

MODELAGEM DA CONDUTIVIDADE TÉRMICA EM ÁREA DE CAATINGA COM PREDOMINÂNCIA DE CACTÁCEAS¹

FERNANDO MOREIRA DA SILVA^{2*}, ALBERICIO PEREIRA DE ANDRADE³, PEDRO DANTAS FERNANDES³,
ANA MÔNICA BRITTO COSTA⁴

RESUMO - O objetivo desta pesquisa foi avaliar o comportamento da condutividade térmica em vegetação de caatinga com predominância de cactáceas, em especial o xique-xique [*Pilosocereus gounellei* (A. Weber ex K. Schum.)]. A área em estudo foi a bacia hidrográfica do Rio Taperoá, região dos Cariris Velhos no Estado da Paraíba. Foram utilizados dados de temperatura e de fluxo de calor na superfície de solo vegetado. Foi utilizada a lei de condução de calor, cuja modelagem da série temporal de condutividade térmica da vegetação aplicou-se os métodos de Fourier, regressão linear múltipla e polinomial. Os resultados preliminares demonstram que a condutividade térmica em superfície vegetada com cactáceas se comportou como isolante no período diurno e como condutor no período noturno. Os resultados são parciais, mas antagônicos à literatura, e apontam que as trocas de calor por condução na caatinga têm significado próprio e devem fornecer subsídios para parametrizações e incorporação da dinâmica da vegetação em modelos, sejam; hidrológicos, de circulação atmosférica ou ambiental.

Palavras-chaves: Semiárido. Xique-Xique. Troca de Calor. Lei de Fourier.

MODELING OF TERMIC CONDUCTIVITY IN AN AREA OF CAATINGA PREDOMINANTLY CACTUS

ABSTRACT - The objective of this research was to evaluate the behavior of thermal conductivity in the apparent surface in caatinga predominantly cactus, especially eunapolis [*Pilosocereus gounellei* (A. Weber ex K. Schum.)]. The study area was the river basin Taperoá, located in the region of Cariris Velhos in the State of Paraíba. Data were used for temperature and heat flux on the surface of vegetated soil. It used the law of heat conduction, who modeling time series of apparent thermal conductivity of the vegetation was made by Fourier methods, linear regression and polynomial. The results are partial, but antagonistic to literature, and they point out that the heat transfer by conduction in the caatinga has significance and should provide support for parameterization and incorporation of vegetation dynamics in the models are, hydrological, environmental or atmospheric circulation.

Keywords: Semiarid. Xique-Xique. Exchanger of Heat. Fourier Law.

*Autor para correspondência.

¹Recebido para publicação em 02/08/2010; aceito em 22/10/2010.

²UFRN/DGE, Campus Universitário, s/n, Lagoa Nova, 59078-900, Natal – RN; fmoreyra@ufrnet.br

³INSA/MCT, av. Floriano Peixoto, 715, Prédio da Associação Comercial, 2 andar, Centro, 58400-165, Campina Grande - PB; kdaraujo@yahoo.com.br; albericio@uol.com.br

⁴IFRN, av. Senador Salgado Filho, 1559, Tirol, 59015-000, Natal – RN, ana.costa@ifrn.edu.br

INTRODUÇÃO

Os modelos ambientais que abordam o balanço de energia necessitam avaliar o fluxo de calor na superfície, o que demanda conhecer o comportamento da condutividade dessa superfície, seja ela vegetada ou não vegetada. Silva (2003) cita vários experimentos que contemplam esse tipo de investigação: HAPEX-MOBILHY (França-1986), FIFE (EUA-1987), KUREX (Rússia-1991), EFEDA (Espanha-1991), HAPEX-SAHEL (Nigéria-1992), BOREAS (Canadá-1993), ABRACOS (Brasil-1990), LBA (Brasil-1998), SALSA (México-1996) e Experimento Cariri (Nordeste do Brasil-2000). Todos representam estudos experimentais que buscam, inclusive, a modelagem solo-planta-atmosfera (SVAT) pela dinâmica dos processos físicos que promovem o transporte de energia e massa.

A vegetação de caatinga apresenta condições termodinâmicas peculiares, e um ecossistema pouco estudado (TROVÃO et al., 2007). Conforme os autores supracitados, as plantas da caatinga apresentam adaptações fisiológicas às condições estressantes, sendo o estudo dos mecanismos adaptados de vital importância para o entendimento do ecossistema.

Em estudos realizados por alguns autores (SILVA et al., 2002; SILANS et al., 2002; SILANS et al., 2006), em caatinga nativa, o método da razão de Bowen se mostrou inadequado para avaliação dos fluxos de superfície.

Galvani et al. (2001) afirma que o fluxo de calor na interface solo-planta-atmosfera é função da condutividade térmica e da temperatura, sendo diretamente influenciado pela variação deste elemento.

Nascimento e Brito (2007) estudando um modelo de vegetação e seu potencial em crescimento na caatinga, afirmaram que há uma forte relação entre o clima e a vegetação nativa, evidenciada nos processos de trocas de energia entre vegetação-atmosfera.

O crescimento e o desenvolvimento das plantas estão ligados a influência, fornecimento de água e nutrientes ao solo e aos elementos climáticos responsáveis pela demanda e oferta de energia, e ao meio ambiente no qual estão inseridas, devendo-se, portanto conhecer melhor as relações no sistema solo-planta-atmosfera (ANDRADE et al., 2001; SILVA; SAMPAIO, 2008).

O solo atua como um tampão térmico no equilíbrio de calor no sistema solo-planta-atmosfera (JACOBS, A. F. G.; VERHOEF, 1997; RIBEIRO et al., 2001), absorvendo calor durante o dia e liberando-os à noite.

Costa et. al. (2010) pesquisando serrapilheira na caatinga (arbórea e arbustiva), concluíram que as plantas desse tipo de extrato possuem fenologia e fisiologia relacionadas às características do meio, determinando, dessa forma, as peculiaridades e o ajustamento das plantas às características físicas do meio em questão.

Ramana Rao et al. (2005) analisando o comportamento térmico do solo afirmam que as trocas de energia que se processam entre a Camada Limite Atmosférica (CLA) e a superfície do solo são de fundamental importância em estudos agrometeorológicos e de modelagem atmosférica.

A complexa interação entre o solo, a vegetação e a atmosfera precisa ser bem entendida, a fim de melhorar as previsões meteorológicas e as respostas dos modelos hidrológicos e ecológicos em regiões de caatinga no Nordeste do Brasil.

Uma forma de melhorar as respostas desses modelos pode ser na avaliação do parâmetro físico, condutividade térmica da vegetação, pois reflete a sua capacidade em conduzir calor, tanto para a atmosfera como para o solo. A condutividade térmica da vegetação varia no tempo e o no espaço. Ela depende, entre outros aspectos, da espécie, do sistema radicular, da densidade e estrutura das folhas (SILVA, 2003).

Nesse contexto, objetiva-se com este trabalho modelar e analisar o comportamento da condutividade térmica em vegetação de caatinga, predominantemente ocupada por xique-xique, uma das espécies de cactácea típica da vegetação, enfocando sua variabilidade no tempo meteorológico.

MATERIAL E MÉTODOS

Os dados térmicos em análise foram obtidos junto ao Experimento Cariri, realizado no município de São João do Cariri, no estado da Paraíba, para três dias segundo as condições meteorológicas (chuvoso, úmido e seco) no ano de 2002. Esta é uma região com solos do tipo luvisolos crômicos vértico, vertissolo e neossolo lítico e a vegetação é do tipo caatinga com predomínio de xique-xique [*Pilosocereus gounellei* (A. Weber ex K. variabilidade espaço-temporal na sua distribuição, concentrada nos meses de fevereiro a abril (ARAUJO et al., 2010).

As medidas de temperatura foram realizadas em dois níveis diferentes, utilizando termopares do tipo E (crommel-constantan). Um termopar foi instalado no colo (zona de transição entre a raiz e o caule) da vegetação, juntamente com um fluxímetro e o segundo nível foi instalado na copa da vegetação, disposto em local representativo do sistema caatinga e orientado no sentido do zênite.

Esses dados foram coletados em um sistema de aquisição de dados, Datalogger, modelo CR23X da Campbell Scientific Inc., com entrada para 24 sinais simples, 12 diferenciais e 4 para sinais tipo pulso, além de 4 canais para excitação e 8 canais de controle. O datalogger foi alimentado em contínuo por uma bateria de 12 volts e 55 AH acoplada a um painel solar de 20W. O sistema de aquisição de dados foi também programado para armazenar informações a cada 20 minutos e operar como unidade de controle de todo o experimento.

Fluxo de calor

O fluxo de calor por condução é dado pela lei de Fourier:

$$G(z) = -K(z) \left(\frac{\partial T}{\partial z} \right) \quad 01$$

na qual G é o fluxo de calor em um nível de altura z, dado em energia que atravessa a superfície por unidade de área e tempo (W/m²); K é a condutividade térmica aparente da vegetação (W/m.K); T é a temperatura em Kelvin e z a profundidade em metros.

O termo aparente foi introduzido por DeVries, que analisando o processo de transferência de calor no solo, mostrou que, além de um processo essencialmente condutivo pelos contatos físicos entre as fases sólida, líquida e gasosa, existe transferência de calor por convecção associada a processos de evaporação-condensação. A condutividade térmica medida in loco, reflete estes processos, motivo pelo qual elas são chamadas de aparentes (SILANS et al., 1997; RIBEIRO et al., 2001; SILVA, 2003).

Admitindo-se um volume de controle na forma de um cilindro, de área unitária, dispondo os dois termopares de forma que, as trocas de calor da vegetação sejam feitas apenas dentro do cilindro, com comprimento de 2 metros, no instante em que se atingir o equilíbrio térmico, tem-se que os extremos do cilindro estarão à temperatura do reservatório com o qual estão em contato; que a taxa de transferência de calor tem de ser constante (por definição de equilíbrio), mas não zero (porque as temperaturas nos extremos são diferentes), de onde se conclui que, em um determinado instante t₀, o gradiente dT/dz é constante.

Logo, pode-se escrever a equação do fluxo de calor em diferenças finitas:

$$G(z) = -K(z) \left(\frac{\Delta T}{\Delta z} \right) \quad 02$$

A partir da quantificação da condutividade térmica aparente [K(z)] da vegetação com predominância de cactáceas, fez-se uso de diversas técnicas a fim de modelar o comportamento temporal desse parâmetro.

Método de regressão linear múltipla

Considerando-se o caso em que a variável dependente condutividade térmica aparente (K) seja função de duas variáveis explicativas: o tempo (t) e o campo térmico (T), tem-se o seguinte modelo de regressão linear múltiplo (FONSECA et al., 2006):

$$K = a_1 t + a_2 T + b \quad 03$$

em que K é a condutividade térmica aparente da vegetação (W/m.K), t o tempo (hora), T a temperatura da superfície (K), as constantes a₁ e a₂ são os coeficientes angulares e b o coeficiente linear.

O método de regressão polinomial

Supondo que a condutividade térmica aparente (K) seja função apenas do tempo (t), pode ser modelada pela função (FONSECA et al., 2006):

$$K = a_1 t + a_2 t^2 + a_3 t^3 + \dots + a_n t^n + b \quad 04$$

na qual K é a condutividade térmica aparente da vegetação (W/m.K), t é o tempo (hora), a_i são os coeficientes angulares e b o coeficiente linear.

Método harmônico ou de Fourier

Fenômenos periódicos, sejam no tempo ou no espaço, podem ser modelados por técnicas de análise harmônica. A análise harmônica ou de Fourier para uma série finita de N dados, é modelada seguindo a sua decomposição em uma série trigonométrica finita de somas de senos e co-senos. Segundo Assis et al. (1996), em uma série de N valores (K₁, K₂, ... K_n), igualmente espaçados a intervalos Dt no período T=NDt, são válidas as seguintes expressões:

$$K_t = \bar{K} + \sum_{i=1}^k \left[P_k \cos\left(\frac{2\pi kt}{T}\right) + Q_k \text{sen}\left(\frac{2\pi kt}{T}\right) \right] \quad 05$$

$$P_k = \frac{2}{N} \sum_{i=0}^{t=N-1} \left[K_t \cos\left(2\frac{\pi kt}{T}\right) \right] \quad 06$$

$$Q_k = \frac{2}{N} \sum_{i=0}^{t=N-1} \left[K_t \text{sen}\left(2\frac{\pi kt}{T}\right) \right] \quad 07$$

em que \bar{K} representa a condutividade térmica média da vegetação em W/m.K, no período P (nessa modelagem P=24 horas), k o número do harmônico, T o período do harmônico.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Tendo em vista a complexidade dos fenômenos na interface entre a vegetação e a atmosfera, a análise quantitativa da condutividade térmica foi feita considerando medidas efetuadas em dias típicos, isto é, dias secos, dias chuvosos e dias úmidos.

Conforme os resultados encontrados por Silva (2003), no Experimento Cariri, ao afirmar que a camada no solo, entre 0 e 15 cm de profundidade leva mais de 30 dias para secar, foi possível qualificar os dias como: seco – sem chuva nos trinta dias, inclusive no dia da medição, chuvoso – no dia que ocorreu precipitação e úmido - logo após o dia chuvoso, inclusive sem chuva no dia da medição.

Nas Figuras 1, 2 e 3 encontra-se a variação da condutividade térmica aparente da vegetação, nos três dias caracterizados como seco, úmido e chuvoso.

Analisando-se a condutividade térmica para o dia seco (Figura 1), tem-se que de 00:00 h até o nascer do sol a condutividade térmica foi em torno de 10 W/m.K e, das 8 h às 12 h, o valor foi mínimo (≈ 2 W/m.K); uma condutividade térmica máxima de 80

W/m.K ocorre às 20 h, passando a decrescer até o nascer do sol.

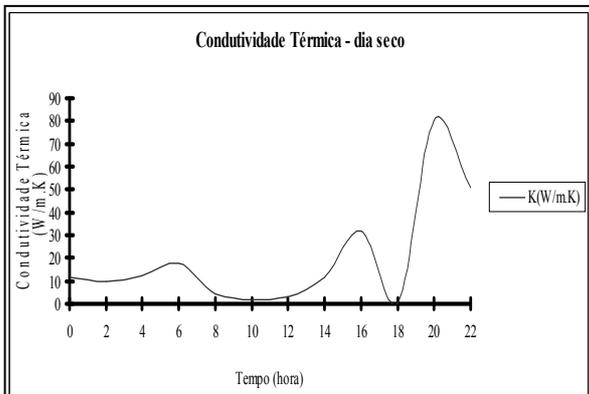


Figura 1. Condutividade térmica aparente (K) para um dia seco.

Para o evento úmido (Figura 2), a condutividade térmica foi abaixo de 12 W/m.K, durante todo o dia, com um mínimo de 1 W/m.K, às 18 h e valor máximo de 12 W/m.K, à 0 h. A variação temporal do evento úmido teve tendência similar ao evento seco, com baixa condução de calor no período diurno, e maior no período noturno.

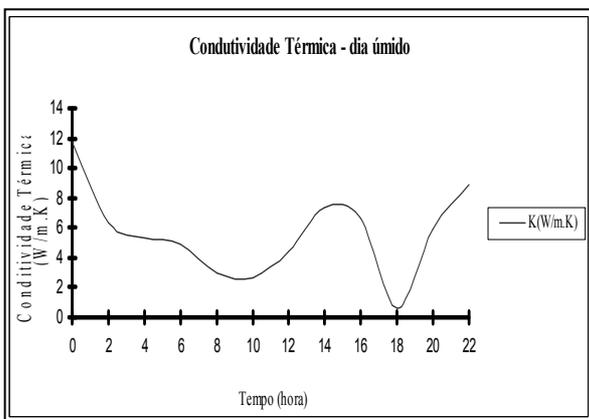


Figura 2. Condutividade térmica aparente para um dia úmido.

O evento chuvoso foi caracterizado por precipitações com intensidade, 21,5 mm, cuja distribuição temporal se deu no período noturno, conforme a Figura 3.

No dia chuvoso (Figura 4), o valor da condutividade térmica aparente no período da madrugada ao nascer do sol foi de 10 W/m.K. No período diurno, o valor mínimo foi, 2 W/m.K às 17 horas, entretanto no instante da ocorrência da precipitação a condutividade passou a ter valores máximos, chegando ao ápice de 45 W/m.K, às 21 horas.

Considerando a peculiaridade dos resultados obtidos nos três eventos, a condutividade térmica aparente da vegetação foi modelada utilizando o

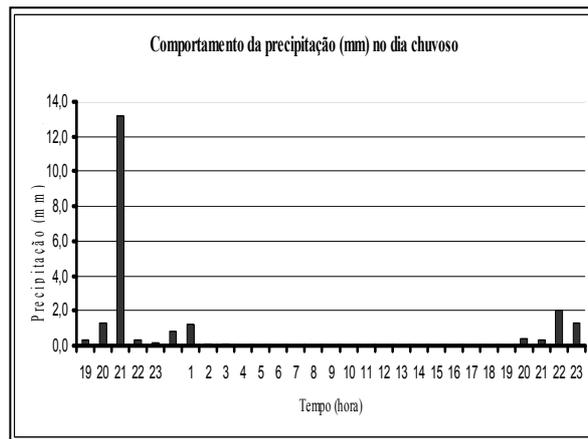


Figura 3. Comportamento temporal da precipitação no dia

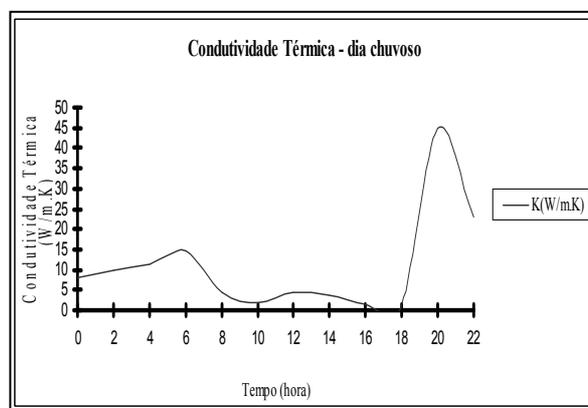


Figura 4. Condutividade térmica aparente no dia chuvoso.

método harmônico de Fourier, o método da regressão linear múltipla e o método da regressão polinomial.

O modelo de Fourier (Figura 5), por seis harmônicos, acompanhou as oscilações diárias da condutividade, mas superestimou seus valores da madrugada até 15 h, e os subestimou a noite. O modelo polinomial de grau seis subestimou em quase todo o período, já o modelo de regressão linear múltipla mostrou a tendência da condutividade, que em média pode representar o evento, pois há resíduos positivos e negativos, o que sugere, em uma situação de operacionalidade, seja analisado por técnicas da estatística inferencial, intervalo de confiança.

A Figura 6 mostra a comparação entre a condutividade térmica aparente da vegetação observada e estimada pelos métodos de Fourier (com seis harmônicos), polinomial e regressão linear múltipla para o dia 20/02/2002, que é representa um dia úmido. Pode-se observar que o modelo de Fourier por seis harmônicos acompanha as oscilações diárias da condutividade térmica aparente, apresentando valores superestimados e subestimados. Como sua curva mostra estabilidade em torno do valor real, seus valores podem representar a amostra para dias úmidos. O modelo polinomial de grau seis apresenta forte instabilidade a partir das 16 horas. O modelo de regressão linear múltipla mostra a tendência da condu-

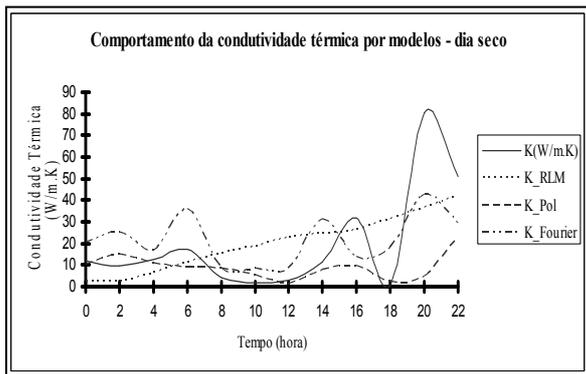


Figura 5. Condutividade térmica aparente para o dia seco: $K(W/m.K)$ é a condutividade térmica aparente calculada, K_{RLM} é a condutividade térmica modelada por Regressão Linear Múltipla, K_{Pol} é a condutividade térmica modelada por Regressão Polinomial e $K_{Fourier}$ é a condutividade térmica modelada por série de Fourier.

tividade que, pelo mesmo motivo citado anteriormente, pode representar o evento (média), pois há resíduos positivos e negativos, necessitando de técnicas da estatística inferencial com o uso de intervalo de confiança para operacionalizar o modelo.

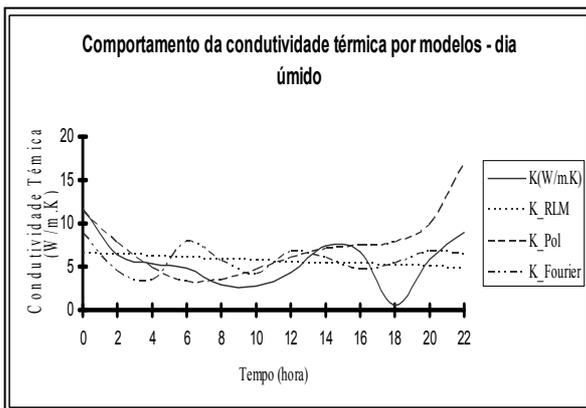


Figura 6. Condutividade térmica aparente para um evento úmido: $K(W/m.K)$ é a condutividade térmica calculada; K_{RLM} é a condutividade térmica modelada por Regressão Linear Múltipla; K_{Pol} é a condutividade térmica modelada por Regressão Polinomial e $K_{Fourier}$ é a condutividade térmica modelada por série de Fourier.

Para o evento chuvoso, Figura 7, o modelo polinomial extrapola seus valores a partir das 21 h, apesar de que, no decorrer do dia, acompanha a oscilação da condutividade térmica aparente calculada. A tendência da condutividade pode ser vista pelo modelo regressivo linear múltiplo, que pode representar o evento chuvoso, pois se mostrou estável em todo o período. O modelo harmônico de Fourier, com sua característica de representar as oscilações na série temporal, superestima seus valores à tarde e os subestima à noite, com instabilidade no final da integração do modelo.

A partir dos resultados obtidos percebe-se que, a condutividade térmica da vegetação de caatinga, com predominância de xique-xique, tem uma

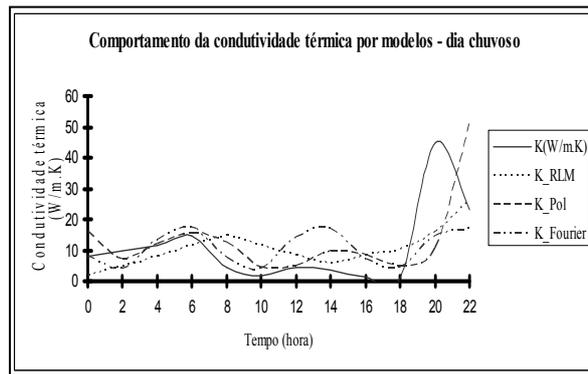


Figura 7. Condutividade térmica aparente para um evento chuvoso: onde: $K(W/m.K)$ é a condutividade térmica aparente calculada, K_{RLM} é a condutividade térmica modelada por Regressão Linear Múltipla, K_{Pol} é a condutividade térmica modelada por Regressão Polinomial e $K_{Fourier}$ é a condutividade térmica modelada por série de Fourier.

oscilação horária, o que permitiu a aplicação de modelos de série temporal. Os resultados analíticos, com seus respectivos coeficientes de explicação (R^2), obtidos segundo os modelos, podem ser observados na Tabela 1.

Os modelos aplicados mostraram valores do coeficiente de explicação (R^2) variando, inclusive, entre 0,53 e 0,96, cujos menores valores foram obtidos pelo modelo harmônico de Fourier, para os três eventos analisados. O modelo polinomial de grau 6 apresentou valores de R^2 entre 0,66 e 0,74, demonstrando que os dois modelos são poucos representativos para simulação da condutividade térmica da vegetação de caatinga.

O modelo de regressão linear múltipla, concebido a partir da temperatura da superfície e o tempo, apresentou melhores resultados, seu R^2 ficou entre 0,77 e 0,96, demonstrando que com técnica relativamente simples e usando apenas dados horários de temperatura na superfície da caatinga, é possível e pertinente parametrizar o parâmetro condutividade térmica da vegetação e agregar esse modelo a modelos de cunho ambiental, seja de circulação da atmosfera, hidrológico ou de solo-vegetação-atmosfera.

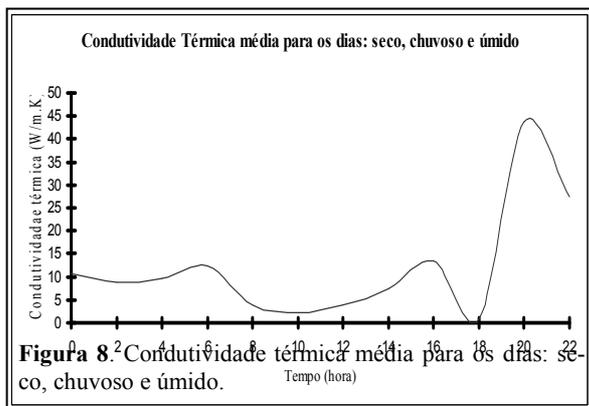
Nos eventos analisados pôde-se observar que a vegetação é má condutora de calor no período diurno, passando a ser boa condutora no período noturno. Esse comportamento pode ter a finalidade de absorção, pelas plantas, de menos calor durante o dia, assegurando uma temperatura mais baixa que o ar, ao passo que, no período noturno a vegetação passa a liberar calor para o ar circunvizinho.

O valor máximo de condutividade térmica aparente, ocorrido no horário da precipitação decorre da presença de água na interface da superfície da planta com o ar circunvizinho, aumentando a resistência na transpiração dos vegetais, com retenção de calor latente nos tecidos da planta, exigindo mais eficiência nos processos de trocas de calor.

Pelos dados obtidos nos três eventos, foi constatado haver forte condutividade térmica no

Tabela 1. Modelagem da condutividade térmica aparente (K) segundo vários métodos.

Evento	Modelo	Função K	R ²
Seco	Regressão Linear Múltipla	$K = 2,111t - 0,449T + 9,521$	0,96
	Polinomial	$K = -0,00008t^6 + 0,004t^5 - 0,106t^4 + 1,089t^3 - 5,177t^2 + 9,012t + 10,38$	0,66
	Fourier	$K = 19,667 - 5,162COS(\frac{2\pi}{2,4}) + 10,384SEN(\frac{2\pi}{2,4})$	0,53
Chuvoso	Regressão Linear Múltipla	$K = 0,986t - 3,2859T + 85,804$	0,77
	Polinomial	$K = -0,0004t^6 + 0,005t^5 - 0,133t^4 + 1,382t^3 - 6,663t^2 + 12,28t + 6,879$	0,74
	Fourier	$K = 10,667 - 2,521COS(\frac{2\pi}{2,4}) + 6,905SEN(\frac{2\pi}{2,4})$	0,54
Úmido	Regressão Linear Múltipla	$K = 0,079t + 0,0069T + 6,348$	0,77
	Polinomial	$K = -0,00009t^6 - 0,004t^5 - 0,133t^4 + 0,061t^3 - 0,184t^2 - 1,636t + 11,32$	0,70
	Fourier	$K = 5,645 - 1,881COS(\frac{2\pi}{2,4}) + 0,00004SEN(\frac{2\pi}{2,4})$	0,66



período noturno (Figura 8), apresentando correlação (0,62) com as trocas gasosas registradas em palma forrageira (cactácea), cuja transpiração máxima ocorre à noite, (Nobel, 1995). Como a transpiração é função direta do fluxo de calor latente, a vegetação se comporta como um bom condutor a fim de ser eficiente nas trocas gasosas e relações hídricas. A condutividade térmica média à noite (43,7 W/m.K), chega a valores maiores que a dos metais: mercúrio (8,3 W/m.K) e chumbo (34,7 W/m.K) (INCROPERA e DEWITT, 1998). Isso mostra que a vegetação de caatinga tem mecanismo para dissipar calor com eficiência maior que de certos metais.

Nos eventos analisados pode-se observar que a condutividade térmica mínima ocorreu às 18 h, enquanto que seu ápice foi atingido por volta das 20 horas. Considerando que são plantas CAM, nesse

horário os estômatos vão dar condições para iniciar uma efetiva transpiração, passando a ter aumento gradativo, o que resultaria em perdas excessivas de calor pelo vegetal. Como resposta vegetativa há um fechamento gradativo dos estômatos após as 20 h.

Esse comportamento influencia as alterações do fluxo de calor - G(z), que é considerado positivo quando for orientado da superfície para a copa da vegetação. Se G(z) aumenta em direção a superfície, portanto para baixo, o seu valor será tanto menor quanto mais próximo estiver da superfície até que haja uma inversão térmica, que por sua vez há, também, uma inversão na direção do fluxo de calor por volta das 18 horas. Portanto, o dossel retém calor que vai elevar sua temperatura, o que analiticamente deixa a condutividade térmica aparente, no horário supracitado, de maneira geral com um valor médio mínimo de 2 W/m.K.

Segundo Larcher (2004), a troca de calor por condução entre as plantas e o meio ambiente é pouco significativa, no entanto, constatou-se nesta pesquisa, que o comportamento da vegetação de caatinga tem reguladores próprios, que evidenciam a importância de se estudar a fisiologia vegetal das cactáceas no que tange à taxa de transferência de calor na CLA, com modelos que acoplem, além das trocas de calor por convecção e radiação, a troca de calor por condução.

As trocas de energia e de massa das cactáceas e a atmosfera têm mecanismos próprios, associados aos fatores estruturais (área e diâmetro da vegetação) e fisiológicos (comportamento estomático), que a caracterizam. Corroborando com as afirmações de

Costa et al. (2010) as cactáceas possuem caráter comportamental e fisiológico em relação às características do meio, administrando o controle na velocidade de condução do fluxo de calor e, conseqüentemente, controlando a oscilação diária da temperatura interna da planta.

As relações energéticas que originam e sustentam essas trocas são governadas por uma fonte primária de radiação solar externa e independente, complementada pela radiação “interna” de onda longa dos elementos vegetais e do solo subjacente à cobertura, mas ao que parecem, as trocas de calor por condução em cactáceas tem significância no balanço de energia e merecem ser investigadas com maiores detalhamentos.

CONCLUSÕES

A condutividade térmica aparente da vegetação de caatinga, com predominância de xique-xique, apresenta valores mínimos no período diurno, sendo o valor mínimo absoluto em torno do por do sol e os máximos durante a noite;

Na caatinga, os reguladores fisiológicos das plantas funcionam ora como isolantes, ora como condutores, amortecendo a sua amplitude térmica, especialmente a das cactáceas;

A modelagem que melhor representa a condutividade térmica aparente da caatinga foi do tipo regressão linear múltipla, envolvendo duas variáveis independentes, o tempo e a temperatura da superfície.

REFERÊNCIAS

ANDRADE, R. et al. Influência de cobertura nas temperaturas e umidade do solo. **Revista Atmosfera e Água**, Maceió, v. 4, n. 7, p. 31-37, 2001.

ARAÚJO, K. D. et al. Levantamento florístico do estrato arbustivo-arbóreo em áreas contíguas de caatinga no cariri paraibano. **Revista Caatinga**, Mossoró, v. 23, n. 1, p. 63-70, 2010.

ASSIS, F. N.; ARRUDA, H. V.; PEREIRA, A. R. **Aplicações de estatística em climatologia**. Pelotas: Editora e Gráfica Universitária-UFPel, 1996. 161 p.

COSTA, C. C. A. et al. Análise comparativa da produção de serrapilheira em fragmentos arbóreos e arbustivos em área de caatinga na flona de Açú-RN. **Revista Árvore**, Viçosa, MG, v. 34, n. 2, p. 259-265, 2010.

FONSECA, J. S.; MARTINS, G. A. **Curso de estatística**. São Paulo: Editora Atlas, 2006. 320 p.

GALVANI, E.; ESCOBETO, J. F.; PEREIRA, A. B. Balanço de radiação e fluxo de calor no solo em ambiente natural e protegido cultivado com pepineiro. **Revista Bragantia**, Campinas, v. 60, n. 2, p. 139-147, 2001.

JACOBS, A. F. G.; VERHOEF A. Soil evaporation from sparse natural vegetation estimated from Sherwood Numbers. **Journal of Hydrology**, v. 188, p. 443-452, 1997.

LARCHER, W. **Ecofisiologia vegetal**. São Carlos: Editora RIMA, 2004. 532 p.

NASCIMENTO, R. S.; BRITO, J. I. B. Modelo de vegetação potencial para a região Nordeste decorrente da precipitação pluvial. **Revista Bragantia**, Campinas, v. 66, n. 3, p. 511-519, 2007.

RAMANA RAO, T. V.; SILVA, B. B.; MOREIRA, A. A. Características térmicas do solo em Salvador, BA. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 9, n. 4, p. 307-311, 2005.

RIBEIRO, J. B. M. et al. Perfis de temperatura e fluxo de calor no manguezal e área desmatada em Bragança-PA. **Revista Atmosfera e Água**, Maceió, v. 4, n. 7, p. 22-25, 2001.

SILANS, A. M. B. P.; MONTENEY, B. A.; LHOMME, J. P. The correction of soil heat flux measurements to derive an accurate surface energy balance by the Bowen ratio method. **Journal of Hydrology**, v. 1, 453-465, 1997.

SILANS, A. M. B. P.; WERLANG, L. M.; SILVA, F. M. Estudo experimental do comportamento térmico do solo em uma região coberta por vegetação tipo caatinga, no estado da Paraíba. In: XII CONGRESSO BRASILEIRO DE METEOROLOGIA, 2, 2002. **Anais...** Foz do Iguaçu, 2002. p. 2556-2561.

SILANS, A. P.; SILVA, F. M.; BARBOSA, F. A. R. Determinação *in Loco* da Difusividade Térmica Num Solo da Região de Caatinga. **Revista Brasileira de Ciências do Solo**, Viçosa, MG, v. 30, n. 1, p. 41-48, 2006.

SILVA, F. M. et al. Modelo convectivo para transferência de calor na camada limite interfacial de um escoamento na região da caatinga/PB. In: XII CONGRESSO BRASILEIRO DE METEOROLOGIA, 2, 2002, Foz do Iguaçu. **Anais...** Foz do Iguaçu, 2002. p. 2541-2548.

SILVA, F. M. **Estudo teórico-experimental dos balanços energético, radiativo e hídrico no complexo solo-vegetação-atmosfera em região de caatinga**. 2003. 373 f. Tese (Doutorado em Engenharia

Mecânica) – Universidade Federal da Paraíba, João Pessoa, 2003.

SILVA, G. C.; SAMPAIO, E. V. S. B. Biomassas de partes aéreas em plantas da Caatinga. **Revista Árvore**, Viçosa, MG, v. 32, n. 3, p. 567-575, 2008.

TROVÃO, D. M. B. et al. Variações sazonais de aspectos fisiológicos de espécies da Caatinga. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 11, n. 3, p. 307-311, 2007.