Moura (2001), para ajustar o valor de R_g à superfície na região estudada. Também foram realizadas medidas de fluxo de calor no solo (FCS) através de placa de fluxo de calor modelo *SH1* da *Hukseflux* (Delft, The Netherlands). Os totais pluviométricos foram coletados por pluviômetros aerodinâmicos *ARG100* da *Environmental Measurements Ltd.* (North Shields, Reino Unido).

3.2. Área experimental II (Mata Atlântica)

3.2.1. Descrição e climatologia

A área experimental II (10° 00' 37''S, 36° 17' 60''W) está localizada em um fragmento de Mata Atlântica pertencente a Reserva Particular do Patrimônio Natural (RPPN) (Figura 3), na fazenda Capiatã A – Lula Lobo I – com uma área de 68,6 ha pertencente à usina Coruripe Açúcar e Álcool S/A, no município de Coruripe, Alagoas. Essa RPPN destina-se à coleta de sementes para a recuperação das áreas degradadas da usina, para programas de educação ambiental e para pesquisa científica. Localizado no litoral sul do Estado de Alagoas, o município de Coruripe apresenta fragmentos florestais nos tabuleiros, encostas de grande declividade e poucas áreas de várzea no qual é formado por uma *Floresta Ombrófila Aberta* com transição para *Floresta Estacional Semidecidual* (Santos e Frizzone 2006).

Segundo Menezes et al. (2004), a Mata Atlântica Alagoana apresenta uma flora compostas por várias espécies arbóreas de gêneros e famílias diferentes, e destaca-se pela grande concentração de pau-brasil (*Caesalpinia echinata*) e pau-falha (*Aspidosperma sp*) em estado natural ainda existente. No levantamento feito por Machado (2003), nesta região, o maior número de espécies encontradas foram as

famílias *Myrtaceae*, *leguminosae-Mimosoideae*, onde a altura máxima foi encontrada pela espécie *parkia pendula* (35 m), e *Leguminosae-Papilionoideae*.



Figura 3. Imagem da área de estudo II, Reserva Particular do Patrimônio Natural (dentro do retângulo) de mata atlântica tropical (Coruripe-AL).

De acordo com Santos e Frizzone (2006), a normal climatológica da temperatura e umidade relativa do ar (UR) nessa região é de 25,1 °C (sendo fevereiro o mês mais quente) e de aproximadamente 76,5%, respectivamente. Já segundo a Secretaria de Estado de Recursos Hídricos e Irrigação (SERHI), essa área apresenta o período chuvoso compreendido entre os meses de abril e julho, enquanto o período seco está compreendido entre outubro e janeiro. Os demais meses são considerados como períodos de transição. O clima local é caracterizado como do tipo Tropical Chuvoso com verão seco. O período chuvoso começa no outono (Mascarenhas et al., 2005). A precipitação média anual é de 1.327 mm/ano (Silva-Junior et al., 2005). O máximo de chuvas na região estaria ligado à maior atividade de circulação de brisa que advecta bandas de nebulosidade para o continente e à ação das frentes frias, ou seus remanescentes, que se propagam ao longo da costa (Kousky, 1979). Esse máximo de

chuvas estaria associado à máxima convergência dos Alísios com a brisa terrestre, a qual deve ser mais forte durante as estações de outono e inverno, quando o contraste de temperatura entre a terra e o mar é maior (Kousky e Elias, 1983).

3.2.2. Medidas micrometeorológicas

Na área experimental II foi instalada uma torre micrometeorológica de 26 metros de altura (Figura 4) ($10^{\circ} 17' 36''S$, $36^{\circ} 17' 24''W$), inserida dentro do fragmento florestal na qual são realizadas medições micrometeorológicas de: Direção do vento (DD); Velocidade do vento (VV); Radiação solar global (Rg); Albedo (Al); Radiação Fotossinteticamente Ativa (PAR); PAR refletido (PAR \uparrow); Saldo de Radiação (Rn); Temperatura e Umidade do Ar (T/UR); *Wetness Grid* (WS); Temperatura do Solo (TS); Fluxo de Calor no Solo (FCS); Precipitação (PP).

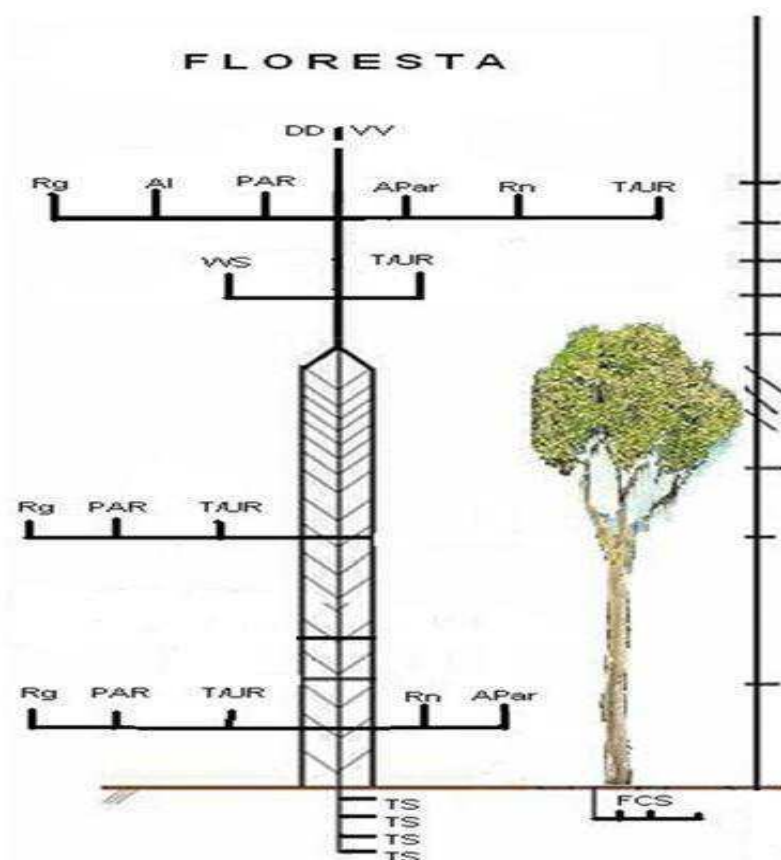


Figura 4. Esquema representativo da Torre micrometeorológica automática, montada na Reserva Particular do Patrimônio Natural, Coruripe-AL. Fonte: Querino (2006) (Adaptado).

Levando-se em consideração os níveis de profundidade para o estudo das flutuações de temperatura do solo (TS) foram instalados sensores térmicos chamados de termopares do tipo cobre/constantan, no período entre junho de 2010 e dezembro de 2012, para realizações das medições nas profundidades de 1, 5, 10, 20, 50 cm. Os sensores termopares são junções de dois fios de metais diferentes que produzem uma força eletromotiva proporcional à diferença das temperaturas a que está submetida cada uma das junções do par.

Também foram realizadas medidas de Radiação Solar Global (R_g) utilizando *piranômetros* Modelo CM5, *Kipp & Zone*, diferente da área experimental I, foi medido a 2 metros de altura. O saldo de radiação (R_N) por meio de Saldo radiômetro modelo Q-7, e as medidas do fluxo de calor do solo foram feitas através de fluxímetros modelo HFT-3, ambos da *Campbell Scientific Inc.* Os totais pluviométricos vem sendo coletados por pluviômetros modelo TE 525 (*Texas Instruments*, USA). Os piranômetros foram instalados em diferentes níveis e posições, em torno de 2, 13 e 26 metros de altura, enquanto que o pluviômetro foi instalado no topo da torre.

3.3. Transformada em ondeletas (TO)

Devido aos sinais dos sistemas naturais, como o da TS, apresentarem características irregulares ou tempo limitado, eles são considerados não-estacionários. Portanto, uma representação que segue o espectro do sinal e sua variação em função do tempo foi realizada, através da transformada em ondeletas (TO). Essa ferramenta é capaz de detectar variações de potência dentro de dados meteorológicos. O termo ondeleta refere-se a um conjunto de ondas formadas por dilatação ($\psi(t) \rightarrow \psi(2t)$] e translação [$\psi(t) \rightarrow \psi(t+l)$] de uma única função $\psi(t)$, que é quadraticamente integrável sobre o campo dos reais ou espaço $[L^2(\mathbb{R})]$ e possui energia finita. A função $\psi(t)$ pode ser chamada de “ondeleta mãe”, “ondeleta básica” ou “ondeleta analisadora”, enquanto que as funções dilatadas e transladadas derivadas da ondeleta mãe são chamadas simplesmente de “ondeletas” (Weng e Lau, 1994).

$$\psi_{l,t'}(t) = \frac{1}{\sqrt{|l|}} \psi\left(\frac{t-t'}{l}\right) \quad (1)$$

para $l \in \mathbb{R}$ e $t' \in \mathbb{R}$ e $l \neq 0$

em que $\psi(t)$ é a ondeleta mãe, l é o corresponde a escala e a variação deste parâmetro envolve efeito de dilatação ($l > 0$) ou contração ($l < 0$) da série temporal. Através disso, pode-se analisar os aspectos de longos ou curtos períodos da série, e t' é o parâmetro de translação, ou seja, a localização da função no tempo.

A fim de se identificar possíveis tendências, períodos cíclicos, variação sazonal e aleatória foi utilizada a transformada em ondeletas a partir dos dados observacionais de TS, para as profundidades de 1, 2, 20 e 50 cm. Essa é uma metodologia de decomposição de sinais que permite detectar tanto a oscilação quanto a localização temporal das componentes do sinal, o que facilita a associação dos períodos observados com os fenômenos atmosféricos.

Foram submetidas à TO a série de TS de cada bioma, para todo o período de dados da TS, da precipitação e Rg, com a intenção de identificar tendências, ciclos ou oscilações no solo, durante as diferentes condições climáticas e de micro-clima, para poder proceder às comparações entre as estações do ano e os biomas. Essas análises preliminares de ondeletas podem fornecer uma indicação mais clara das oscilações das máximas e mínimas temperaturas do solo ao longo da série.

Os dados de TS submetidos à transformada em ondeletas foram inseridos em um arquivo-texto (Bloco de notas) e importados para o *software* adequado, onde a rotina contendo todas as premissas da TO foi aplicada à série de dados medida nas áreas de estudos. A escolha da ondeleta mãe foi feita de maneira que possua características similares ao sinal que se deseja estudar, tal como assimetria e variação brusca ou suave no tempo (Collineau e Brunet, 1993; Weng e Lau, 1994; Sá et al, 1998).

A ondeleta de Morlet é bastante utilizada na análise das frequências presentes ao sinal e na identificação de relações entre tempo e frequência (Bolzan, 2004a). Essas funções são empregadas na análise de série temporal, onde as suavidades e variações contínuas na amplitude da ondeleta são esperadas. Esta ondeleta pode ser complexa ou real, segundo Torrence e Compo (1998). Uma função de ondeleta complexa irá fornecer informações da amplitude e da fase e será melhor adaptada para capturar os comportamentos oscilatórios das séries temporais. Uma função ondeleta real fornece apenas informações sobre uma componente e pode ser utilizada apenas para localizar picos e descontinuidades.

De acordo com Kumar e Foufoula-Georgiou (1994), a ondeleta de Morlet é expressa por:

$$\psi(t) = \frac{1}{\sqrt[4]{\pi}} e^{i\omega_0 t} e^{-\frac{t^2}{2}} \quad (2)$$

em que ω_0 é a frequência e t é o tempo. Esta função (Ondeleta de Morlet) tem características que se acoplam à oscilação suavizada. A ondeleta complexa de Morlet é adequada para capturar variações nas periodicidades dos sinais geofísicos (Weng e Lau, 1994; Sá et al, 1998), pois ela possui um grande número de oscilações. Ela é definida como uma onda plana (senoidal) de frequência modulada por um “envelope” Gaussiano de largura unitária (Farge, 1992). De acordo com Torrence e Compo (1998), uma função para ser admissível como uma ondeleta precisa ter média zero e estar localizada tanto no domínio de tempo e de frequência. Dessa forma, optou-se em aplicar a ondeleta de Morlet, pois, segundo Morettin (1999), essa metodologia, apesar de ser complexa, possui características semelhantes às de sinais meteorológicos, tais como simetria ou assimetria, e variação temporal brusca ou suave, sendo este um dos critérios para escolha da função ondeleta. Pode-se então variar a "escala" da ondeleta mudando sua largura. Essa é a vantagem real da TO, enquanto que as ondas Morlet apresentam alta frequência, apropriada para a determinação de ciclos curtos.

4. Resultados e Discussão

4.1. Bioma Amazônico

A precipitação analisada para a área de estudo da Floresta Amazônica no ano de 2009 está em conformidade com a normal climatológica da região, de acordo Mittermeier et al. (2003), com total acumulado de 2.488,2 mm (Figura 5). Segundo Fisch et al. (1998), os altos valores de precipitação para a região podem estar associado à penetração de sistemas frontais provenientes da região sul/sudeste, interagindo com a convecção local.

O quadrimestre chuvoso (janeiro, fevereiro, março e abril) apresentou totais pluviométricos de 1.207,8 mm, o que representou 48,5% do total precipitado ao longo deste ano. O mês de janeiro apresentou o maior índice de chuva nesse período, registrando 398,4 mm, enquanto os demais meses do quadrimestre variaram entre 248 a 284 mm. Entretanto, o quadrimestre seco (junho, julho, agosto e setembro) mostrou um acumulado de 470 mm, representando apenas 18% da precipitação anual. Verificou-se para o mês de setembro a menor precipitação (7,2 mm), enquanto que junho observou-se um total de 248,6 mm.

Notou-se que durante todo o ano de estudo as maiores frequências de precipitação ocorreram nos horários entre 12 e 16 h (hora local), com pico acumulado de 330,2 mm as 14 h. Isso ocorre devido a região amazônica ser caracterizada por intensa atividade convectiva com forte ciclo diurno (Negri et al., 1994 e Liebmann et al., 1998) com predominância de chuvas à tarde e início da noite. As menores frequências foram observadas no fim da noite de 22 a 23 h, com valores de 14,2 e 24 mm, respectivamente. Estes registros estão de acordo com estudo realizado por Ferreira da Costa et al. (1998), no qual os autores afirmam que a precipitação na região da Floresta Amazônica nos horários de maiores frequência têm valores que são quase a metade dos registrados ao longo do ano, para o ano de estudo estes horários representaram 44,5% do total anual de chuva.

É importante salientar que parte da chuva que ocorre na Floresta Amazônica é interceptada pelo dossel da florestal, o que representa uma importante parcela de água precipitada, parte desta água retorna à atmosfera por evaporação antes de chegar ao solo (Ferreira et al., 2005).

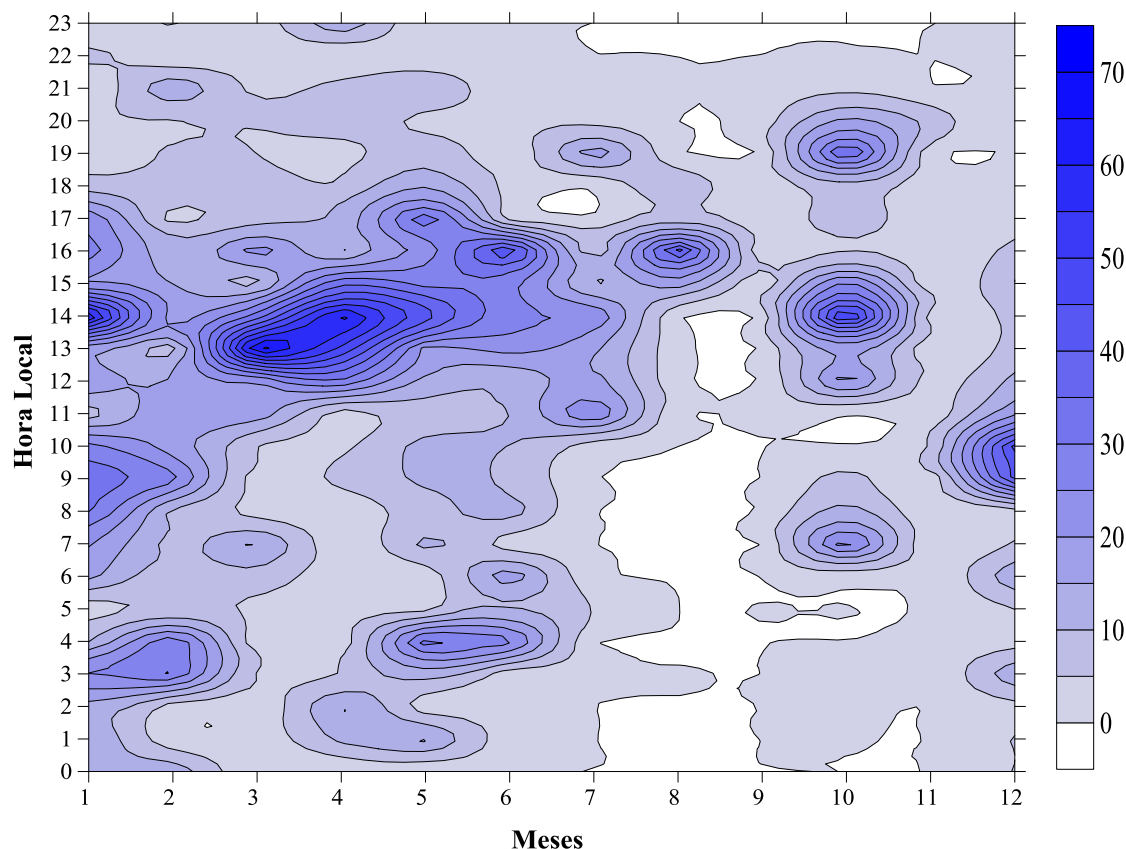


Figura 5. Variação temporal do total horário acumulado de precipitação (mm) na Floresta Amazônica para o ano de 2009.

Analisando-se a variação da radiação solar global (R_g) acima do dossel da Floresta Amazônica (Figura 6), observou-se máximos horários de 850 W m^{-2} para os meses de setembro e novembro entre os horários de 10 e 12 h, cujos valores estão relacionados com o verão no hemisfério sul e o auge da estação seca da região.

Nos meses de janeiro a março (início da estação chuvosa), o R_g variou de 550 a 700 W m^{-2} para estes mesmos horários (10 e 12 h), com o mês de março apresentando outro núcleo de 700 W m^{-2} as 14 h, valor este que antecede o aumento da precipitação para este horário. O mês de abril (fim da estação chuvosa) demonstrou valores inferiores de R_g , com máximo de 500 W m^{-2} entre as 10 e 11 h, ocorrendo uma redução significativa entre as 12 e 15 h, com mínimo de 100 W m^{-2} as 13 h. Isso está relacionado ao fato da maior precipitação ser observada nestes horários e, consequentemente, a maior nebulosidade. Observou-se ainda, que durante todo o período estudado as maiores concentrações de R_g localizaram-se entre o intervalo de 10 às 12 h, acarretado, de acordo com Querino et al. (2006), pelo caminho ótico a ser percorrido pelos raios solares, que nos horários próximos ao meio dia, onde o ângulo

Zenital é menor, a incidência de R_g é maior. Isso permitiu que a radiação solar chegue à superfície sem sofrer tanta interferência em sua componente provocando maior densidade de fluxo de radiação.

Nas primeiras horas do dia (entre 06 e 09 h) e no final do dia (entre 15 e 17 h), foram observados menores R_g , com mínimo de 50 W m^{-2} às 06 e 17 h, fato constante ao longo do ano. Segundo Iqbal (1983), quando a radiação solar penetra na atmosfera, parte da energia incidente é removida por espalhamento e parte é absorvida. Nas primeiras e últimas horas do dia, o ângulo formado é máximo resultando em um maior caminho a ser percorrido pelos raios solares e, conseqüentemente, valores menores de R_g .

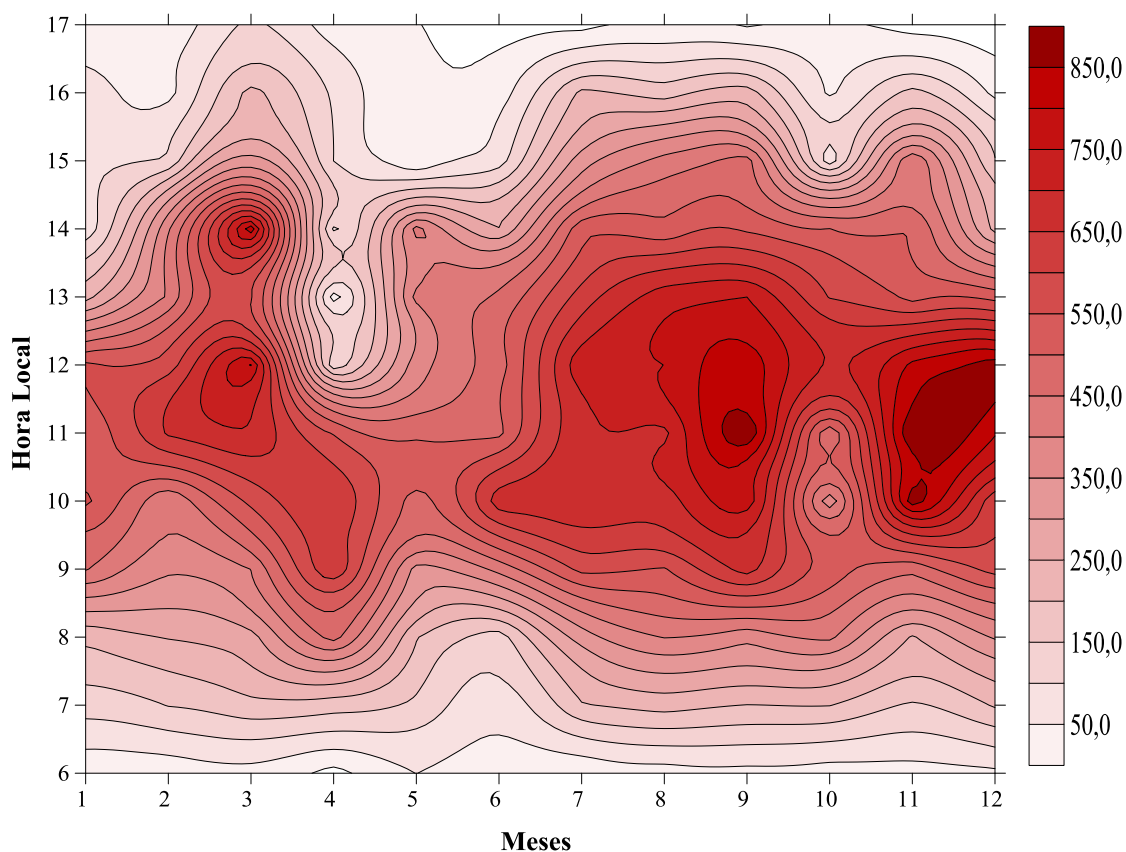


Figura 6. Variação temporal da Radiação Solar Global (R_g) (W m^{-2}) acima do dossel da Floresta Amazônica para o ano de 2009.

Em geral, nos ecossistemas florestais em geral, 80% da radiação solar incidente é interceptada pelas copas das árvores e menos de 5% chega ao piso da floresta. Para o bioma amazônico estudos feitos de medições de transmissão de radiação realizadas ao nível do solo, indicaram que em média apenas 3,5% do fluxo de radiação do topo da

floresta atinge o solo (Moura, 2007). Valores similares médios, variando entre 2,7 a 5%, foram encontrados por estudos realizados por Shuttleworth et al. (1984), Januário et al. (1992), Marques-Filho (1997), Pereira (1997), Wandelli e Marques-Filho (1999), Marques-Filho e Dallarosa (2000) e Hernandez et al. (2004). Desta forma, os máximos horários entre 10 e 12 h registrados em setembro e novembro, foram de $24,3 \text{ W m}^{-2}$. Os valores encontrados nos meses chuvosos variaram abaixo do dossel entre 15,7 e $20,0 \text{ W m}^{-2}$, demonstrando um mínimo no mês de abril, fim da estação chuvosa, de $2,9 \text{ W m}^{-2}$ as 13 h os quais foram coincidentes com o horário de maior índice de precipitação. Para as primeiras e últimas horas do dia, onde encontrou-se os menores valores de R_g devido ao maior ângulo zenital, estimou-se à superfície apenas $1,4 \text{ W m}^{-2}$. Os resultados estimados são semelhantes aos obtidos nos estudos realizados pelos autores acima citados.

O fluxo de calor no solo (FCS) é um componente necessário ao balanço de energia à superfície, capaz de justificar o armazenamento e a transferência de calor dentro do solo e, ainda, as trocas entre o solo e a atmosfera. O FCS observado permitiu caracterizar seu ciclo anual, como também seu range sazonal dentro da Floresta Amazônica. Na Figura 7 é possível observar a diferença entre o quadrimestre chuvoso e seco. Entretanto, para ambos os períodos os máximos médios estiveram localizados sempre entre 11 e 14 h, demonstrando a dependência dessa variável da radiação solar global incidente (R_g).

Na época chuvosa local o FCS foi positivo entre 09 e 16 h tendo o mês de janeiro apresentado fluxo positivo até as 17 h. Esse período apresentou uma amplitude média diária de 22 W m^{-2} , com mínimo de até -9 W m^{-2} (04 e 06 h) e máximo de 13 W m^{-2} (14 e 15 h), como possível resposta ao pico das 14 h do R_g . Também foi possível observar uma significativa redução do FCS às 13 h no mês de abril com valor de apenas 3 W m^{-2} . Esse registro ocorreu em função do aumento da precipitação e, conseqüentemente, da menor incidência de R_g neste mês.

O período seco exibiu uma maior amplitude de FCS em relação aos meses chuvosos, onde ocorreu médias diárias de 28 W m^{-2} , assim como uma maior duração dos valores positivos observados entre 09 e 19 h. Muito possivelmente acarretada pela ocorrência de maior R_g incidente no topo do dossel vegetativo ao final da tarde, com conseqüente maior quantidade de energia atingindo a superfície. Os mínimos na estação seca ocorreram nos horários noturnos (21 e 01 h), registrando médias de -13 W m^{-2} , enquanto os máximos foram de 15 W m^{-2} entre 12 e 13 h. Tais valores ocorreram em setembro, mês mais seco e com os maiores índices de R_g . Foi constatado que o FCS no

interior da Floresta Amazônica pode alcançar valores bastante elevados, tendo em vista a alta condutividade térmica do solo da região (Souza et al., 2006), assim como pelos picos diários de radiação solar incidente e pela elevada e frequente precipitação na região.

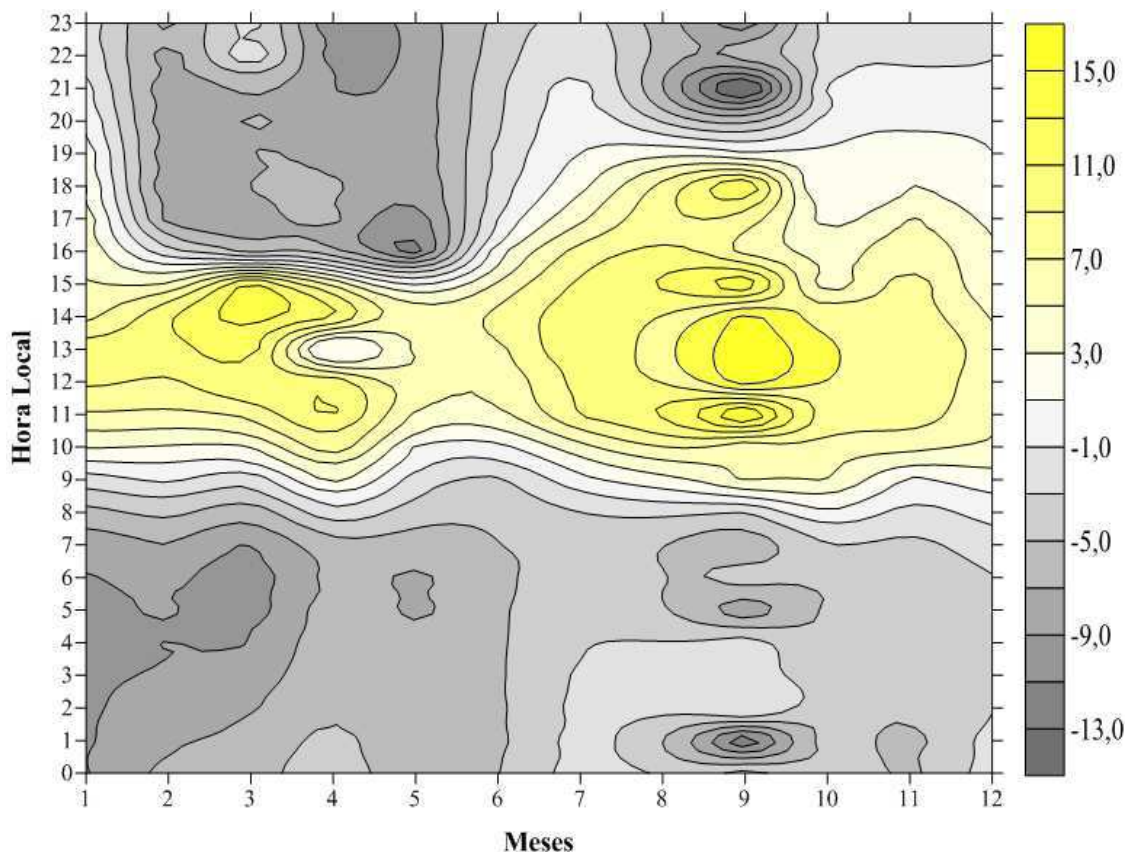


Figura 7. Variação temporal do Fluxo de Calor no Solo (FCS) ($W m^{-2}$) na Floresta Amazônica para o ano de 2009.

Ao verificar o perfil de temperatura do solo (TS) observou-se que esta apresentou uma amplitude térmica de apenas $1,1\text{ }^{\circ}C$ (Figura 8). Essa amplitude mínima pode ser reflexo da densa cobertura da copa das árvores e dos sub-bosques, os quais limitam os fluxos de transferência de calor radiativo para o solo, como também a emissão de radiação de onda longa térmica para a atmosfera (Paul et al., 2004, Oliveira et al., 2008). Segundo Luizão (2007), outro fator que contribui para esta baixa amplitude é a grande camada de liteira existente sobre o solo da Amazônia, que além de proteger o solo contra a perda de umidade, favorece também a formação de microclima úmido, servindo de reservatório de água para as plantas em crescimento e funcionando como um isolante térmico.

As menores TS foram registradas nas primeiras horas do dia, com mínimo de 24,45 °C as 07 h para a camada de 2 cm. Notou-se que os valores da TS para esses horários demonstraram variação positiva de 0,05 °C com o aumento da profundidade, atingindo o máximo de 25,15 °C para a camada de 50 cm. Essa flutuação térmica do solo nos horários noturnos está relacionada ao resfriamento radiativo do solo através da perda de energia para a atmosfera (entre -13 a -1 W m⁻²).

A partir das 09 h a TS aumenta em todas as camadas em resposta ao fluxo positivo de calor no solo, que teve início nesse horário durante todo o ano em análise. Observou-se entre 13 e 17 h as maiores TS nas camadas de 2 e 5 cm, com máximo às 15 h de 25,55 °C para a camada de 2 cm como consequência as maiores concentrações de Rg entre 10 e 12 h. Esse regime térmico é determinado pelo aquecimento da superfície pela radiação solar incidente e transporte, por condução, de calor sensível para seu interior, de forma lenta e gradativa. Nas camadas subsequentes a TS apresentou um decréscimo 0,05 °C.

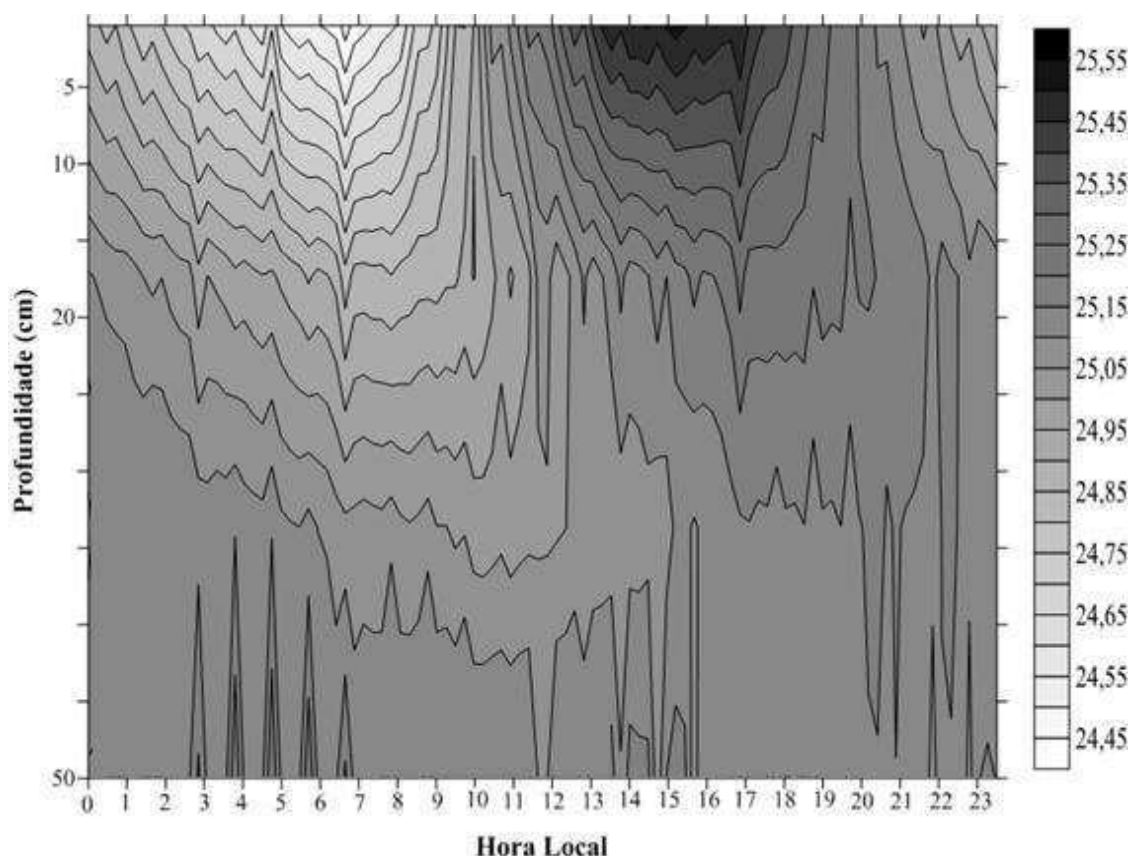


Figura 8. Perfil das médias horárias das temperaturas no solo (TS) (°C) na Floresta Amazônica para o ano de 2009.

Foi possível observar até a profundidade de 10 cm as maiores variações da TS ao longo do dia, em face dessa camada possuir maior troca de calor com a atmosfera. Já a 50 cm de profundidade a TS permaneceu praticamente constante ao longo do estudo. Esse comportamento térmico, segundo Oliveira et al. (2010), ocorre pelo fato da TS ser controlada pelo periodismo diário do aquecimento do solo e, portanto, acarretando variações mais proeminentes da TS nas primeiras camadas e estabilizando-se nas camadas mais profundas.

Na estação chuvosa (janeiro, fevereiro, março e abril) da Floresta Amazônica (Figura 9), constatou-se uma redução da amplitude térmica do solo para 0,7 °C. Essa redução em relação à média anual ocorre devido a alta nebulosidade do período e, conseqüentemente, ao aumento da precipitação, reduzindo, desta forma, as taxas de radiação solar incidente na região.

Nas primeiras horas do dia (00 e 09 h) a TS apresenta variação significativa até a camada de 20 cm de profundidade. Já às 07 h foi registrado o menor valor da TS na profundidade de 2 cm para a estação (24,1 °C) e um aumento térmico de 0,05 °C nas camadas subsequentes. Esses menores valores da TS estão relacionados aos maiores fluxos de calor do solo para a atmosfera (FCS negativo) do período chuvoso ocorridos entre 04 e 06 h (-9 W m^{-2}), o que ocasiona uma maior perda de energia. Como observado anteriormente no estudo anual da TS, os maiores valores (24,6 °C) para este horário ocorreram na profundidade de 50 cm.

No período entre 10 e 18 h a TS alcançou seus maiores valores devido ao aumento da incidência de R_g . Notou-se também, uma redução da variabilidade da TS entre as camadas em relação aos horários diurno. A camada de 2 cm apresentou o maior valor para a época chuvosa (24,8 °C) às 17 h, possivelmente em resposta a maior concentração de R_g , o qual ocorreu as 14 h com valor médio de 700 W m^{-2} no dossel vegetativo, mas estima-se que apenas $20,0 \text{ W m}^{-2}$ atingiu o solo da floresta. Essa menor elevação da temperatura nos horários da tarde deve-se aos maiores índices de precipitação ocorridos entre 12 e 16 h, o que aumenta a umidade do solo.

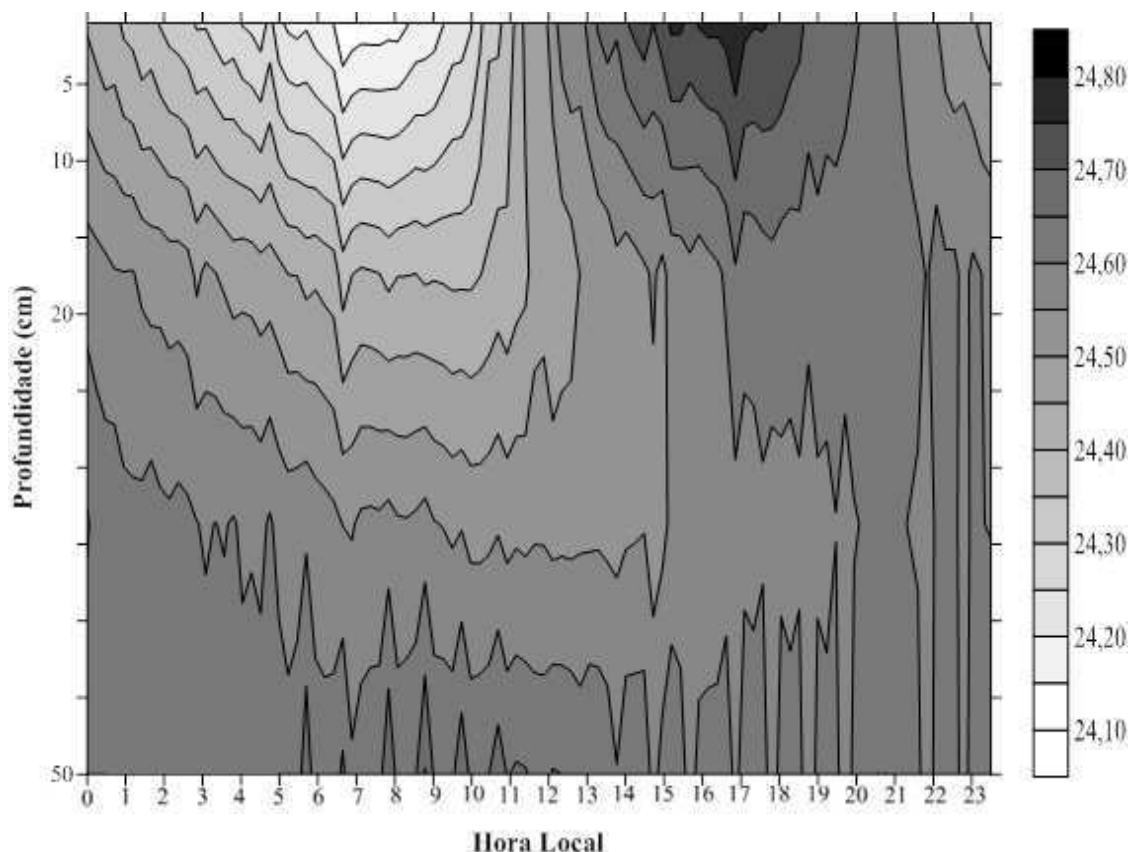


Figura 9. Perfil das médias horárias das temperaturas no solo (TS) ($^{\circ}\text{C}$) no período chuvoso da Floresta Amazônica.

A estação seca (junho, julho, agosto e setembro) da região amazônica demonstrou um aumento na amplitude térmica diária ($3,2^{\circ}\text{C}$) em relação à média anual e da estação chuvosa (Figura 10), devido as maiores concentrações de R_g . Porém, segundo Correia et al (2007), a amplitude térmica do solo desta região em qualquer época do ano (chuvosa e seca) é mínima, em função das pequenas variações na quantidade de água armazenada na atmosfera e no solo.

Da mesma forma que foi observado na estação chuvosa a camada superficial também apresentou os mínimos ($24,6^{\circ}\text{C}$) as 06 h na estação seca com elevação de $0,2^{\circ}\text{C}$ nas camadas subsequentes, onde constatou-se um aumento desta variação, entre as camadas, em relação a estação chuvosa. Este acréscimo deve-se aos maiores FCS na estação seca (-13 W m^{-2}), o que gera maiores taxas de transferência de energia do solo para a atmosfera.

As maiores TS foram obtidas entre as 11 e 16 h nas camadas superficiais, que correspondem a maior incidência de R_g nesta estação, a qual ocorreu entre 10 e 14 h. O máximo registrado foi de $27,8^{\circ}\text{C}$ as 13 h para 2 cm de profundidade, o que mostra que a

máxima TS está associada a radiação solar global máxima, que ocorreu as 11 h. Esta defasagem entre os horários de máximos deve-se ao processo de aquecimento do solo acontecer de forma lenta e gradativa devido a inércia térmica. Entretanto, assim como no período matutino, notou-se uma maior variabilidade da TS entre as camadas, com redução de 0,2 °C em razão dos maiores FCS (15 W m^{-2}) ocorrerem nestes horários na estação seca.

As maiores variações da TS ao longo da estação seca ocorreram nas camadas até 20 cm, assim como constatado na estação chuvosa. Entretanto, diferente da estação chuvosa, esta variabilidade se mostrou constante independentemente do período do dia em virtude da maior amplitude diária do FCS (28 W m^{-2}). Porém, a camada de 50 cm apresentou-se constante durante toda a estação, com média de 25,8 °C.

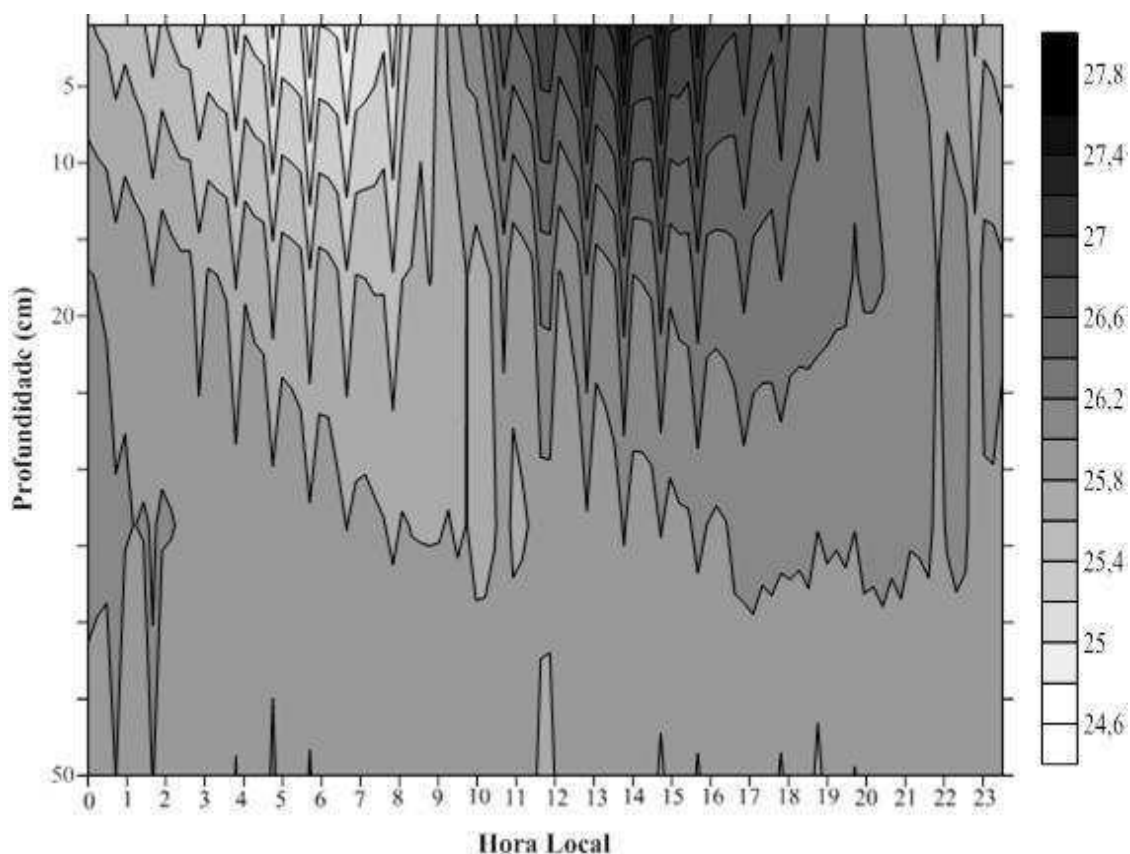


Figura 10. Perfil das médias horárias das temperaturas no solo (TS) (°C) no período seco da Floresta Amazônica.

Notou-se que independentemente da estação do ano os perfis da TS na região amazônica apresentam-se bastante semelhantes, alternando apenas na intensidade dos seus máximos e mínimos. Isso demonstra grande variabilidade entre as camadas

superficiais, com um fluxo negativo no período matutino e positivo no período vespertino, mas mantendo-se constante depois de 20 cm de profundidade. Esta similaridade do perfil da TS entre as épocas do ano ocorre, pois o solo da região estudada, de acordo com Marques Filho et al. (2005), possui características físicas homogêneas entre as profundidades possuindo boa drenagem.

4.2. Bioma Mata Atlântica

A região de estudo da Mata Atlântica obteve no ano de 2010 um total precipitado de 1.197,6 mm (Figura 11), estando condizente com a normal climatológica da região de acordo com Silva-Junior et al. (2005). Segundo Molion e Bernardo (2002), a parte Leste do Nordeste tem os totais pluviométricos variando de 600 a 3.000 mm ao ano.

Foi observado que o quadrimestre chuvoso (abril, maio, junho e julho) concentrou 67,1% do total precipitado durante todo o ano, apresentando índices de 803,8 mm. Especificamente para esta estação o mês de junho apresentou os maiores índices de chuva (391,8 mm), enquanto os meses de maio e julho registraram 150,6 e 250,1 mm, respectivamente. O mês de abril demonstrou o menor índice para o período com apenas 10,3 mm. Já o quadrimestre seco (outubro, novembro, dezembro e janeiro) concentrou apenas 10% da precipitação anual, com um acumulado de 119 mm. Verificou-se nos meses de novembro e dezembro as menores precipitações de 3,9 e 3,6 mm, respectivamente, enquanto em outubro observou-se um total de 70,9 mm.

Durante todo o período de estudo notou-se que as maiores frequências de precipitação acumulada estiveram localizadas entre 06 e 10 h, com máximos de 83,7 mm (06 h) e 96,1 mm (10 h). No entanto, as menores frequências ocorreram entre 14 e 17 h, com mínimo 19,8 mm às 15 h. Segundo Kousky e Elias (1983) e Fedorova (2001), este regime pluviométrico na região está relacionado à maior atividade da circulação de brisa terrestre, especialmente nos meses de inverno, quando os ventos alísios de sudeste são relativamente fortes e tende ocorrer maior convergência noturna ao longo da costa, a qual permanece estacionária, acarretando precipitação predominante no fim da madrugada e início da manhã.

Comparando-se as duas áreas experimentais, verificou-se que a precipitação da Floresta Amazônica foi 1.290,6 mm ano⁻¹ superior da Mata Atlântica, pois a região amazônica apresenta maior atividade convectiva ao longo do ano. Assim, independentemente da época do ano essa diferença na quantidade de chuva entre as

áreas estudadas influênciam diretamente o comportamento térmico do solo em razão da água preencher o espaço poroso do solo, aumentando a condutividade térmica do mesmo, o que faz com que a transferência de calor para as camadas mais profundas seja mais eficiente evitando maior aquecimento nas camadas superficiais (Pezzopane et al., 2002).

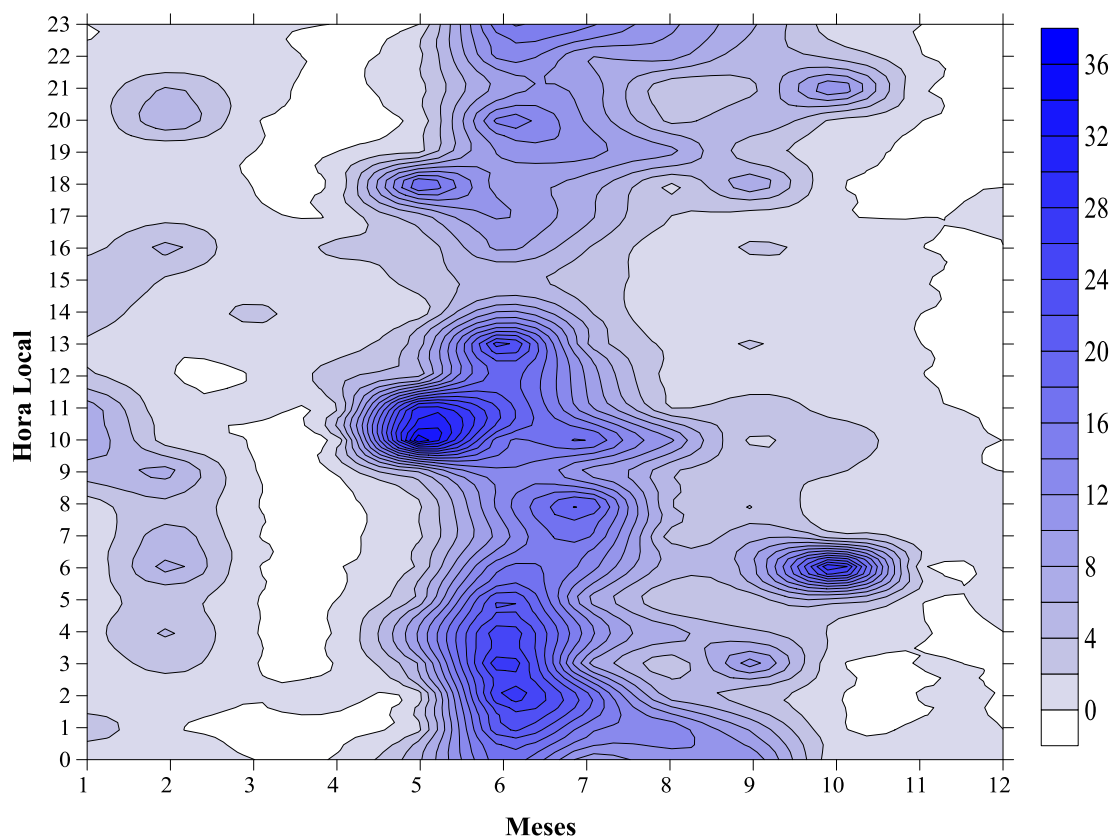


Figura 11. Variação temporal do total horário acumulado de precipitação (mm) na mata atlântica para o ano de 2010.

Para a região da Mata Atlântica mediu-se a radiação solar global a 2 metros da superfície (Figura 12), o que permitiu constatar que esta apresentou maiores valores em comparação aos estimados para a superfície da Floresta Amazônica. Claramente, isso é em função da copa das árvores na região amazônica serem mais densa e mais alta. Andrade (2011), em estudo do perfil da radiação solar global na Mata Atlântica, verificou que 6,5% do R_g externo atinge a superfície do solo e que esta maior percentagem nesta região deve-se ao maior número de clareiras no dossel vegetativo.

Verificou-se que nos meses da estação chuvosa o R_g apresentou pouca variação ao longo do dia, em virtude da grande influência do regime pluviométrico. O R_g

alcançou máximo para a estação de 40 W m^{-2} as 12 h entre abril e maio, meses estes que antecederam o aumento da precipitação na região. Já os meses de junho e julho (fim da estação chuvosa) registraram os menores R_g , os quais variaram de 10 a 15 W m^{-2} entre as 10 e 15 h. Ao mesmo tempo em que as maiores precipitações foram registradas nestes meses.

Entre os meses de janeiro (fim da estação seca) e fevereiro (mês de transição) constatou-se os máximos horários do R_g de 65 W m^{-2} observados entre 10 e 11 h. Esses máximos ocorrem devido ao menor ângulo de incidência da radiação solar nesse horário, o que facilita a penetração da radiação por entre os galhos e folhas. Foi também observado nestes meses um núcleo de 40 W m^{-2} as 08 h, o qual pode ser resultado do maior sombreamento proporcionado pelo dossel da vegetação sobre o sensor instalado abaixo do mesmo. Nos demais meses da estação seca o R_g variou entre 20 a 35 W m^{-2} , no período de 09 a 12 h.

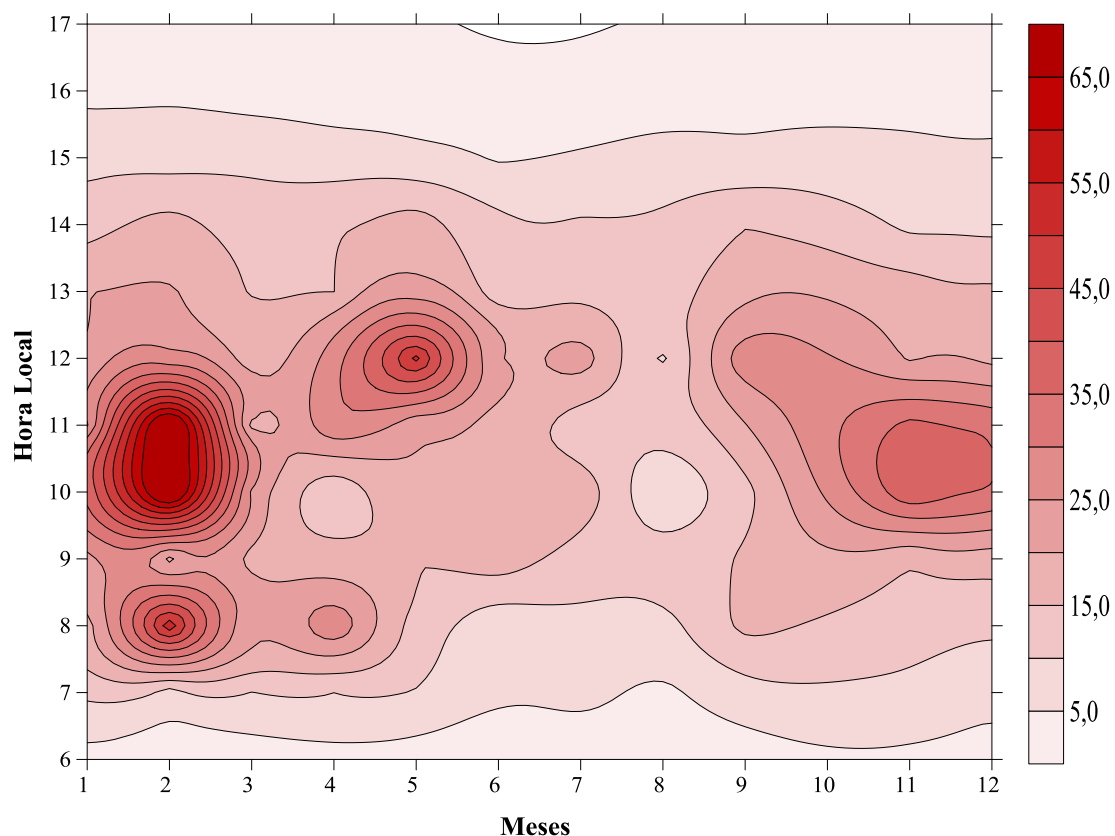


Figura 12. Variação temporal da Radiação Solar Global (R_g) (W m^{-2}) a 2 metros dentro da Mata Atlântica para o ano de 2010.

Durante todo o período estudado as maiores concentrações de R_g localizaram-se entre o intervalo de 10 à 11 h, enquanto que nas primeiras horas da manhã (entre 06 e 07 h) e no final da tarde (entre 15 e 17 h) foram observados os menores R_g (5 W m^{-2}). Como foi abordado anteriormente, estes mínimos ocorrem por causa do ângulo incidente formado ser máximo e, segundo Hardy et al. (2004), o mesmo tem forte influencia na interceptação e transmissão da radiação solar pelo dossel das árvores, o que influencia na atenuação da radiação que atinge o solo.

Ficou constatado que existe uma maior incidência deste na superfície da Mata Atlântica em relação à Floresta Amazônica. Para Hernandez et al. (2004) esta diferença é importante pelo fato do R_g ser um dos fatores que influem no microclima local, sendo que sua atenuação implica diretamente no balanço de energia e, conseqüentemente, nas condições microclimáticas da superfície do solo.

Na Figura 13 pode-se observar o seu ciclo anual e sazonal do FCS, onde o período chuvoso apresenta-se com intensidade maior que no período seco. Segundo Alvalá et al. (2002b), a adição de água (umidade) aumenta a condutividade do solo, pois o revestimento de suas partículas aumenta o contato térmico entre os grãos. Nesta região averiguou-se que os valores máximos localizaram-se entre 11 e 14 h.

A estação chuvosa exibiu ciclo positivo entre 11 e 18 h com amplitude diária de $9,5 \text{ W m}^{-2}$ e máximo de $3,5 \text{ W m}^{-2}$ entre 13 e 14 h. Observa-se ainda, uma redução significativa dos valores positivos do FCS no fim dos meses de junho e julho. Esta redução ocorre em virtude do aumento da precipitação nestes meses, reduzindo assim a incidência de R_g a superfície. Já os fluxos negativos variaram de $-1,5$ a -6 W m^{-2} entre os horários de 03 e 07 h.

A estação seca exibiu uma maior duração dos FCS positivos, pois se estenderam entre 09 e 19 h. Contudo, a sua amplitude (7 W m^{-2}) foi menor do que a observada na estação chuvosa. Já o máximo de 3 W m^{-2} registrados entre 13 e 15 h para o mês de janeiro foi em razão dos maiores registros de R_g constatados entre os meses de janeiro e fevereiro as 10 e 11 h. Assim, notou-se que o mês de fevereiro (mês de transição) registrou o maior FCS de $4,5 \text{ W m}^{-2}$ às 14 h. O período obteve mínimos de -4 W m^{-2} entre os horários de 03 e 07 h, como constatado na estação chuvosa, devido as maiores concentrações de chuva durante todo o ano estudado localizarem-se no início do dia.

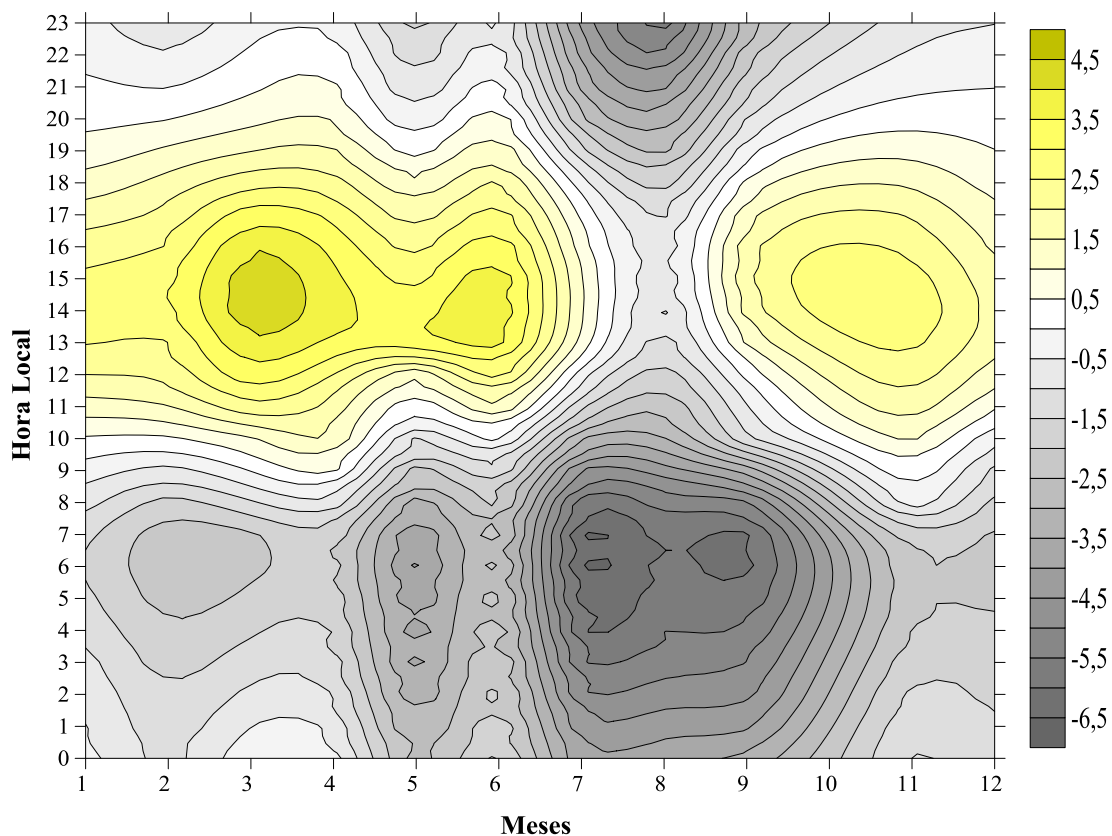


Figura 13. Variação temporal do Fluxo de Calor no Solo (FCS) (W m^{-2}) na Mata Atlântica para o ano de 2010.

É possível observar que o padrão do período chuvoso não é tão linear quanto o do período seco, pois apresenta maior variabilidade causada pela presença variável de água no solo, o que faz com que as médias apresentem uma maior amplitude entre eles. Foi constatada também uma diferença com o FCS da Floresta Amazônica, evidenciando uma menor amplitude térmica e semelhança entre os máximos e mínimos de cada estação. Isso se deve a região amazônica apresentar grande quantidade de chuva e presença de nebulosidade ao longo do ano. No entanto, a região da Mata Atlântica apresenta precipitação concentrada na estação chuvosa, o qual como já abordado anteriormente, melhora a condutividade do solo, enquanto a maior concentração de R_g aumenta esse fluxo na estação seca.

Na Figura 14 constata uma amplitude térmica espacial e temporal de $12\text{ }^\circ\text{C}$ no perfil da TS. Esta maior amplitude térmica em relação à área da Floresta Amazônica está relacionada, possivelmente, à cobertura da copa das árvores não ser tão densa e alta, e apresentando clareiras em seu dossel vegetativo. Isso permite fluxos mais

intensos de transferência de calor radiativo da atmosfera para o solo, como também, a maior perda energia por radiação de onda longa.

Foram registrados nas primeiras horas do dia (02 a 07 h) as menores TS, permanecendo constante da superfície até 10 cm (21 °C), sendo constatado uma redução de 1 °C nas camadas seguintes, acarretando em mínimo de 20 °C (05 e 06 h) na camada de 20 cm. Este mínimo da TS esta associada às maiores precipitações registrada entre 06 e 10 h (83,7 a 97,3 mm) e, conseqüentemente, ao FCS negativo entre 02 e 08 h (-0,5 a -6 W m⁻²).

Seguindo ao inicio do FCS positivo a partir das 09 h a TS começa a demonstrar um aumento térmico em todas as profundidades. Verificou-se entre 12 e 16 h os maiores registros, os quais permaneceram praticamente constante entre 1 e 10 cm de profundidade com valores de 30 °C e com algumas variações no tempo. Nota-se um aumento de 2 °C a partir da camada de 20 cm, o que acarreta o máximo registrado de 32 °C. A 50 cm de profundidade a TS tem uma redução de 2 °C, voltando a temperatura das camadas superficiais. Estes máximos estão associados às maiores incidências de Rg ocorridas entre 10 à 11 h (entre 40 W m⁻² e 65 W m⁻²) durante o período de estudo.

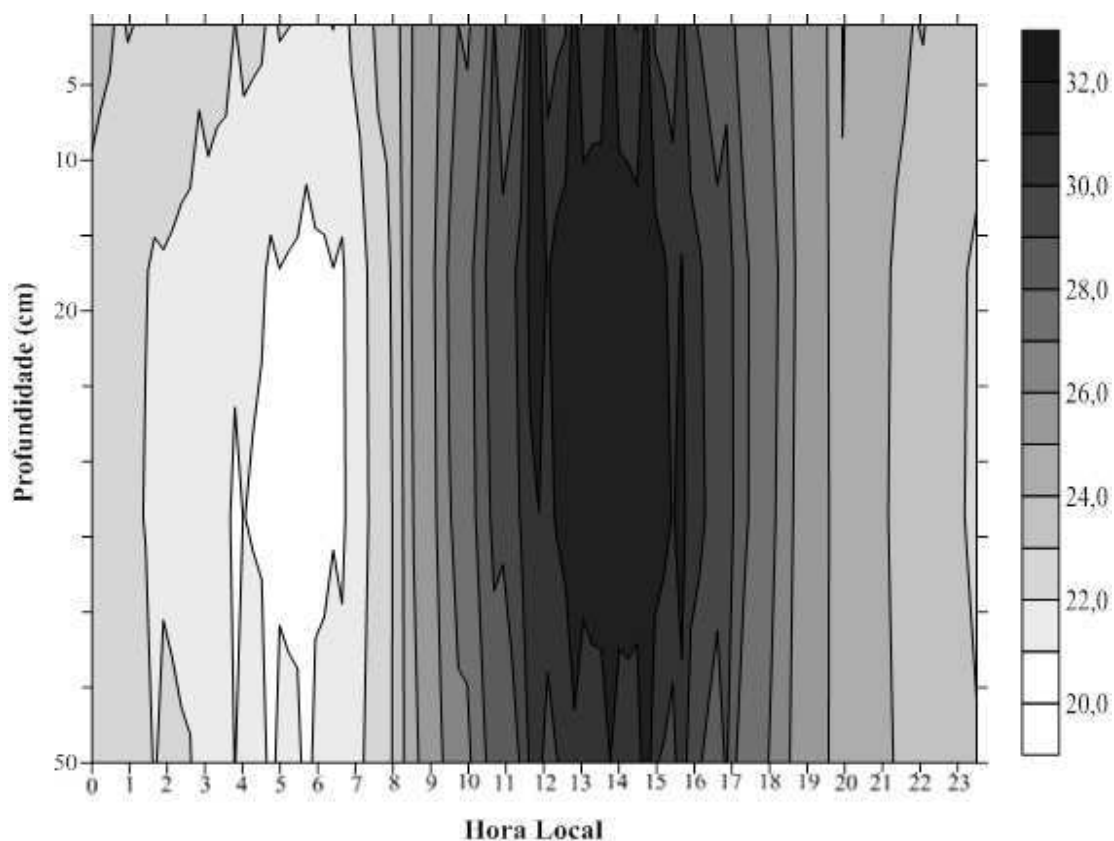


Figura 14. Perfil das médias horárias das temperaturas no solo (TS) (°C) na Mata Atlântica para o ano de 2010.

Verificou-se que a TS apresentou pouca variação entre as profundidades de 1 e 10 cm ao longo do dia, variando apenas no tempo, enquanto isso a partir de 20 cm observam-se núcleos de temperaturas máxima e mínima e maior amplitude térmica diária. Este comportamento térmico está relacionado à característica física do solo da região, que para a camada de 20 cm apresenta maior teor de areia em relação às demais camadas estudadas. De acordo com Andrade et al. (2010), solos arenosos tendem a apresentar maiores amplitudes térmicas diárias. Isso ocorre pelo fato dos solos arenosos terem maior porosidade, havendo um menor contato entre as partículas deste, dificultando assim o processo de condução.

Na estação chuvosa (abril, maio, junho e julho) apresentou uma amplitude térmica do solo de 11 °C (Figura 15). Como abordado anteriormente, essa pequena redução em comparação com a média anual, ocorre em consequência da alta precipitação e maior nebulosidade na região. As menores TS foram registradas entre 02 e 08 h, mas pouca variação com a profundidade. Mesmo assim, o mínimo de 23 °C entre 04 e 06 h na camada de 1 a 10 cm. Também, constatou-se aumento de 0,5 °C para as camadas subsequentes, acarretando no máximo para este período a 50 cm de 24 °C. Estes valores ocorrem em resposta aos maiores registros de FCS negativo da estação chuvosa, serem evidenciados nos horários de 03 e 07 h (-6 W m^{-2}), como também, devido ao alto índice de chuva entre 01 e 04 h, ocasionando assim, um maior resfriamento térmico do solo.

A TS apresenta um aumento em seus valores a partir das 09 h, entretanto, nota-se às 11 h uma redução. Essa redução acontece em razão do pico de precipitação registrado às 10 h (32 mm). Nota-se, ainda, que diferentemente do período matutino, no período da tarde ocorre maior variabilidade da TS entre as camadas superficiais de 27,5 °C a 1 cm e aumento de 0,5 °C nas camadas seguintes. A partir da camada de 20 cm há uma redução dessa variação nessa profundidade registra a maior TS para a estação de 34 °C entre 13 e 15 h. Esse máximo está associado as maiores concentrações de R_g para o período, localizadas 12 h (40 W m^{-2}), e aos maiores registros de FCS positivo constatado entre 13 e 14 h ($3,5 \text{ W m}^{-2}$).

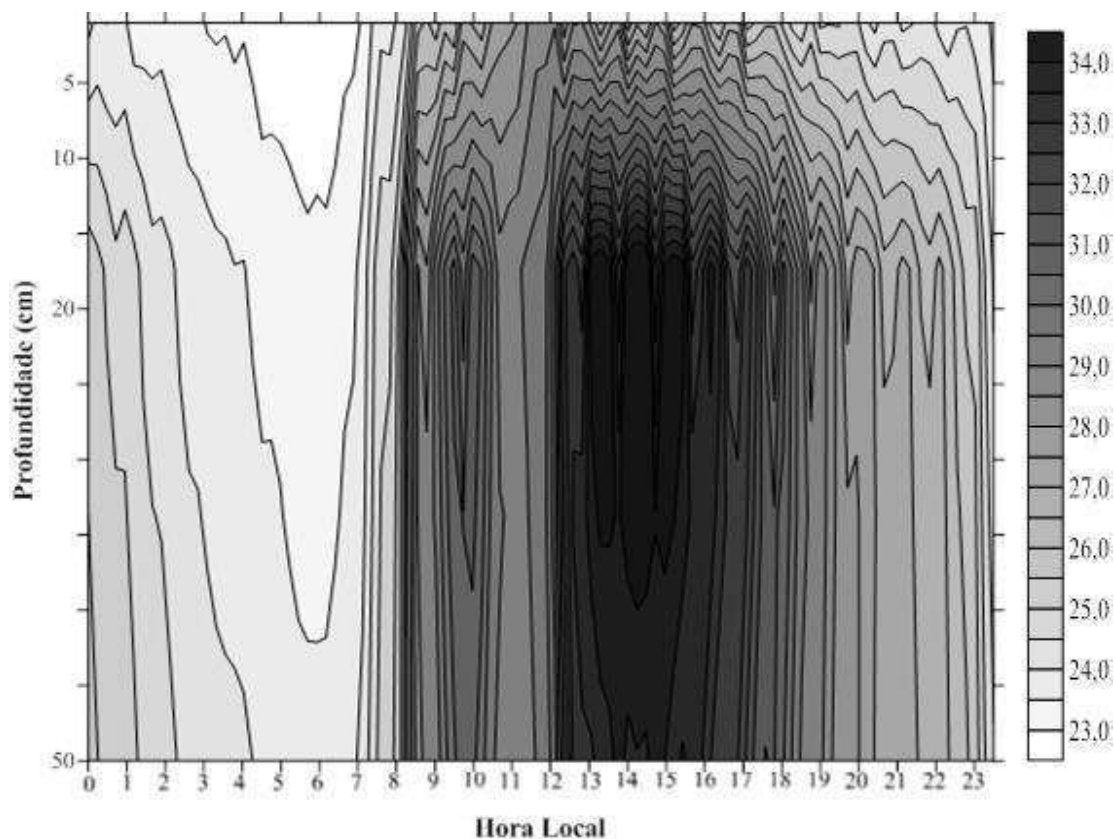


Figura 15. Perfil das médias horárias das temperaturas no solo (TS) ($^{\circ}\text{C}$) no período chuvoso da Mata Atlântica.

Para o quadrimestre seco (outubro, novembro, dezembro e janeiro) foi possível observar amplitude térmica diária de 14°C (Figura 16), a qual foi superior à média anual e do quadrimestre chuvoso. Diferentemente da Floresta Amazônica a Mata Atlântica apresenta distinções na amplitude térmica do solo entre as épocas do ano com oscilações de 3°C . Possivelmente, devido ao fato desta região ter grandes variações da quantidade de água na atmosfera e no solo entre os períodos.

Foi observado ainda que nesse quadrimestre as menores TS (23°C) estiveram localizados entre 02 e 07 h entre 1 e 5 cm de profundidade, mas com variabilidade de $0,5^{\circ}\text{C}$ nas camadas seguintes, distintamente da TS anual e da estação chuvosa, que para o mesmo período e profundidade exibia-se constante. A camada de 20 cm obteve o mínimo verificado do quadrimestre, com média de 22°C às 06 h, estando em consonância aos maiores fluxos de calor do solo para atmosfera encontrados para o mesmo horário (-4 W m^{-2}), com aumento de 1°C para a camada mais profunda (50 cm).

Os maiores registros da TS dessa estação (10 e 17 h) estão em consonância ao aumento do FCS observado entre 09 e 19 h. Verificou-se entre 1 e 5 cm de

profundidade média de 34 °C entre 13 e 14 h com posterior aumento de 1 °C para as profundidades subsequentes, acarretando máximo de 36 °C a 20 cm de profundidade. Esses máximos da TS ocorrem por causa da maior incidência de R_g durante o período localizado entre 09 e 12 h (20 a 65 $W m^{-2}$) e ao maior fluxo para o interior do solo às 14 h (4,5 $W m^{-2}$). Também notou-se uma redução de 1 °C para a camada de 50 cm no período matutino.

Verificou-se que a TS apresentou uma pequena variação nas camadas superficiais durante o dia diferentemente do perfil anual, que foi constante, e do quadrimestre chuvoso, que teve grande variação apenas no período da tarde. Entretanto, nas camadas mais profundas foram semelhante independentemente da época do ano, mas mostrando apenas variação temporal. No quadrimestre seco a 20 cm de profundidade encontrou-se os máximos e mínimos de temperatura de todo o período de estudo, em função de seu maior teor de areia.

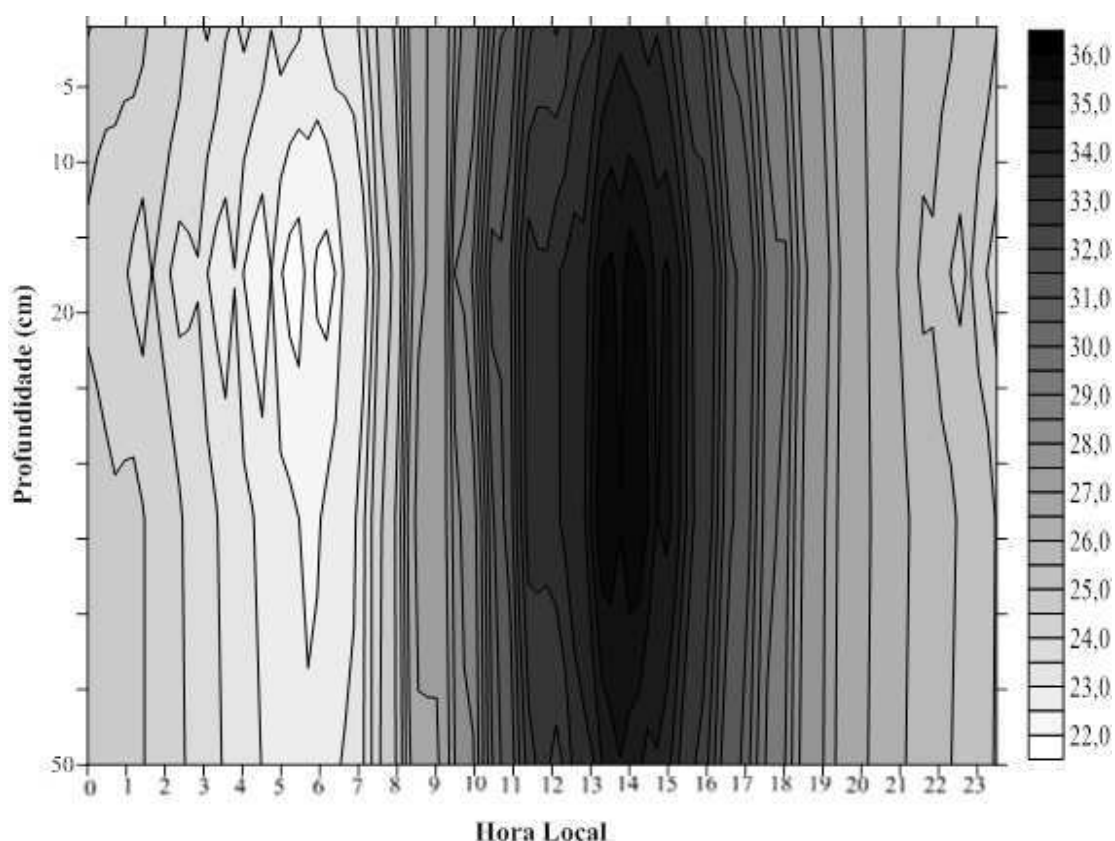


Figura 16. Perfil das médias horárias das temperaturas no solo (TS) (°C) no período seco da Mata Atlântica.

4.3. Aplicação da transformada em ondeletas (TO)

4.3.1. Floresta Amazônica

Nota-se na Figura 17 um sinal do espectro de energia da ondeletas persistente e bastante homogêneo na escala de tempo de 24 horas para todas as profundidades (Figura 17b i, ii e iii), corroborando com o observado na Figura 8, na qual o solo da região apresenta pouca variabilidade no espaço. Também foi possível observar no gráfico do espectro global de ondeletas (GWP) em todas as profundidades (Figura 17c i, ii e iii) um pico intenso de energia associado à oscilação diária, a qual está relacionada aos ganhos e perdas de radiação solar global ao longo do dia.

Verificou-se que esta oscilação de 24 horas demonstra o mesmo valor de energia para todas as profundidades, constatando que para a variação diária o solo se aquece em todas as profundidades simultaneamente. Também, foi possível notar uma redução dos valores da energia a partir do dia juliano (DJ) 75 para a profundidade de 2 cm e nas profundidades subsequentes no DJ 100, voltando a evidenciar um pequeno incremento de energia no DJ 200, que pode ser claramente exposto no índice de variabilidade da TS (Figura 17a i, ii e iii). Essa redução dos valores da energia da ondeletas para esses dias do ano está associada a maior concentração de chuva para esta época na região amazônica, como abordado na Figura 5, o que acarreta uma diminuição da energia radiativa disponível no solo. Pode-se averiguar que a partir do DJ 250 ocorrem as maiores energia da ondeleta para esta oscilação diária. Este padrão de energia ocorre devido a atuação mais acentuada de R_g na região, como observado na Figura 6.

Também existem núcleos do espectro de energia da ondeleta variando de 8 a 16 dias, que também possuem alto grau de persistência e homogeneidade para esta oscilação. O GWP associado a esta periodicidade assim como o observado na oscilação diária apresenta um pico intenso de energia.

Percebe-se que diferentemente da oscilação na escala de 24 horas, essa oscilação demonstrou uma diferença entre seus valores e as profundidades estudadas. Constata-se que a camada de 2 cm obteve as maiores concentrações de energia, havendo uma leve redução entre as camadas de 20 e 50 cm. É possível observar que esta redução é mais evidente no início do ano entre os DJ 50 e 100, que pode estar relacionado ao menor fluxo de calor do solo para este período, como demonstrado na Figura 7.

Esta oscilação (8 a 16 dias) está relacionada com a água depositada sobre o solo, que é resultante de um período de precipitação anterior aos núcleos de energia observados, pois após o processo evaporativo o solo tende a ter um aumento térmico significativo. De acordo com Perreira (2007) e Cai et al. (2009), a fonte energética do processo evaporativo é a radiação solar global e com o aumento de sua intensidade, que é recebida pela superfície, produz uma modificação da energia cinética das moléculas de água e, conseqüentemente, após a evaporação desta a energia radiativa disponível gera um aumento da TS.

Existe também, uma oscilação variando entre 2 e 4 dias, que tem seus núcleos definidos como a oscilação de 8 a 16 dias e que também está relacionado a quantidade de água no solo. Porém, essa periodicidade difere da acima citada com o GWP associado, apresentando pouca energia, pois esta variação ocorre apenas entre os DJ 1 a 90 e 300 a 365.

Detectou-se também um pico de energia da TS para a periodicidade de 32 a 64 dias, onde foi possível perceber um maior sinal a 2 cm de profundidade e sinal semelhante entre 20 e 50 cm. Entretanto, essa periodicidade só ocorre entre os DJ 125 a 250, pois os picos encontrados no início e final do ano estão fora do cone de influência (COI) do periodograma (curva vermelha em forma de U) nas Figuras 17 b i, ii e iii. Os períodos fora desse cone não devem ser considerados, pois não possuem confiança estatística. As regiões exteriores a essa curva abrangem os efeitos de borda (fronteiras de contorno) da série, os quais são responsáveis por efeitos indesejáveis. Portanto, somente os espectros contidos na região interior ao COI são de interesse (Bolzan, 2004b; 2006 e Silva et al., 2009). Assim, este máximo de energia pode estar associado a um evento isolado.

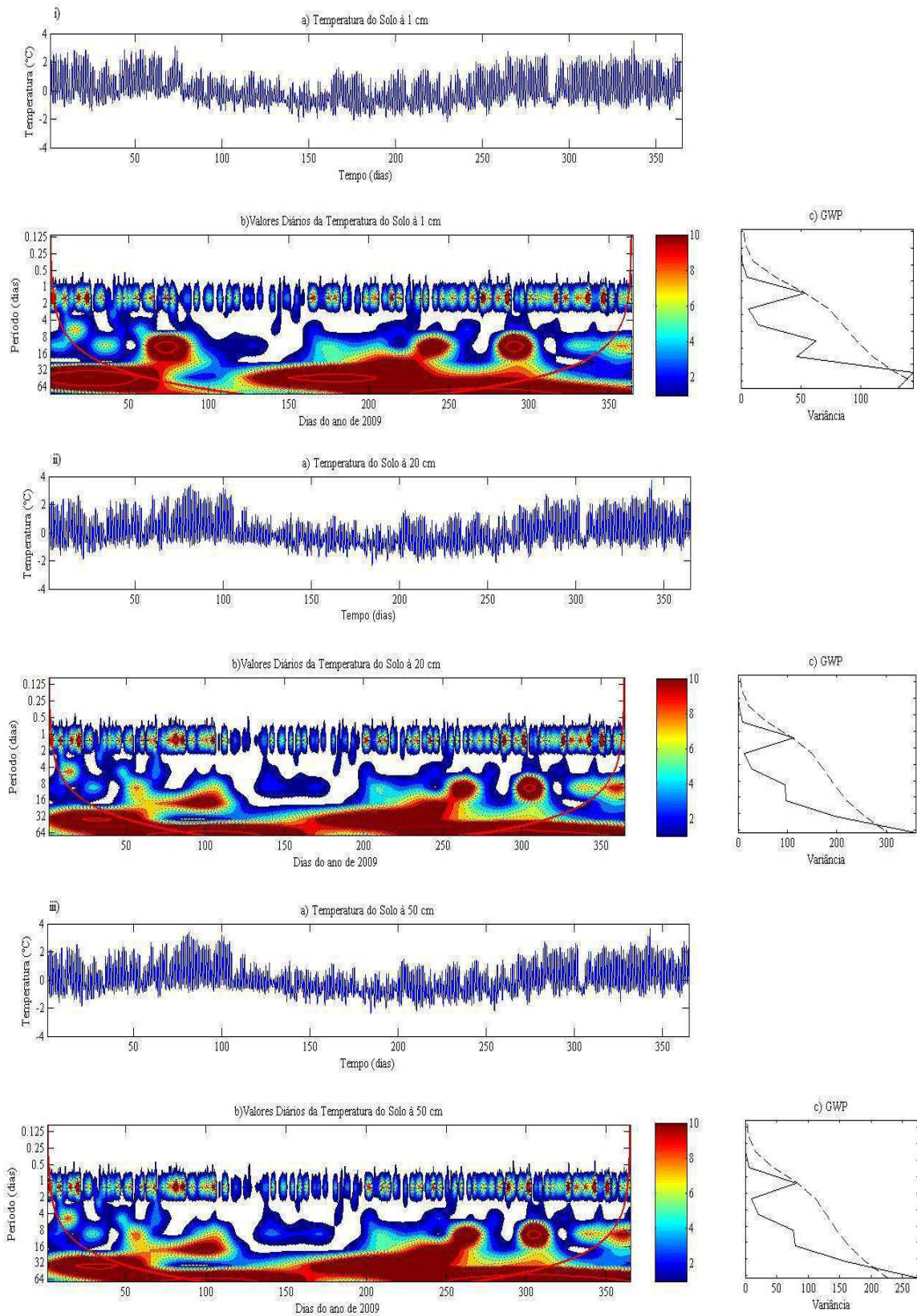


Figura 17. Índice de variabilidade da TS nas profundidades de 2 cm (i), 20 cm (ii) e 50 cm (iii) (a), Espectro de energia da ondeleta (EPW) (b) e Espectro global de ondeleta (GWP), para a mesma variável e profundidades (c) na Floresta Amazônica.

Analisando-se as oscilações da precipitação através da transformada em ondeletas para região (Figura 18) pode-se observar picos esparsos e intermitentes e com estruturas cônicas, que segundo Ferreira (2009), é típica para precipitação. Entretanto, estes “cones” são observados em quase todo o ano de estudo em função da alta pluviosidade da Floresta Amazônica. Observa-se ainda, que esses “cones” estão mais concentrados entre o DJ 1 a 150, mostrando um aumento do sinal da ondeleta a partir do DJ 45 (Figura 18b). Esse resultado ratifica o fato que a redução dos valores da energia da ondeletas na oscilação diária da TS, como demonstrado na Figura 17b i, ii e iii, deve-se ao aumento desses valores para precipitação. Constatou-se também, que a partir do DJ 200 o espectro de energia da ondeleta começou a exibir seus menores valores e os menores índices de variabilidade (Figura 18a), vindo a comprovar que a partir dessa data evidenciaram-se os maiores valores de energia para a periodicidade da TS na região.

Foi verificado no espectro de energia de ondeletas para a precipitação núcleos variando na escala de 8 a 16 dias com o GWP associado apresentando a sua mais elevada energia (Figura 18c). Os núcleos ocorrem entre os DJ 30 e 40 (30 de janeiro a 9 de fevereiro), 120 e 135 (30 de abril a 15 de maio) e de 280 a 300 (7 a 27 de outubro). Isso confirma que as maiores energia de precipitação antecederam os núcleos de maior energia da TS para essa oscilação registrada entre os DJ 70 e 105 (11 de março a 15 de abril), 145 e 175 (25 de maio a 24 de junho) e 300 e 310 (27 de outubro a 6 de novembro). Foi possível confirmar também, que a oscilação da TS de 2 e 4 dias tem seus máximos de energia correlacionados ao período subsequente à evaporação da água existente no solo, já que essa oscilação ocorre apenas nos dias com maiores “cones” de energias da precipitação, que são entre os DJ 1 a 90 e 300 a 365.

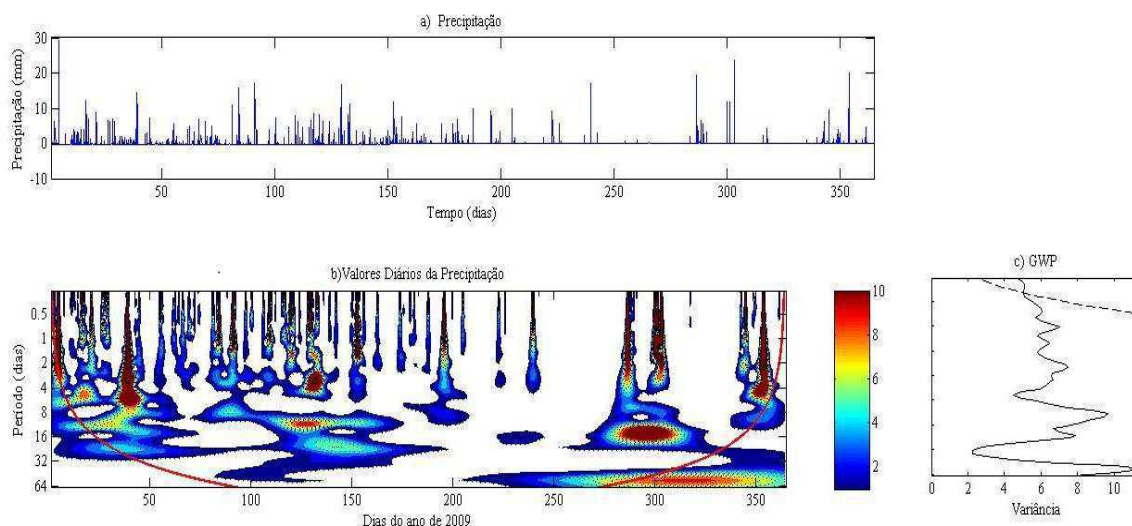


Figura 18. Índice de variabilidade da precipitação (a), Espectro de energia da ondeleta (EPW) (b) e Espectro global de ondeleta (GWP) (c) na Floresta Amazônica.

Conferindo as periodicidades da radiação solar global através da TO da Floresta Amazônica na Figura 19, pode-se comprovar que ela apresenta a mesma variabilidade do sinal do espectro (Figura 19a) em relação a TS (Figura 17a), com ambas se apresentando inversamente proporcionais ao periodograma da precipitação (Figura 18a).

Foi possível observar que um forte e homogêneo sinal do espectro de energia da ondeletas na escala de tempo de 24 horas (Figura 19b), com o GWP exibindo maior intensidade de todas as oscilações estudadas (Figura 19c). Nota-se que há uma redução deste sinal para os primeiros dias do ano, mas com maior diminuição a partir do DJ 55 e entre 125 e 170, e aumentando e permanecendo com sinal constante a partir do DJ 200 e, em seguida, com nova redução entre os DJ 340 a 355.

Essa variabilidade na escala diária do Rg confirma que essa é atenuada nos mesmos dias em que a precipitação apresentou seus maiores sinais (Figura 18b) ao mesmo tempo em que a periodicidade na escala diária da TS (Figura 17b i, ii e iii) encontra-se em fase com as oscilações da precipitação e Rg. Como analisado para o espectro de energia de ondeletas da precipitação e TS, a TO para Rg na região amazônica também apresentou núcleos variando na escala de 8 a 16 dias, porém, o GWP associado apresentou pouca elevação na energia. Os núcleos localizaram-se entre os DJ 50 e 105 (19 de fevereiro a 15 de abril), 140 e 200 (20 de maio a 19 de julho), 250 e 270 (7 a 27 de setembro) e 290 e 320 (17 de outubro a 16 de novembro). Isso atesta, que estes núcleos de energia ocorrem em dias subsequentes aos da precipitação, o que

ocasiona assim uma maior evaporação e, conseqüentemente, um núcleo de energia da TS.

A existência de uma oscilação variando entre 2 e 4 dias tem seus núcleos concentrados no início e fim do ano de estudo, que corrobora que a variabilidade da TS neste intervalo de tempo, como a oscilação de 8 a 16 dias, deve-se a evaporação da água existente no solo com o aumento do R_g .

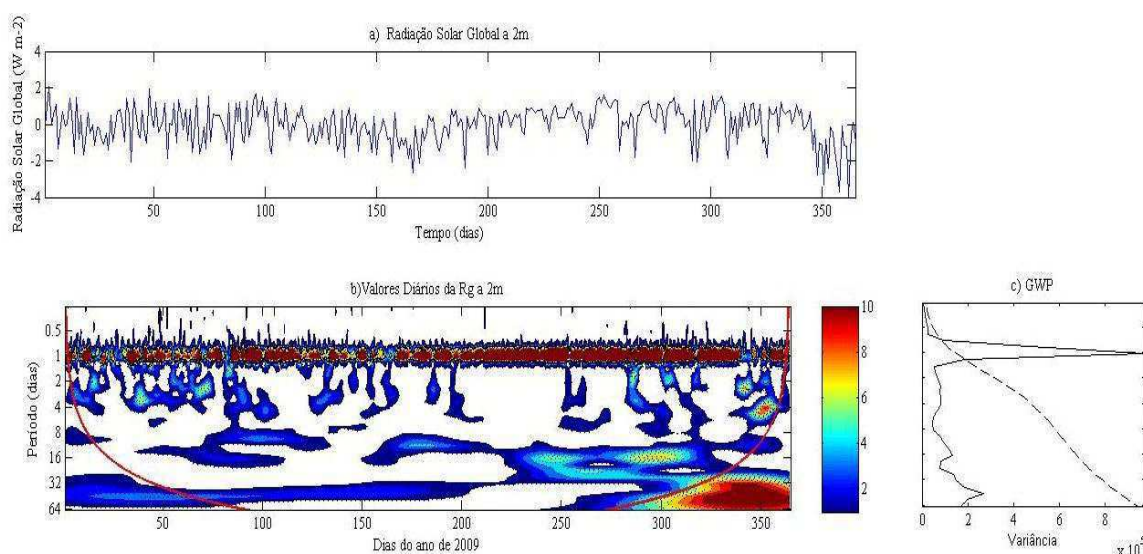


Figura 19. Índice de variabilidade da radiação solar global (a), Espectro de energia da ondeleta (EPW) (b) e Espectro global de ondeleta (GWP) (c) acima do dossel da Floresta Amazônica.

4.3.2. Mata Atlântica

Foi possível identificar na Figura 20 o sinal na escala de tempo de 24 horas do espectro de energia com bastante homogeneidade, como observado na região amazônica em todas as profundidades estudadas (Figuras 20b i, ii e iii). O GWP exibe um pico intenso de energia associado a essa periodicidade (Figura 20c i, ii, iii). Contudo, para a profundidade de 1 cm (Figura 20c i) este máximo de energia é mais acentuado do que as demais profundidades, em virtude dessa oscilação se dar pelos ganhos e perdas de energia solar e proporcionar maior variação nas trocas de energia.

Assim como na região da amazonia a TS demonstra um aquecimento no mesmo período em todas as profundidades, porém, como constatado na GWP, a camada de 1 cm

apresenta maiores valores do espectro de energia da ondeleta (Figuras 20b i, ii e iii). Essa diferença pode estar relacionada a não homogeneidade do solo da região como foi observado na Figura 14. Foi observado ainda, uma redução da energia a partir do DJ 150 na profundidade de 1 cm e, nas camadas de 20 e 50 cm a partir do DJ 175. Em seguida, foi evidenciado aumento desses valores também, em datas diferentes para cada profundidade nos DJ 250 para 1 cm, 260 para 20 cm e 270 para 50cm (Figura 20a i, ii, iii). Como mencionado na Figura 11 trata-se do período chuvoso da região, o que acarreta na redução da energia das ondeletas. Já a defasagem entre as camadas pode está associada ao baixo FCS para este período do ano, como observado na Figura 13.

É possível constatar ainda que no DJ 300, a TS apresenta maiores energia da ondeleta para a oscilação diária. Isso corrobora que esses máximos ocorrem no período seco de cada região e, por conseguinte, maior Rg, a qual foi analisado na Figura 12. Também verificou-se núcleo do espectro de energia da ondeletas variando de 4 a 16 dias, possuindo alto grau de persistência e homogeneidade para esta oscilação e com o GWP associado apresentando energia elevada, como observado nas Figuras 20b e c i, ii e iii. Diferentemente do que foi analisado na periodicidade da escala diária, esta oscilação demonstrou que a camada de 1 cm apresenta menores concentrações de energia e aumento significativo nas camadas de 20 e 50 cm. Foi possível examinar que essa redução é mais evidente entre os DJ 130 a 250, o que pode estar relacionado a quantidade água no solo nesse período do ano, reduzindo, assim, os valores de energia para a camada mais superficial.

A variabilidade (4 a 16 dias), como discutida para a região amazônica, é resultante de um período posterior a evaporação da água existente no solo e da chuva antecedente a estas maiores taxas de energia. Este fato a diferencia da oscilação amazônica no intervalo da variabilidade, pois a região da Mata Atlântica apresenta menor quantidade de chuva, o que faz com que esses máximos de energia ocorram de forma mais espaçada. Detectou-se também uma oscilação variando entre 32 e 64 dias que tem seus núcleos definidos e está relacionada à quantidade de água no solo, assim como a oscilação de 4 a 16 dias. Contudo, esta apresenta GWP associado com pouca energia na camada de 1 cm e aumento nas camadas seguintes. Entretanto, essa periodicidade ocorre entre os DJ 50 a 120 e 200 a 250 nas profundidades de 20 e 50 cm, com forte espectro de energia da ondeleta registrado. Enquanto isso, a 1 cm de profundidade essa oscilação apresenta núcleo menos intensos no DJ 100, entre 150 e 200 e 230.

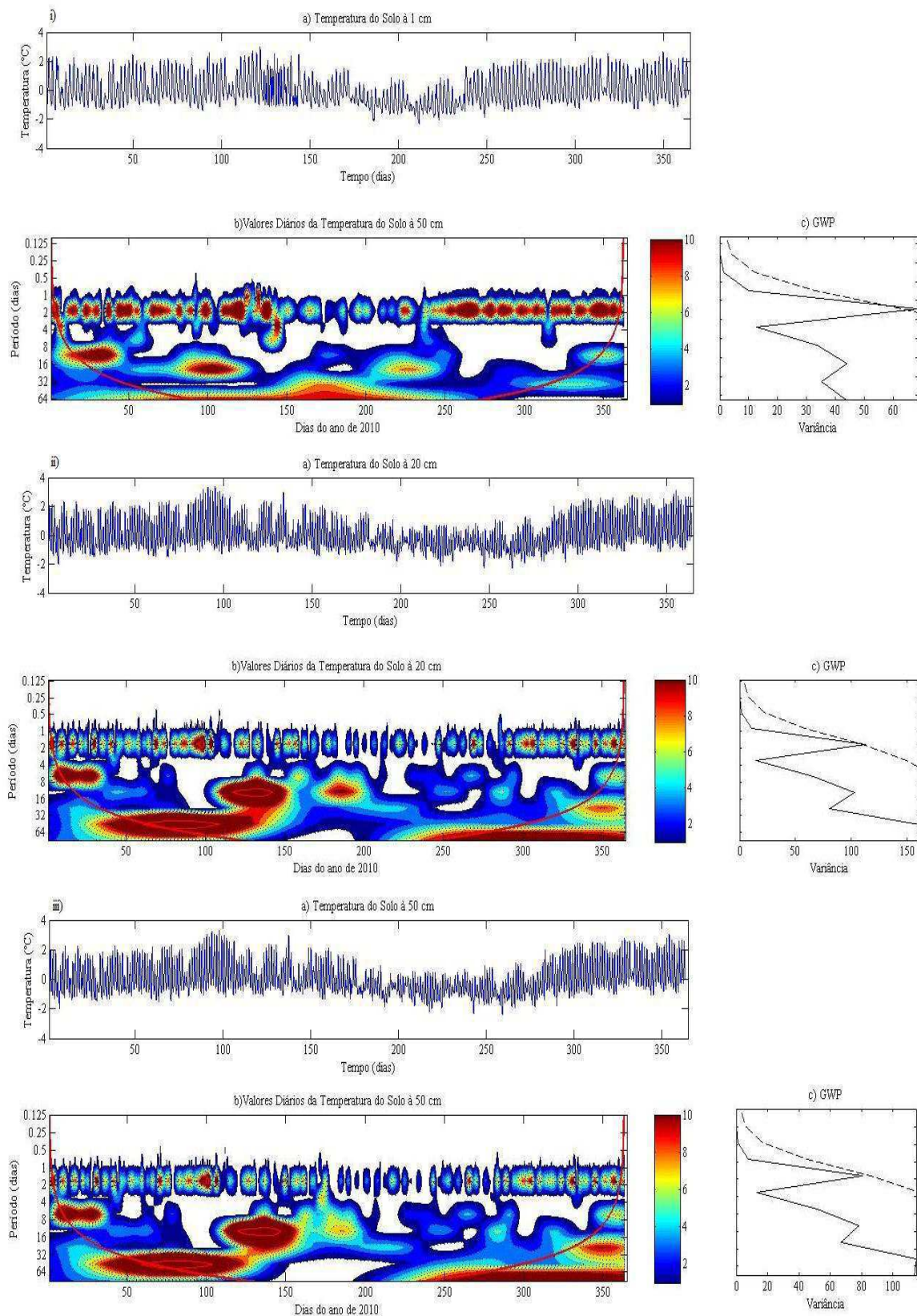


Figura 20. Índice de variabilidade da TS nas profundidades de 1 cm (i), 20 cm (ii) e 50 cm (iii) (a), Espectro de energia da ondeleta (EPW) (b) e Espectro global de ondeleta (GWP), para a mesma variável e profundidades (c) na Mata Atlântica.

Da mesma forma que foi constatado na Floresta Amazônica, a variabilidade da precipitação calculada através da TO na Mata Atlântica também apresenta estruturas cônicas características dessa variável (Figura 21). Porém, diferente da região acima citada, ocorreram picos concentrados apenas em um período do ano, entre os DJ 50 e 200, pelo fato da Mata Atlântica não apresentar chuvas durante todo ano, como foi demonstrado para esse ano de estudo na Figura 11.

Verificou-se que o maior sinal da ondeleta para a precipitação esteve localizado entre os DJ 50 a 200 (Figura 21b), acarretando a redução da energia da ondeleta no ciclo diário da TS, mostrado na Figura 20b i, ii e iii. Do DJ 200 até 365 e entre o DJ 1 até 50 o espectro de energia da ondeleta tem não só valores quase nulos, como também índices de variabilidade (Figura 21a), o que prova que neste período a TS tem seus maiores valores de energia para esta periodicidade.

Notou-se também que a precipitação exibiu núcleo do espectro de energia da ondeleta variando de 4 a 16 dias, para essa variabilidade o GWP exibe os seus mais elevados valores (Figura 21c). Esses núcleos antecederam os máximos da oscilação para a TS, os quais localizaram-se entre os DJ 30 e 40 (30 de janeiro a 9 de fevereiro), 75 e 100 (16 de março a 10 de abril) e 130 a 180 (10 de maio a 9 de julho). Enquanto isso, núcleos da TS foram registrados entre os DJ 50 e 70 (19 de fevereiro a 11 de março), 110 e 150 (20 de abril a 30 de maio) e 190 a 230 (9 de julho a 18 de agosto). Isso confirma também, que a periodicidade da TS de 32 a 64 dias está correlacionada com a evaporação, cuja oscilação ocorre após núcleos de energia, mas com núcleos de precipitação ocorrendo entre os DJ 40 a 50 e 130 a 200.

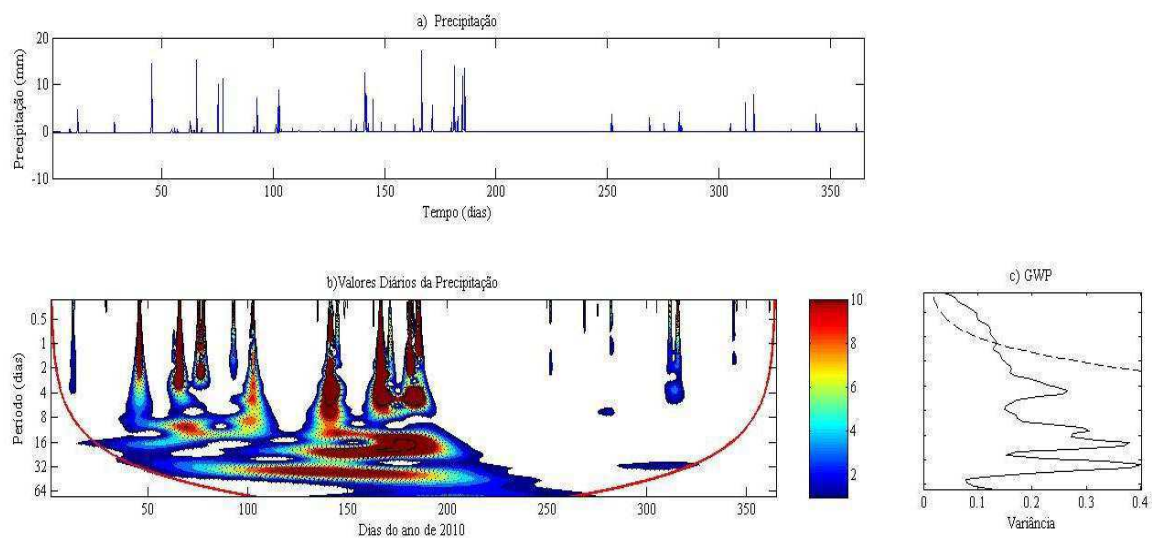


Figura 21. Índice de variabilidade da precipitação (a), Espectro de energia da ondeleta (EPW) (b) e Espectro global de ondeleta (GWP) (c) na Mata Atlântica.

A periodicidade através da TO para a radiação solar global na Mata Atlântica (Figura 22) se encontra em fase com a variabilidade do espectro da TS (Figura 22a) tal como para a região amazônica e, pode-se ainda atestar, que ambas são inversamente proporcional ao periodograma da precipitação, como demonstrado na Figura 21a. Constatou-se a existência do mesmo sinal homogêneo e persistente da Floresta Amazônica para a região da Mata Atlântica do espectro de energia da ondeletas na escala de tempo de 24 horas (Figura 22b), onde observa-se a maior intensidade GWP para o Rg (Figura 22c). Para essa região se verificou-se uma redução no sinal a partir do DJ 150 e, voltando a apresentar uma elevação a partir do DJ 300. Isso demonstra que a oscilação diária do Rg é influenciada diretamente pela precipitação, como abordado anteriormente, onde apresenta redução com os máximos da outra. Do mesmo modo que esta periodicidade influencia diretamente nas oscilações da TS nesta escala temporal (Figura 20b i, ii e iii). Entretanto as menores energias da periodicidade diária de Rg ocorreram entre os DJ 200 e 250, período em que a precipitação também é mínima. Esse mínimo pode está associado ao maior ângulo de inclinação dos raios solares nessa época do ano na região, como também, ao dossel vegetativo.

O espectro de energia de ondeletas do Rg apresentou núcleos variando na escala de 4 a 16 dias, com a GWP associada exibindo pouca elevação em sua energia. Esses núcleos aconteceram entre os DJ 40 e 70 (9 de fevereiro a 11 de março), 90 e 150 (31 de

março a 30 de maio) e 190 e 230 (9 de julho a 18 de agosto). Isso comprova o que foi abordado anteriormente, cujos máximos de R_g ocasionam maior evaporação e, conseqüentemente, máximos da TS, que ocorrem após os maiores núcleos da precipitação.

Há ainda uma periodicidade mais fraca na escala de 32 a 64 dias com picos de energia encontrados entre os DJ 50 e 130 e 150 a 250. Em virtude desses núcleos acontecerem posteriormente aos núcleos da precipitação, corrobora que este evapora a água existente no solo formando assim, este periodograma da TS.

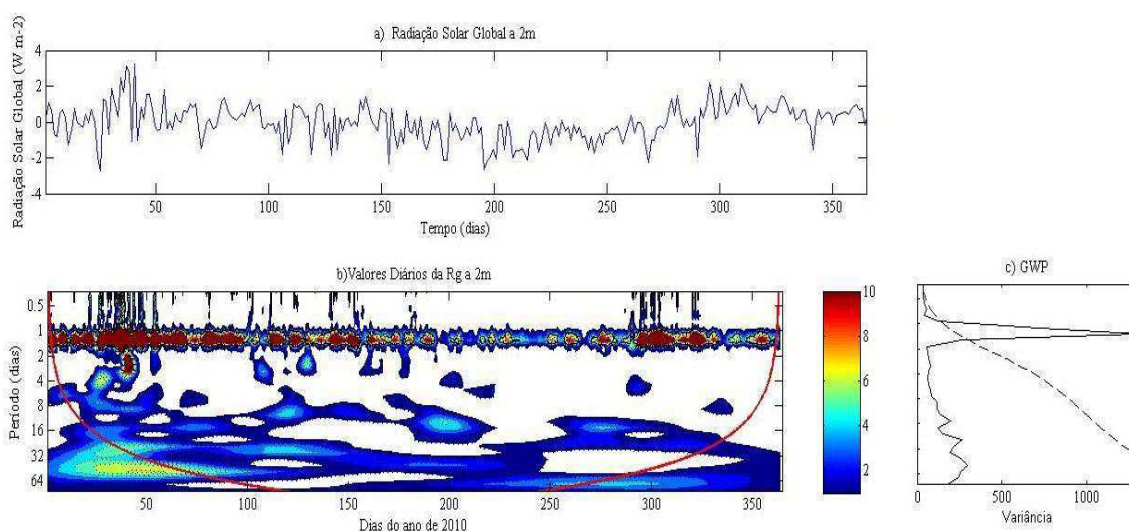


Figura 22. Índice de variabilidade da radiação solar global (a), Espectro de energia da ondeleta (EPW) (b) e Espectro global de ondeleta (GWP) (c) a 2 metros dentro da Mata Atlântica.

5. Conclusões

Levando-se em consideração o que foi apresentado neste trabalho na seção de Resultados e Discussão conclui-se o seguinte:

- A temperatura do solo tem padrões bastante distintos entre os biomas estudados. Na Floresta Amazônica a TS, em qualquer época do ano, tem baixa amplitude térmica (abaixo de 5 °C) temporal e espacial. Já na Mata Atlântica a TS possui amplitude térmica elevada (acima de 10 °C).
- Na Floresta Amazônica a TS tem comportamento semelhante em qualquer estação do ano, tendo grande variabilidade da superfície a 20 cm. Enquanto a 50 cm permanece constante ao longo do ano. Com as maiores amplitude localizadas a 2 cm de profundidade.
- Os perfis da TS na Mata Atlântica são distintos entre as épocas seca e chuvosa e, com maior variabilidade entre as camadas superficiais e dependência da época do ano. Enquanto isso, a camada mais profunda apresenta variações apenas temporais. Essa demonstrou também, maior amplitude para a camada de 20 cm.
- O cálculo da transformada em ondas (TO) apresentou que a variabilidade da TS nas regiões florestais é definida por multi-escalas temporais.
- Na Floresta Amazônica a TO tem periodicidades na escala de 24 horas e de 8 a 16 dias com alto grau de persistência, homogeneidade e energia elevada para estas oscilações, Onde ficou constatada a grande influência da precipitação e do Rg;
- Foi também comprovada uma oscilação de 2 e 4 dias para a região amazônica, mas com menor intensidade e pouca homogeneidade, como também um evento isolado de Rg com núcleo isolado de energia para a periodicidade de 32 a 64;
- A Mata Atlântica a TO tem oscilações com alto grau de persistência, homogeneidade e energia elevada nas escalas diárias e de 4 a 16 dias, os quais estavam em fase com os ciclos da precipitação e do Rg;

- Uma periodicidade bem definida na escala de 32 e 64, porém, mostrando pouca energia na camada de 1 cm e um aumento significativo nas camadas seguintes.

6. Referências Bibliográficas

- Ab´Sáber, A. N. **Os domínios da natureza no Brasil: potencialidades paisagísticas**. 1ª Edição. São Paulo; Ateliê, 160p, 2003.
- Alvalá, R. C. S., Gielow, R., Arlino, P. R. A., Manzi, A. O. M.; Souza, A. Medidas das propriedades térmicas do solo no Pantanal Sul Matogrossense durante o período seco de 2002. INPE/CPTEC, 2002a.
- Alvalá, R. C. S.; Gielow, R.; Rocha, H. R.; Freitas, H. C.; Lopes, J. M.; Manzi, A. O.; Randow, C. Von; Dias, M. A. F. S. ; Cabral, O. M. R.; Waterloo, M. J. Intradiurnal and seasonal variability of soil temperature, heat flux, soil moisture content, and thermal properties under forest and pasture in Rondônia. **Journal of Geophysical Research - Atmospheres**, v. 107, n. 20, p. 10-1-10-20, 2002b.
- Andrade, A. M. D. Radiação solar global e fotossinteticamente ativa (par) acima e abaixo do dossel de floresta de mata atlântica no estado de alagoas. Maceió: UFAL, 2011. 73p. Dissertação de Mestrado.
- Andrade, J. A. V.; Abreu, F. M. G.; Madeira, M. A. V. Influence of litter layer removal on the soil thermal regime of a pine forest in a mediterranean climate. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**. v. 34, p. 1481 – 1490. 2010.
- Andreae, M. O.; Artaxo, P.; Brandão, C.; Carswell, F. E.; Ciccioli, P.; da Costa, A. L.; Culf, A. D.; Esteves, J. L.; Gash, J. H. C.; Grace, J.; Kabat, P.; Lelieveld, J.; Malhi, Y.; Manzi, A. O.; Meixner, F. X.; Nobre, A. D.; Nobre, C.; Ruivo, M. d. L. P.; Silva-Dias, M. A.; Stefani, P.; Valentini, R.; von Jouanne, J.; Waterloo, M. J. Biogeochemical cycling of carbon, water, energy, traces gases, and aerosols in Amazonia: The LBA-EUSTACH experiments. **Journal of Geophysical Research**, v. 107, n. 20. 2002.
- Andreoli, R. V., Kayano, M. T., Guedes, R. L., Oyama, M. D., Alves, M. A. S. A influência da temperatura da superfície do mar dos Oceanos Pacífico e Atlântico na variabilidade de precipitação em Fortaleza, **Revista Brasileira de Meteorologia**, v.19, n.3, p. 337-344. 2004.
- Antonino, A. C. D., Lira, C. A. B. O., Dall’olio, A., Audry, P., Pinto, A. X. M. Influência do Posicionamento de Sondas Térmicas na Determinação da Difusividade Térmica e do Fluxo de Calor no Solo em Condições de Campo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 21, p. 165-172. 1997.

- Araújo, A. C.; Nobre, A. D.; Kruijt, B.; Elbers, J. A.; Dallarosa, R.; Stefani, P.; von Randow, C.; Manzi, A. O.; Culf, A. D.; Gash, J. H. C.; Valentini, R.; Kabat, P. Comparative measure of carbon dioxide fluxes from two nearby towers in a central Amazonian rainforest: The Manaus LBA site. **Journal of Geophysical Research**, v. 107, p. 1 – 19. 2002.
- Artaxo, P.; Silva Dias, M. A. F.; Nuvens de fumaça das queimadas alteram o clima da Floresta Amazônica. **Revista FAPESP**. v. 88, p. 30 – 25. 2003.
- Balthazar, J. M.; Silva, G. N.; Tsuchida, M.; Boaventura, M.; Goes, L. S.; Silva, J. D. S. Algumas aplicações wavelet na análise de sinais atmosféricos. II Congresso Temático de aplicações de Dinâmica e controle da Sociedade de Matemática Aplicada e Computacional (SBMAC). São José dos Campos, SP. v. 2. 2003.
- Barbosa, E. B. M.; Rosa, M. M.; Vijaykumar, N. L.; Bolzan, M. J. A.; Tomasella, J. Caracterização por Ondeletas de Processos Físicos Não-Lineares na Micro-bacia Amazônica, INPE, São José dos Campos. 2004.
- Bekku, Y. S.; Nakatsubo, T.; Kume, A.; Adashi, M.; Koizumi, H. Effect of warming on the temperature dependence of soil respiration rate in arctic, temperate and tropical soils. **Applied Soil Ecology**, Belfield, v. 22, n. 3, p. 205 – 210. 2003.
- Bergamaschi, H.; Guadagnin, M. R. Modelos de ajuste para médias de temperatura do solo, em diferentes profundidades. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**. v.1, n 1, p. 95 – 99. 1993.
- Bolzan, M. J. A. Análise da transformada em ondeletas aplicada em sinal geofísico. **Revista Brasileira de Ensino de Física**. V. 26, n. 01, p. 37 – 41. 2004a.
- Bolzan, M. J. A. Análise da transformada em ondeletas aplicada em sinal geofísico. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, v. 26, n. 1, p. 37 – 41. 2004b.
- Bolzan, M. J. A. Transformada em ondeleta: Uma necessidade. **Revista Brasileira de Ensino de Física**. V. 28, n. 04, p. 563 – 567. 2006.
- Burghouts, T. B. A.; Campbell, E. J. F.; Koderman, P. J. Effects of tree species heterogeneity of leaf fall in primary and logged dipterocarp forest in the Ulu Segana Forest Reserv, Sabah, Malasia. **Journal of Tropical Ecology**. v. 10, p. 1 – 26. 1994.
- Cai, J. B.; Liu, Y.; Xu, D.; Paredes, P.; Pereira, L. S. . Simulation of the soil water balance of wheat using daily weather forecast messages to estimate the reference evapotranspiration. **Hydrology and Earth System Sciences**, v. 13, p. 1045 – 1059. 2009.

- Câmara, I. G. Brief history of conservation in the Atlantic forest. In: C. Galindo-Leal & I.G. Câmara (eds.). *The Atlantic Forest of South America: biodiversity status, threats, and outlook*. **Center for Applied Biodiversity Science e Island Press**. Washington. D.C. p. 31 – 42. 2003.
- Chellali, F.; Khellaf, A.; Belouchrani, A. Wavelet spectral analysis of the temperature and wind speed data at Adrar, Algeria. **Renewable Energy**. V. 35, p. 1214 – 1219. 2010.
- Collineau, S. & Brunet, Y. Detection of Turbulent Coherent Motions in a Forest Canopy – Part I: Wavelet Analysis. **Boundary-Layer Meteorology**. v. 65, p. 375 – 379. 1993.
- Correia, F. W. S.; Antonio Ocimar Manzi, A. O.; Luiz Antonio Cândido, L. A.; dos Santos, R. M. N.; Pauliquevis, T. Balanço de umidade na Amazônia e sua sensibilidade às mudanças na cobertura vegetal. **Ciência e Cultura**. v. 59, n. 03, p. 39 – 43. 2007.
- Davidson, E. A.; Artaxo, P. Globally significant changes in biological processes of the Amazon Basin: Results of the Large-scale Biosphere-Atmosphere Experiment. **Global Change Biology** v. 10, p. 1 – 11. 2004.
- Dias, M. A. F. S., Regnier, P. Simulation of mesoscale circulations in a deforested area of Rondônia in the dry season. In: Gash, J. H. C., Nobre, C. A., Roberts, J. M., Victoria, R. L. (Eds.) **Amazonian Deforestation and Climate**. New York: J. M. Wiley and Sons, p. 531 – 547. 1996.
- Dias, H. C. T.; Oliveira Filho, A. T. Variação temporal e espacial da produção de liteira em uma área de Floresta Estacional Semidecídua Montana em Lavras-MG. **Revista Árvore**, v. 21, n. 1, p. 11 – 26. 1997.
- EMBRAPA (Empresa Brasileira de Pecuária e Agricultura). 2000.
- Fang, C.; Moncrieff, J. B. The dependence of soil CO₂ efflux on temperature soil. **Biology & Biochemistry**, Oxford. v. 33, n. 2, p. 155 – 165. 2001.
- Farge, M.: Wavelet transforms and their applications to turbulence. **Annual Review of Fluid Mechanics**. v. 24, p. 395 – 457. 1992.
- Fedorova, N. Meteorologia Sinótica. 1ª ed. Pelotas, RS, Editora Gráfica Universitária. 2001, 242p.
- Ferraz, J; Ohta, S; Salles, P.C. Distribuição dos solos ao longo de dois transectos em floresta primária ao Norte de Manaus (AM). In: Higuchi, N.; Campos, M. A. A.; Sampaio, P. T. B.; Santos, J. (Eds). *Pesquisas Florestais para a Conservação da*

- Floresta e Reabilitação de Áreas Degradadas da Amazônia. Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia. Manaus, Amazonas. p. 110 – 143. 1998.
- Ferreira da Costa, R.; Feitosa, J. R. P.; Fisch, G.; Souza, S.; Nobre, C. A.; Variabilidade diária da precipitação em regiões de floresta e pastagem na Amazônia. **Acta Amazônica**, v. 28, n. 04, p. 395 – 408. 1998.
- Ferreira, A. D. Detecção das interações do sistema brisa marinha/terrestre com sistemas sinóticos na costa leste de Alagoas utilizando transformada *waveletes*. Maceió: UFAL, 2009. 113p. Dissertação de Mestrado.
- Ferreira, S. J. F.; Crestana, S.; Luizão, F. J.; Miranda, S. A. F. Nutrientes no solo em floresta de terra firme cortada seletivamente na Amazônia Central. **Acta Amazonica**, v. 31, n. 3: p. 381-396, 2001.
- Ferreira, S. J. F.; Luizão, F. J.; Dallarosa, R. L. G. Precipitação interna e interceptação da chuva em floresta de terra firme submetida à extração seletiva de madeira na Amazônia Central. **Acta Amazônica**, v. 35, n. 01, p. 55 – 62. 2005.
- Ferreira, S. J. F.; Luizão, F. J.; Mello-Ivo, W.; Ross, S. M.; Biot, Y. Propriedades físicas do solo após extração seletiva de madeira na Amazônia central. **Acta Amazonica**. v. 32, n.3, p. 449 – 466. 2002.
- Ferreira, S. J. F.; Luizão, F. J.; Ross, S. M.; Biot, Y.; Mello-Ivo, W. M. P. Soil water storage in an upland forest after selective logging in Central Amazonia. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, n 28, p. 59 – 66. 2004.
- Fisch, G.; Marengo, J. A.; Nobre, C. A. Uma revisão geral sobre o clima da Amazônia. **Acta Amazonica**, v. 28, n. 02, p. 101 – 126. 1998.
- Franke, C. R. B.; Klein, W.; Gomes, S. L. Mata Atlântica e Biodiversidade. (eds). Ed. EDUFBA. 2005. 49 p.
- Freitas, M. D.; Castro Júnior, W. E. O ciclo hidrológico: projeções mundiais e Amazônia. In: FREITAS, M. d. (Ed.) Amazônia e Desenvolvimento Sustentável: um diálogo que todos deveriam conhecer. Petrópolis, Vozes/Editora. 1a ed, 2004. 65 p.
- Gash, J. H. C.; Nobre, C. A. Climatic effects of Amazonian deforestation: some results from ABRACOS. **Bulletin of the American Meteorological Society**, v. 78, n. 5, p. 823 – 830. 1997.
- Gasparim, E.; Ricieri, R. P.; Silva, S. L.; Dallacort, R.; Gnoatto, E. Temperatura no perfil do solo utilizando duas densidades de cobertura e solo nu. **Acta Scientiarum Agronomy**. Maringá, v. 27, n. 1, p. 107 – 115. 2005.

- Graham, E. A.; Lam, Y.; Yuen, E. M. Forest understory soil temperatures and heat flux calculated using a Fourier model and scaled using a digital camera. **Agricultural and Forest Meteorology**. v. 150, p. 640 – 649. 2010.
- Gaumont-Guay, D., Black, T.A., McCaughey, H., Barr, A.G., Krishnan, P., Jassal, R.S., Nesic, Z., Soil CO₂ efflux in contrasting boreal deciduous and coniferous stands and its contribution to the ecosystem carbon balance. **Global Change Biology**. n. 15, p. 1302 – 1319. 2009.
- Golley, F. B., McGinnis, J. T., Clements, R. G., Child, I.; Duever, J. Ciclagem de minerais em um ecossistema de floresta tropical úmida. EPU-EDUSP, São Paulo. 1978.
- Hardy, J. P.; Melloh, R.; Koenig, G.; Marks, D.; Winstral, D.; Pomeroy, J. W.; Link, T. Solar Radiation transmission through conifer canopies. **Agricultural and Forest Meteorology**, v. 126, n. 3, p. 254 – 270. 2004.
- Heinisch, H.; Sálvio, G. M. M.; Heinisch, C. Corredores ecológicos e unidades de conservação como forma de minimizar os impactos da fragmentação da mata atlântica. Anais: VIII Congresso de Ecologia do Brasil. Caxambu – MG. 2007.
- Hernandes, J. L.; Pedro Júnior, M. J.; Bardin, L. Variação estacional da radiação solar em ambiente externo e no interior de floresta semidecídua. **Revista Árvore**. v. 28, n. 2, p. 167 – 172. 2004.
- Herrera R.; Jordan C. F.; Klinge H. Amazon ecosystems. Their structure and functioning with particular emphasis on nutrients. **Interciencia**, v. 3, p. 223 – 232. 1978.
- INPE – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. Monitoramento da Floresta Amazônica Brasileira por Satélite – Projeto Prodes. 2013: <http://www.obt.inpe.br/prodes>.
- Inpe/SOS Mata atlântica – Instituto Nacional Pesquisas Espaciais. **Atlas dos remanescentes florestais da Mata Atlântica**. Relatório parcial. São Paulo. 156 p. 2012.
- Iqbal, M. An introduction to solar radiation. Ed. AP. Vancouver Canadá, 389p. 1983.
- Januário, M.; Viswanadham, Y.; Senna, R. C. Radiação solar total dentro e fora da floresta tropical úmida de terra firme (Tucuruí, Pará). **Acta Amazônica**, v. 22, p. 335-340. 1992.
- Kaiser, D. R., Streck, C. A.; Reinert, D. J.; Reichert, J.D.; Da Silva, V.R.; Ferreira, F.; Kunz, M. Temperatura do solo afetada por diferentes estados de compactação. Santa

- Maria. 2001. Disponível em <www.ufsm.br/ppgcs/congressos/XIV_Reunião.pdf>. Acesso em: 19/04/2013
- Kang, S. Y.; Doh, S.; Lee, D.; Jin, V. L.; Kimball, J. S. Topographic and climatic controls on soil respiration in six temperature mixed – hardwood forest slopes, Korea. **Global Change Biology**, Oxon, v. 9, n. 10, p. 1427 – 1437. 2003.
- Körner, C., Paulsen, J., A world-wide study of high altitude treeline temperatures. **Journal of Biogeography**. v. 31, p. 713 – 732. 2004.
- Kousky, V. E. Frontal influences on northeast Brazil. **Monthly Weather Review**. v. 107, n. 9, p. 1140 – 1153. 1979.
- Kousky, V. E.; Elias, M. Meteorologia Sinótica: Parte I. 2ªed. São José dos Campos, INPE, 1983, 107 p. (INPE-2605-MD/021).
- Kumar, P., & Foufoula-Georgiou E. Wavelet Analysis in Geophysics: An Introduction. *Wavelets in Geophysics.*, E. Foufoula Georgiou, and P. Kumar, Eds., , Academic Press, San Diego, v. 4, p. 1 – 43. 1994.
- Larcher, W. Ecologia Vegetal. São Paulo: EDUSP, p. 286, 1986.
- Ledru, M. P.; Rousseau, D. D., Cruz Jr., F.W.; Riccomini, C.; ,Karmann, I.; Martin, L. Paleoclimate changes during the last 100,000 yr from a record in the Brazilian Atlantic rainforest region and interhemispheric comparison. **Quaternary Research**. v. 64, n. 3, p. 444 – 450. 2005.
- Leitão-Filho, H. F.; Pagano, S. N.; CÉSAR, O. ; Timoni, J. L.; Rueda, J. Ecologia da Mata Atlântica em Cubatão. São Paulo: EDUSP, p. 184. 1993.
- Lepsch, I. F., Formação e conservação dos solos. Oficina de textos, São Paulo. p. 178. 2002.
- Li, S.; Kurata, K.; Tadadura, T. Direct solar radiation penetration into row crop canopies in a lean-to greenhouse. **Agricultural and Forest Meteorology**. v. 100, n. 2-3, p. 243 – 253. 2000.
- Liebmann B.; Marengo J. A.; Glick J. D.; Kousky, V. E.; Wainer, I. C.; Massambani, O. A comparison of rainfall, outgoing longwave radiation, and divergence over the Amazon Basin. **Journal of Climate**. v. 11, n. 11, p. 2898 – 2909. 1998.
- Loyola, J. M. T., Prevedello, C. L. Modelos Analíticos para predição do processo de redistribuição da água no solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Paraná. v. 27. p. 783 – 787. 2003

- Luizão, R. C. C.; Luizão, F. J.; Paiva, R. Q.; Monteiro, T. F.; Sousa, L. S.; Kruijt, B. Variation of carbon and nitrogen cycling processes along a topographic gradient in a central Amazonian forest. **Global Change Biology**. v. 10, p. 592 – 600. 2004.
- Luizão, F. J. . Ciclos de nutrientes na Amazônia: respostas às mudanças ambientais e climáticas. **Ciência e Cultura** (SBPC). v. 59, p. 31 – 36. 2007.
- Machado, M. A. B. L. Florística e fitossociologia do estrato arbóreo de fragmentos de mata atlântica da usina Coruripe – Estado de Alagoas. Maceió: UFAL, 2003. 100. Dissertação de Mestrado.
- Malhi, Y.; Pegoraro, E.; Nobre, A. D.; Pereira, M. G. P.; Grace, J.; Culf, A. D.; Clement, R. Energy and water dynamics of a central Amazonian rain forest. **Journal of Geophysical Research**, v. 107, n. 20. 2002.
- Mantovani, W. A degradação dos biomas brasileiros. In: W.C. Ribeiro (ed.). **Patrimônio ambiental brasileiro**. Editora Universidade de São Paulo, São Paulo. p. 367 – 439. 2003.
- Marin, F. R.; Santiago, A. V.; Righi, E. Z.; Sentelhas, P. C.; Angelocci, S. R. M.; Pezzopan, J. R. M. Interceptação da radiação e transpiração na copa de cafeeiro. In: Congresso Brasileiro de Meteorologia, 12, 2002, Foz do Iguaçu - PR. Anais... Foz do Iguaçu: Sociedade Brasileira de Meteorologia/SBMET, 2002. 1 CD ROM.
- Marques Filho, A. d. O.; Dallarosa, R. G.; Pacheco V. B. Radiação solar e distribuição vertical de área foliar em floresta – Reserva Biológica do Cuieiras – ZF2, Manaus. **Acta Amazônica**, v. 35, n. 04, p. 427 – 436. 2005.
- Marques Filho, A. O.; Dallarosa, R. G. Interceptação de radiação solar e distribuição espacial de área foliar em floresta de terra firme da Amazônia Central. **Acta Amazônica**, v. 30, n. 3, p. 453 – 470. 2000.
- Marques-Filho, A. O. Regime de radiação solar e característica da vegetação – modelo de inversão. **Acta Amazônica**. v. 27, n. 02, p. 119 – 134. 1997.
- Mascarenhas, J. C.; Beltrão, B. A.; Souza-Júnior, L. C. (org.) Projeto cadastro de fontes de abastecimento por água subterrânea diagnóstico do município de Coruripe Estado de Alagoas. Recife: CPRM/PRODEEM. p. 12, 2005.
- Menezes, A. F.; Cavalcante, A. T.; Auto, P. C. C. A Reserva da Biosfera da Mata Atlântica no Estado de Alagoas. **Caderno da Reserva da Biosfera da Mata Atlântica**: série Estados e Regiões da RBMA, Maceió, v. 05, n. 29, p. 56. 2004.
- Mittermeier, R. A.; Mittermeier, C. G.; Brooks, T. M.; Pilgrim, J. D.; Konstant, W. R.; Fonseca, G. A. B. da; Komos, C. Wilderness and Biodiversity Conservation.

- Proceedings of the National Academy of Sciences**, v. 100, n.18, p. 10309 – 10313. 2003.
- MMA (MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE). **Avaliação e Ações Prioritárias para a Conservação da Biodiversidade da Mata Atlântica e Campos Sulinos**. Brasília: MMA/SBF, 40p, 2003.
- Molion, L. B. M.; Bernardo, S. O. Uma revisão da dinâmica das chuvas no Nordeste brasileiro. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 17, n. 1, p. 1 – 10. 2002.
- Morettin, P. A. Ondas e Ondeletas: Da Análise de Fourier à Análise de Ondeletas, edusp, 1999. 193.p.
- Morlet, J. Sampling Theory and wave propagation. NATO ASI Series, Issues in Acoustic Signal/Image Processing and Recognition, n. 1, p. 233 – 261. 1983.
- Moura, R. G. Estudos das radiações solar e terrestre acima e dentro de uma floresta tropical úmida. São José dos Campos: INPE, 2001. 147p. Dissertação de Mestrado.
- Moura, F. B. P. A Mata Atlântica em Alagoas. Série conversando sobre ciências em Alagoas. Maceió. Edufal. p. 88. 30. 2006.
- Myers, N., R. A.; Mittermeier, C. G.; Mittermeier, G. A. B.; Fonseca J. Kent. Biodiversity hotspots for conservation priorities. **Nature**. v. 403. p. 853 – 858. 2000.
- Negri, A. J.; Adler, R. F.; Nelkin, E. J.; Huffman, G. Regional rainfall climatologies derived from Special Sensor Microwave Imager (SSM/I) data. **Bulletin of the American Meteorological Society**. v. 75, p. 1165 – 1182. 1994.
- Nobre, C. A., Sellers, P. J., & Shukla, J. Amazonian deforestation and regional climate change. **Journal of Climate**. n 4, p. 957 – 988. 1991.
- Nobre, C. A.; Luizão, F.; Victoria, R. L.; Silva Dias, P. L.; Silva Dias, M. A. F.; Artaxo, P. The Large Scale Biosphere-Atmosphere Experiment in Amazonia (LBA). LBA – Plano experimental conciso. INPE, Cachoeira Paulista, SP, Brazil. 1996.
- Oke, T.R., Boundary Layer Climates. John Wiley and Sons, New York. p. 372, 1978.
- Oliveira, A. N.; Amaral, I. L.; Ramos, M. B. P.; Nobre, A. D.; Couto, L. B.; Sahdo, R. M. Composição e diversidade florístico-estrutural de um hectare de floresta densa de terra firme na Amazônia Central, Amazonas, Brasil. **Acta Amazônica**. v. 38, n. 04, p. 627 – 642. 2008.
- Oliveira, L. S. Refinamento da representação de raízes no modelo de biosfera sib2 em área de floresta na Amazônia. Dissertação (Mestrado em Ciências Ambientais) - Instituto de Geociências da Universidade Federal do Pará-UFPA, Belém, 2008.

- Oliveira, S. S.; Fideles Filho, J.; Oliveira, S. V.; Araújo, T. S. Difusividade térmica do solo de campina grande para dois períodos do ano. **Revista de Geografia**, v. 27, n. 2, p. 179 – 189. 2010.
- Oliveira-Filho, A. T.; Fontes, M. A. L. Patterns of floristic differentiation among Atlantic Forests in southeastern Brazil and the influence of climate. **Biotropica** v. 32. p. 793-810. 2000.
- Passerat de Silas, A. M. B., Monteny, B. A., Hommel, J. P. Apparent soil thermal diffusivity, a case study: HAPEX-Sahel experiment. **Elsevier Science**. France, p. 168 – 1923. 1996.
- Paul, K. I.; Polglase, P. J.; Smethurst, P. J.; O’Connell, A. M.; Carlyle, C. J.; Khanna, P. K. Soil temperature under forests: a simple model for predicting soil temperature under a range of forest types. **Agricultural and Forest Meteorology**. n. 121, p. 167 – 182. 2004.
- Pereira, A. Radiation regime of a tropical rain forest. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**. v. 5, n. 2, p. 1 – 8. 1997.
- Pezzopane, J. E. M., Reis, G. G., Reis, M. G. F., Costa, J. M. N., Higuchi, P. Balanço de radiação no interior de uma floresta estacional semidecidual secundária no domínio da mata atlântica. Congresso Brasileiro de Meteorologia – CBMET. Edição XI - Rio de Janeiro - 2000.
- Pezzopane, J. E. M.; Reis, G. G.; Ferreira Reis, M. G.; Costa, J. M. N.; Chaves, J. H. Temperatura do solo no interior de um fragmento de floresta secundária semidecidual. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, v. 10, n. 1, p. 1 – 8. 2002.
- Pires J. M.; Prance G. T. The vegetation types of Brazilian Amazon. In: Key Environments: Amazonia (eds Prance GT, Lovejoy TE), **Pergamon Press**, Oxford. p. 109 – 145. 1985.
- Portes, M. C. G. O. ; Koehler, A.; Galvão, F. Variação Sazonal de deposição de liteira em uma Floresta Ombrófila densa Altomontana no morro do Anhangava. **Revista Floresta**, v. 26, p. 3 – 10. 1996.
- Prevedello, C. L. Física do solo com problemas resolvidos. Curitiba-PR: **Salesward-Discovery**. p. 446. 1996.
- Querino, C. A. S. Avaliação da Radiação Solar em ecossistema de manguezal tropical em Alagoas, Brasil. Maceió: UFAL, 2006. 97p. Dissertação de Mestrado.

- 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.
- Ramana Rao, T. V.; silva, B. B.; Moreira, A. A. Características térmicas do solo em Salvador, BA. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 9, n. 4, p. 307-311. 2005.
- Reichardt, K. Dinâmica da material e da energia em ecossistemas. Piracicaba: ESALQ/USO, p. 505. 1996.
- Sá, L. D. A., Sambatti, S. B. M. e Galvão, G. P. Ondeleta de Morlet Aplicada ao Estudo da Variabilidade do Nível do Rio Paraguai em Ladário, MS. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**. v. 33, p. 1775 – 1785. 1998.
- Santos, M. A. L.; Frizzone, J. A. Irrigação suplementar da cana-de-açúcar (*saccharum spp*) colhida no mês de janeiro: um modelo de análise de decisão para o litoral sul do estado de alagoas. **Irriga**, Botucatu, v. 11, n. 3, p. 339 – 355. 2006.
- Schneider, M., Vitorino, I., silva Dias, P.L. Monitoramento da Intrasazonalidade por meio da Transformada em Ondeletas, Simpósio Internacional de Climatologia, Anais..., Fortaleza- 2005.
- Schob, C., Kammer, P.M., Choler, P., Veit, H. Small-scale plant species distribution in snowbeds and its sensitivity to climate change. **Journal of Plant Ecology**. v. 200, p. 91 – 104. 2009.
- Schubart, H. O. R.; Franken, W.; Luizão, F. J. Uma floresta sobre solos pobres. **Ciência Hoje**. v. 2 n. 10: p. 26 – 32. 1984.
- Shuttleworth, W. J.; Gash, J. H. C.; Lloyd, C. R. Observations of radiation exchange above and below Amazonian forest. **Quarterly Journal R. Meteeling Society**. v. 110, p. 1163 – 1169. 1984.
- Silva, D. F.; Sousa, F. A. S.; Kayano, M. T. Uso de IAC e ondeletas para análise da influência das multi-escalas temporais na precipitação da bacia do Rio Mundaú. **Revista Engenharia Ambiental**. v. 06, n. 01, p. 180 – 195. 2009.
- Silva-Júnior, R. S.; Moura, M. A. L.; Meixner, F. X.; Kormann, R.; Lyra, R. F. F.; Nascimento-Filho, M. F. Estudo da concentração do CO₂ atmosférico em área de pastagem na região amazônica. **Revista Brasileira de Geofísica**. v. 22, n. 3, p. 605 – 611. 2005.

- Souza, J. R. S.; Makino, M.; Araujo, R. L. C.; Cohen, J. C. P.; Pinheiro, F. M. A. Thermal Properties and Heat Fluxes in soils under forest and pasture, in Marabá. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 21, p. 89 – 103. 2006.
- Subke, J. A.; Reichstein, M.; Tenhunen, J. D. Explaining temporal variation in soil efflux in a mature spruce forest in Southern Germany. **Soil Biology & Biochemistry**, Oxford, v. 35, n. 11, p. 1467 – 1483. 2003.
- Tapia-Coral, S. C.; Luizão, F. J.; Wandeli, E.; Fernandes, E. C. M. Carbon and nutrients stock in the litter layer of agroforestry systems in central Amazônia, Brazil. **Agroforestry Systems**. v. 65, p. 33 – 42. 2005.
- Torrence, C.; Compo, G.P.: A practical guide to wavelet analysis. **Bulletin of the American Meteorological Society**. v. 79, p. 61 – 78. 1998.
- Trigo, R. M. ; Galvão, C. O. ; Trigo, I. F. Aplicação de Wavelets ao estudo da variabilidade de caudais diários: uma comparação entre algumas bacias portuguesas e brasileiras. In: IV Simpósio de Hidráulica e Recursos Hídricos dos Países de Língua Oficial Portuguesa, Coimbra. APRH, p. 1. 1999.
- Tyagi, B.; Satyanarayana, A. N. V. Modeling of soil surface temperature and heat flux during pre-monsoon season at two tropical stations. **Journal of Atmospheric and Solar-Terrestrial Physics** n. 72, p. 224 – 233. 2010.
- Verhoef, A., Van Den Hurk, B. J. J. M.; Jacobs, A. F. G.; Heusinkveld, B. G. Thermal soil properties for vineyard (EFEDA-I) and savanna (HAPEX-Sahel) sites, **Agricultural Forest Meteorology**. v. 78, p. 1 – 18. 1996.
- Vieira, L. S.; Santos, P. C. T. C. Amazônia seus solos e outros recursos naturais. Ed. Agronômica Ceres. São Paulo. p . 416, 1987.
- Wandelli, E. V.; Marques-Filho, A. O. Medidas de radiação solar e índice de área foliar em coberturas vegetais. **Acta Amazônica**. v. 29, n. 01, p. 57 – 78. 1999.
- Weng, H.; Lau, K. M. Wavelets, Period Doubling, and Time-Frequency Localization with Application to Organization of Convection over the Tropical Western Pacific. **Journal of the Atmospheric Sciences**. v. 51, n. 17, p. 2523 – 2541. 1994.
- Werneck, M. S.; Pedralli, G.; Gieseke, L. F. Produção de serrapilheira em trechos de uma floresta semidecídua com diferentes graus de perturbação na estação Ecológica do Tripuí, Ouro Preto-MG. **Revista Brasileira de Botânica**. v. 24, n. 2, p. 195 – 198. 2001.

- Wiseman, P. E.; Seiler, J. R. Soil CO₂ efflux across four age classes of plantation loblolly pine (*pinus taeda* L.) on the Virginia Piedmont. **Forest Ecology and Management**. v. 192, p. 297 – 311. 2004.
- Yano, C. Y.; Luizão, F. J. Efeitos da liteira fina sobre a disponibilidade de nutrientes e o crescimento de plântulas em áreas de extração seletiva de madeira na Amazônia central. INPA/UFAM, 71 p. 2001. Manaus-AM. Dissertação de Mestrado.
- Yin, X.; Arp, P. A.; Yin, X. W. Predicting forest soil temperatures from monthly air temperature and precipitation records. **Canadian Journal of Forest Research**. v. 23. p. 2521 – 2536. 1993.
- Zheng, D., Hunt Jr., E. R., Running, S.W. A daily soil temperature model based on air temperature and precipitation for continental applications. **Climate Research**. V. 02, p. 183 – 191. 1993.