

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

**DIFUSIVIDADE TÉRMICA DO SOLO EM ÁREA
MONODOMINANTE DE CAMBARÁ NO NORTE DO
PANTANAL MATOGROSSENSE**

VICENTE BELLAVER

**PROF. DR. MARCELO SACARDI BIUDES
ORIENTADOR**

Cuiabá, MT, março de 2010

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

**DIFUSIVIDADE TÉRMICA DO SOLO EM ÁREA
MONODOMINANTE DE CAMBARÁ NO NORTE DO
PANTANAL MATOGROSSENSE**

VICENTE BELLAVER

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

**PROF. DR. MARCELO SACARDI BIUDES
ORIENTADOR**

Cuiabá, MT, março de 2010

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

FOLHA DE APROVAÇÃO

Título:

Autor: **VICENTE BELLAVER**

Dissertação defendida e aprovada em _____ de _____ de 2010, pela
comissão julgadora:

DEDICATÓRIA

À Lucinez, minha esposa, meus filhos Rodrigo e Daniela pelo carinho, apoio, incentivo e paciência que tiveram comigo.

AGRADECIMENTOS

A Deus;

Ao Prof. Dr. Marcelo Sacardi Biudes, pela orientação concedida, pelo incentivo, empenho, dedicação, paciência e pela amizade, fatores que contribuíram de forma substancial e incentivaram a produção deste trabalho;

Ao Prof. Dr. José de Souza Nogueira (Paraná), pelo apoio, incentivo e confiança a mim depositados e por ser um grande amigo;

Ao Prof. Dr. Sergio Roberto de Paulo pelo incentivo, apoio, e por ter acreditado em mim a partir do curso de Licenciatura em Ciências Naturais;

A todos os professores do Programa de Pós-Graduação em Física Ambiental da Universidade Federal de Mato Grosso, dos quais levo grandes lições e exemplos de vida;

À Soilce e Cesário pela colaboração nos serviços da secretaria que nos auxiliou para o desenvolvimento deste trabalho;

A todos os colegas de curso que ajudaram em muito, os quais se tornaram grandes amigos e com eles aprendi muito;

Aos amigos e companheiros de viagem pela estrada, pelo rio, de carro, de barco, de trator, de charrete, a cavalo e a pé, nas idas às coletas de dados na Torre do Pantanal e Santo Antônio de Leverger Osvaldo (Fu), Flair, Paulo, Guilherme;

Ao amigo e companheiro de todas as horas um agradecimento especial Osvaldo (Fu)

Ao SESC - Serviço Social do Comércio pelo apoio logístico;

Ao CNPq pelo auxílio financeiro;

Aos Guarda Parque pela atenção, apoio e dedicação em especial ao Pedro Paulo que mais esteve presente nas nossas idas ao Posto Espírito Santo;

À Senhora Suzana que não mediu esforços em agilizar nossas viagens ao Pantanal;

Aos motoristas Chico Enézio, Chico Bill e Etevaldo, que nas madrugadas nos pegavam em casa dando início à viagem ao Pantanal;

Ao Conselho Deliberativo da Escola Estadual Ramon Sanches Marques que me liberou para este estudo;

Ao Estado de Mato Grosso que por meio da Secretaria de Estado de Educação concedeu-me licença remunerada para efetivação deste mestrado.

EPÍGRAFES

“Deus nos fez perfeitos e não escolhe os capacitados, capacita os escolhidos. Fazer ou não fazer algo, só depende de nossa vontade e perseverança.”

Albert Einstein

SUMÁRIO

LISTA DE FIGURAS	IX
LISTA DE TABELAS	XI
LISTA DE ABREVIATURAS E SÍMBOLOS	XII
RESUMO.....	XIV
ABSTRACT	XV
1. INTRODUÇÃO.....	1
2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	3
2.1. O PANTANAL E O CAMBARAZAL.....	3
2.2. TEMPERATURA DO SOLO	4
2.3. DIFUSIVIDADE TÉRMICA DO SOLO	7
2.4. ÁGUA NOS SOLOS	9
2.5. ESTIMATIVA DA TEMPERATURA DO SOLO	12
3. MATERIAL E MÉTODOS	13
3.1. DESCRIÇÃO DA ÁREA EXPERIMENTAL.....	13
3.2. INSTRUMENTAÇÃO UTILIZADA.....	14
3.3. DETERMINAÇÃO DA UMIDADE DO SOLO	16
3.4. DETERMINAÇÃO DA DIFUSIVIDADE TÉRMICA DO SOLO.....	17
3.4.1. Método da amplitude	17
3.4.2. Método do arco tangente	18
3.4.3. Método do logarítmico.....	19
3.4.4. Método da fase.....	19
3.4. SIMULAÇÃO DA TEMPERATURA DO SOLO	20
3.5. ANÁLISE DE DADOS.....	21
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO	23
4.1. AVALIAÇÃO GERAL DAS CONDIÇÕES LOCAIS	23

4.2. AVALIAÇÃO DA TEMPERATURA DO SOLO EM ALGUNS DIAS	31
4.3. AVALIAÇÃO DO PERFIL DE TEMPERATURA DO SOLO EM ALGUNS DIAS.....	37
4.4. AVALIAÇÃO DAS ESTIMATIVAS DE DIFUSIVIDADE TÉRMICA DO SOLO.....	40
4.5. SIMULAÇÃO DA TEMPERATURA DO SOLO	45
5. CONCLUSÕES.....	47
6. REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA.....	48

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Efeito da umidade gravimétrica sobre a difusividade térmica de um solo arenoso e outro argiloso. (Abu-Hamdeh, 2003).....	11
Figura 2 – Localização da área experimental (Torre) na RPPN SESC – Pantanal – Município de Barão de Melgaço – MT	14
Figura 3 – Torre micrometeorológica no interior da floresta de Cambará.	15
Figura 4 – Média horária mensal da temperatura do solo a 0,01, 0,03, 0,07, 0,15 e 0,30 m de profundidade de outubro de 2008 a fevereiro de 2009 no Cambarazal da RPPN SESC - Pantanal.	23
Figura 5 – Precipitação mensal de outubro de 2008 a fevereiro de 2009 e média para este período (linha tracejada) no Cambarazal da RPPN SESC - Pantanal.	24
Figura 6 - Amplitude média mensal da temperatura do solo a 0,01, 0,03, 0,07, 0,15 e 0,30 m de profundidade de outubro de 2008 a fevereiro de 2009 no Cambarazal da RPPN SESC - Pantanal.	25
Figura 7 – Média do conteúdo de água no solo a 0,01 e 0,30 m de profundidade de outubro de 2008 a fevereiro de 2009 no Cambarazal da RPPN SESC - Pantanal.	26
Figura 8 – Serrapilheira e material em decomposição sob o solo da floresta de Cambará – RPPN – SESC, Barão de Melgaço – MT.	27
Figura 9 – Média horária mensal da temperatura do ar a 37,7 m de outubro de 2008 a fevereiro de 2009, no Cambarazal da RPPN SESC - Pantanal.	28
Figura 10 – Temperatura do solo médias mensais as 8h (a), 14h (b) e 20h (c) de outubro de 2008 a fevereiro de 2009 no Cambarazal da RPPN SESC - Pantanal.	30
Figura 11 – Temperatura do ar (Tar) e do solo a 0,01, 0,03, 0,07, 0,15 e 0,30 m e a radiação solar incidente em 27 de outubro de 2008 no Cambarazal da RPPN SESC - Pantanal.	32
Figura 12 – Temperatura do ar e do solo a 0,01, 0,03, 0,07, 0,15 e 0,30 m e a radiação solar incidente em 31 de outubro de 2008 no Cambarazal da RPPN SESC - Pantanal.	33
Figura 13 – Temperatura do ar e do solo a 0,01, 0,03, 0,07, 0,15 e 0,30 m e a radiação solar incidente em 04 de janeiro de 2009 no Cambarazal da RPPN SESC - Pantanal.	35
Figura 14 – Temperatura do ar e do solo a 0,01, 0,03, 0,07, 0,15 e 0,30 m e a radiação solar incidente em 09 de janeiro de 2009 no Cambarazal da RPPN SESC - Pantanal.	36
Figura 15 – Perfil de temperatura do solo em diferentes horários em 27 de outubro de 2008 no Cambarazal da RPPN SESC-Pantanal.	38

Figura 16 – Perfil de temperatura do solo em diferentes horários em 09 de janeiro de 2009 no Cambarazal da RPPN SESC-Pantanal.	39
Figura 17 - Foto do perfil do solo próximo ao local de estudo.	41

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Condutividade térmica (K) de solos com diferentes texturas e teores de umidade, no interior do estado de São Paulo (DECICO, 1967).....	10
Tabela 2 – Difusividade térmica do solo ($10^{-6} \text{ m}^2 \text{ s}^{-1}$) entre as profundidades de (0,01 a 0,03); de (0,01 a 0,07); de (0,01 a 0,15) e de (0,01 a 0,30) m, nos dias 27 e 31 de outubro de 2008 e 04 e 09 de janeiro de 2009 na área do Cambarazal – Barão do Melgaço – MT.	42
Tabela 3 – Conteúdo de água no solo a 0,05 m e 0,25 m ($\text{m}^3 \text{ m}^{-3}$), radiação global diária (Rg) ($\text{MJ m}^2 \text{ dia}^{-1}$) em alguns dias.	43
Tabela 4 – Índice de correlação r, índice de concordância d, erro médio absoluto (EMA) e erro quadrático médio (EQM) entre temperaturas observadas e estimadas por diferentes métodos.	45

LISTA DE ABREVIATURAS E SÍMBOLOS

A_1	Amplitude da onda de temperatura na profundidade z_1
A_2	Amplitude da onda de temperatura na profundidade z_2
$A(z)$	Amplitude da onda de temperatura para diferentes profundidades em função de z
T_0	Amplitude da temperatura do solo na superfície ao longo do dia (diferença entre a temperatura máxima e a temperatura média do dia)
CC	Capacidade de campo
θ	Conteúdo de água no solo
ρ	Densidade aparente do solo
D	Difusividade térmica do solo
d	Índice de concordância de Willmott
r	Índice de correlação
\bar{T}	Média das temperaturas medidas
n	Número de observações
PR	Peso do recipiente
PS	Peso do solo seco
PU	Peso do solo úmido
PMP	Ponto de murcha permanente
z_1	Profundidade 1
z_2	Profundidade 2
z	Profundidade no solo
T	Temperatura do solo
$T(z, t)$	Temperatura do solo na profundidade z , no tempo t
\bar{T}	Temperatura média diária, utilizando medidas a cada 30 minutos
$T(t)$	Temperatura no tempo t
T_3	Temperatura registrada na profundidade z_1 às 12h (hora local)
T_4	Temperatura registrada na profundidade z_1 às 18h (hora local)
T_1	Temperatura registrada na profundidade z_1 , à 0h (hora local)
T_2	Temperatura registrada na profundidade z_1 , às 6h (hora local)
T_1'	Temperatura registrada na profundidade z_2 , à 0h (hora local)
T_2'	Temperatura registrada na profundidade z_2 , às 06h (hora local)
T_3'	Temperatura registrada na profundidade z_2 , às 12h (hora local)

T_4'	Temperatura registrada na profundidade z_2 , às 18h (hora local)
E_i	Temperaturas estimadas
T_i	Temperaturas medidas
t	Tempo
u	Umidade do solo à base de peso
Δt	Variação do tempo
ω	Velocidade angular da terra
VT	Volume de cada amostra contida no cilindro

RESUMO

BELLAVER, V. *Difusividade térmica do solo em área monodominante de cambará no norte do Pantanal Matogrossense*. Cuiabá, 2010. 54F. Dissertação (Mestrado em Física Ambiental) - Instituto de Física, Universidade Federal de Mato Grosso.

A temperatura do solo é um dos fatores ambientais de grande importância agrícola pela função que desempenha nas interações entre o solo e as plantas e nas trocas de energia com a atmosfera. A transferência de energia no solo é afetada pelas propriedades térmicas, tipo de cobertura e pela quantidade de radiação que chega à superfície. Dessa forma, o objetivo deste estudo foi estimar a difusividade térmica do solo em uma área monodominante de Cambará (*Vochysia divergens* Pohl) no norte do Pantanal Matogrossense, utilizando estimativas de difusividade térmica do solo por diferentes métodos. A difusividade térmica do solo foi determinada pelos métodos da amplitude, do logarítmico, do arco tangente e da fase entre as profundidades de 0,01 a 0,03, de 0,01 a 0,07, de 0,01 a 0,15 e de 0,01 a 0,30 m. Os valores da difusividade térmica média do solo entre as profundidades 0,01 e 0,30 m, entre outubro de 2008 a fevereiro de 2009 foram $0,330 \times 10^{-6} \text{ m}^2 \text{ s}^{-1}$, $0,422 \times 10^{-6} \text{ m}^2 \text{ s}^{-1}$, $0,555 \times 10^{-6} \text{ m}^2 \text{ s}^{-1}$ pelos métodos da amplitude, do logarítmico, da fase, respectivamente e $3,831 \times 10^{-6} \text{ m}^2 \text{ s}^{-1}$, pelo método do arco tangente na profundidade de 0,01 a 0,15 m. As simulações que apresentaram melhores desempenhos foram utilizando estimativas de difusividade térmica do solo pelos métodos da amplitude e do logarítmico.

Palavras-chaves: amplitude térmica, difusividade térmica, cambarazal.

ABSTRACT

Bellaver, V. *Thermal-diffusivity of soil in monodominat areas of Vochysia divergens in the northern Pantanal of Mato Grosso*. Cuiabá, 2010.54F. Dissertation (Masters in Environmental Physics) - Institute of Physics, University of Mato Grosso

The soil temperature is an environmental factor of great agricultural importance for the role that agriculture plays in the interactions between soil and plants and the energy exchange with the atmosphere. The transference of energy in soil is affected by thermal properties, type of coverage and the amount of radiation reaching the surface. Thus, the subject of this study was estimate the diffusivity of soil in an area where *Vochysia divergens* (Known as “Cambará”) is monodominant in the north of Mato-Grosso’s Pantanal, using estimates of thermal-difusivity of the soil by different methods. The thermal diffusivity of the soil was determined by the methods of amplitude, logarithmic, arctangent and the phases between the depth from 0.01 to 0.03, from 0.01 to 0.07, 0.01 to 0.15 and 0.01 to 0.30 m, from October 2008 to February 2009 were $0.330 \times 10^{-6} \text{ m}^2 \text{ s}^{-1}$, $0.422 \times 10^{-6} \text{ m}^2 \text{ s}^{-1}$, $0.555 \times 10^{-6} \text{ m}^2 \text{ s}^{-1}$ by the methods of the amplitude, the logarithmic, phase, respectively and $3.831 \times 10^{-6} \text{ m}^2 \text{ s}^{-1}$, by the the method of the arc tangent of the depth from 0.01 to 0.015 m. The simulations showed that best performances were estimated using thermal diffusivity of the soil by the methods of amplitude and the logarithmic.

Keywords: temperature range, thermal diffusivity, cambarazal.

1. INTRODUÇÃO

O Pantanal brasileiro é uma das maiores planícies inundadas do planeta, só no Brasil são 138 183 km², destes 35% pertence ao estado de Mato Grosso. É cortado pelo rio Paraguai de norte a sul e seus afluentes formam uma extensa e complexa rede fluvial que, associada à planície do local, dá origem a corixos, riachos e lagoas onde a fauna e flora se apresentam de uma forma exuberante.

Devido a esta vasta diversidade o pantanal possui características próprias. O clima se caracteriza por possuir períodos de cheias e períodos de seca que se alternam ao longo do ano permitindo a formação de estandes monodominantes devido ao frequente prolongado período de inundação e à deficiente drenagem do solo local. No outro extremo a seca causa frequente estresse hídrico nas plantas locais, regulando sua fenologia e a produção de massa. A elevada variação de formação vegetal, aliada à variação temporal dos elementos meteorológicos, contribui para variação nas trocas de energia entre a superfície e a atmosfera.

Estudos de trocas de energia entre a superfície e a atmosfera são importantes não só para caracterizar o microclima local como identificar interações entre elas, além de possibilitar o conhecimento de variações do tempo e do clima da região, assim como medir e identificar efeitos de fatores naturais ou da ocupação humana sobre diferentes questões ambientais.

A temperatura do solo é um elemento microclimático que controla a germinação de sementes, a taxa e a duração do crescimento e desenvolvimento de plantas, absorção de nutrientes, difusão de água e gases, bem como o crescimento e desenvolvimento de microrganismos.

Considerando que cada tipo de solo apresenta características peculiares, faz-se necessário que sejam identificadas, para cada situação particular, as suas propriedades térmicas, as quais são resultantes de um conjunto de fatores, incluindo

sua textura e composição química. Observações regulares de sua temperatura em diferentes profundidades possibilitam o conhecimento do seu comportamento térmico e a extração de importantes propriedades, tais como a difusividade térmica e a condutividade térmica.

A estimativa da difusividade térmica do solo pode ser determinada por diferentes métodos, os quais se baseiam na teoria da transferência de calor no solo, descrevendo a condução como uma função da profundidade.

Essas propriedades térmicas do solo, principalmente a difusividade térmica, são utilizadas em estudos de simulação da temperatura do solo em diferentes profundidades. O uso da simulação na estimativa da temperatura do solo possibilita conhecer a temperatura do solo ao longo do tempo e da profundidade. Além disso, possibilita a estimativa de dados faltantes quando não for possível a medida instrumental e ainda o uso de um modelo de simulação de temperatura do solo pode auxiliar na inferência de possíveis alterações na temperatura do solo em diferentes cenários. Para tanto, é necessário medir a temperatura máxima, temperatura mínima e a temperatura média em duas profundidades diferentes no perfil do solo.

Em muitas situações a obtenção dos dados gera dificuldades, pois envolvem tempo, logística e instrumentos que requerem custos elevados. Ter um modelo de simulação da temperatura do solo que se aproxime do real torna-se importante e útil, em estimar e prever a temperatura do solo.

Diante do exposto, o presente estudo teve como objetivo geral estimar a difusividade térmica do solo em uma área monodominante de Cambará (*Vochysia divergens* Pohl) no norte do Pantanal Matogrossense, utilizando estimativas de difusividade térmica do solo por diferentes métodos. Para atingir esse objetivo foi necessário:

- a) Caracterizar a variação do perfil de temperatura no solo;
- b) Estimar a difusividade térmica pelos métodos da amplitude, do logarítmico, do arco tangente e da fase;
- c) Verificar o método de estimativa da difusividade térmica do solo que apresentou melhor desempenho para simular a temperatura do solo em diferentes profundidades.

2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

2.1. O PANTANAL E O CAMBARAZAL

O Pantanal brasileiro é uma das maiores planícies inundadas do planeta (SILVA, 2003), em território brasileiro possui 138 183 km², destes 65% pertence ao Estado de Mato Grosso do Sul e 35% pertence ao Estado de Mato Grosso (CASTELNOU et al.,2003), o que corresponde a 1,6% do território brasileiro.

A formação do pantanal compõe-se de grandes planícies e deltas aluviais na bacia do Paraguai, é um elo de ligação entre os biomas Amazônia, Cerrado, Chaco e Floresta Atlântica (AMADOR, 2006).

Devido a esta vasta diversidade o Pantanal possui características próprias que configura diferentes pantanais. Fazem parte desse complexo onze sub-regiões: o pantanal de Cáceres, Poconé, Barão de Melgaço, Paraguai, Paiaguás, Nhecolândia, Abobral, Aquidauana, Miranda, Nabileque e Porto Murtinho (SILVA & ABDON, 1998).

A inundação   um fen meno ecológico importante que confere ao Pantanal a característica peculiar de macro-ecossistema ecológico (ADAMOLI, 1982). O pulso de inunda o monomodal   considerado a força motriz do ecossistema e as intensifica es dos períodos de seca e de cheias são decorrentes das flutua es plurianuais do nível da água que influenciam sazonalmente as características limnológicas, ecológicas e biológicas (JUNK et al.,1989).

O desenvolvimento das comunidades vegetais depende das características ecológicas, principalmente da frequência, extensão, altura e dura o das inunda es e características do solo (CORSIN & GUARIN NETO, 2000). Arieira & Nunes da Cunha (2006), analisando a estrutura do cambarazal presente na Reserva Particular do Patrim nio Nacional/Sistema Nacional de Unidades de Conserva o –

RPPN/SNUC –Serviço Social do Comercio - SESC – Pantanal, ao longo de um gradiente hidro-topográfico, observou que a diversidade de espécies ao longo do gradiente mostrou relação inversa com a altura da lâmina da água da inundação.

Muitas espécies vegetais de configuração lenhosa estão presentes no Pantanal e estão sujeitas à inundação, levando à formação dominante de algumas delas, como o Acurizal (*Attalea phaleratta* Mart. Ex Spreng.), o Cambarazal (*Vochysia divergens* Pohl), o Carandazal (*Copernicia alba* Morong) (DAMASCENO-JUNIOR et al., 2005.)

A dominância afeta a uniformidade (equabilidade) ou representação relativa das espécies, consequentemente influenciando a diversidade local, embora o número total de espécies não seja necessariamente afetado ao longo de grandes áreas (AMADOR, 2006), e surge da existência abundante de um determinado recurso no nicho, associada à ausência de um mecanismo interno que compense esse favorecimento (ZORZATTO, 1995). No caso em particular da *V. divergens*, o excesso de umidade parece que não é um favorecimento, mas sim um estresse para as outras espécies não adaptadas.

A *V. divergens* é uma espécie Amazônica considerada invasora no Pantanal suportando bem as inundações. A incursão dessa espécie no Pantanal aconteceu no início da década de 70, após o fim de um intenso e plurianual período de secas (JUNK, 2002). Em áreas não alagadas a presença de *V. divergens* é rara ou ausente, mas apresenta melhor desenvolvimento em áreas recém sedimentadas ao longo dos rios (NUNES DA CUNHA & JUNK, 2004).

Em áreas alagáveis a *V. divergens* não é considerado um problema, mas quando atinge as partes mais altas do Pantanal e avança em direção aos campos formando florestas, torna-se um problema, pois ocupa áreas de pastagem (SANTOS et al.,2006).

2.2. TEMPERATURA DO SOLO

A temperatura do solo é um fator variável no tempo e no espaço, de elevada importância nos processos físicos do solo e nas trocas de energia com a atmosfera. Ela regula as trocas gasosas na superfície, afeta o movimento, a viscosidade e a

densidade da solução e, portanto, a absorção de água e nutrientes pelas plantas (TINDAL et al.,1990). Também influi na germinação de sementes e na velocidade de crescimento das raízes, bulbos e tubérculos de forma direta, e indiretamente sua ação se faz presente nas reações químicas e nas atividades dos microorganismos encarregados da mineralização da matéria orgânica, assim como a de fungos, insetos e demais formas biológicas presentes no solo (SALTON et al., 1998).

A temperatura do solo é importante em outras áreas como no transporte de fluídos aquecidos em tubulações subterrâneas, no armazenamento de energia em leitos granulares, no resfriamento de condensadores em usinas termoelétricas e nucleares, na extração de petróleo, no armazenamento de rejeitos radiativos, no aterramento de cabos elétricos subterrâneos e na remediação de áreas degradadas utilizando-se do aquecimento do solo (PESSOA, 2006).

Solos sem cobertura ficam expostos a variações bruscas de temperatura e umidade, acarretando problemas no manejo e prejuízos para o próprio solo. A cobertura, além de refletir a radiação global, absorve parte da mesma, não tornando essa energia disponível para o aquecimento do solo, evitando dessa forma, maiores perdas de água por evapotranspiração e aumento da temperatura a níveis prejudiciais à germinação de sementes (BRAGAGNOLO & MEILNICZUK, 1990).

Portanto, o uso de cobertura sobre o solo pode alterar consideravelmente os comportamentos diários de sua temperatura, dependendo do material utilizado. Materiais transparentes e translúcidos proporcionam maior saldo de radiação na superfície e aumentam o fluxo de calor para o solo, enquanto que o uso de cobertura morta amortece a curva diária da temperatura do solo (GASPARIM, 2005).

Tanto durante o dia como à noite a camada do ar adjacente ao solo pode se aquecer, o que vai determinar esse aquecimento é o gradiente térmico. Durante o dia o solo é aquecido pela radiação solar, desde que não tenha nuvens, e durante a noite cede parte dessa energia para o aquecimento da atmosfera, atuando como estabilizador térmico. O solo tem um comportamento de um reservatório de grande capacidade térmica (PEREIRA et al.,2002).

No interior do solo a temperatura varia exponencialmente com a profundidade e senoidalmente com o tempo. Assim a variação diária da temperatura do solo obedece aproximadamente um movimento periódico, no qual a amplitude

térmica é amortecida exponencialmente com a profundidade e os valores em cada profundidade oscilam senoidalmente com o tempo em torno de um valor médio (SHOFFEL & MENDEZ, 2005).

Richard (2004) descreve um modelo de variação de temperatura no solo, no qual considera um perfil de solo sem vegetação, homogêneo, de densidade e umidade constante ao longo da profundidade z , exposto à radiação. Assim, define a temperatura da superfície ($z = 0$) de um solo em função do tempo pela equação (1).

$$T(0, t) = \bar{T} + T_0 \sin \omega t \quad (1)$$

em que \bar{T} é temperatura média diária, utilizando medidas a cada 30 minutos ($^{\circ}\text{C}$), T_0 é a amplitude da temperatura do solo na superfície ao longo do dia (diferença entre a temperatura máxima e a temperatura média do dia) ($^{\circ}\text{C}$), ω é a velocidade angular da Terra ($2\pi/24$) rad.h^{-1} e t é o tempo (horas).

Em uma profundidade teoricamente infinita a temperatura do solo não varia com o tempo e a equação (1) se reduz a equação (2).

$$T(\infty, t) = \bar{T} \quad (2)$$

Para uma temperatura a uma profundidade z , considerando que todo o transporte de calor no solo se dá apenas por condução, este fenômeno é regido pela equação (3). Assim, observando as condições de contorno das equações (1) e (2), a solução da equação (3) é a equação (4).

$$\frac{\partial T}{\partial t} = D \frac{\partial^2 T}{\partial z^2} \quad (3)$$

$$T(z, t) = \bar{T} + T_0 e^{(-z\sqrt{\omega/2D})} \cdot \text{sen} \left(\omega t - z\sqrt{\frac{\omega}{2D}} \right) \quad (4)$$

A equação (4) expressa a variação da temperatura exponencialmente com a profundidade e senoidalmente com o tempo e a profundidade.

A amplitude diária da temperatura em cada profundidade (z) é definida pela

equação (5).

$$A(z) = T_o e^{(-z\sqrt{\omega/2D})} \quad (5)$$

A oscilação da temperatura ao longo do dia em cada profundidade, equação (6), é definida pela parte senoidal da equação (4).

$$\text{sen}\left(\omega t - z\sqrt{\frac{\omega}{2D}}\right) \quad (6)$$

Portanto, ao penetrar no solo, a onda de calor tem sua amplitude diminuída com a profundidade. Isto justifica por que a profundidades maiores a temperatura é constante. Nessas profundidades a amplitude se anula e o máximo de um dia se confunde com o máximo do dia anterior (REICHARDT & TIMM, 2004).

2.3. DIFUSIVIDADE TÉRMICA DO SOLO

A difusividade térmica do solo é um importante parâmetro de transporte de calor que afeta a distribuição de temperatura do solo e a densidade do fluxo de calor no solo (SANTOS & VISWANADHAM, 1987). É uma propriedade que fornece uma informação da velocidade de avanço da frente de aquecimento do solo, parâmetro que relaciona a capacidade de condução (condutividade térmica) e o armazenamento de calor (capacidade térmica volumétrica) (SCHOFFEL & MENDEZ, 2005).

Na literatura existem alguns métodos que permitem estimar a difusividade térmica do solo. De Vries (1963), propôs um modelo teórico baseado nas frações volumétricas dos constituintes do solo e de suas formas. Por ser um método que leva em consideração os fatores de forma do solo e esta ser de difícil estimativa, este método aplica-se melhor a solos com uma estrutura simples. A estrutura de um solo é a sua característica física expressa pela forma, dimensão e arranjo das suas partículas sólidas e dos vazios que a elas se associam. A estrutura do solo está relacionada com a presença no solo de grandes moléculas minerais, como as das argilas, e orgânicas,

como as do húmus ou ácidos húmicos. Agronomicamente é importante porque da estrutura depende o movimento e retenção de água, o arejamento, nos trabalhos de mobilização e na susceptibilidade do solo à erosão. Quando as partículas que compõem um solo têm aproximadamente o mesmo tamanho e estão arranjadas no solo de forma semelhante permitindo que se formem poros bem distribuídos e tamanhos semelhantes diz-se que este solo tem uma estrutura simples (CARREIRA, 2005).

Outros métodos foram desenvolvidos por Wijk (1963) e Singh e Sinha (1977) e dependem de soluções analíticas da equação de escoamento de calor no solo uniforme (solos uniformes dependem do tamanho e do arranjo das partículas no seu perfil e desse arranjo vão surgir mais ou menos poros). Horton et al.,(1983) trabalharam com alguns desses métodos e recomendaram sua utilização em solos com propriedades uniformes (condutividade térmica e densidade constantes) com a profundidade.

Os métodos para estimar a difusividade térmica em solos não uniformes têm sua teoria baseada na transferência de calor e foram desenvolvidos por Lettau (1971). Estes métodos descrevem a difusividade térmica como uma função da profundidade.

Recentemente com o desenvolvimento da teoria do pulso de calor, criaram-se sensores de sonda dual que permitem a obtenção de medidas rotineiras observacionais de propriedades térmicas dos solos (difusividade térmica do solo, calor específico, capacidade calorífica do solo e condutividade térmica) e do conteúdo de água no solo (CAMPBELL et al., 1991; BRISTOW, 1998).

Os processos de transferência de calor no solo podem ocorrer por condução e convecção, com ou sem transferência de calor latente. A condução ocorre pela transferência de energia térmica de uma partícula para outra e é geralmente o processo mais importante de transferência de calor nos solos. Esse processo é governado pelas propriedades térmicas do solo, que por sua vez são dependentes da umidade do solo. A convecção ocorre pelos fluidos em movimento (fluxo de massa) e é geralmente o processo mais importante de transferência de calor nos solos úmidos (PREVEDELLO, 1996).

Considerando a condução como o mecanismo primário responsável pela transferência de calor no solo, o estudo da difusividade térmica pode ser realizado

com base nesta característica. Sendo assim, a difusividade térmica pode ser estimada por meio de observações das temperaturas máximas e mínimas diárias de duas profundidades no perfil do solo (SANTOS & VISWANADHAM, 1987).

2.4. ÁGUA NOS SOLOS

Em todas as suas formas, a água tem efeitos importantes e complexos nas propriedades térmicas dos solos. A movimentação de água no solo geralmente se processa na forma líquida ou de vapor, provoca mudanças nas propriedades térmicas do solo decorrentes das variações em suas quantidades e estado, pois gradientes de temperatura do solo induzem a movimentação da água no mesmo. O fluxo de calor acoplado e a umidade também apresentam complexas interações com efeitos na temperatura, uma vez que esta determina a distribuição das fases da água, seu movimento e o grau de sua interação junto aos minerais sólidos dos solos (FAROUKI, 1986).

No solo a água pode se encontrar na forma livre, ou atrelada a combinações químicas nas superfícies das partículas sólidas, força de Van der Waals, ou presa nos poros capilares. A água que foi adsorvida na superfície das partículas de argila forma uma camada elétrica dupla, cujas propriedades como viscosidade e densidade são diferentes das propriedades da água livre.

O aumento da temperatura no solo aumenta a energia cinética das moléculas de água e causa dispersão. Se há uma variação no conteúdo de água no solo, isso reflete em uma variação na condutividade térmica e que por consequência afeta a distribuição da temperatura no solo. Há um aumento da condutividade térmica com uma elevação do conteúdo de água no solo, pois os espaços vazios presentes na estrutura dos solos são preenchidos pela água que possui maior condutividade térmica do que a condutividade térmica do ar que está presente no solo (FAROUKI, 1986).

A presença de água propicia um aumento efetivo da seção de contato das partículas sólidas capaz de propagar calor e, com isso a condutividade térmica se eleva rapidamente. Se a umidade aumenta a condutividade térmica do solo continua aumentar porque o ar, que possui baixa condutividade é colocado fora de ação.

(PREVEDELLO, 1996).

Quanto maior a condutividade térmica menor será a variação de temperatura da superfície e maior será o armazenamento de calor. A condutividade térmica do solo depende da textura, da porosidade e da umidade. Por isso, ela varia de solo para solo e para um mesmo solo, de acordo com o seu conteúdo de água. Para esclarecer melhor a Tabela 1 contém valores de condutividade térmica e diferentes conteúdos de água em diferentes solos no Estado de São Paulo. Fica evidente que o teor de umidade é o fator que afeta significativamente a condutividade térmica do solo (DECICO,1967).

Tabela 1 – Condutividade térmica (K) de solos com diferentes texturas e teores de umidade, no interior do estado de São Paulo (DECICO, 1967).

	Textura			Umidade (%) peso	K (10 ⁻⁴ cal cm ⁻¹ s °C)
	Argila (%)	Silte (%)	Areia(%)		
Iracema	67	11	22	0,0	4,9
				20,0	24,0
				34,1	48,2
Luiz de Queiroz	38	28	34	0,0	6,2
				22,0	27,0
				30,0	32,0
Quebra dente	5	19	76	0,0	6,6
				8,7	29,4

Como a difusividade térmica (D) é igual à razão entre a condutividade térmica (K) e a capacidade térmica volumétrica (Cv), ou seja, $D = K/Cv$, se há um aumento na condutividade térmica há também um aumento na difusividade térmica, desde que a capacidade térmica volumétrica não aumente mais do que a condutividade térmica.

Outro componente que interfere na condutividade térmica e por consequência na difusividade térmica é a densidade aparente do solo. Nesse aspecto, Decico (1967) estudando o efeito da densidade aparente do solo sobre a condutividade térmica em solos no estado de São Paulo, verificou em todos os testes realizados, que há um aumento da condutividade térmica, para qualquer umidade experimentada.

Em testes de laboratório, Abu-Hamdeh (2003) verificou que o efeito do conteúdo de água sobre a difusividade térmica do solo depende da textura do mesmo. A difusividade térmica tanto do solo arenoso quanto do argiloso aumentou com o aumento da sua umidade, contudo, no solo arenoso, a taxa de incremento da difusividade térmica com a umidade foi superior à do solo argiloso. Além disso, no solo arenoso verificou-se um pico no valor da difusividade térmica antes de sua estabilização a um valor inferior a esse pico, o que não foi verificado para o solo argiloso (Figura 1).

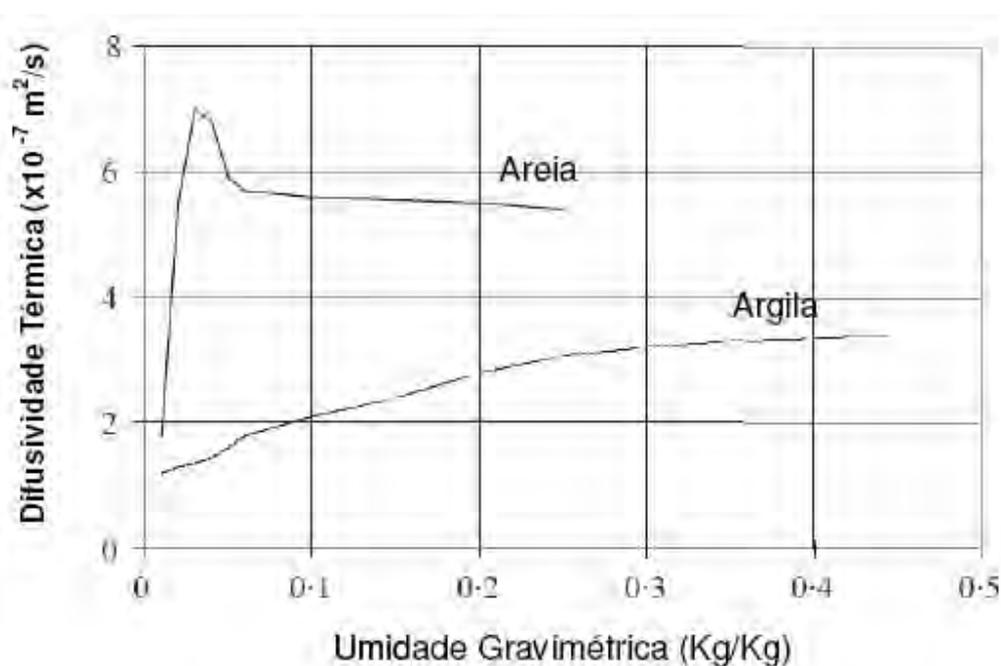


Figura 1 – Efeito da umidade gravimétrica sobre a difusividade térmica de um solo arenoso e outro argiloso. (Abu-Hamdeh, 2003).

A difusividade térmica aumenta com o aumento da umidade, até atingir um valor máximo, isso se deve ao aumento da seção transversal efetiva capaz de conduzir calor com o aumento da presença de água. A partir desse momento, o aumento da condutividade térmica não aumenta com o conteúdo de água na mesma proporção da capacidade armazenadora e, por conseguinte, a difusividade térmica decresce (PREVEDELLO, 1996).

As variações de temperatura na superfície do solo são uma função das propriedades térmicas do solo, cobertura, evaporação e fatores meteorológicos como

temperatura do ar, radiação solar, vento, precipitação etc. A evaporação, quando a superfície do solo está úmida, é o principal fator de controle da perda de calor. Depois que a camada da superfície seca e o suprimento de água no solo não podem suprir a demanda evaporativa, a perda de calor é influenciada pela inércia térmica (SANTOS, 1997).

A inércia térmica tem uma relação direta com a raiz quadrada do produto da densidade do solo, do calor específico do solo e da condutividade térmica do solo e é uma indicação de uma resistência do solo para variações de temperatura. Se estas variáveis aumentam enquanto o conteúdo de água também aumenta então a amplitude resultante da onda diária de temperatura da superfície diminui. Portanto temperaturas da superfície do solo podem ser um indicador do conteúdo de água no solo (SANTOS,1997).

2.5. ESTIMATIVA DA TEMPERATURA DO SOLO

Modelos para avaliar a temperatura do solo consideram que, no solo, o calor se difunde apenas por condução, por isso a equação que rege este fenômeno é a equação (3), com solução pela equação (4) (DECICO, 1974).

Também algumas condições são impostas para que a dependência da temperatura em função da profundidade e do tempo seja mais próxima das condições encontradas a campo, como: solo sem vegetação, homogêneo, de densidade e umidade constante ao longo da profundidade e exposto à radiação solar.

Existem limitações no uso desta metodologia, como: a trajetória aparente do sol não é uma senóide, variando com a época do ano e com a latitude; e a equação se aplica apenas a dias sem nuvens. Como a temperatura pela equação 4 em uma mesma profundidade varia senoidalmente com o tempo, é necessário haver um referencial que seja tomado como origem dos tempos (momento em que a temperatura do solo inicia o seu aumento; próximo ao “nascer do sol”). Como isso ocorre em torno das 7:00 horas da manhã (hora local), a origem dos tempos deve ser considerada aproximadamente nesse horário para latitudes tropicais (OMETTO, 1981).

3. MATERIAL E MÉTODOS

3.1. DESCRIÇÃO DA ÁREA EXPERIMENTAL

O experimento foi conduzido em uma área experimental da RPPN/SNUC – SESC – Pantanal, onde existe uma vegetação da formação monodominante de cambará (*V. divergens*), com altura entre 28 a 30 m, que forma uma faixa contínua, com aproximadamente 25 km de extensão e 4 km de largura, paralela ao rio Cuiabá. O período de estudo deste trabalho foi de 27 de outubro de 2008 a 25 de fevereiro de 2009, durante o período em que não houve formação de lâmina d'água (inundação), pois a inundação ocorreu em março de 2009. Nesta área está instalada uma torre micrometeorológica de 32 m de altura, de coordenadas geográficas 16° 33' 19" de latitude sul e 56° 17' 11" de longitude oeste e altitude de 120 m (Figura 1).

O solo é classificado como GLEISSOLO HÁPLICO (EMBRAPA, 1999b). O clima da região é do tipo Aw, que corresponde a invernos secos e verões chuvosos. A letra "A" corresponde à zona climática tropical úmida, ocupada pela categoria florística das megatermas, caracterizada por vegetação tropical com temperaturas e umidade relativa do ar sempre elevadas. A letra "w" corresponde, na região, a uma precipitação anual entre 1000 e 1500 mm, com total mensal médio do mês mais seco inferior a 40 mm. A temperatura anual média do ar na RPPN SESC-Pantanal oscila entre 22°C e 32°C e a precipitação média anual entre 1100 e 1200 mm (HASENACK et al, 2003).

Na área de estudo ocorre inundação, a qual é um reflexo da variação do nível de água dos rios Cuiabá e São Lourenço. Neste local, a inundação teve seu início entre 25 de fevereiro e 07 de março de 2009 conforme observações em campo, portanto no período da pesquisa não houve inundação.

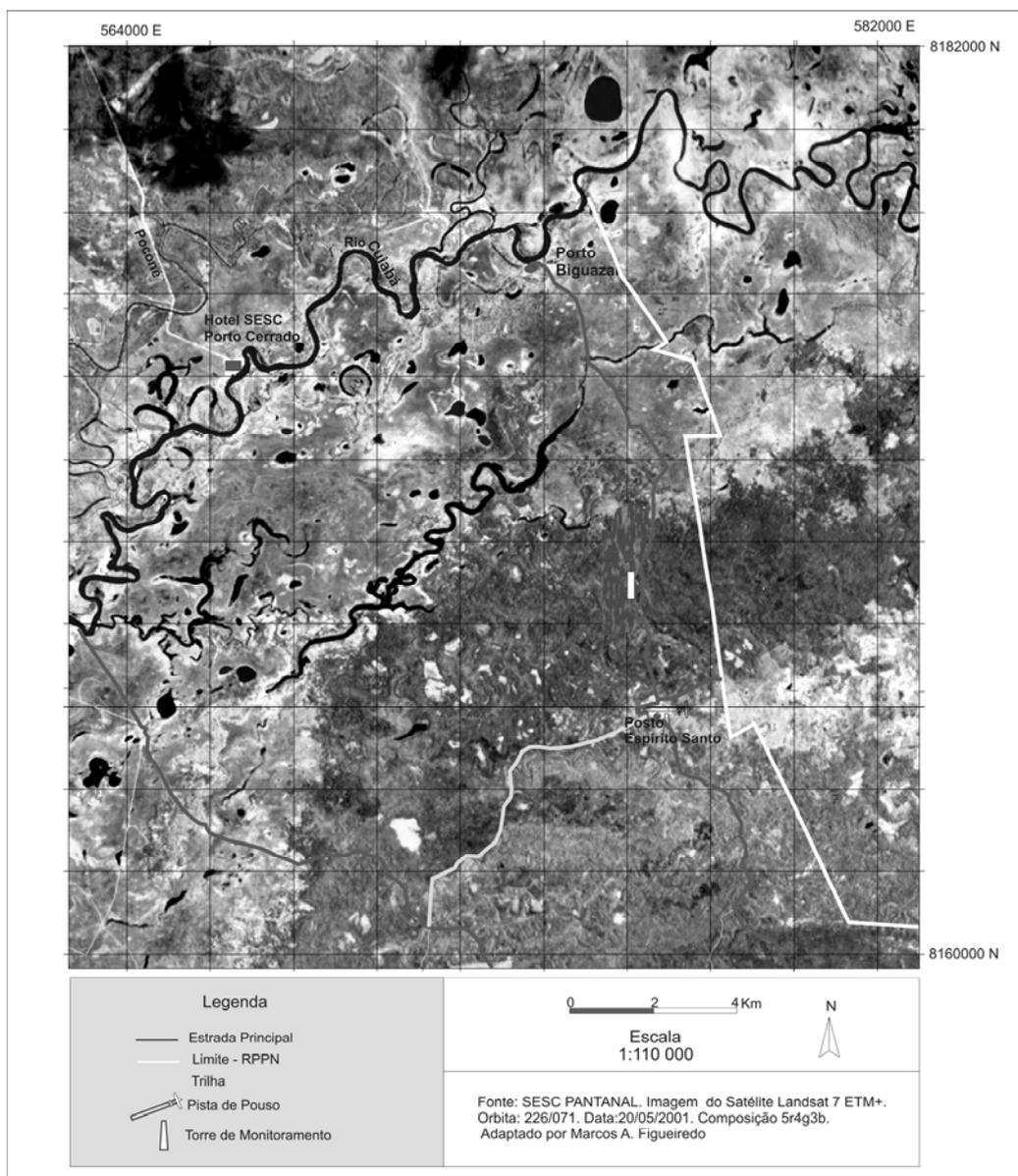


Figura 2 – Localização da área experimental (Torre) na RPPN SESC – Pantanal – Município de Barão de Melgaço – MT

3.2. INSTRUMENTAÇÃO UTILIZADA

A torre micrometeorológica (Figura 3) possui vários equipamentos, mas somente alguns foram utilizados: cinco termistores instalados a 0,01, 0,03, 0,07, 0,15 e 0,30 m de profundidade, modelo 108-L (Campbell Scientific, Inc., Logan, Utah, USA) um termohigrômetro instalado a 37,7 m de altura, modelo HMP 45 C (Vaisala, Inc., Helsinki, Finland) um pluviômetro de báscula colocado a 35 m de altura modelo TB4-L25 (Campbell Scientific, Inc., Logan, Utah, USA), um piranômetro instalado a

33 m de altura modelo LI-200 (Campbell Scientific, Inc., Logan, Utah, USA), dois datalogger modelo CR 10X (Campbell Scientific, Inc., Logan, Utah, USA) e uma placa multiplexadora modelo AM16/32A-ST-SW (Campbell Scientific, Inc., Logan, Utah, USA).



Figura 3 – Torre micrometeorológica no interior da floresta de Cambará.

Os equipamentos foram alimentados com tensão de 12 V por um banco de quatro baterias de 150 Ah cada, carregadas por quatro painéis solares de 64 W. Por problemas com o pluviômetro foram utilizados dados de precipitação medida no posto da RPPN SESC – Pantanal em Porto Cercado, localizado a aproximadamente 15 km da torre micrometeorológica.

3.3. DETERMINAÇÃO DA UMIDADE DO SOLO

A umidade do solo foi determinada pelo método gravimétrico com amostras deformadas coletadas quinzenalmente. Este método consiste em colocar a amostra em estufa de secagem a 105°C, por 24 horas. As amostras de solo submetidas à determinação do conteúdo de água obedeceram ao seguinte procedimento: coletou-se amostras de solo próximo ao local onde estão instalados os termistores nas profundidades de 0,00 a 0,05 m, de 0,05 a 0,10 m, de 0,10 a 0,20 m e de 0,20 a 0,30 m, totalizando quatro amostras; de cada amostra, foram realizadas três repetições, colocando-as em vasilhas previamente pesadas; pesou-se, então, o peso úmido (peso da vasilha e da amostra) para cada repetição; levou-se à estufa de secagem por 24 horas à 105°C; pesou-se novamente obtendo o peso seco (peso da vasilha e da amostra) para cada repetição; O teor de umidade, expresso em peso seco, foi determinado segundo a Equação (7).

$$u = \frac{PU - PS}{PS - PR} \quad 7$$

em que u umidade do solo à base de peso, PU é o peso do solo úmido (peso da vasilha e da amostra, em kg), PS é o peso do solo seco (peso da vasilha e da amostra, em kg) e PR é o peso da vasilha (kg).

A determinação da densidade aparente do solo (Equação 8) foi realizada por três coletas amostras de solo indeformado para cada profundidade, próximo ao local onde estão instalados os termistores, de 0,05 a 0,10 m, 0,10 a 0,20 m e 0,20 a 0,30 m utilizando-se de um trado tipo TAI (Trado para coleta de Amostras Indeformadas de solo). As amostras foram levadas à estufa de secagem adotando o mesmo procedimento usado na amostra deformada, pelo método gravimétrico.

$$\rho = \frac{PS}{VT} \quad 8$$

em que ρ é a densidade aparente do solo (kg m^{-3}), PS é o peso seco de cada amostra (kg) e VT volume de cada amostra contida no cilindro (m^3)

O conteúdo de água do solo foi determinado pelo produto entre a umidade do solo e sua densidade aparente (Equação 9), calculada à mesma profundidade.

$$\theta = u \cdot \rho \quad 9$$

em que θ é o conteúdo de água no solo ($\text{m}^3 \text{ m}^{-3}$) e ρ densidade do solo (kg m^{-3}), sendo u definido pela Equação (8).

Os valores da capacidade de campo (CC) e do ponto de murcha permanente (PMP) do local foram obtidos por Biudes (2008), sendo iguais a $0,46 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$ e $0,23 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$ respectivamente.

3.4. DETERMINAÇÃO DA DIFUSIVIDADE TÉRMICA DO SOLO

As temperaturas do solo foram registradas no datalogger a cada meia hora desde 0h até 23h e 30min. (hora local). Fez-se a média horária para cada dia. A difusividade térmica do solo foi estimada diariamente entre as profundidades de 0,01 e 0,03 m, 0,01 e 0,07 m, 0,01 e 0,15 m e 0,01 e 0,30 m pelos métodos da amplitude, do arco tangente, do logarítmico e da fase.

Do período estudado, foram selecionados os dias 27 e 31 de outubro de 2008 e 04 e 09 de janeiro de 2009. para análise, tendo como critérios de seleção o conteúdo de água no solo, a ocorrência ou não de precipitação e a presença ou não de nuvens.

3.4.1. Método da amplitude

A difusividade térmica do solo (D) nas diferentes profundidades pelo método da amplitude foi determinada pela equação (10) (RICHARDT & TIMM, 2004).

$$D = \left(\frac{\omega}{2} \right) \left[\frac{(z_2 - z_1)}{\ln \left(\frac{A_1}{A_2} \right)} \right]^2 \quad (10)$$

em que A_1 e A_2 são as amplitudes da onda de temperatura (diferença entre a

temperatura máxima do dia e a temperatura média diária) nas profundidades z_1 e z_2 , respectivamente. A velocidade angular da terra foi $\omega = 7,27 \times 10^{-5} \text{ rad s}^{-1}$.

Os valores das amplitudes da onda de temperatura ($^{\circ}\text{C}$), das profundidades (m) e a velocidade angular em (rad s^{-1}) foram substituídos na (Equação 10) e processadas no Excel, obtendo-se uma difusividade térmica do solo diária (D) em ($\text{m}^2 \text{ s}^{-1}$).

A estimativa da difusividade térmica do solo foi realizada entre as profundidades de 0,01 a 0,03 m, 0,01 a 0,07 m, 0,01 a 0,15 m e 0,01 a 0,30 m do solo. Para cada profundidade, foi estimada a amplitude da onda de temperatura A_1 na profundidade 0,01 m e a amplitude da onda de temperatura A_2 nas profundidades 0,03 m, 0,07 m, 0,15 m e 0,30 m.

3.4.2. Método do arco tangente

A estimativa da difusividade térmica do solo pelo método do arco tangente foi obtida utilizando as temperaturas médias diárias, T_1 , T_2 , T_3 e T_4 em diferentes horários na profundidade z_1 e T_1' , T_2' , T_3' e T_4' em diferentes horários na profundidade z_2 em intervalos de 6h em 6h (NERPIN & CHUDNOSVSKII, 1967), pela equação do arco tangente (Equação 11).

$$D = \frac{\omega \cdot (z_2 - z_1)^2}{2 \cdot \left[\arctan \left[\frac{(T_1 - T_3)(T_2' - T_4') - (T_2 - T_4)(T_1' - T_3')}{(T_1 - T_3)(T_1' - T_3') + (T_2 - T_4)(T_2' - T_4')} \right] \right]^2} \quad (11)$$

No trabalho na camada de 0,01 a 0,03 m, T_1 corresponde à temperatura no horário 0h (hora local) na profundidade 0,01 m, T_1' corresponde à temperatura no horário 0h (hora local) na profundidade 0,03 m, T_2 corresponde à temperatura no horário 6h (hora local) na profundidade 0,01 m, T_2' corresponde à temperatura no horário 6h (hora local) na profundidade 0,03 m, T_3 , corresponde à temperatura no horário 12h (hora local) na profundidade 0,01 m, T_3' corresponde à temperatura no horário 12h (hora local) na profundidade 0,03 m, T_4 corresponde à temperatura no

horário 18h (hora local) na profundidade 0,01 m e T_4' corresponde à temperatura no horário 18h (hora local) na profundidade 0,03 m. Nas profundidades de 0,01 a 0,07 m, de 0,01 a 0,15 m e de 0,01 a 0,30 m o procedeu-se da mesma forma. Assim os dados foram substituídos na (Equação 11) e processados por meio da planilha do Excel, obtendo-se uma difusividade térmica do solo diária (D) em ($m^2 s^{-1}$).

3.4.3. Método do logarítmico

A difusividade térmica do solo pelo método do logarítmico (Equação 12) foi determinada com as mesmas variáveis utilizadas no método do arco tangente (SEEMANN, 1979).

$$D = \left[\frac{0,121 \cdot (z_2 - z_1)}{\ln \left[\frac{(T_1 - T_3)^2 + (T_2 - T_4)^2}{(T_1' - T_3')^2 + (T_2' - T_4')^2} \right]} \right]^2 \quad (12)$$

Para estimar a difusividade térmica do solo nas profundidades de 0,01 a 0,03 m, de 0,01 a 0,07 m, de 0,01 a 0,15 m e de 0,01 a 0,30 m utilizou os mesmos procedimentos do método do arco tangente. Assim os dados foram substituídos na (Equação 12) e processados por meio da planilha do Excel, obtendo-se uma difusividade térmica do solo diária (D) em ($m^2 s^{-1}$).

3.4.4. Método da fase

O cálculo da difusividade térmica do solo (D) pelo método da fase foi obtido pela equação da fase (Equação 13).

$$D = \left(\frac{1}{2 \cdot \omega} \right) \left[\frac{(z_2 - z_1)}{\Delta t} \right]^2 \quad (13)$$

em que z_1 e z_2 são as profundidades do solo e $\Delta t = t_2 - t_1$, onde Δt é o intervalo de

tempo entre t_1 e t_2 e são os tempos onde a onda de temperatura passou por um máximo na profundidade z_1 e na profundidade z_2 .

Neste trabalho, a estimativa da difusividade térmica do solo pelo método da fase foram consideradas as profundidades de 0,01 a 0,03 m, de 0,01 a 0,07 m, de 0,01 a 0,15 m e de 0,01 a 0,30 m e t_1 o tempo onde ocorreu a temperatura máxima do dia na profundidade 0,01 m e t_2 o tempo onde ocorreu a temperatura máxima do dia na profundidade 0,03 m, 0,07 m, 0,15 m e 0,30 m respectivamente. Assim os dados foram substituídos na equação (13) e processados na planilha do Excel, obtendo-se uma difusividade térmica do solo diária (D) em ($m^2 s^{-1}$).

Observações frequentes da temperatura do solo são necessárias para assegurar estimativas corretas de t_1 e t_2 . Nos dias nublados pode ocorrer mais de um máximo relativo de temperatura do solo (T), o que dificulta o cálculo de Δt (RAO et al, 2005).

3.4. SIMULAÇÃO DA TEMPERATURA DO SOLO

A estimativa da temperatura do solo foi determinada pela equação (4).

$$T(z, t) = \bar{T} + T_0 e^{(-z\sqrt{\omega/2D})} \cdot \text{sen} \left(\omega t - z\sqrt{\frac{\omega}{2D}} \right) \quad (4)$$

em que \bar{T} é a temperatura média diária, utilizando medidas a cada 30 minutos, T_0 é a amplitude da temperatura do solo na superfície ao longo do dia (diferença entre a temperatura máxima e a temperatura média do dia), D é a difusividade térmica do solo ($m^2 s^{-1}$), ω é a velocidade angular da Terra ($2\pi/24$) rad h^{-1} , z é a profundidade (m) e t é o tempo (horas). Neste trabalho, a origem dos tempos foi considerada às 7h e 30min (hora local).

No trabalho as variáveis assumiram os seguintes valores, \bar{T} é a temperatura média diária, utilizando medidas a cada 30 minutos na profundidade 0,01 m para todas as profundidades do solo onde T foi simulado, D difusividade térmica do solo nas profundidades de 0,01 a 0,03 m, de 0,01 a 0,07 m, de 0,01 a 0,15 m e de 0,01 a 0,30 m, z profundidade em 0,03 m, 0,07 m, 0,15 m e 0,30 m, T_0 é a amplitude da onda de temperatura do solo na superfície ao longo do dia (diferença entre a temperatura máxima e a

temperatura média do dia), t o tempo (s), a origem dos tempos foi considerada às 7h e 30min (hora local), ω a velocidade angular da terra igual a $0,0000727 \text{ rad s}^{-1}$.

3.5. ANÁLISE DE DADOS

Na simulação foram usados diferentes índices no sentido de apurar a coerência dos dados medidos com os dados estimados, devido o uso de quatro métodos de estimativa da difusividade térmica do solo cujos valores para uma mesma profundidade são diferentes, pois os mesmos foram determinados por equações diferentes.

Os valores simulados de temperatura do solo usando os métodos da amplitude, do arco tangente, do logarítmico e da fase foram comparados com os valores da temperatura do solo medidos em campo. Para tanto foi considerado os seguintes índices de validade das equações; precisão (r); concordância (d), erro quadrático médio (EQM) e erro médio absoluto (EMA).

A precisão é dada pelo coeficiente de correlação (r). É um índice estatístico que indica o grau de associação entre duas variáveis. A concordância se refere à exatidão ou à aproximação dos dados estimados aos verdadeiros.

$$r = \frac{\sum_{i=1}^n (E_i - \bar{E}) \cdot (T_i - \bar{T})}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (E_i - \bar{E})^2 \cdot \sum_{i=1}^n (T_i - \bar{T})^2}} \quad 14$$

Para quantificar matematicamente essa aproximação, foi desenvolvido por Willmott (1982) um coeficiente designado concordância ou exatidão (d) (Equação 15). Seus valores variam de zero, para nenhuma concordância, a 1 para a concordância perfeita.

$$d = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n (E_i - T_i)^2}{\sum_{i=1}^n (|E_i - T| + |T_i - \bar{T}|)^2} \quad 15$$

em que d é a concordância, E_i são as temperaturas estimadas, T_i são as temperaturas

medidas n é o número de observações e \bar{T} é a média das temperaturas medidas.

O erro quadrático médio (EQM) indica o quanto o modelo falha em estimar a variabilidade das medidas em torno da média e mede a variação dos valores estimados ao redor dos valores medidos (Equação 16). O menor limite em (EQM) é 0, significa que há plena adesão entre as estimativas do modelo e as medidas.

$$EQM = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (E_i - T_i)^2}{n}} \quad 16$$

O erro médio absoluto (EMA) indica o afastamento (desvio) médio absoluto dos valores estimados em relação aos valores medidos (Equação 17). O ideal seria que os valores do erro médio absoluto e do erro quadrado médio fossem o mais próximo de zero.

$$EMA = \sum_{i=1}^n \frac{|E_i - T_i|}{n} \quad 17$$

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1. AVALIAÇÃO GERAL DAS CONDIÇÕES LOCAIS

Os valores máximos da temperatura média mensal dos valores instantâneos decresceram de outubro a dezembro, enquanto que os valores mínimos da temperatura média mensal dos valores instantâneos tiveram pouca variação até dezembro. De janeiro a fevereiro as temperaturas máximas cresceram, porém com uma taxa menor, enquanto que as temperaturas mínimas tiveram seus valores elevados (Figura 3).

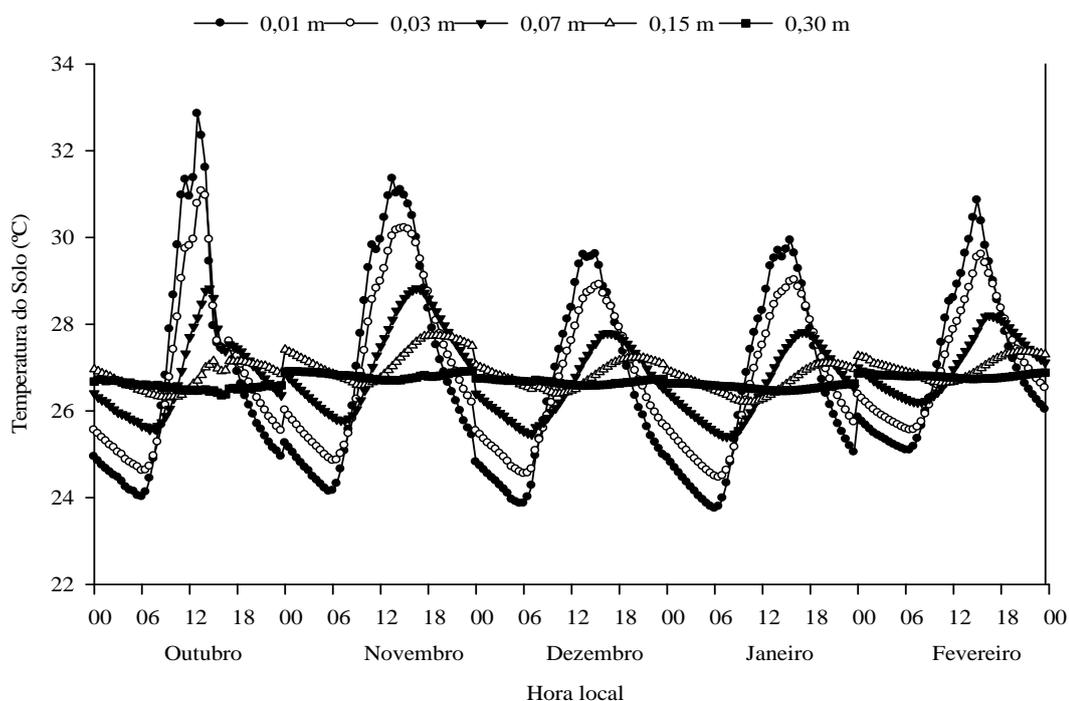


Figura 4 – Média horária mensal da temperatura do solo a 0,01, 0,03, 0,07, 0,15 e 0,30 m de profundidade de outubro de 2008 a fevereiro de 2009 no Cambarazal da RPPN SESC - Pantanal.

Em média as temperaturas máximas mensais (Figura 4), na profundidade 0,01 m nos meses de outubro, novembro, dezembro, janeiro e fevereiro foram 32,85°C, 31,35 °C, 29,62 °C, 29,93 °C e 30,86°C e o horário de ocorrência das mesmas foi às 13h, às 13h e 30min, às 15h, às 15h e 30min e às 15h, respectivamente. Enquanto que em média as temperaturas mínimas mensais no nível 0,01 m nos meses de outubro, novembro, dezembro, janeiro e fevereiro foram de 24,02 °C, 24,14 °C, 23,86 °C, 23,75 °C e 25,09 °C, ocorrendo às 6h, às 5h e 30min, às 5h e 30min, às 6h e às 6h e 30min, respectivamente.

A atenuação da temperatura máxima da profundidade 0,01 m para a profundidade 0,30 m em outubro foi em média de 6,13 °C, em novembro 4,42 °C, em dezembro 2,82 °C, em janeiro 3,29 °C e em fevereiro 3,98 °C com defasagem de 11h e 30min, em outubro 10h, em novembro 9h e 30min, em dezembro, 9h em janeiro e 10h em fevereiro (Figura 4).

A precipitação durante todo o período de estudo foi de 996 mm. Os meses que apresentaram maior precipitação foram dezembro e fevereiro, com 320 e 355 mm, respectivamente (Figura 5).

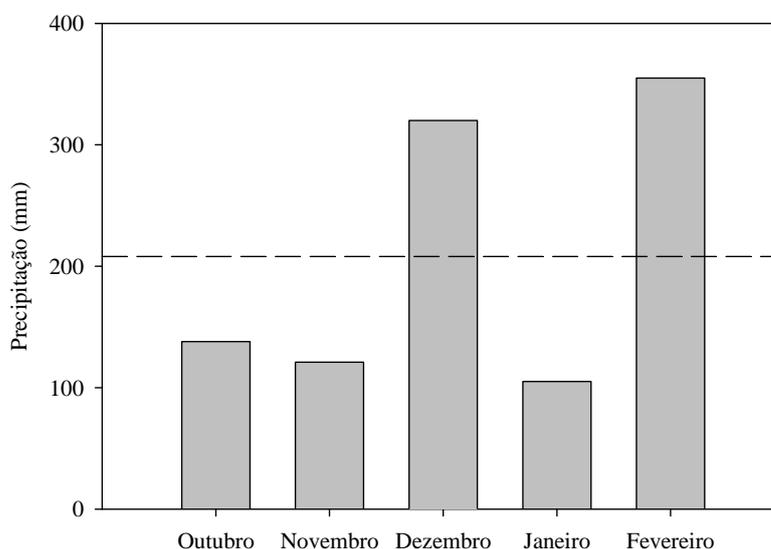


Figura 5 – Precipitação mensal de outubro de 2008 a fevereiro de 2009 e média para este período (linha tracejada) no Cambarazal da RPPN SESC - Pantanal.

Em outubro, quando a precipitação foi menor (Figura 5), a amplitude média da temperatura foi maior (Figura 6). Em dezembro a precipitação (Figura 5) foi maior do que em outubro e a amplitude média da temperatura foi menor (Figura 6).

Ou seja, quanto menor foi a precipitação, maior a amplitude, e quanto maior a precipitação, menor amplitude. Portanto, ocorreu diminuição nas amplitudes térmicas em função de um maior conteúdo de água no solo (Figura 6), devido ao aumento da precipitação (Figura 5).

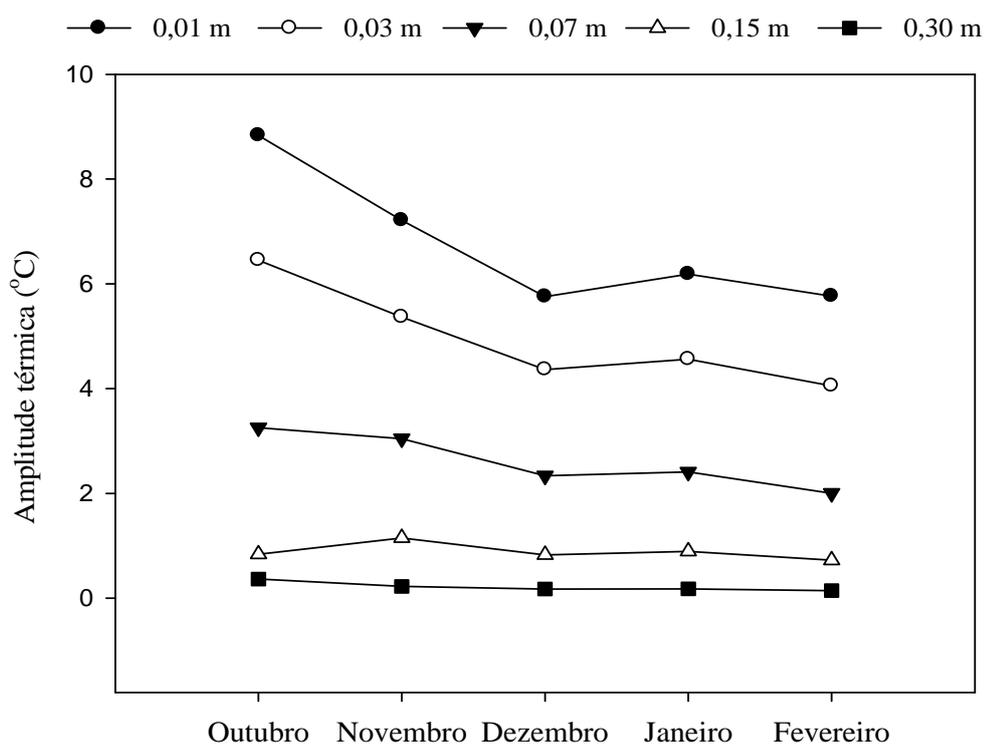


Figura 6 - Amplitude média mensal da temperatura do solo a 0,01, 0,03, 0,07, 0,15 e 0,30 m de profundidade de outubro de 2008 a fevereiro de 2009 no Cambarazal da RPPN SESC - Pantanal.

Em janeiro, houve diminuição da precipitação (Figura 5), e a amplitude média da temperatura (Figura 6) apresentou aumento. Em fevereiro, a precipitação aumentou (Figura 5), atingindo o valor máximo mensal do período analisado, e a amplitude média da temperatura do solo (Figura 6) apresentou diminuição.

Este padrão da amplitude também ocorreu nas três primeiras profundidades do solo, enquanto que nas duas outras profundidades houve menor variação da amplitude.

À medida que a onda de calor penetra no solo, sua amplitude é diminuída em função da atenuação da radiação e do conteúdo de água no solo que influencia significativamente na variação do perfil de temperatura do solo, pois altera as

propriedades térmicas do solo (SANTOS, 1987).

Em meses em que a precipitação é menor, a amplitude da temperatura do solo é maior que em meses que a precipitação é maior, o que comprova que a radiação solar e o conteúdo de umidade no perfil do solo são as principais variáveis de controle da penetração da onda de calor (SANTOS, 1987).

O conteúdo de água no solo aumenta de outubro a fevereiro (Figura 7). Em outubro, o conteúdo de água no solo apresentou menores valores, coincidindo com o início da estação chuvosa. Neste mês, a amplitude média da temperatura do solo foi maior (Figura 6).

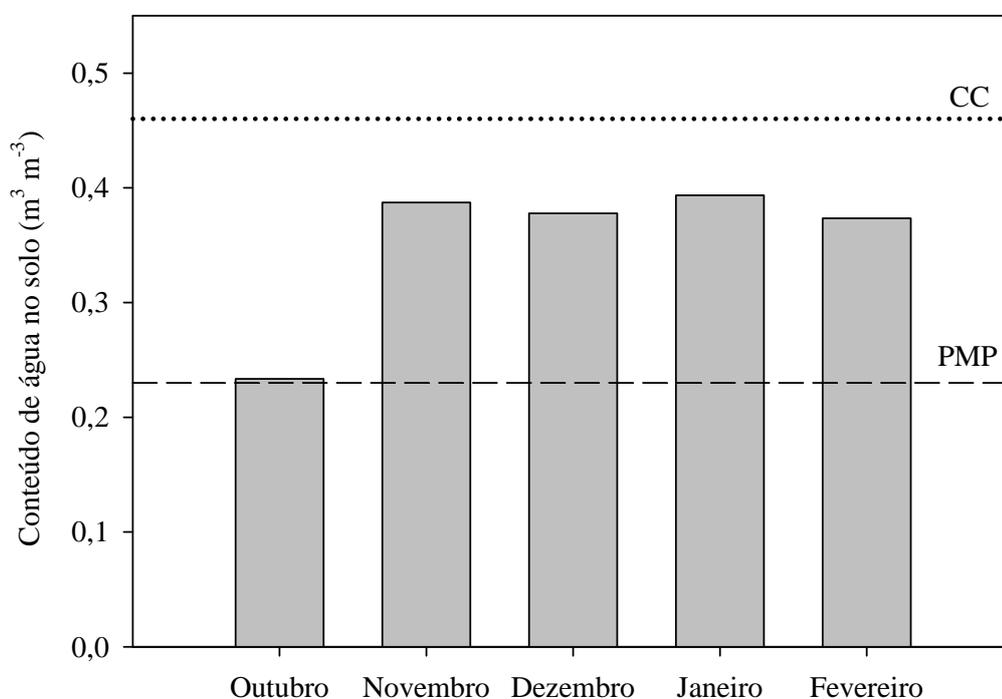


Figura 7 – Média do conteúdo de água no solo a 0,01 e 0,30 m de profundidade de outubro de 2008 a fevereiro de 2009 no Cambarazal da RPPN SESC - Pantanal.

Segundo Pezzopane et al. (2002), a redução da amplitude térmica no verão, período deste trabalho, deve-se ao maior teor de água no solo (Figura 7), que altera a magnitude dos componentes do balanço de energia, além de modificar as propriedades de condução de calor pelo solo.

O solo do Cambarazal possui uma significativa camada de serrapilheira (Figura 8), além da própria vegetação de Cambará que forma uma proteção. Portanto

é um solo que tem uma cobertura considerável, a qual mantém o conteúdo de água no solo maior do que um solo sem cobertura.



Figura 8 – Serrapilheira e material em decomposição sob o solo da floresta de Cambará – RPPN – SESC, Barão de Melgaço – MT.

Em solo coberto pressupõe-se que haja maior teor de umidade e essa altera o calor específico e a condutividade térmica do solo. Dessa forma, como o calor específico da água é elevado ($4,18 \text{ MJ.m}^{-3} \text{ K}^{-1}$) a capacidade térmica do solo aumenta com o aumento do teor de umidade (SHOFFEL, 2005).

A menor temperatura do solo úmido em relação ao solo seco é devido ao maior calor específico do solo úmido. A capacidade térmica volumétrica de um solo úmido é maior do que a capacidade térmica volumétrica de um solo seco, portanto um solo seco aquece e se resfria mais rápido do que um solo úmido, este por sua vez, aquece e se resfria mais lentamente, necessitando de maior troca de calor, já que seu calor específico é maior.

A amplitude da temperatura do ar diminuiu ao longo dos meses analisados (Figura 9) em função da diminuição das temperaturas máximas e aumento das temperaturas mínimas, embora a taxa de diminuição das temperaturas máximas ser maior do que a taxa de crescimento das temperaturas mínimas.

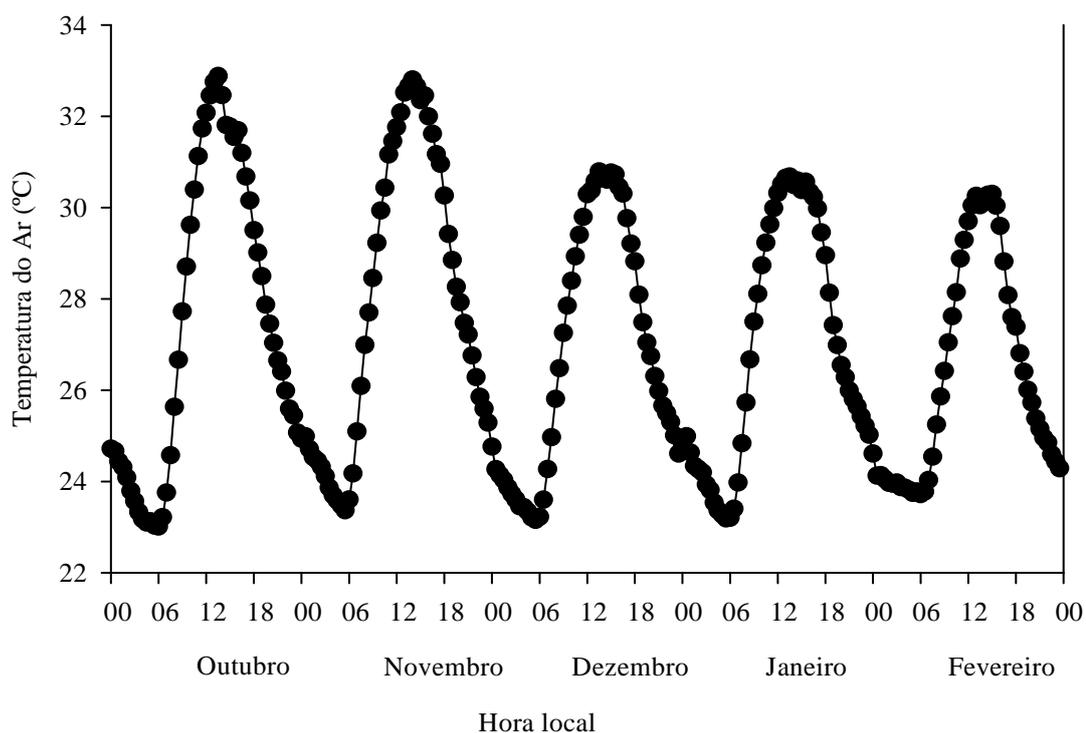


Figura 9 – Média horária mensal da temperatura do ar a 37,7 m de outubro de 2008 a fevereiro de 2009, no Cambarazal da RPPN SESC - Pantanal.

Às 8h (hora local), (Figura 10a) o solo ainda não aqueceu o suficiente para elevar a temperatura da superfície, por esse motivo, as temperaturas das maiores profundidades foram superiores às temperaturas medidas próximas à superfície. Como existe menor energia neste horário, as variações de temperatura não são pronunciadas tanto nas camadas superficiais do solo como nas camadas mais profundas (RAO et al., 2005).

Assim, em horários de baixa ou nenhuma intensidade de radiação solar as temperaturas às profundidades mais superficiais foram menores do que aquelas observadas em profundidades maiores, enquanto que no interior do solo o calor armazenado durante o dia é conduzido mais lentamente por condução, ao passo que nos primeiros centímetros do solo o calor é perdido por emissão de ondas longas e por convecção, cujo valor pode variar em função da velocidade do vento e da temperatura do ar (CARREIRA, 2005).

Às 14h (hora local) a energia foi suficiente para aquecer as camadas superficiais e as camadas mais profundas. Em dezembro aconteceram as menores temperaturas, provavelmente devido à ocorrência de precipitações nesse mês

(Figura 5). Em outubro houve menor precipitação em relação a dezembro e fevereiro (Figura 5) e as temperaturas nesse horário foram maiores (Figura 10b). O padrão de variação da temperatura às 14h (hora local) está de acordo com o esperado.

As camadas mais superficiais do solo estão mais aquecidas do que as camadas mais profundas (RAO et al., 2005). Ou seja, as temperaturas próximas à superfície aumentam em função da maior incidência de radiação solar global e as camadas mais profundas se aquecerão mais lentamente pelo processo de condução, pois haverá a formação de um gradiente de temperatura entre a camada superficial e as camadas mais profundas (PEZZOPANE et al., 2002).

Às 20h (hora local) (Figura 10c) não existe mais radiação global incidindo na superfície do solo. As camadas superficiais vão perdendo energia para a atmosfera diminuindo assim sua temperatura enquanto as camadas mais profundas continuam com temperaturas mais elevadas devido a lentidão do fluxo de calor no interior do solo.

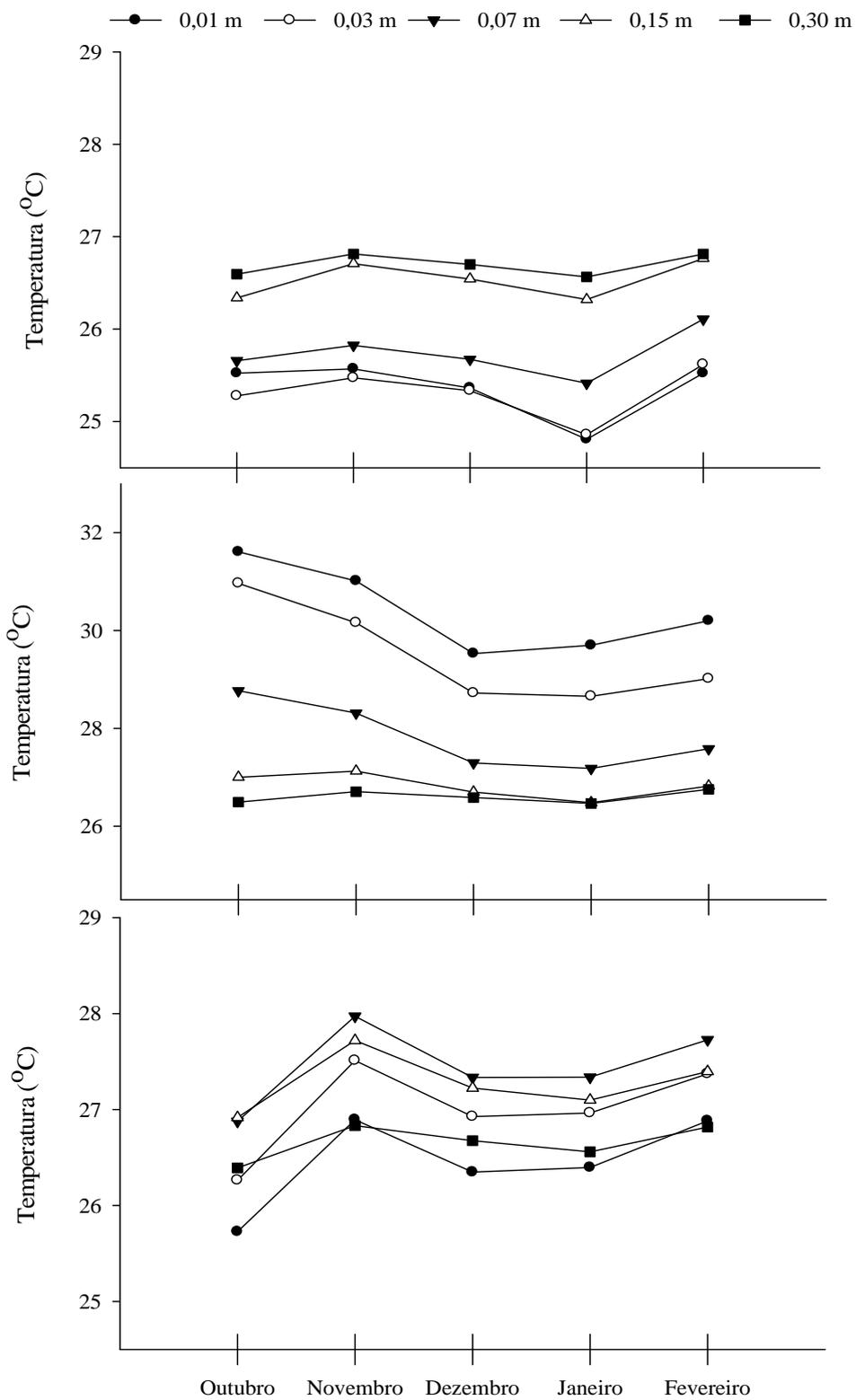


Figura 10 – Temperatura do solo médias mensais as 8h (a), 14h (b) e 20h (c) de outubro de 2008 a fevereiro de 2009 no Cambarazal da RPPN SESC - Pantanal.

4.2. AVALIAÇÃO DA TEMPERATURA DO SOLO EM ALGUNS DIAS

Para representar o ciclo diário da temperatura do solo relacionou-se quatro dias com características distintas baseando-se em dados de precipitação e umidade do solo.

No dia 27 de outubro de 2008 houve 45 mm de precipitação, com poucas nuvens, a radiação global média foi de $20,19 \text{ MJ m}^2 \text{ dia}^{-1}$ e conteúdo médio de água no perfil do solo $0,23 \text{ m}^3 \cdot \text{m}^{-3}$.

O curso diário da temperatura do solo durante o dia 27 de outubro de 2008 (Figura 11) representa claramente a diminuição da amplitude térmica com o aumento da profundidade. Ela que foi $8,69 \text{ }^\circ\text{C}$ a $0,01 \text{ m}$, passou a apresentar valores de $6,57 \text{ }^\circ\text{C}$ a $0,03 \text{ m}$, $3,21 \text{ }^\circ\text{C}$ a $0,07 \text{ m}$, $0,88 \text{ }^\circ\text{C}$ a $0,15 \text{ m}$ e $0,89 \text{ }^\circ\text{C}$ a $0,30 \text{ m}$. Essa diminuição de amplitude decorre simultaneamente com a diminuição da temperatura máxima e com o aumento da temperatura mínima com a profundidade. Para este dia, as temperaturas máximas foram $33,03 \text{ }^\circ\text{C}$, $31,65 \text{ }^\circ\text{C}$, $29,65 \text{ }^\circ\text{C}$, $27,74 \text{ }^\circ\text{C}$ e $27,30 \text{ }^\circ\text{C}$, enquanto que as temperaturas mínimas foram $24,34 \text{ }^\circ\text{C}$, $24,98 \text{ }^\circ\text{C}$, $26,04 \text{ }^\circ\text{C}$, $26,86 \text{ }^\circ\text{C}$ e $26,84 \text{ }^\circ\text{C}$ nas profundidades $0,01$, $0,03$, $0,07$, $0,15$ e $0,30 \text{ m}$, respectivamente.

Observa-se igualmente a sequência dos momentos de ocorrência das temperaturas extremas, que se atrasam continuamente com a profundidade. A temperatura máxima que ocorreu às 13h a $0,01 \text{ m}$ passa a ocorrer às 14h a $0,03 \text{ m}$, às 14h a $0,07 \text{ m}$, às 16h a $0,15 \text{ m}$ e à 1h a $0,30 \text{ m}$. A mínima ocorrendo às 23h e 30min a $0,01 \text{ m}$, às 23h e 30min a $0,03 \text{ m}$, às 23h e 30min a $0,07 \text{ m}$, às 9h e 30min a $0,15 \text{ m}$ e às 23h a $0,30 \text{ m}$.

Nas profundidades $0,01$ e $0,03 \text{ m}$ o ciclo da temperatura não representou uma verdadeira senóide, ela aparece diferente do comportamento característico. Como neste dia houve nuvens, provavelmente elas interferiram no padrão tido como normal, modificando a curva. A temperatura do ar às 13h e 30min estava em $35,43 \text{ }^\circ\text{C}$ e às 14h e 30min baixou para $25,34 \text{ }^\circ\text{C}$, uma diferença de $10,09 \text{ }^\circ\text{C}$ em uma hora. A temperatura do solo na profundidade $0,01 \text{ m}$ passou de $32,99 \text{ }^\circ\text{C}$ para $27,86 \text{ }^\circ\text{C}$ nestes mesmos horários, uma diferença de $5,13 \text{ }^\circ\text{C}$ em uma hora. Segundo observações nos dados coletados do pluviômetro nesse horário começou a chuva o que refletiu diretamente na temperatura do ar e na temperatura do solo.

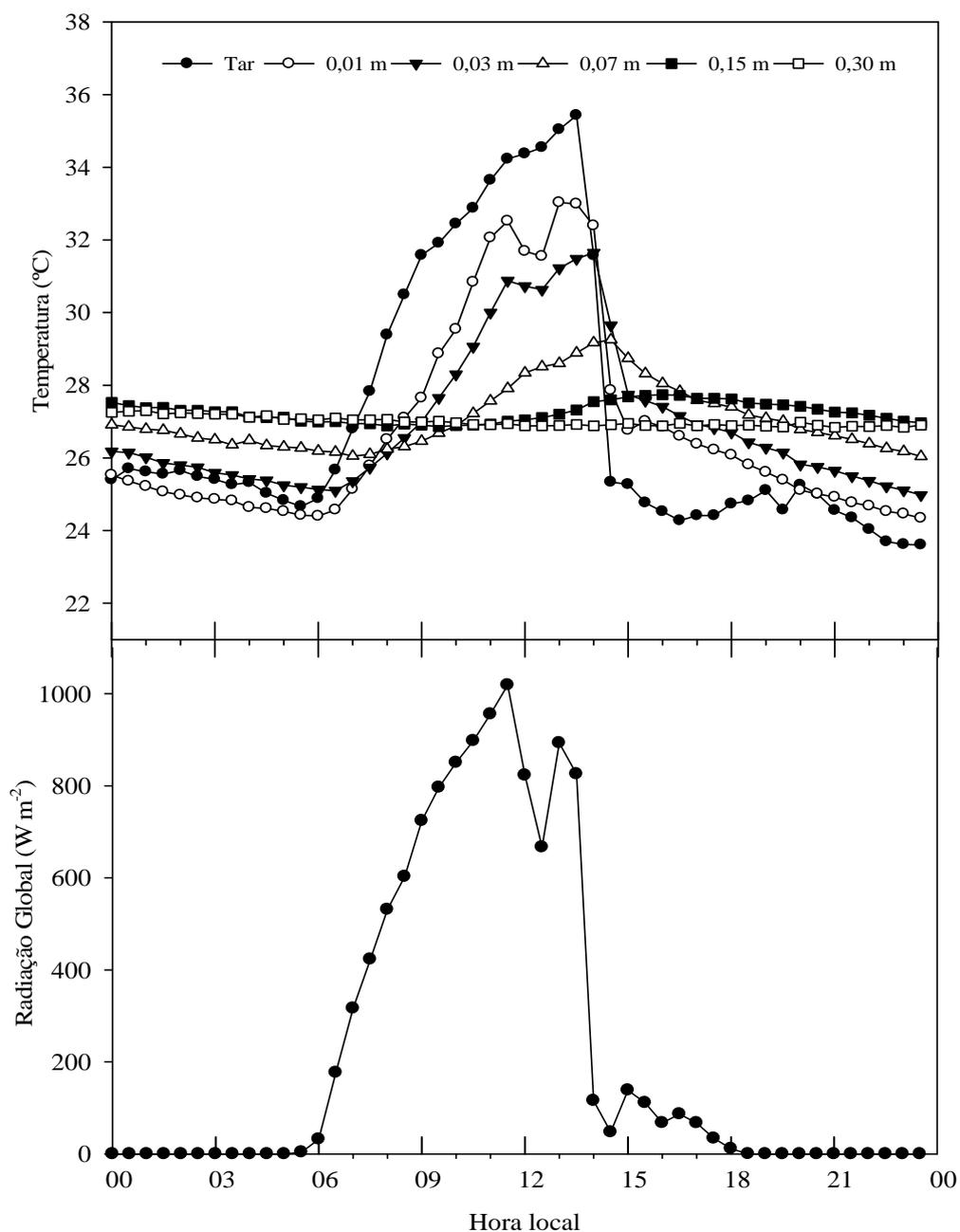


Figura 11 – Temperatura do ar (Tar) e do solo a 0,01, 0,03, 0,07, 0,15 e 0,30 m e a radiação solar incidente em 27 de outubro de 2008 no Cambarazal da RPPN SESC - Pantanal.

No dia 31 de outubro de 2008 (Figura 12) não houve precipitação, nem no dia anterior, mas no decorrer do dia houve a presença de nuvens.

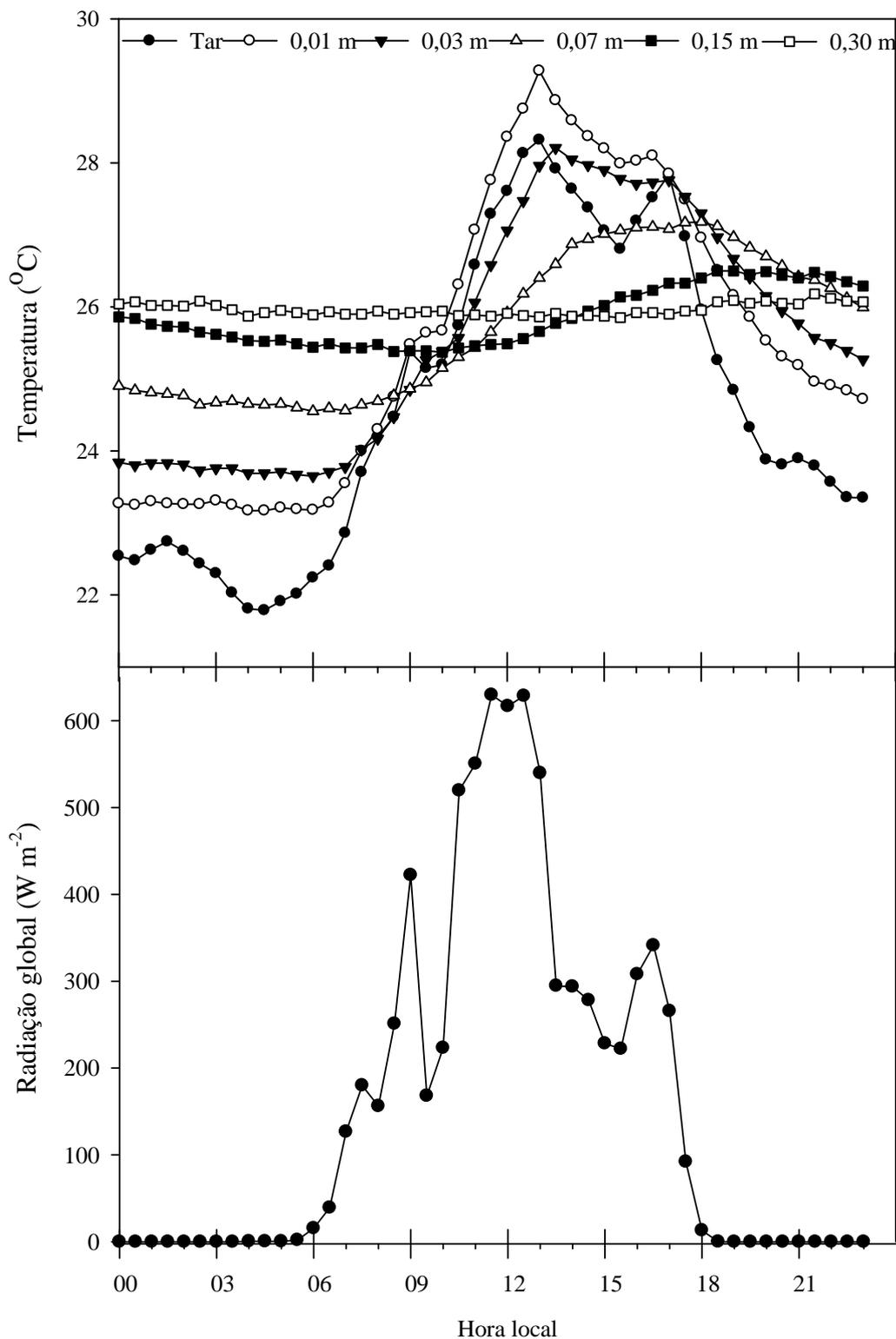


Figura 12 – Temperatura do ar e do solo a 0,01, 0,03, 0,07, 0,15 e 0,30 m e a radiação solar incidente em 31 de outubro de 2008 no Cambarazal da RPPN SESC - Pantanal.

A radiação global média foi de $27,80 \text{ MJ m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$ e o conteúdo médio de água

no perfil do solo $0,32 \text{ m}^3 \cdot \text{m}^{-3}$. Na profundidade 0,01 m a temperatura máxima foi $29,28^\circ\text{C}$ às 13h e a temperatura mínima foi $23,17^\circ\text{C}$ às 4h.

A amplitude térmica variou de $6,11^\circ\text{C}$ na profundidade 0,01 m para $4,56^\circ\text{C}$ na profundidade 0,03 m sendo que a temperatura máxima atingiu $28,21^\circ\text{C}$ às 13h e 30min e a temperatura mínima atingiu $23,65^\circ\text{C}$ às 6h.

Na profundidade 0,30 m a amplitude térmica foi $0,33^\circ\text{C}$, um valor próximo a isotermia, a temperatura máxima de $26,18^\circ\text{C}$ ocorreu às 21h e 30min e a temperatura mínima $25,97^\circ\text{C}$ às 15h. Decorreram-se 8h e 30min entre o máximo da temperatura a 0,01 m e o máximo da temperatura a 0,30 m.

No dia 4 de janeiro de 2009 (Figura 13) não houve precipitação, mas no dia anterior choveu 20 mm, com presença de nuvens, radiação global média $17,78 \text{ MJ m}^2 \text{ dia}^{-1}$ e o conteúdo médio de água no perfil do solo $0,43 \text{ m}^3 \cdot \text{m}^{-3}$.

A temperatura máxima a 0,01 m foi $28,15^\circ\text{C}$ às 15h e a temperatura mínima foi $22,78^\circ\text{C}$ às 5h e 30min com amplitude de $3,38^\circ\text{C}$. Na profundidade 0,15 m a temperatura máxima foi $26,70^\circ\text{C}$ à 0h e a temperatura mínima foi $25,78^\circ\text{C}$ às 11h com amplitude de $0,58^\circ\text{C}$. Já na profundidade 0,30 m a amplitude diminuiu para $0,41^\circ\text{C}$, portanto uma queda de 12,13% em relação à profundidade 0,01 m. Decorreram-se 8h e 30min entre o máximo da temperatura a 0,01 m e o máximo da temperatura a 0,30 m.

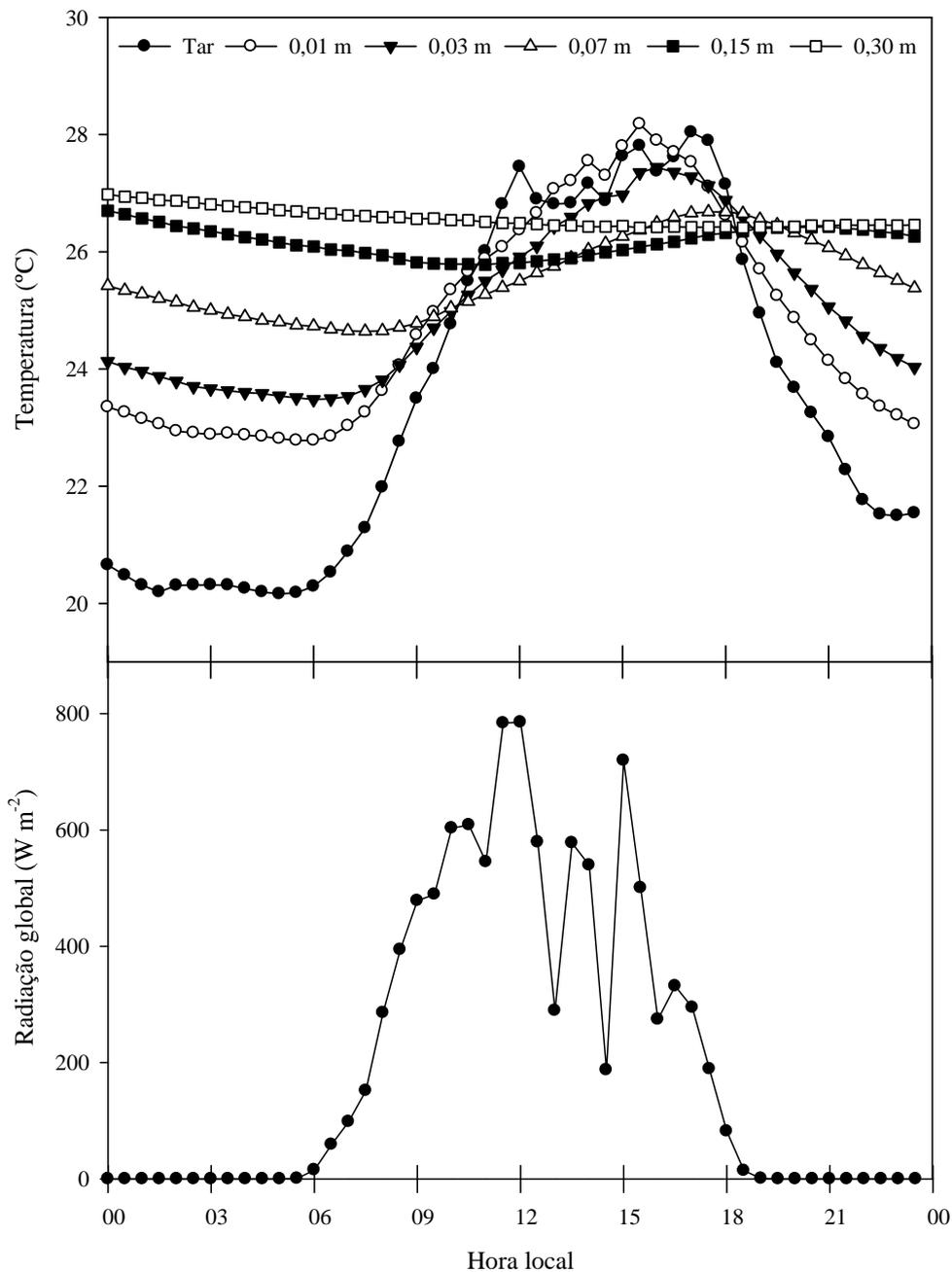


Figura 13 – Temperatura do ar e do solo a 0,01, 0,03, 0,07, 0,15 e 0,30 m e a radiação solar incidente em 04 de janeiro de 2009 no Cambarazal da RPPN SESC - Pantanal.

No dia 9 de janeiro (Figura 14), um dia sem precipitação e sem nuvens, a radiação global média foi de $29,12 \text{ MJ m}^2 \text{ dia}^{-1}$ e o conteúdo de água no solo foi $0,34 \text{ m}^3 \cdot \text{m}^{-3}$. A última chuva (20 mm) ocorreu no dia três de janeiro, portanto seis dias sem chuva.

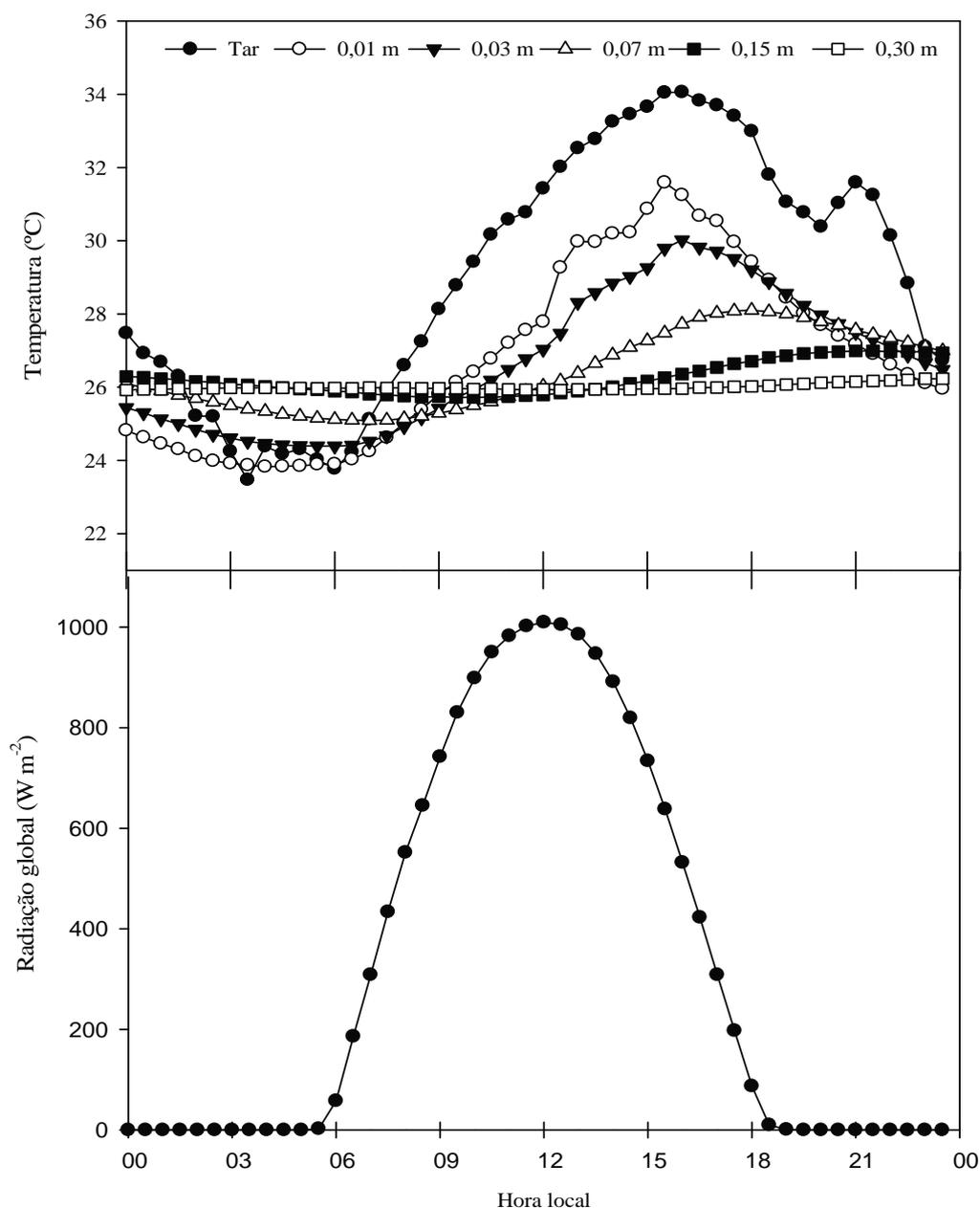


Figura 14 – Temperatura do ar e do solo a 0,01, 0,03, 0,07, 0,15 e 0,30 m e a radiação solar incidente em 09 de janeiro de 2009 no Cambarazal da RPPN SESC - Pantanal.

As temperaturas médias diminuíram em todos os níveis. As temperaturas máximas a 0,01 e 0,30 m foram 31,59°C às 15h e 30min e 26,23°C às 4h, respectivamente. Enquanto que as temperaturas mínimas foram 23,83 °C e 25,92°C a 0,01 e 030 m, respectivamente (Figura 14).

A temperatura do ar atingiu a máxima de 34,06°C às 16h e a mínima de 23,47°C às 3h e 30min (Figura 14). Portanto, 30 minutos após a temperatura do solo

a 0,01 m atingir o máximo valor. Isto é explicado pela maior condutividade térmica do solo (varia entre 0,25 e 2,9 $\text{W}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$) em relação ao do ar ($0,024 \text{ W}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$) e do solo. Portanto, no ar o calor se propaga de forma mais lenta que nos solos, assim, a temperatura máxima do ar ocorre após o máximo da superfície do solo. Esse fenômeno também é devido ao maior calor específico do solo em relação ao ar (PESSOA, 2006).

A diferença entre a ocorrência da temperatura máxima do ar e a ocorrência da temperatura máxima do solo a 0,01 m foi de 30 minutos (Figura 14). Uma característica importante nestes diagramas é o rápido decréscimo da amplitude e o aumento da defasagem no tempo com a profundidade. As ondas de temperaturas não são simétricas, já que a fase de aquecimento do ciclo é mais curta do que a fase de esfriamento.

Nos dias selecionados, nas camadas mais profundas, os valores das temperaturas praticamente mantiveram-se constantes, confirmando o modelo teórico senoidal da temperatura do solo, onde em grandes profundidades o gradiente de temperatura tende a zero (MONTEINTH & UNSWORTH, 1990).

4.3. AVALIAÇÃO DO PERFIL DE TEMPERATURA DO SOLO EM ALGUNS DIAS

O tautócrono do dia 27 de outubro de 2008 (Figura 15) está representado por ser possível observar a influência da precipitação na temperatura do solo.

No horário das 15h o fluxo de calor até a profundidade 0,07 m é ascendente e de 0,07 m até 0,30 m de profundidade é descendente, uma situação que não é normal, pois a normalidade nesse caso seria de fluxo descendente devido nesse horário ocorrer as maiores temperaturas. Nesse dia a partir das 14h e 30min choveu fazendo com que a temperatura do solo diminuísse e invertesse o fluxo de calor no perfil do solo. A amplitude térmica foi $8,69^{\circ}\text{C}$ a 0,01 m e $0,89^{\circ}\text{C}$ a 0,30 m de profundidade. As inversões de fluxo de calor ocorrem na profundidade 0,07 m.

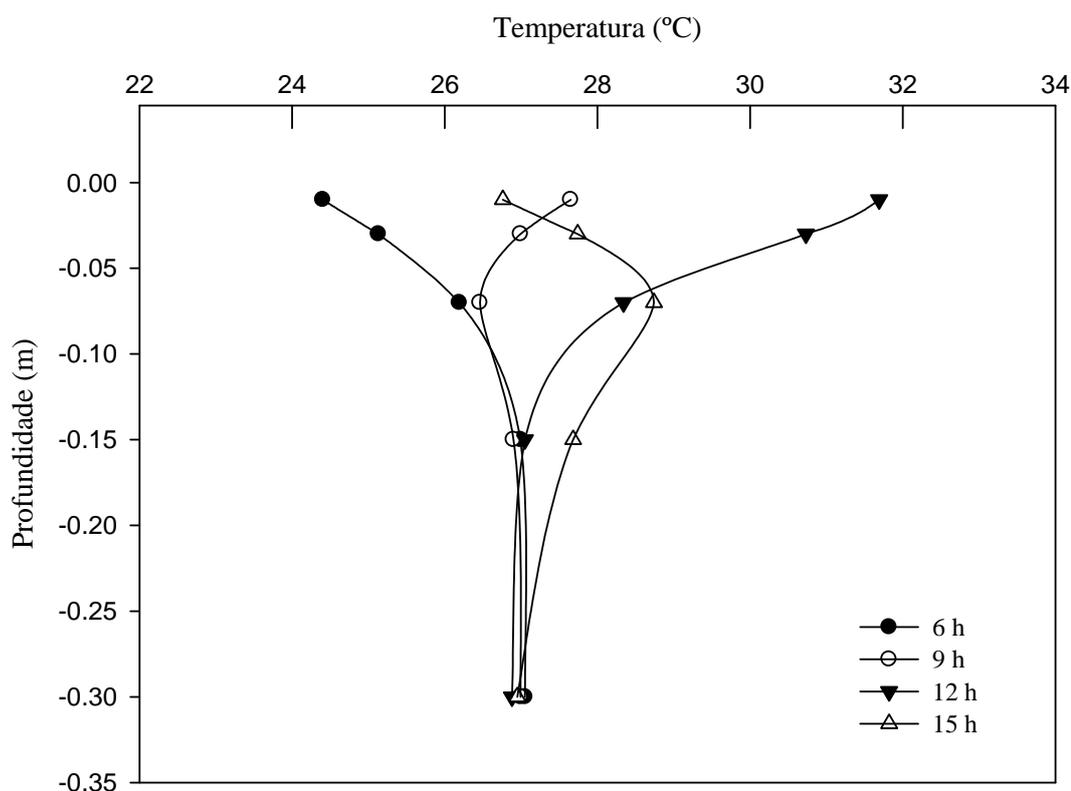


Figura 15 – Perfil de temperatura do solo em diferentes horários em 27 de outubro de 2008 no Cambarazal da RPPN SESC-Pantanal.

As amplitudes térmicas do dia 27 de outubro de 2008 foram superiores às amplitudes térmicas do dia 31 de outubro de 2008, com exceção das amplitudes térmicas da profundidade 0,15 m que foram menores. No dia 27 de outubro de 2008, a amplitude térmica variou de 8,69°C na profundidade 0,01 m para 0,89°C na profundidade 0,30 m, portanto uma diferença de 7,8 °C (Figura 11). No dia 31 de outubro de 2008 a amplitude térmica variou de 6,11 °C na profundidade 0,01 m para 0,33 °C na profundidade 0,30 m, portanto uma diferença de 5,78 °C (Figura 12).

Essa diferença entre as amplitudes térmicas das temperaturas do solo entre esses dois dias se deve ao fato de que nos três dias anteriores ao dia 31 de outubro de 2008 choveu 95 mm e no dia anterior ao dia 27 de outubro de 2008 choveu apenas 40 mm, portanto neste dia choveu menos que no dia 31 de outubro de 2008. A uma precipitação maior provoca uma amplitude de onda menor e uma precipitação menor, uma amplitude de onda maior (SANTOS, 1987).

No dia 9 de janeiro de 2009 (Figura 16), seis dias sem chuva e céu limpo, às 6h houve um fluxo de calor ascendente para a superfície, enquanto que às 9h, o fluxo

de calor é descendente, invertendo após os 0,07 m de profundidade. Às 12h, o fluxo de calor no solo é descendente até os 0,30 m de profundidade.

Às 21h, o fluxo de calor é ascendente até 0,07 m de profundidade, invertendo a partir desta profundidade até 0,30 m. Neste dia, houve retardamento no horário de resfriamento das camadas mais superficiais do solo, em relação ao dia 27 de outubro de 2009, pois foi um dia em que não houve presença de nuvens. Isso acontece, pois em condições de alta nebulosidade, onde predomina a radiação difusa, é menor a temperatura próxima da superfície como também é menor a amplitude térmica (SCHOFFEL & MENDEZ, 2005)

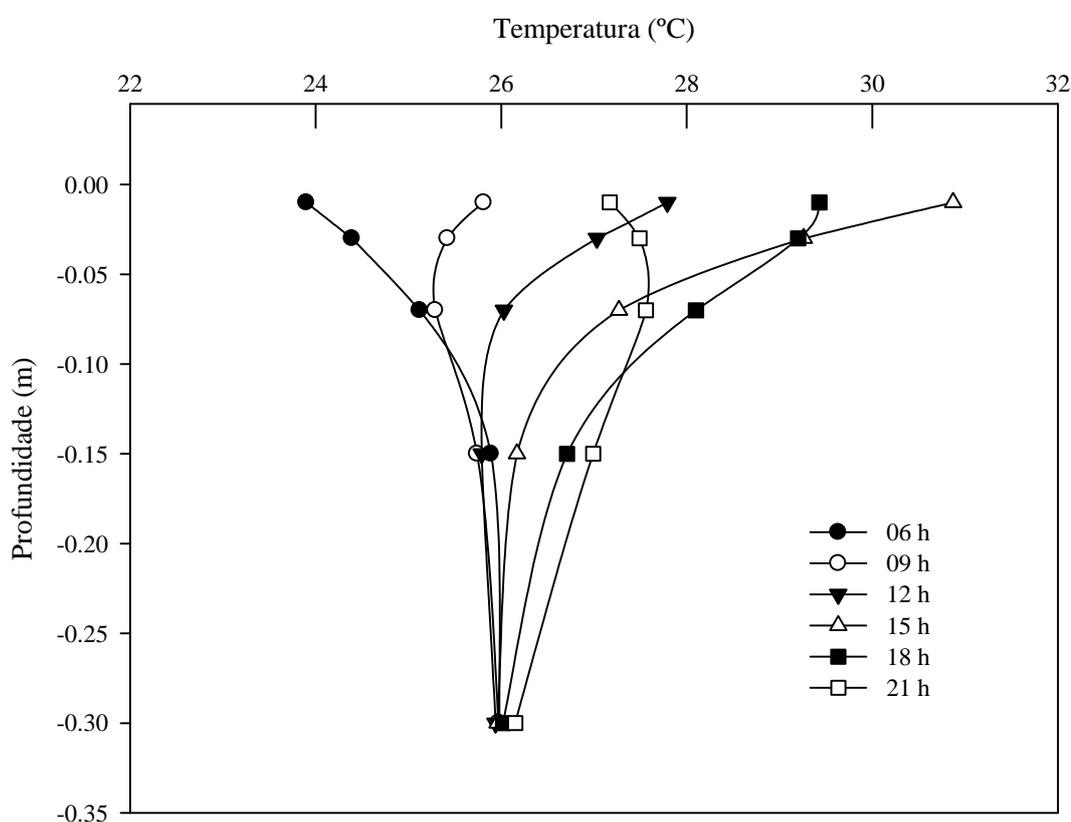


Figura 16 – Perfil de temperatura do solo em diferentes horários em 09 de janeiro de 2009 no Cambarazal da RPPN SESC-Pantanal.

As amplitudes térmicas do dia 9 de janeiro de 2009 (Figura 14) foram maiores do que as amplitudes térmicas do dia 4 de janeiro de 2009 (Figura 13) em todas as profundidades com exceção da profundidade 0,15 m que foi menor. No dia 04 de janeiro de 2009 (Figura 13) a amplitude térmica da temperatura do solo variou de 5,40°C na profundidade 0,01 m para 0,57°C na profundidade 0,30 m, portanto

uma diferença de $4,86^{\circ}\text{C}$ neste dia. No dia 9 de janeiro de 2009 (Figura 14) a amplitude térmica da temperatura do solo variou de $7,76^{\circ}\text{C}$ na profundidade 0,01 m para $0,31^{\circ}\text{C}$ na profundidade 0,30 m, uma diferença de $7,45^{\circ}\text{C}$ no dia.

A amplitude de variação da temperatura do solo diminui acentuadamente nos primeiros centímetros de profundidade, ao mesmo tempo em que vai havendo um retardamento no tempo de ocorrência das máximas e da lentidão do fluxo de calor no seu interior (BERGAMASCHI & GUADAGNIN, 1993).

4.4. AVALIAÇÃO DAS ESTIMATIVAS DE DIFUSIVIDADE TÉRMICA DO SOLO

Os diferentes valores das difusividades térmicas obtidos para uma mesma profundidade pelos diferentes métodos se justificam, pois cada método usa um critério na estimativa da difusividade térmica, o qual gera um valor diferente.

Já as diferenças entre os valores de difusividade para os diferentes horizontes selecionados na avaliação se devem à composição dos horizontes serem formado por sedimentos siltico-argiloso, argilo-arenoso e areno-conglomeráticos semiconsolidados e inconsolidados, descrição segundo relatório (COUTO, 2003).

Portanto para cada camada estudada, o solo se apresenta com uma composição diferente (Figura 17). Assim, influencia na retenção de água. A parte argilosa retém mais água que a arenosa, interferindo nos valores da difusividade térmica. Também se deve considerar a densidade aparente do solo diferente em cada horizonte que no trabalho foram de 0,49, 1,21 e $1,25\text{ g cm}^{-3}$ nas camadas 0 a 0,10 m, 0,10 a 0,20 m e 0,20 a 0,30 m respectivamente. Um aumento na densidade do solo pode acarretar aumento na difusividade térmica do solo, pois melhora o contato entre as partículas sólidas que compõem o solo (PREVEDELLO, 1996).

No método da amplitude as difusividades térmicas foram praticamente iguais em todos os dias selecionados, somente no dia 4 de janeiro de 2009 ocorreu uma elevação da mesma, isto se justifica, pois no dia anterior houve precipitação 20 mm e o conteúdo de água no solo aumentou e a radiação global média foi menor que no dia 9 de janeiro (Tabela 3). Em 09 de janeiro houve uma diminuição do conteúdo de água no solo (SANTOS, 1987).



Figura 17 - Foto do perfil do solo próximo ao local de estudo.

No método do logarítmico (Tabela 2) as difusividades térmicas apresentaram comportamento semelhante às difusividades térmicas encontradas pelo método da amplitude, a diferença entre o maior e o menor valor da difusividade térmica foi de $0,516 \times 10^{-6} \text{ m}^2 \cdot \text{s}^{-1}$ enquanto que no método da amplitude essa diferença foi de $0,576 \times 10^{-6} \text{ m}^2 \cdot \text{s}^{-1}$.

No método do logarítmico a difusividade térmica do solo foi maior que o método no método da amplitude em todas as camadas com exceção da camada de 0,01 a 0,07 m do dia 27 de outubro de 2008.

O método arco tangente (Tabela 2) apresentou valores da difusividade térmica na mesma ordem de grandeza dos métodos da amplitude e do logarítmico, com exceção da camada 0,01 a 0,30 m em que ocorreram valores discrepantes em relação aos demais valores encontrados por esse método, valores superestimados em todos os dias selecionados, Não considerando as exceções, a diferença entre o maior valor e o menor valor da difusividade térmica nesse método foi $0,357 \times 10^{-6} \text{ m}^2 \text{ s}^{-1}$, uma diferença menor que os dois métodos anteriores.

Tabela 2 – Difusividade térmica do solo ($10^{-6} \text{ m}^2 \text{ s}^{-1}$) entre as profundidades de (0,01 a 0,03); de (0,01 a 0,07); de (0,01 a 0,15) e de (0,01 a 0,30) m, nos dias 27 e 31 de outubro de 2008 e 04 e 09 de janeiro de 2009 na área do Cambarazal – Barão do Melgaço – MT.

Métodos	Data	D(0,01-0,03)	D(0,01-0,07)	D(0,01-0,15)	D(0,01-0,30)
Amplitude	27/10/2008	0,175	0,116	0,109	0,332
	31/10/2008	0,108	0,136	0,183	0,256
	04/01/2009	0,114	0,108	0,207	0,684
	09/01/2009	0,112	0,121	0,208	0,326
Logarítmico	27/10/2008	0,183	0,088	0,165	0,403
	31/10/2008	0,472	0,307	0,263	0,251
	04/01/2009	0,251	0,157	0,257	0,636
	09/01/2009	0,319	0,238	0,264	0,126
Arco tangente	27/10/2008	3,320	0,686	0,505	151,0
	31/10/2008	0,329	0,375	0,495	13,3
	04/01/2009	0,428	0,334	0,531	14,0
	09/01/2009	0,487	0,489	0,656	3570
Fase	27/10/2008	0,212	0,851	1,150	0,338
	31/10/2008	0,053	0,156	0,515	0,552
	04/01/2009	0,851	0,478	0,144	0,619
	09/01/2009	0,851	0,306	0,344	0,795

No método do arco tangente o valor da difusividade térmica média nos primeiros 0,15 m do solo são maiores do que o método da amplitude e do logarítmico, mas dentro dos padrões da literatura, mas quando se expande aos primeiros 0,30 m do solo os valores da difusividade térmica média ficam superestimados e não estando de acordo com a ordem de grandeza dos dados da literatura.

No método da fase, alguns valores da difusividade térmica no método da fase aparecem repetidos (Tabela 2), isso se deve a ocorrência das temperaturas máximas e mínimas das duas profundidades coincidirem nos mesmos horários, o que leva a coincidir os valores da difusividade térmica, não representando, portanto, confiavelmente tal propriedade térmica do solo.

No método da fase ocorreu uma difusividade térmica maior nos dias em que o

conteúdo de água no solo foi menor o inverso do que aconteceu com os métodos da amplitude e logarítmico, em que a difusividade térmica foi maior nos dias em que o conteúdo de água foi maior (Tabela 4). O conteúdo de água no solo em 27 de outubro de 2008 e 9 de janeiro de 2009 foram menores que nos dias 31 de outubro de 2008 e 04 de janeiro de 2009. A radiação global média nestes dois dias foram maiores que nos dias 31 de outubro de 2008 e 4 de janeiro de 2009 (Tabela 3). Portanto, a variável que provavelmente teve maior influência no aumento da difusividade térmica média neste método para este solo pode ter sido a radiação global. A magnitude dos valores da difusividade térmica determinados por esse método está em conformidade com a literatura.

Tabela 3 – Conteúdo de água no solo a 0,05 m e 0,25 m ($\text{m}^3 \text{m}^{-3}$), radiação global diária (R_g) ($\text{MJ m}^2 \text{dia}^{-1}$) em alguns dias.

Data	0,05 m	0,25 m	R_g
27/10/2008	0,12	0,23	20,19
31/10/2008	0,21	0,42	27,80
04/01/2009	0,40	0,45	17,78
09/01/2009	0,27	0,41	29,12

Quanto ao aumento da difusividade térmica média na profundidade de 0,01 a 0,30 m nos métodos do logarítmico e da amplitude nos dias discutidos anteriormente, se justifica pelo conteúdo de água, pois quando esse aumenta, a condutividade térmica aumenta, pois, a água substituir o ar nos vazios melhorando os contatos entre as partículas e esta ter calor específico maior do que o calor específico do solo dessa forma aumentando o fluxo de calor no solo. Como a difusividade térmica tem uma relação direta com a condutividade térmica, ela aumenta também com o aumento da condutividade térmica, portanto compatível com a teoria, que estabelece que a difusividade térmica aumente com o conteúdo de água no solo.

Segundo Santos (1987) a umidade é um importante regulador dos processos térmicos no solo. Portanto, os perfis de umidade devem ser investigados já que a difusividade térmica pode aumentar ou diminuir por influência do conteúdo de água no solo que por sua vez, altera as relações no sistema solo-planta.

Segundo Pessoa (2006) com o aumento do teor de umidade no solo há um

aumento da condutividade térmica do solo, pois a água que substitui o ar nos vazios possui maior condutividade térmica.

Para a difusividade térmica existe um valor máximo em um certo teor de umidade, enquanto a capacidade de aquecimento volumétrico continua aumentando com o aumento do conteúdo de umidade (FARUKI, 1986).

Avaliações dos métodos para determinar a difusividade térmica aparente do solo têm sido feitas para diferentes locais e profundidades específicas. Horton et al (1983) usaram dados de temperatura do solo para calcular a difusividade térmica dos primeiros 0,10 m do perfil do solo por meio dos métodos da amplitude, do logarítmico, do arco tangente, da fase, do numérico e do harmônico.

Rao et al. (2005) avaliaram as características térmicas de um solo em Salvador BA pelos métodos da amplitude, do logarítmico, do arco tangente, da fase e numérico para determinar a difusividade térmica e encontraram valores para o ciclo diário na camada de 0,05 a 0,50 m de $0,55 \times 10^{-6} \text{ m}^2 \text{ s}^{-1}$.

Gao et al. (2009) utilizaram os métodos da amplitude, do logarítmico, do arco tangente, da fase, do harmônico e condução-convecção para determinar a difusividade térmica do solo entre 0,05 e 0,10 m em um local no Planalto Loess da China e, obtiveram os valores de $0,206 \times 10^{-6} \text{ m}^2 \text{ s}^{-1}$, $0,234 \times 10^{-6} \text{ m}^2 \text{ s}^{-1}$, $0,107 \times 10^{-6} \text{ m}^2 \text{ s}^{-1}$, $0,424 \times 10^{-6} \text{ m}^2 \text{ s}^{-1}$, $0,222 \times 10^{-6} \text{ m}^2 \text{ s}^{-1}$ e $0,392 \times 10^{-6} \text{ m}^2 \text{ s}^{-1}$, para os respectivos métodos. O método do harmônico foi o que apresentou as estimativas mais confiáveis entre os cinco métodos.

Antonino et al. (1997) em trabalhos realizados na região de Coxixola-PB, num solo aluvião obtiveram, em condições de seca difusividades entre a camada de 0,025 e 0,135 m de $0,131 \times 10^{-6} \text{ m}^2 \text{ s}^{-1}$ e $0,322 \times 10^{-6} \text{ m}^2 \text{ s}^{-1}$ pelos métodos da fase e logarítmico respectivamente.

Souza et al. (2006) estimaram a difusividade térmica do solo em área de floresta amazônica e pastagem que apresentaram valores médios anuais de $0,145 \times 10^{-6} \text{ m}^2 \text{ s}^{-1}$ e $0,674 \times 10^{-6} \text{ m}^2 \text{ s}^{-1}$, respectivamente.

Decico & Richardt (1976), determinando as propriedades térmicas em condições de campo obtiveram $0,459 \times 10^{-6} \text{ m}^2 \text{ s}^{-1}$ de difusividade térmica.

4.5. SIMULAÇÃO DA TEMPERATURA DO SOLO

A simulação das temperaturas do solo a 0,07 m foi a que teve melhor ajuste, pelo método da amplitude, pois apresentou menores valores de EMA e EQM e maior índice de concordância (Tabela 4).

Tabela 4 – Índice de correlação r , índice de concordância d , erro médio absoluto (EMA) e erro quadrático médio (EQM) entre temperaturas observadas e estimadas por diferentes métodos.

Método	Valores	Profundidade (m)			
		0,03	0,07	0,15	0,30
Amplitude	r	0,9068	0,8978	0,8064	0,6080
	d	0,9486	0,9397	0,8300	0,5797
	EQM	0,9326	0,6559	0,7670	0,9510
	EMA	0,6943	0,4850	0,5842	0,7533
Logarítmico	r	0,8714	0,8824	0,7887	0,5942
	d	0,9187	0,9141	0,8070	0,5713
	EQM	1,2502	0,8535	0,8717	0,9643
	EMA	0,9715	0,6362	0,6297	0,7625
Arco tangente	r	0,8633	0,8572	0,7137	0,1707
	d	0,9035	0,8785	0,7237	0,2197
	EQM	1,4246	1,0893	1,1381	2,3425
	EMA	1,1290	0,8842	0,8400	1,8746
Fase	r	0,7720	0,7952	0,7632	0,5973
	d	0,8600	0,8220	0,7696	0,5631
	EQM	1,6248	1,3915	0,9847	0,9932
	EMA	1,3000	1,0818	0,7528	0,7814

As temperaturas do solo estimadas pelo método do logarítmico apresentaram melhor ajuste também a 0,07 m, pois os valores de EMA e EQM foram menores e os valores do índice de concordância e índice de correlação maiores.

As temperaturas estimadas pelos métodos do arco tangente e método da fase

não apresentaram uma boa correlação, pois os valores de EQM e EMA foram mais próximos de 1 do que de zero, o que configura valores com pouca correlação.

A partir das profundidades de 0,01 a 0,07 m, nos métodos da amplitude do logarítmico e do arco tangente há um aumento do erro da estimativa da temperatura quando a difusividade térmica é considerada para um horizonte maior, porém no método da fase isto não ocorre (Figura 4)

O método que melhor representa a simulação da temperatura do solo a partir dos dados medidos, é o método da amplitude, com valores melhores ajustados nas profundidades 0,07 m e 0,15 m, pois foi o método que apresentou os menores valores de EQM e EMA nessas profundidades.

Em segundo lugar o método que melhor representa a simulação da temperatura do solo a partir dos dados medidos, é o método do logarítmico com valores melhores ajustados nas profundidades 0,07 m e 0,15 m, também apresentou menores valores de EQM e EMA nessas profundidades

5. CONCLUSÕES

Os valores da difusividade térmica obtidos indiretamente a partir das medidas dos perfis de temperatura do solo no período de outubro de 2008 a fevereiro de 2009 na profundidade de 0,01 a 0,30 m foram $0,330 \times 10^{-6} \text{ m}^2 \text{ s}^{-1}$ no método da amplitude, $0,422 \times 10^{-6} \text{ m}^2 \text{ s}^{-1}$ no método do logarítmico, $0,555 \times 10^{-6} \text{ m}^2 \text{ s}^{-1}$ no método da fase e $3,831 \times 10^{-6} \text{ m}^2 \text{ s}^{-1}$ no método do arco tangente na profundidade de 0,01 a 0,15 m.

O método de estimativa da difusividade térmica do solo que apresentou melhor desempenho quando usado para simular a temperatura do solo em diferentes profundidades foi o método da amplitude, seguido do método do logarítmico.

A estimativa da difusividade térmica do solo pelo método da amplitude apresentou melhor desempenho na simulação, na profundidade 0,07 m, devido ao menor erro médio absoluto.

6. REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA

ABU-HAMDEH, N.H., **Thermal Properties of Soil as affected by Density, and Water Content**. Biosystems Engineering, 86 (1), p. 97-102, 2003.

ADÂMOLI, J. O Pantanal e suas relações fitogeográficas com os cerrados: discussão sobre o conceito de complexo do Pantanal. In: do 32º Congresso nacional da Sociedade Botânica do Brasil, 1982, **Anais**, Teresina, PI, p.109-119.

AMADOR, G. A. **Composição florística e caracterização estrutural de duas áreas de Carandazais nas sub-regiões do Miranda e Nabileque, Pantanal sul mato-grossense, Brasil**. 2006. 55p. Dissertação (Mestrado em Ecologia e Conservação), Universidade Federal de Mato Grosso do Sul, 2006.

ARIEIRA, J.; NUNES DA CUNHA, C. **Fitossociologia de uma floresta inundável monodominante de *Vochysia divergens* Pohl (Vochysiaceae), no Pantanal Norte, MT, Brasil**. Acta Botanica Brasilica, v.20, p.569-580, 2006.

BERGAMASCHI, H.; GUADAGNIN, M.R. **Modelos de ajuste para médias de temperatura do solo, em diferentes profundidades**. Revista Brasileira Agrometeorologia, v.1, n.1, p.95-99, 1993.

BIUDES, M.S. **Balanco de Energia em área de vegetação monodominante de cambará e pastagem no norte do pantanal**. 2008. 142p. Tese (Doutorado em agricultura tropical). Faculdade de Agronomia e medicina veterinaria, Universidade Federal de Mato Grosso, 2008.

BRAGAGNOLO, N.; MIELNICZUK, J. **Cobertura do solo por resíduos de oito seqüências de culturas e seu relacionamento com a temperatura e umidade do solo, germinação e crescimento inicial do milho.** Revista Brasileira de Ciência do Solo, v.14, p.91-98, 1990.

BRISTOW, K.L. **Measurement of thermal properties and water content of unsaturated sandy soil using dual-probe heat-pulse probes.** Agricultural and Forest Meteorology. v.89, p.75–84, 1998.

CAMPBELL, G.S. CALISSENDORFF C.; WILLIAMS J.H. **Probe for measuring soil specific heat using a heat-pulse method.** Soil Science American Journal. v.55, p.291–293, 1991.

CARREIRA, L.P. **Apontamentos de Mecânica dos Solos I.** Escola Superior de Tecnologia e Gestão- Instituto Politécnico de Leiria- SP- 2005.

CASTELNOU, M. N.; FLORIANI, D.; VARGAS, I. A.; DIAS, J. B. **Sustentabilidade socioambiental e diálogo de saberes: o Pantanal mato-grossense e seu espaço vernáculo como referência.** Desenvolvimento e Meio Ambiente, Editora UFPR, n. 7, p. 41-67, jan/jun. 2003.

CORSINI, E.; GUARIM NETO, G. Aspectos ecológicos da vegetação de "carvoal" (*Callisthene fasciculata* (Spr.) Mart.) no pantanal mato-grossense. In: III Simpósio sobre recursos naturais e sócio-econômicos do Pantanal, Corumbá (MS). **Anais.** Corumbá: III SINPAM, p.1-52. 2000.

DAMASCENO-JUNIOR, G. A.; SEMIR, J.; SANTOS, F. A. M.; LEITÃO-FILHO H.F. **Structure, distribution of species and inundation in a riparian forest of Rio Paraguai, Pantanal, Brazil.** Flora, v.200, p.119-135, 2005.

DE VRIES, D. A. **Thermal properties of soils.** In: van Wijk, W. R., ed. Physics of plant environment. North Holland, Amsterdam, p.210-235. 1963.

DECICO, A. **Determinação das propriedades térmicas do solo em condições de campo.** In: Thesis of Livre-Docência, Escola Superior de Agricultura “Luis de Queirós”, Piracicaba, SP, Brasil, 78p., 1974.

DECICO, A.; REICHARDT, K. **Determinação das propriedades térmicas do solo em condições de campo.** Ciência e cultura, v.28, n.3, p.360-362, 1976.

DERPSCH, R.; SIDIRAS, N.; HEINZMAN, F.X. **Manejo do solo com coberturas verdes de inverno.** Pesquisa Agropecuária Brasileira, Brasília, v.20, n.7, p.761-773, 1985.

DRAPER, N.R.; SMITH, H. **Applied regression analysis.** New York: John Wiley & Sons, Inc., 407p. 1966.

DUFFIE, J.A.; BECKMAN, W.A. **Available solar radiation.** In: **Solar Engineering of Thermal Process.** New York: John Wiley & Sons, Inc., p.28-110. 1980.

EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa em solos. **Manual de Métodos de Análises de solo.** 2ªed. Rio de Janeiro, 212p, 1997.

FAROUKI, O.T. **Thermal Properties of Soils,** Series on Rock and Soil Mechanics, Vol. 11, 136p. 1986.

GASPARIM, E.; RICIÉ, 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.1, n1, p.107-115, 2005.

HASENACK, H.; CORDEIRO, J. L. P.; HOFMANN, G. S. **O clima da RPPN SESC-Pantanal.** Porto Alegre, UFRGS, 27 p., Abril, 2003.

HORTON, R.I.; WIERENGA, P. J.I.; NIELSEN, D. R. **Evaluation of methods for determining apparent thermal diffusivity of near the surface.** Soil Science Society. Am. J., 47:25-32, 1983.

JUNK, W. J. **Long-term environmental trends and the future of tropical wetlands.** Environmental Conservation, v. 29, 414–435, 2002.

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

JUNK, W. J.; NUNES DA CUNHA, C. **Pantanal: a large South American wetland at a crossroads.** Ecological Engineering , v. 24, 391-401, Abril, 2005.

LETTAU, B. **Determination of thermal diffusivity in the upper layers of a natural ground cover.** Soil Science, 112:173-177, 1971.

NASSAR, I.N.I.; HORTON, R. **Determination of soil apparent thermal diffusivity from multiharmonic temperature analysis for nonuniform soils.** Soil Science, 149:125-130, 1990.

NUNES DA CUNHA, C.; JUNK, W. J. **Year-to-year changes in water level drive the invasion of *Vochysia divergens* in Pantanal grasslands.** Applied Vegetation Science, v. 7, 103–110, Fevereiro, 2004.

OMETTO, J.C. **Bioclimatologia vegetal.** São Paulo: Ed. Agronômica Ceres, 1981. 440p.

PEREIRA, A. R.; ANGELOCCI, L. B.; SENTELHAS, P. C. **Agrometeorologia – Fundamentos e Aplicações Práticas.** Livraria e Editora Agropecuária, 2002. 478 p.

PESSOA, T. O. A. **Avaliação da influência da mineralogia, índice de vazios e teor de umidade em propriedades térmicas de solos.** 2006. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro. 2006, p.163.

PEZZOPANE, J.E.M.; CUNHA JÚNIOR, G. de M.; ARNSHOLZ, E.; COSTALONGA JÚNIOR, M. **Temperatura no solo em função da cobertura morta por palha de café.** In: Revista Brasileira de Agrometeorologia, Santa Maria, v 4, n.2, p. 7-100, 1996

PREVEDELLO, C. L. **Física do solo com problemas resolvidos.** Curitiba: Salesward-Discovery, 1996.

RAO, T. V. R. ; SILVA, B. B. ; MOREIRA, A. A. . **Características térmicas do solo em Salvador, BA.** Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, Campina Grande - PB, v. 09, n. 04, p. 554-559, 2005.

RICHARDT, K.; TIMM, L. C. **Solo, planta e atmosfera: conceitos, processos e aplicações.** 1ª ed. Barueri: Manole, 478p., 2004.

SALTON, J.C.; HERNANI, L.C.; FONTES, C.L. **Sistema de plantio direto: o produtor pergunta a Embrapa responde.** Dourados: EMBRAPA-CPAO, 248p., 1998.

SANTOS, R. C. **Propriedades térmicas do solo: um estudo de casos.** (Dissertação de Mestrado em Meteorologia) Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos, set., 133 p., 1987. (INPE-4332-TDL/289).

SANTOS, S. A.; NUNES DA CUNHA, C.; TOMÁS, W.; ABREU, U. G. P.; ARIEIRA, J. **Plantas invasoras no Pantanal: como entender o problema e soluções de manejo por meio de diagnóstico participativo.** Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento 66. EMBRAPA. Corumbá, 45p, Agosto, 2006.

SCHNEIDER, F.M.; BURIOL, G.A.; ANDRIOLO, J.L. **Modificação na temperatura do solo causada por estufas de polietileno transparente de baixa densidade em Santa Maria, RS.** Revista Brasileira de Agrometeorologia, Santa Maria, v. 1, n. 1, p. 37-42, 1992.

SCHÖFFEL, E.R.; MENDES, M.E.G. **Influência da cobertura sobre o perfil vertical de temperatura do solo.** XIV Congresso Brasileiro de Agrometeorologia – Piracicaba. São Paulo, 2005.

SEEMANN, J. **Measuring technology.** In: SEEMANN, J.; CHIRKOV, Y.I.; LOMAS, J.; PRIMAULT, B. (eds) Agrometeorology. Berlin: Springer-Verlag, 1979, p.40-45.

SILVA, J. S. V. & ABDON, M. M. **Delimitação do Pantanal brasileiro e suas subregiões.** Pesquisa Agropecuária Brasileira, v. 33, número especial, 1703-1711, Outubro, 1998.

SILVA, R. C. **Estudo do balanço de radiação no Pantanal sul mato-grossense.** 2003. 213 f, Dissertação (Mestrado em Meteorologia), Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, 2002.

SINGH, S. R.I.; SINHA, B. K. Soil thermal diffusivity determination for over specification of boundary data. **Soil Science Society Am. Journal.**, 41:831-834, 1977.

TINDALL, J. A.; MILLS, H.A.; RADCLIFFE, R.E. **The effect of root zone temperature on nutrient uptake of tomato.** **Journal of plant nutrition**, v.13, n.8, p.939-956, 1990.

VAN WIJK, W. R. **Physics of plant environment.** North Holland, Amsterdam, p.102-142, 1963.

ZORZATTO, J. R. Formalização probabilística, generalização e crítica de alguns modelos usuais de alguns modelos de dinâmica de populações relacionados à questão da biodiversidade, com simulação e computação gráfica. 1995. 151p., Dissertação (Doutorado em Engenharia Elétrica), Universidade Estadual de Campinas- SP, 1995.