



Variabilidade da temperatura do solo em função da liteira em fragmento remanescente de mata atlântica

Rayonil G. Carneiro¹, Marcos A. L. Moura², Vicente de P. R. da Silva³, Rosiberto S. Silva Junior⁴, Antonio M. D. de Andrade⁵ & Aurilene B. dos Santos⁶

¹ UACA/UFPG, Campina Grande, PB. E-mail: rayonilcarneiro@gmail.com

² ICAT/UFAL, Maceió, AL. E-mail: malm@ccen.ufal.br

³ UACA/UFPG, Campina Grande, PB. E-mail: vicente@dca.ufcg.edu.br (Autor correspondente)

⁴ ICAT/UFAL, Maceió, AL. E-mail: rosibertossjr@hotmail.com

⁵ UACA/UFPG, Campina Grande, PB. E-mail: marcoslaba@hotmail.com

⁶ PPGCC/UFRN, Natal, RN. E-mail: leneufal@hotmail.com

Palavras-chave:

floresta tropical
fluxo de calor
saldo de radiação

RESUMO

A temperatura do solo (TS) é um dos elementos importantes na caracterização do microclima havendo poucos estudos sobre sua variabilidade em ambientes florestais. Um estudo experimental foi realizado dentro de um fragmento de Mata Atlântica remanescente, no município de Coruripe, Alagoas, no período entre junho/2009 a maio/2011, com o objetivo de caracterizar a variabilidade da temperatura anual e sazonal e a influência da cobertura de liteira no solo. Os dados foram obtidos através de uma torre micrometeorológica de 26 m de altura instalada dentro da floresta. Para os perfis de temperatura do solo foram utilizados termopares tipo cobre/constantan, nas profundidades 1, 5, 10, 15, 20, 25, 50 e 100 cm, no primeiro ano de estudo e de 1, 5, 10, 20 e 50 cm nas áreas com e sem cobertura por liteira, no segundo ano de estudo em que os resultados obtidos apresentaram maior variabilidade da TS entre as camadas mais superficiais. O comportamento da TS foi bastante distinto entre os períodos com o seco apresentando uma amplitude térmica maior enquanto, por sua vez, o chuvoso registrou as maiores variações da TS com a profundidade cujos resultados ainda indicaram que a cobertura por liteira produziu maior variação da TS com a profundidade do solo.

Key words:

rainforest
heat flux
net radiation

Variability of soil temperature as function of litter in fragment of Atlantic Forest remnant

ABSTRACT

The soil temperature (TS) is an important element in characterization of the microclimate and there are few studies on the variability in forest environments. A study was performed inside a fragment of Atlantic Forest remnant in the municipality of Coruripe, Alagoas, during the period between June/2009 to May/2011, with the objective to characterize the variability of annual and seasonal temperature and the influence of litter coverage on soil. The data were obtained from a micrometeorological tower of 26 m installed inside the forest. The temperature profiles were obtained using thermocouples type copper/constantan at depths of 1, 5, 10, 15, 20, 25, 50 and 100 cm during the first experimental year and at 1, 5, 10, 20 and 50 cm in areas with a complete coverage of litter and no coverage of litter during the second experimental year. The results obtained presented higher variability of the TS between the more superficial layers. The behavior of TS was quite different between the two periods, the dry showing a greater thermal amplitude, while the wet registered the largest variations of TS with depth. The results also indicate that higher coverage of litter produced variation of TS with soil depth.

INTRODUÇÃO

Em virtude de suas condições de umidade e calor, as florestas tropicais são os ecossistemas terrestres que dispõem da maior diversidade de seres vivos. A floresta tropical atlântica do Brasil (Mata Atlântica) tem a segunda mais alta biodiversidade interna, depois da floresta Amazônica (Ledru et al., 2005). Segundo relatório do INPE/SOS Mata Atlântica (INPE, 2009) originalmente a mata atlântica abrangia 1,3 milhão de km², o

que equivalia a cerca de 15% do território brasileiro; este mesmo relatório afirma que os limites originais contemplavam, integral ou parcialmente, 17 Estados da Federação enquanto atualmente a área original está reduzida a 7,91%.

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

desenvolvido na Floresta Nacional de Caxiuanã, Pará, Brasil, Chagas et al. (2012) observaram que a redução da precipitação pluvial sobre a floresta afeta significativamente todos os parâmetros de crescimento das árvores e o aumento da taxa de mortalidade das árvores e a consequente perda de biomassa vegetal são maiores na área com exclusão de chuva do que nas florestas submetidas às condições naturais do clima. No estudo realizado com dados do mesmo site experimental, Dantas et al. (2011) concluíram que os fluxos de calor sensível e latente armazenados pelo dossel vegetativo da floresta têm forte variabilidade diurna porém suas variabilidades sazonais e anuais são pequenas quando comparadas com o saldo de radiação.

A temperatura do solo é uma função da disponibilidade de radiação solar na superfície do solo e das suas propriedades térmicas, com efeito significativo sobre o crescimento e o desenvolvimento das plantas; suas funções metabólicas podem interagir na nutrição, absorção da água, na produção dos compostos e no estoque de carboidratos (Parton & Logan, 1981). Por outro lado, as propriedades térmicas do solo são resultantes de um conjunto de fatores nos quais se incluem sua textura e a composição química. No entanto, as observações regulares de sua temperatura em diferentes profundidades possibilitam identificar-se seu comportamento térmico e o conhecimento de importantes propriedades, tais como difusividade e condutividade térmica (Ramana Rao et al., 2005).

Segundo Tapia-Coral et al. (2005) a liteira desempenha funções relevantes, tais como a redução da perda de água por evaporação, flutuação da temperatura na superfície do solo, proteção dos solos contra erosão, excesso de luz, compactação, lixiviação funcionando também como reservatório de nutrientes. A temperatura do solo tem influência no crescimento das plantas, com seu efeito na atividade fisiológica e, indiretamente, na disponibilidade de nutrientes do solo (Paul et al., 2003). As flutuações diárias e anuais da temperatura do solo influenciam os processos biológicos e químicos do solo, nas taxas de decomposição e de mineração da matéria orgânica do solo e da liberação de CO₂, além de ser um dos principais fatores de influência da respiração do solo, particularmente nas florestas tropicais (Graham et al., 2010). A temperatura é influenciada por uma série de fatores, como as condições meteorológicas, topografia local, tipo de solo, teor de água, textura, área de superfície coberta e copa das plantas. Desta forma, o conhecimento do material vegetal depositado sobre o solo, resultante dos componentes envelhecidos da parte aérea das plantas que caem no solo e que compreende as folhas, caules, flores e frutos, reveste-se de grande importância no estudo de florestas tropicais (Toledo et al., 2002).

Com base no que foi exposto objetivou-se, neste trabalho, analisar a variabilidade da temperatura do solo anual e sazonal e a influência que a cobertura de liteira proporciona dentro de um fragmento remanescente de Mata Atlântica.

MATERIAL E METODOS

A presente pesquisa foi realizada em um fragmento de Mata Atlântica localizada na fazenda Capitã A, na Reserva Particular do Patrimônio Natural (RPPN) – Lula Lobo I (10° 00' 37" S; 36° 17' 60" W), numa área de 68,6 ha pertencente à usina Coruripe Açúcar e Álcool S/A. No site experimental foi instalada uma torre micrometeorológica com altura de 26 m para se obter medidas de algumas variáveis atmosféricas durante o período de junho de 2009 a maio de 2011. A área experimental apresenta fragmentos florestais nos tabuleiros encostas com grande declividade e poucas áreas de várzea, formados por uma Floresta Ombrófila Aberta com transição para Floresta Estacional Semidecidual (Santos & Frizzzone 2006). O patrimônio florístico das matas inclui muitas espécies de alto valor ecológico, econômico e social, como o Pau-brasil, Pau de Jangada, Sapucaia, Barbatimão e Pau-falha, dentre outras espécies.

O clima da região é do tipo tropical chuvoso com verão seco e os totais pluviométricos variam entre 1500 a 1700 mm e a umidade relativa do ar se situa em torno de 80%. O período de maiores índices pluviométricos compreende os meses de março a agosto. O período seco é considerado curto e varia de 1 a 3 meses, entre novembro e janeiro e a temperatura média anual é de aproximadamente 25,1 °C (Santos & Frizzzone, 2006).

A textura do solo constitui uma das características físicas mais estáveis e representa a distribuição quantitativa das partículas do solo quanto ao tamanho. A grande estabilidade faz com que esta seja considerada elemento de grande importância na descrição, identificação e classificação do solo. O solo da região em estudo é considerado do tipo arenoso, porém apresenta bastante heterogeneidade em sua textura com as profundidades; assim, a textura confere alguma qualidade ao solo mas sua avaliação apresenta conotação prioritariamente quantitativa. As características físicas do solo e sua classificação textural, segundo recomendação da Sociedade Brasileira de Ciência do Solo (SBCS, 2012) para a área de estudo dentro da floresta de mata atlântica estão descritas na Tabela 1.

Foram instalados termopares do tipo cobre/constatam nas profundidades 1, 5, 10, 15, 20, 25, 50 e 100 cm, para a realização das medições no período de junho de 2009 a maio de 2010. Por outro lado, no período de junho de 2010 a maio de 2011

Tabela 1. Análise física e classificação do solo quanto à sua textura na área de Mata Atlântica em Coruripe, AL

Determinações	0 – 10 cm	10 – 20 cm	20 – 30 cm	30 – 100 cm
Areia grossa (%)	11	24	19	15
Areia fina (%)	56	63	56	55
Silte (%)	23	5	13	18
Argila (%)	10	8	12	12
Silte/Argila (%)	2,30	0,63	1,08	1,50
Classificação textural (SBCS)	Franco-Arenosa	Areia-Franca	Franco-Arenosa	Franco-Arenosa

foram realizadas medições nas profundidades de 1, 5, 10, 20, 50 cm na área sem cobertura de liteira e outra com a presença de liteira. Foram realizadas, também, medições de radiação solar global (Rg), utilizando-se piranômetros Modelo CM5, Kipp & Zone, saldo de radiação (Rn), por meio de saldo radiômetro modelo Q-7 e de fluxo de calor no solo (FCS) através de duas placas do modelo HFT-3, todos da Campbell Scientific Inc., além de medidas de precipitação, com pluviômetros TE 525, Texas Instruments, USA. Os piranômetros foram instalados em diferentes níveis e posições no interior do dossel da planta, em torno de 2, 13 e 26 m de altura enquanto o pluviômetro foi instalado no topo da torre.

Todos os instrumentos foram previamente testados e calibrados no Instituto de Ciências Atmosféricas (ICAT) na Universidade Federal de Alagoas – UFAL, antes de serem instalados na área experimental. Os dados foram coletados por dataloggers (CR10X e 21X) cujas medidas foram realizadas a cada 10 s e as médias armazenadas a cada 10 min. O trimestre chuvoso foi considerado como os meses de junho a agosto e, como trimestre seco, os meses de novembro a janeiro.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

No período de junho de 2009 a maio de 2010 a temperatura do solo (TS) apresentou uma variabilidade típica ao longo do dia (Figura 1), com resfriamento no fim da madrugada e início da manhã, com valores médios de 20,7 °C entre 4 e 7 h nas profundidades entre 1 a 20 cm. Por outro lado ocorreram, à tarde, as maiores taxas de aquecimento entre 12 e 16 h com valores em torno de 31 °C a partir de 20 cm de profundidade.

A variação da TS apresentou maior flutuação entre as camadas de 1 a 10 cm durante todo o período experimental, com valores variando de 26,9 a 28,6 °C entre 9 e 16 h. Esta camada apresenta a maior percentagem de argila e silte (33%), em relação às demais profundidades analisadas ressaltando-se que os solos argilosos possuem elevado número de microporos os quais têm maior capacidade de reter água apresentando assim maior

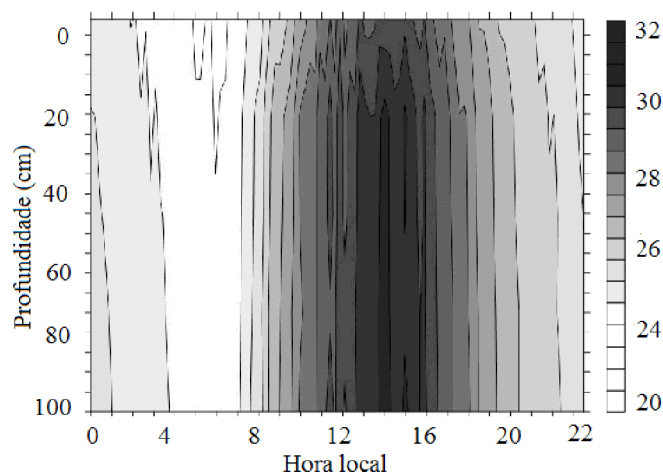


Figura 1. Perfil das médias horárias das temperaturas no solo (°C) no período de junho de 2009 a maio de 2010

umidade o que acarreta em aumento na difusividade térmica. A proximidade da superfície deixa esta camada do solo mais propícia à interferência das variações de temperatura do ar, radiação solar e precipitação. Por outro lado, a partir de 10 cm de profundidade registrou-se a maior amplitude térmica diária; esta profundidade é constituída de 87% de areia fina e grossa (Tabela 1) em relação aos demais compostos físicos do solo.

Os solos do tipo arenoso possuem uma condutividade térmica menor, motivo pelo qual apresentam as maiores amplitudes térmicas. A partir de 50 cm de profundidade a TS permanece constante possivelmente em face da magnitude do fluxo de calor no interior do solo ocorrer por condução e de forma lenta com o aumento da profundidade, até permanecer constante (Pillar, 1995).

A Figura 2 indica que o Rn a 2 m de altura apresentou os maiores registros médios horários às 11 h durante todo o ano, em função da maior incidência de radiação solar global cuja razão disto está associada ao fato de que a radiação solar penetra o dossel da floresta com maior intensidade nesses horários em virtude da inclinação dos raios solares. As maiores taxas de Rn ocorreram entre agosto e dezembro com máxima de 28,5 W m⁻² no mês de novembro; já nos horários noturnos os valores de Rn encontrados no período foram de -1,5 W m⁻² e não apresentaram grandes variações durante o ano.

Os valores de Rn foram positivos entre 6 e 17 h indicando que, ao longo do dia, este fluxo de energia tende a ser positivo nas horas de brilho solar uma vez que os fluxos incidentes são superiores aos refletidos pela superfície da terra. Porém durante a noite é comum que esses valores sejam negativos já que os fluxos incidentes passam a ser apenas atmosféricos e a energia emitida pela superfície resulta em um saldo de radiação negativo (Pezzopane et al., 1995).

Um estudo realizado por Pezzopane et al. (2005), em um fragmento de floresta estacional semidecidual secundária sob o domínio da Mata Atlântica, demonstrou o Rn que atravessa o dossel da floresta e é reduzido quando comparado com valores observados em área aberta levando à conclusão de

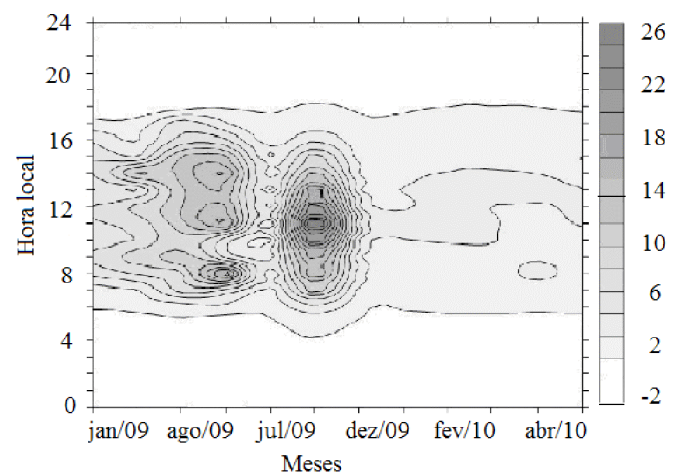


Figura 2. Distribuição das médias horária mensais do saldo de radiação (W m⁻²) a 2 m para o período de junho de 2009 a maio de 2010

que no interior da floresta o gradiente de fluxo de calor e de temperatura do solo é reduzido quando comparado com o da área descampada.

O saldo de radiação sofre a influência das flutuações da temperatura do solo (TS), do dossel vegetativo e da temperatura do ar; conseqüentemente, o aumento da TS surge com o fluxo positivo de calor durante o dia; portanto, os maiores valores desta variável ocorreram entre 7 e 16 h, com valor máximo de 31,2 °C às 14 h (Figura 1). Ressalta-se, contudo, que o solo apresenta certa defasagem em relação à troca de calor pois, de acordo com Geiger (1980) o fluxo de calor no interior do solo é relativamente lento além do solo possuir grande capacidade de retenção de calor sendo o tempo de variação da temperatura em função da variação da radiação solar de aproximadamente uma hora; à noite ocorre o contrário, quando o Rn apresenta valores negativos como resultado do balanço negativo entre a radiação emitida pela superfície (radiação terrestre) e a contra-radiação (radiação atmosférica), contribuindo para os menores valores de TS durante a noite.

O fluxo de calor no solo (FCS) está ligado ao aquecimento do solo, sendo função da temperatura em diferentes níveis e da condutividade térmica do solo, que é influenciada diretamente pela variação da temperatura (Galvani et al., 2001). Os fluxos de calor no solo observados permitiram caracterizar seu ciclo anual na área estudada, com ciclo positivo entre 11 e 17 h (Figura 3). Foi possível, também, observar a diferença entre o período chuvoso e o seco, sendo os maiores valores sempre entre 13 e 15 h enquanto os menores valores entre 4 e 7 h, independentemente da época do ano. No período chuvoso são encontrados máximos de 2,0 W m⁻² e mínimo de -5,0 W m⁻², enquanto o período seco máximo de 4,0 W m⁻² e mínimo de -3,5 W m⁻². Este resultado demonstra que no período chuvoso o FCS tem intensidade menor que no período seco devido ao menor nível de radiação disponível e, conseqüentemente, menor fluxo de energia para os níveis inferiores do solo (Galvani et al., 2001).

Além de influenciar vários processos de ordem física, química e biológica na superfície da Terra, a precipitação pluvial

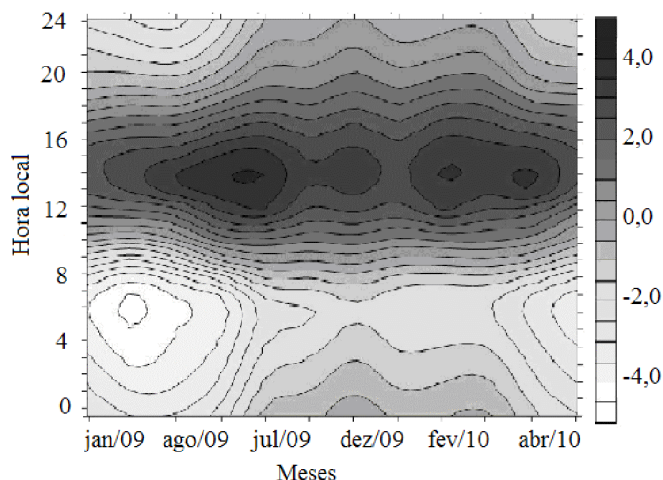


Figura 3. Variação da média horária mensal do fluxo de calor do solo (W m⁻²) no período de junho de 2009 a maio de 2010

é responsável também pela limpeza da atmosfera haja vista que, no momento da precipitação, grande parte das partículas em suspensão retorna para a superfície deixando a atmosfera mais limpa (Querino, 2006). O total precipitado na área de estudo em 2010 foi de 976,30 mm (Figura 4), com valores abaixo do esperado nos meses de março a maio. O trimestre chuvoso, considerado de junho a agosto de 2009, apresentou total pluviométrico de 573,81 mm; já no trimestre seco, de novembro de 2009 a janeiro de 2010, a precipitação foi de 70,01 mm, sendo que o mês de novembro contribuiu com apenas 4,8 mm. O regime pluviométrico exerce grande influência na incidência de radiação solar à superfície sendo, portanto, de grande contribuição para a variabilidade da TS no decorrer do ano.

Os maiores índices pluviométricos ocorreram do final da madrugada, às 4 h até as 11 h, com os picos de 82,4 mm às 6 h e de 67,6 mm às 10 h; já os menores índices de 23,9 mm ocorreram às 13 h e no início da noite de 23,2 mm às 19 h. A alta localização dos tabuleiros costeiros, localização da área de estudo, forma uma barreira para os ventos que sopram do mar. Os ventos úmidos que sopram do mar em direção ao interior do continente se resfriam ao subir e perdem a umidade; o excesso se condensa e precipita principalmente nas partes mais altas, em forma de nevoeiro ou chuvas; assim, esses ambientes contêm bastante umidade para sustentar as florestas costeiras, densas, com árvores de 20 a 30 m de altura.

No período chuvoso os maiores índices de precipitação propiciaram resfriamento gradativo do solo ocasionando diferentes valores da TS para cada profundidade, ao mesmo tempo. Verificou-se, entretanto, uma pequena variação em torno de 2,2 °C ao longo do período analisado (Figura 5A). A variação da TS à superfície foi significativa apresentando os menores valores nas primeiras horas da manhã (média 23,1 °C) em função das taxas de emissão de ondas longas da superfície para a atmosfera, que proporcionaram redução da TS neste horário.

No período da tarde ocorreu aumento da TS com média 25 °C, devido aos menores índices de precipitação e à maior

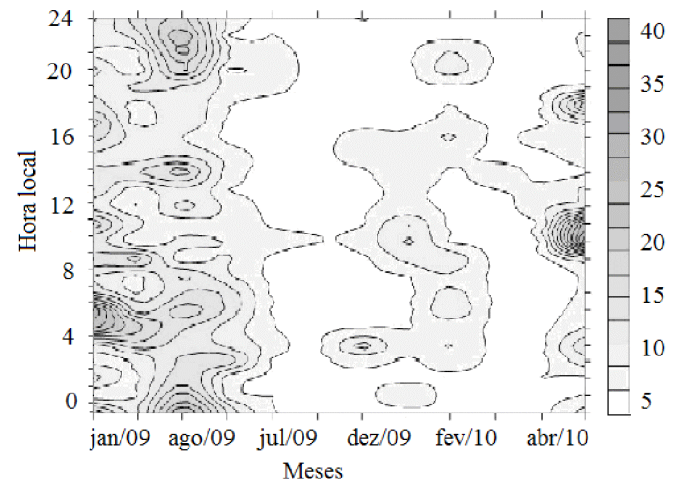


Figura 4. Variação temporal do total horário acumulado de precipitação (mm) na floresta de Coruripe, AL, no período junho de 2009 a maio de 2010

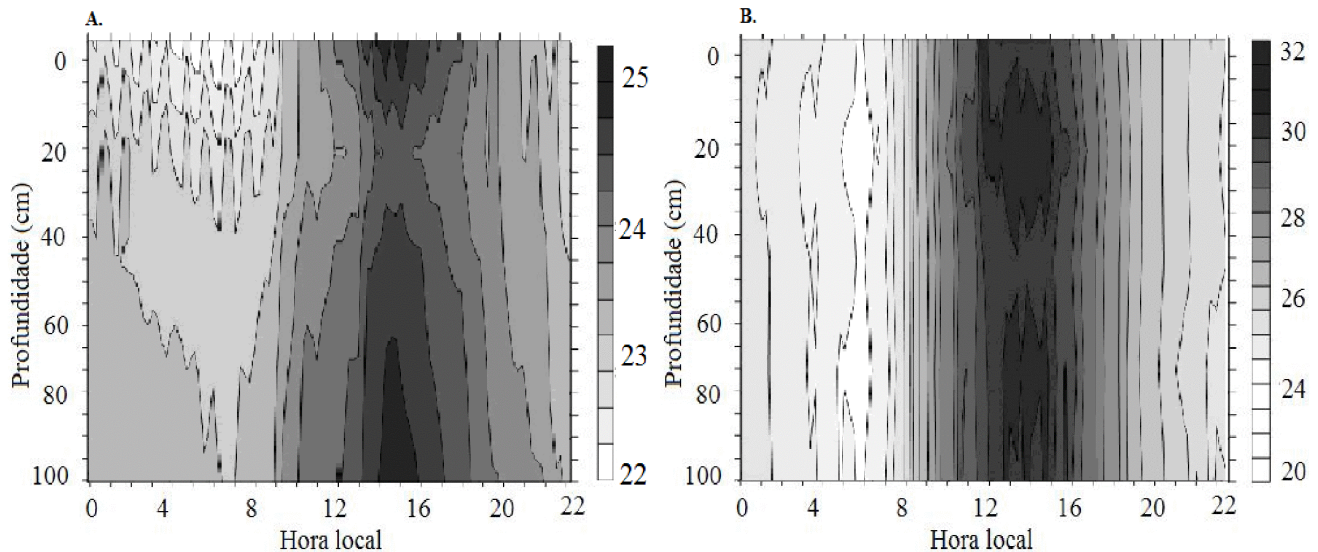


Figura 5. Perfil das médias horárias das temperaturas no solo (°C) no período chuvoso (A) e no período seco (B) na área de estudo, em Coruripe, AL

incidência de R_n , com média de $22,3 \text{ W m}^{-2}$, o que contribuiu para as mudanças na temperatura do ar próxima à superfície. No período matinal a TS apresentou maior variação com a profundidade constatando-se um aumento de $0,2 \text{ °C}$ entre os níveis de 1 a 25 cm, em função do fato de que, quanto mais próximo à superfície maior a perda de calor em razão da concentração de água no solo; após 25 cm de profundidade a TS permaneceu constante até 100 cm, com temperatura de $23,5 \text{ °C}$; por outro lado, no período da tarde os maiores valores da TS ficaram localizados entre 1 e 5 cm de profundidade ocorrendo ligeira diminuição para as camadas seguintes e voltando a aumentar entre 50 e 100 cm, devido ao fato dessas profundidades liberarem menor quantidade de energia durante o dia enquanto no período seco a TS apresentou maior amplitude térmica, variando em torno de 12 °C (Figura 5B). Este valor está relacionado aos menores índices de precipitação, à maior incidência de radiação solar global e maior liberação de energia durante a noite. Observou-se máximo de $32,6 \text{ °C}$ entre 13 e 15 h nas camadas entre 10 e 25 cm de profundidade enquanto para nas camadas mais próximas a superfície TS apresentou uma diferença de $-1,5 \text{ °C}$ em relação às camadas inferiores.

O solo tem perda gradativa de energia durante a noite, o que contribui para um resfriamento maior do solo entre 4 e 6 h, com valores médios da TS de $20,5 \text{ °C}$; no entanto, no mesmo horário a TS apresentou pequenas variações com a profundidade permanecendo constante na maior parte do período.

Analisando as taxas de R_n com a TS no período chuvoso, notou-se uma relação entre as temperaturas observadas nas camadas superficiais do solo com o comportamento do R_n . A partir do momento em que ocorreram as maiores taxas de R_n nos horários diurnos, a TS nas camadas superficiais também se elevou; entretanto, o inverso aconteceu nos horários noturnos. Observou-se também uma elevação da TS em todas as camadas entre 10 e 17 h, em consonância com a maior incidência de irradiação solar (entre 9 e 16 h). No fim

da madrugada e no início da manhã, entre 3 e 7 h, as maiores temperaturas ocorrem a partir da profundidade de 25 cm em razão da maior perda de energia radiativa nas camadas próximas à superfície. A TS mais alta, de $25,3 \text{ °C}$ em média, foi observada nas primeiras horas da tarde, aproximadamente a partir das 13 h.

No período seco, assim como observado no período chuvoso, a TS apresentou resposta imediata à variabilidade de R_n que, por sua vez, apresentou suas maiores taxas neste período, com máximas de $28,5 \text{ W m}^{-2}$, o que contribuiu para temperaturas mais altas ($32,6 \text{ °C}$). Verificaram-se, então, valores de FCS positivo nos horários em que o R_n se encontrava e positivo. No início da manhã a TS apresentou-se com os menores valores, com média de $20,5 \text{ °C}$ devido aos valores negativos de R_n o que contribui para um fluxo negativo de calor do solo. Este regime térmico é determinado pelo aquecimento da superfície pela radiação solar e transporte por condução de calor sensível para seu interior. Em um estudo realizado por Moura & Querino (2010) para analisar a temperatura do solo em um manguezal tropical constatou-se que as temperaturas das camadas mais próximas à superfície foram um pouco mais elevadas do que as mais profundas no período de estiagem e esta relação se inverteu substancialmente no período chuvoso.

Para analisar a influência da cobertura por liteira neste período, foram realizadas medições da TS em duas áreas próximas, sendo uma coberta por vegetação morta (Figura 6A) enquanto a outra área era mantida sem essa cobertura (solo nu) (Figura 6B). Essas medições foram feitas até a profundidade de 50 cm no período de junho de 2010 a maio de 2011.

A TS no período correspondente apresentou uma variação diária de $9,5 \text{ °C}$ (Figura 6), cujo mínimo de 21 °C ocorreu às 4 h. Já a partir das 8 h ocorreu um aumento da TS com máxima às 13 h de $30,5 \text{ °C}$. Esses valores se mantiveram localizados entre as camadas de 10 e 20 cm, que também apresentaram, durante todo o período analisado, as maiores amplitudes térmicas em

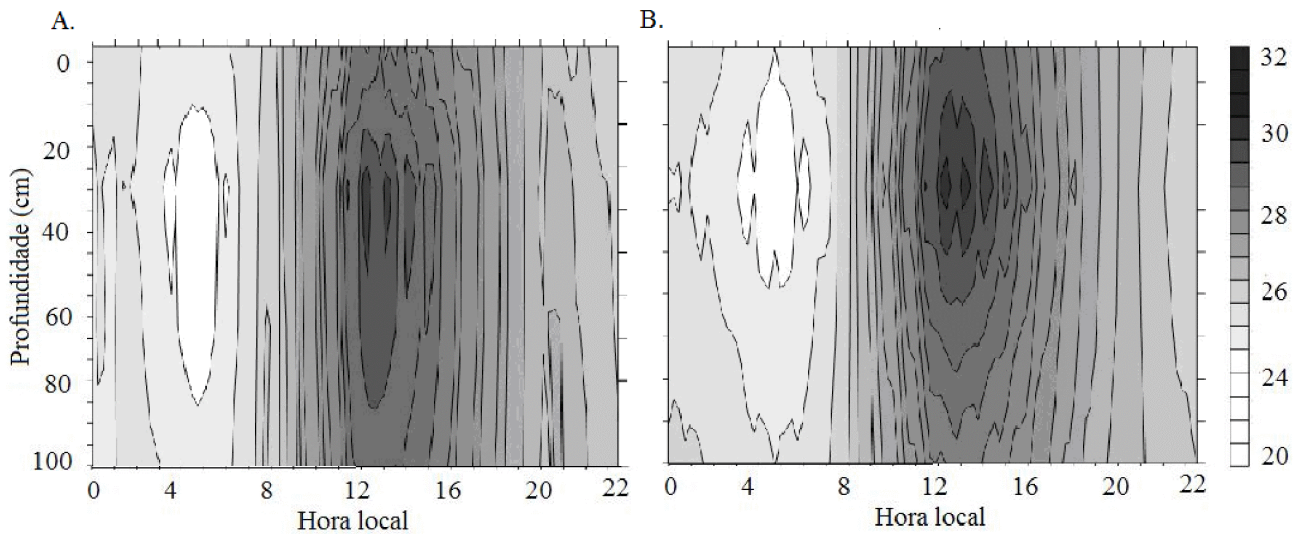


Figura 6. Perfil das médias horárias da temperatura do solo ($^{\circ}\text{C}$) para o período de junho de 2010 a maio de 2011 para solo com liteira (A) e sem liteira (B), em Coruripe, AL

função da sua composição física que é formada basicamente de areia. A TS apresentou uma variação maior nas camadas mais próximas à superfície (até 10 cm), por causa da maior difusividade térmica nesta camada de solo; apesar disto, não foram detectadas diferenças significativas na variação da TS ao longo do dia para as áreas com e sem cobertura por liteira.

No interior de qualquer floresta a liteira aumenta a retenção de água precipitada potencializando o processo de infiltração da água no solo e modificando o balanço de radiação e de energia, pois esta cobertura intercepta a radiação solar impedindo que esta atinja diretamente o solo (Rodrigues et al., 2010). Este resultado é constatado na Figura 6A, na qual se observa que, com a presença de liteira, o solo apresentou uma variação maior da TS entre as profundidades mais próximas da superfície em relação ao solo sem liteira (Figura 6B). Schumacher (1998) demonstrou que a intensidade da chuva sob florestas de folhas mistas é muito semelhante à intensidade da chuva observada em campo aberto. Tais informações vêm reforçar ainda mais que o efeito de proteção do solo contra o impacto das gotas de chuva é fornecido mais pela liteira e vegetação de sub-bosque do que mesmo pelas copas das árvores.

A 2 m de altura o saldo de radiação apresentou um ciclo bem definido com valores mais elevados entre 10 e 11 h e máximo de $10,5 \text{ W m}^{-2}$ no início de novembro. A significativa redução dos valores médios anuais de Rn em 2011 em relação ao ano anterior pode estar relacionada ao aumento de nebulosidade sobre a floresta, comum na região de estudo. Constatou-se uma diminuição gradativa a partir das 14 até as 17 h, momento em que o Rn passa a ser negativo com valor em torno de $-1,9 \text{ W m}^{-2}$, permanecendo constante até 6 h para, em seguida, voltar a aumentar gradativamente (Figura 7).

As maiores taxas de Rn ocorreram entre 9 e 14 h; como resposta, observou-se o aumento gradativo da TS com máximo de $30,6 \text{ }^{\circ}\text{C}$ às 13 h; a temperatura mínima obtida no período foi de $21 \text{ }^{\circ}\text{C}$ às 4 h, em resposta aos menores valores negativos do Rn

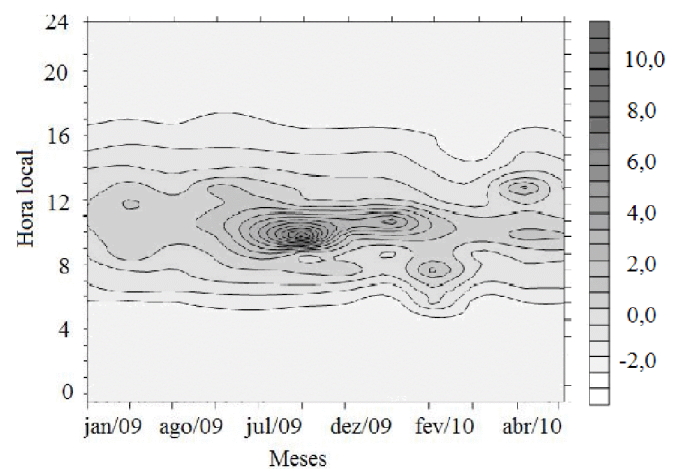


Figura 7. Distribuição das médias horária mensais do saldo de radiação (W m^{-2}) a 2 m no período de junho de 2010 a maio de 2011, em Coruripe, AL

apresentados nos horários noturnos. Considerando as médias horárias de todo o período de estudo com liteira (Figura 8A), o FCS foi positivo entre 11 e 18 h, encontrando-se os maiores valores variando entre $1,9$ e $3,0 \text{ W m}^{-2}$ (entre 13 e 15 h). Na área sem liteira (Figura 8B), o fluxo foi positivo para o mesmo intervalo de tempo e os maiores valores variaram entre $2,0$ e $3,5 \text{ W m}^{-2}$ (entre 13 e 15 h). Em ambas as áreas os maiores valores de FCS ficaram entre os meses de setembro de 2010 a abril de 2011 enquanto na área com liteira o mínimo encontrado foi de $-5,0 \text{ W m}^{-2}$ (entre 3 e 6 h); na área sem sua cobertura este valor foi reduzido para $-6,5 \text{ W m}^{-2}$ no mesmo horário; a forte precipitação ocorrida em janeiro formou núcleos de fluxo negativo nas duas áreas analisadas.

A menor amplitude de FCS foi constatada na área com liteira, o que promoveu sua propriedade isolante dificultando a troca de energia entre solo-atmosfera. A área sem liteira, por outro lado, apresentou os maiores valores diurnos e menores valores noturnos quando comparada com a área liteira, ou seja, ela absorve e perde calor mais facilmente, evento este comprovado

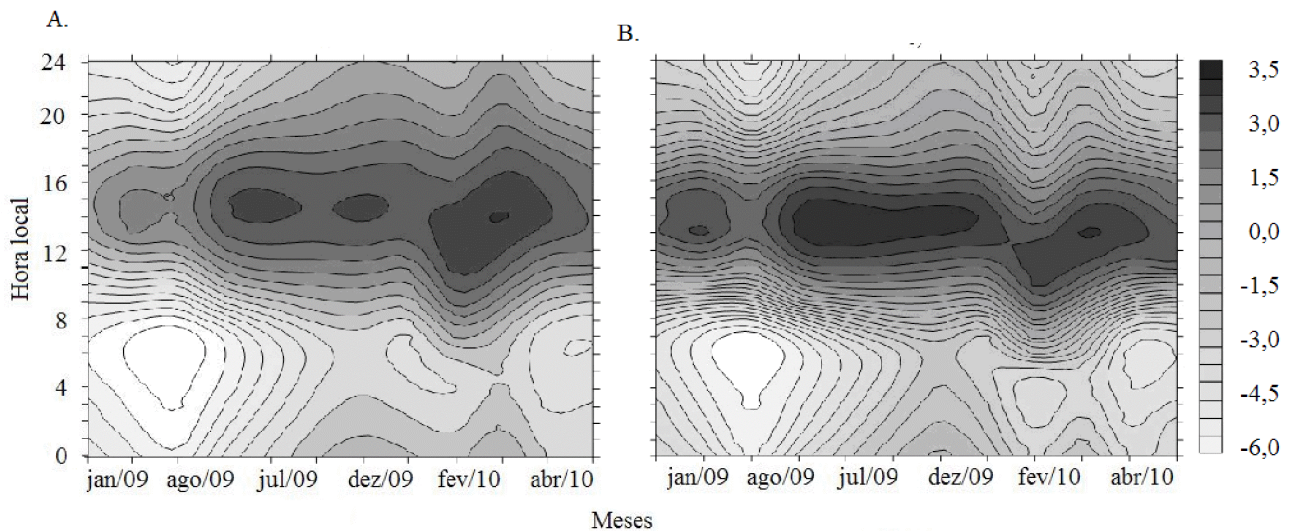


Figura 8. Variação da média horária mensal do fluxo de calor do solo ($W m^{-2}$) no período de junho de 2010 a maio de 2011 para solo com liteira (A) e sem liteira (B), em Coruripe, AL

também nos horários em que FCS é positivo sendo o aumento mais acentuado na área sem liteira, em que o fluxo também se tornou mais facilmente negativo.

Já o total precipitado no período junho de 2010 a maio de 2011 foi de 1936 mm (Figura 9), ou seja, trata-se de um valor acima da normal climatológica da região, já que precipitou mais que o dobro em referência ao ano anterior. O trimestre chuvoso (junho a agosto de 2010) apresentou total pluviométrico de 753,3 mm sendo o mês de junho o de maior total acumulado (391,8 mm). Para o período seco (novembro de 2010 a janeiro de 2011) o total acumulado observado foi de 122,6 mm verificando-se muita chuva no mês de janeiro (115,1 mm) enquanto os meses de novembro e dezembro registraram valores próximos de zero com totais de 3,9 e 3,6 mm, respectivamente.

Em decorrência dos maiores índices de precipitação estarem concentrados entre 4 e 10 h no período chuvoso, notou-se um resfriamento da TS no fim da madrugada e no início da manhã

em ambas as áreas analisadas (Figura 10), com valores médios de TS em torno de 20,5 °C entre 4 e 7 h. Para o solo sem a presença de cobertura vegetal (Figura 10B) observou-se uma defasagem de 0,5 °C neste horário entre as profundidades de 1 e 20 cm em relação às mesmas profundidades para a área com cobertura de liteira (Figura 10A).

Este solo apresentou um núcleo relativamente frio entre as camadas de 10 e 30 cm e voltou a ter um leve aumento nas camadas subsequentes; por outro lado, o solo com cobertura de liteira apresentou, após 20 cm de profundidade, um pequeno aumento em 50 cm. Ressalta-se que em todo experimento que envolve determinação da temperatura do solo, com cobertura ou não, a umidade é de grande importância de vez que a presença de água afeta o fluxo de calor no solo e, contrapartida, a difusividade térmica.

No início da tarde ocorreu aquecimento da TS entre 13 e 15h, com valores em torno de 26,5 °C, devido aos menores índices de precipitação e à maior intensidade de Rn; para a área com cobertura de liteira constatou-se uma variação na vertical de 1,0 °C nas camadas até 10 cm, com a formação de um núcleo mais quente (26,5 °C) a partir de 10 cm em função da liteira armazenada sobre o solo funcionar como compartimento de armazenamento de água que, apesar de pouca capacidade em termos quantitativos, funciona como isolante térmico contribuindo para a redução da evaporação na superfície do solo (Vargas & Scholles, 2000). Em sequência, observa-se uma temperatura menor do solo nas camadas mais próximas da superfície. A área sem cobertura de liteira apresentou menor variação vertical da TS sendo os maiores valores entre 1 e 20 cm. Em virtude da remoção da cobertura vegetal morta, o impacto mecânico das gotas de chuva desagrega a estrutura superficial do solo enquanto as pequenas partículas resultantes selam os poros, diminuindo a infiltração.

Observou-se, no período chuvoso, que o Rn apresentou as maiores concentrações entre 9 e 14 h; com isto, a TS respondeu com a elevação dos seus valores. As maiores médias horárias

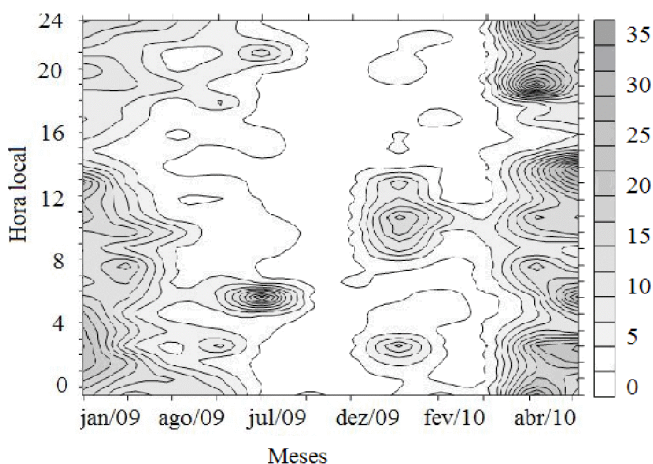


Figura 9. Variação temporal do total horário acumulado de precipitação (mm) na floresta de Coruripe, AL, no período junho de 2010 a maio de 2011

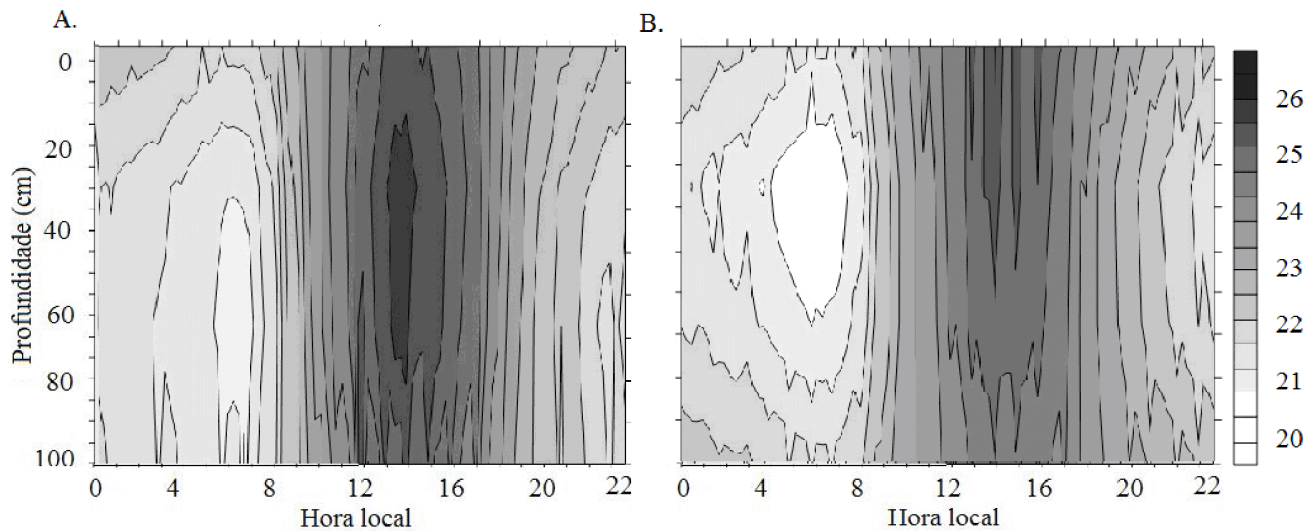


Figura 10. Perfil das médias horárias da temperatura do solo ($^{\circ}\text{C}$) nas profundidades de 1 a 50 cm no período chuvoso com (A) e sem lanteira (B), em Coruripe, AL

de Rn ocorreram às 11h ($3,5 \text{ W m}^{-2}$) mas a TS apresentou seu máximo às 13 h ($26,5 \text{ }^{\circ}\text{C}$) por conta da inércia térmica ocorrendo o contrário no período noturno quando o Rn se apresentou negativo. Por outro lado, no período seco a TS, como observado anteriormente, apresentou grande amplitude térmica diária de $13,5 \text{ }^{\circ}\text{C}$ (Figura 11). Este comportamento é explicado pelos baixos índices de precipitação e a menor taxa de cobertura de nuvens no período, acarretando maior incidência de radiação solar global (Rg) que contribuiu para o aquecimento do solo com média em torno de $33,5 \text{ }^{\circ}\text{C}$ (entre 12 e 15 h), nas duas áreas estudadas a partir de 10 cm de profundidade. Referido comportamento da TS está relacionado à composição do solo nesta profundidade que, em sua maioria, é constituído de areia, e possui menor condutividade térmica aumentando o armazenamento de calor para esta profundidade (Oliveira et al., 2009). Em função da perda de energia radiativa durante a noite para a mesma profundidade, a TS respondeu com médias em torno de 20

$^{\circ}\text{C}$ (entre 4 e 6 h), permanecendo constante para o solo sem lanteira (Figura 11B) e apresentando pequenas variações de pouco mais de $1,2 \text{ }^{\circ}\text{C}$ para o solo com lanteira (Figura 11A) nas profundidades mais próximas da superfície durante o período matinal. Segundo Costa et al. (2007) esta variação ocorre em virtude do material vegetal morto proporcionar leve redução na taxa de emissão de radiação de onda longa (ROL).

A temperatura mínima obtida no período seco foi de $20 \text{ }^{\circ}\text{C}$ (entre 4 e 6 h) e ocorreu concomitantemente com os menores valores de Rn. A temperatura máxima foi de $33,5 \text{ }^{\circ}\text{C}$, registrada no início da tarde (13 h) a partir da profundidade de 10 cm, respondendo ao período com maior intensidade de Rn em que, como observado anteriormente, se obtiveram as maiores taxas de Rn às 11 h com médias de $10,5 \text{ W m}^{-2}$ caso em que se pode dizer que houve um atraso na sua resposta térmica com relação à fonte de calor que pode ser explicado pela quantidade de água armazenada durante os meses anteriores ao período seco.

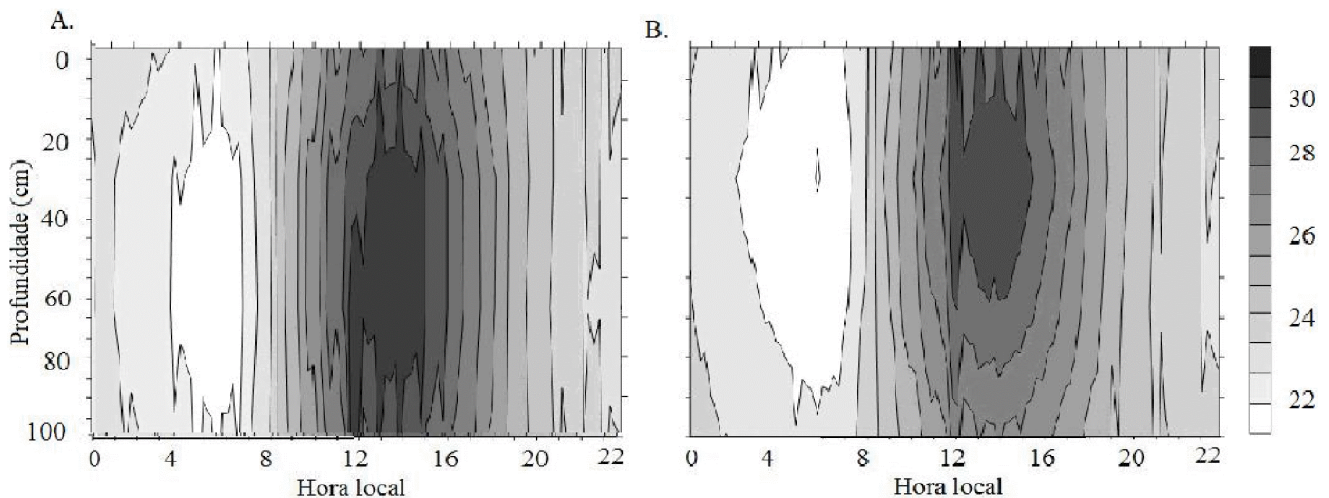


Figura 11. Perfil das médias horárias da temperatura do solo ($^{\circ}\text{C}$) nas profundidades de 1 a 50 cm no período seco com lanteira (A) e sem lanteira (B), em Coruripe, AL

CONCLUSÕES

1. A temperatura do solo apresentou as maiores flutuações entre 1 e 10 cm de profundidade em fragmentos de Mata Atlântica. Os valores médios se situam entre as camadas de solo de 10 e 20 cm; a partir de 50 cm de profundidade a TS permanece constante verticalmente.

2. O período seco apresenta uma amplitude térmica maior enquanto o chuvoso tem as maiores variações com a profundidade.

3. A cobertura por liteira proporciona melhor infiltração da água no solo e modifica o balanço de radiação enquanto a área sem a presença de liteira apresenta maior homogeneidade térmica na direção vertical.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao CNPq (Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico) pelo financiamento para a realização deste estudo e à Usina Coruripe Açúcar e Álcool S/A pelo apoio e por ter disponibilizado a área de estudo

LITERATURA CITADA

- Alvalá, R. C. S.; Gielow, R.; Rocha, H. R.; Freitas, H. C.; Lopes, J. M.; Manzi, A. O.; Von Randow, C.; Dias, M. A. F. S.; Cabral, O. M. R.; Waterloo, M. J. Intradiurnal and seasonal variability of soil temperature, heat flux, soil moisture content, and thermal properties under forest and pasture in Rondônia. *Journal of Geophysical Research - Atmospheres*, v.107, p.10-20, 2002.
- Chagas, G. F. B.; Silva, V. P. R.; Costa, A. C. L.; Dantas, V. A. Impactos da redução da pluviometria na biomassa aérea da Floresta Amazônica. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v.16, p.72-79, 2012.
- Costa, L. C. B.; Castro, E. M.; Pinto, J. E. B. P.; Alves, E.; Bertolucci, S. K. V.; Rosal, L. F.; Moreira, C. M. Aspectos da anatomia foliar de *Ocimum selloi Benth. (Lamiaceae)* em diferentes condições de qualidade de luz. *Revista Brasileira de Biociências*, v.5, p.6-8, 2007.
- Dantas, V. A.; Silva, V. P. R.; Costa, A. C. L.; Chagas, G. F. B. Impactos da redução da pluviometria na biomassa aérea da Floresta Amazônica. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v.15, p.1266-1274, 2011.
- Galvani, E.; Escobedo, J. F.; Pereira, A. B. Balanço de radiação e fluxo calor no solo em ambiente natural e protegido cultivado com pepineiro. *Bragantia*, v.60, p.139-147, 2001.
- Geiger, R. *Manual de micrometeorologia*. Lisboa: Calouste Gulbenkian, 1980. 556p.
- Graham, E. A.; Lam, Y.; Yuen, E. M. Forest understory soil temperatures and heat flux calculated using a Fourier model and scaled using a digital camera. *Agricultural and Forest Meteorology*, v.150, p.640-649, 2010.
- INPE – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. Atlas dos remanescentes florestais da Mata Atlântica. São Paulo: INPE, 2009. 156p. Relatório parcial
- Ledru, M. P.; Rousseau, D. D.; Cruz Júnior, F. W.; Riccomini, C.; Karmann, I.; Martin, L. Paleoclimate changes during the last 100,000 yr from a record in the Brazilian Atlantic rainforest region and interhemispheric comparison. *Quaternary Research*, v.64, p.444-450, 2005.
- Moura, M. A. L.; Querino, C. A. S. Variação sazonal do fluxo de calor no solo dentro de um manguezal tropical. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v.14, p.296-302, 2010.
- Oliveira, T. H.; Galvêncio, J. D.; Araújo, M. S. B.; Pimentel, R. M. M.; Silva, B. B. Avaliação do fluxo de calor no solo, temperatura da superfície e albedo na bacia hidrográfica do rio Moxotó-PE através de imagens TM - Landsat-5. XIII Simpósio Brasileiro de Geografia Física Aplicada, 2009, Viçosa. Anais... SBGFA, 2009. CD-Rom
- Parton, W. J.; Logan, J. A. A model for diurnal variation in soil and in temperature. *Agricultural Meteorology*, v.23, p.205-216, 1981.
- Paul, K. I.; Polglase, P. J.; Smethurst, P. J.; O'Connell, A. M.; Carlyle, C. J.; Khanna, P. K. Soil temperature under forest: a simple model for predicting soil temperature under a range of forest types. *Agricultural and Forest Meteorology*, v.121, p.167-182, 2003.
- Pezzopane, J. E. M.; Pedro Júnior, M. J.; Ortolani, A. A.; Meyer, N. Radiação líquida e temperatura de folha no interior de estufa com cobertura plástica, durante o período noturno. *Revista Brasileira de Agrometeorologia*, v.3, p.1-4, 1995.
- Pezzopane, J. E. M.; Reis, G. G. dos; Reis, M. G. F.; Costa, J. M. N. Caracterização da radiação solar em fragmento da Mata Atlântica. *Revista Brasileira de Agrometeorologia*, v.13, p.11-19, 2005.
- Pillar, V. D. *Clima e vegetação*. Departamento de Botânica. Porto Alegre: UFRGS, 1995. 4p.
- Querino, C. A. S. Avaliação da radiação solar em ecossistema de manguezal tropical em Alagoas, Brasil. Maceió: ICAT/UFAL, 2006. 97p. Dissertação Mestrado
- Ramana Rao, T. V.; Silva, B. B.; Moreira, A. A. Características térmicas do solo em Salvador, BA. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v.9, p.554-559, 2005.
- Rodrigues, B. D.; Martins, S. V.; Leite, H. G. Avaliação do potencial da transposição da serapilheira e do banco de sementes do solo para restauração florestal em área degradada. *Revista Árvore*, v.34, p.65-73, 2010.
- Santos, M. A. L.; Frizzzone, J. A. Irrigação suplementar da cana-de-açúcar (*Saccharum spp*) colhida no mês de janeiro: um modelo de análise de decisão para o litoral sul do Estado de Alagoas. *Irriga*, v.11, p.339-355, 2006.
- SBCS – Sociedade Brasileira de Ciência do Solo. Boletim Informativo da Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, v.32, p.4-32, 2012.

- Schumacher, M. V. Projeto verde é vida. Santa Maria: Departamento de Engenharia Florestal da Universidade Federal de Santa Maria. RS. Associação dos Fumicultores do Brasil - AFUBRA, A Floresta e a água, v.2, 1998. 28p.
- Tapia-Coral, S. C.; Luizão, F. J.; Wandeli, E.; Fernandes, E. C. M. Carbon and nutrients stock in the litter layer of agroforestry systems in central Amazônia, Brazil. *Agroforestry Systems*. v.65, p.33-42, 2005.
- Toledo, L.; Pereira, M. G.; Menezes, C. E. G. Produção de serapilheira e transferência de nutrientes em florestas secundárias localizadas na região de pinheiral, RJ. *Revista Ciência Florestal*, v.12, p.9-16, 2002.
- Vargas, L. K.; Scholles, D. Biomassa microbiana e produção de C-CO₂ e N mineral de um podzólico vermelho-escuro submetido a diferentes sistemas de manejo. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v.24, p.35-42, 2000.