

AGROMETEOROLOGIA

MODELO DE VEGETAÇÃO POTENCIAL PARA A REGIÃO NORDESTE DECORRENTE DA PRECIPITAÇÃO PLUVIAL ⁽¹⁾

ROBSON DE SOUSA NASCIMENTO ⁽²⁾; JOSÉ IVALDO BARBOSA DE BRITO ^(3*)

RESUMO

O presente trabalho aplica o modelo de Rey para calcular a vegetação potencial da Região Nordeste do Brasil e, assim, verificar se esse modelo identifica os principais tipos de vegetação dessa região. O método utilizado para calcular a taxa de Evapotranspiração (ET) é embasado na equação de Penman-Monteith. O modelo também inclui parâmetros fixados e as variáveis altura da vegetação e índice de área foliar (IAF). De modo geral, o modelo conseguiu reproduzir bem os biomas da região Nordeste do Brasil, principalmente a Caatinga, o Cerrado e a Mata Atlântica.

Palavras-chave: vegetação potencial, altura da vegetação, IAF, biomas.

ABSTRACT

POTENTIAL VEGETATION MODEL FOR THE NORTHEAST REGION OF BRAZIL AS A FUNCTION OF PRECIPITATION

The present work applies the model of Rey to calculate the potential vegetation of the Northeast of Brazil and, thus, to verify if it properly identifies the biomes of that region. The method used to calculate the rate of Evapotranspiration (ET) is based on the equation of Penman-Monteith. The model also includes fixed parameters and the variables vegetation height and leaf area index (LAI). In general, the model provided a good representation of the biomes of the Northeast of Brazil, mainly the Caatinga, the Cerrado, and the Atlantic Forest.

Key words: potential vegetation, vegetation height, LAI, biomes

⁽¹⁾ Recebido para publicação em 27 de junho de 2006 e aceito em 9 de março de 2007.

⁽²⁾ Universidade Federal do Piauí - Campus Cinobelina Elvas 64900-000 Bom Jesus (PI).

⁽³⁾ Universidade Federal de Campina Grande, Centro de Ciências e Tecnologia, Departamento de Ciências Atmosféricas, 59109-970 Campina Grande (PB). E-mail: ivaldo@dca.ufcg.edu.br (*) autor correspondente.

1. INTRODUÇÃO

Sabe-se da existência de uma relação entre a distribuição dos tipos de vegetação e o clima. Essa relação é traduzida pelos modelos de vegetação potencial (MVP) que, para um determinado clima, diagnosticam o bioma potencial, ou seja, o equilíbrio do bioma com esse clima. É certo que podem existir diferenças entre a distribuição espacial dos tipos de vegetação potencial e natural, pois outros fatores como topografia, tipo de solo e ação antrópica, também influenciam a distribuição de vegetação. Em grande escala, existe uma razoável correspondência entre a vegetação potencial e a natural, por esse motivo é que são utilizados os MVP em estudos climáticos (OYANA e NOBRE, 2002).

De acordo com JENSEN et al. (2001), o uso eficiente de estudo da vegetação potencial em escalas regional e sub-regional foi limitado até o início dos anos de 1990 devido à falta de dados, tornando difícil a localização precisa e o arranjo espacial do ambiente de vegetação potencial. Entretanto, os avanços recentes em sensoriamento remoto, sistema de informação geográfica, modelos terrestres e interpolação climática facilitaram o mapeamento da vegetação potencial, como foi mostrado por JENSEN et al. (2001).

SUD et al. (1996) descrevem que a vantagem dos Modelos de Circulação Geral (MCG) é que podem ser usados para fazer avaliação com base nos efeitos climáticos de possíveis alterações antropogênicas da biosfera. Os MCG possuem diferentes aplicações, como pode ser observado nos trabalhos de OSBORNE et al. (2004), POLCHER e LAVAL (1994), COX et al. (1998), SHAFER et al. (2001), BIASUTTI et al. (2004) e, em escala regional, o trabalho de HECK et al. (2001).

Os MVP nos MCG têm sido aprimorados e difundidos para melhor compreensão das respostas climáticas. Entretanto, é preciso saber que as previsões climáticas reais feitas por MCG precisam ser verificadas com observações de campo e satélite (SUD et al., 1996).

Há uma forte relação entre o clima e a vegetação, demonstrada nos processos de trocas de energia entre vegetação-atmosfera (KELLIHER et al., 1995). Os processos de trocas de energia entre vegetação e atmosfera constituem fator importante para o clima local, visto que determinam a quantidade de água requerida pela atmosfera e sua disponibilidade para suprir essa demanda.

O clima na Região Nordeste do Brasil (NEB) é de grande variabilidade climática, ou seja,

alternância entre períodos de secas severas, em alguns anos (1941/1944, 1992/1993, 1997/1998), e de chuvas intensas, em outros (1974/1975, 1985/1986).

Conhecendo a relação clima-vegetação e as condições climáticas do NEB, este estudo propôs estimar a altura da vegetação potencial para a região NEB, usando o modelo de Evapotranspiração Potencial de Vegetação Potencial de REY (1999). Rey aplicou seu modelo para a Espanha, obtendo resultados satisfatórios. Similarmente, foi feita uma aplicação para a região NEB, inserindo as variáveis climáticas dessa região que o modelo exige, para, a partir daí, discutir se o modelo representa os diversos tipos de vegetação dessa região, a saber: Mata Atlântica, Hiléia Baiana, Floresta Estacional Perinifólia, Floresta Estacional Decidual, Floresta Estacional Semidecidual, Caatinga, Cerrado e Cerradão, conforme classificação do Atlas do IBGE (1985).

2. MATERIAL E MÉTODOS

2.1 Material

Os dados coletados das estações meteorológicas da região NEB foram obtidos das "Normais Climatológicas" do Instituto Nacional de Meteorologia - INMET (1992). Como os dados das Normais Climatológicas não forneciam valores para a velocidade do vento, esses dados foram obtidos junto à Universidade Federal de Campina Grande (UFCG); que não dispunha de dados para todas as localidades descritas nas Normais Climatológicas, o que levou à exclusão de algumas cidades no cálculo da altura da vegetação.

Também foram utilizados dados pluviométricos da SUDENE (Superintendência do Desenvolvimento do Nordeste), disponíveis no Departamento de Ciências Atmosféricas da Universidade Federal de Campina Grande.

Os dados fornecidos pela estação de São João do Cariri foram de apenas nove anos de coleta, visto sua instalação recente. Em determinados anos, esses dados não foram computados, e em outros, algumas medidas, em alguns meses, deixaram de serem feitas.

Ao todo foram utilizados dados de 61 estações distribuídas por todo o Nordeste, conforme figura 1. Os números que estão grafados na figura 1 são códigos que determinam a posição de cada localidade, as quais estão listadas na tabela 1, assim como os códigos, as latitudes e longitudes.

Tabela 1. Distribuição espacial das estações meteorológicas com códigos de acordo com a figura 1. As latitude e longitudes são dadas em graus e décimos de grau, por exemplo, a cidade de Parnaíba, no Piauí, está localizada em 2,92° Sul (-2,92) e 41,60° Oeste (-41,60)

Código	Cidade	Latitude	Longitude	Código	Cidade	Latitude	Longitude
1	Turialvo	-1,72	-45,40	32	Petrolina	-9,38	-40,48
2	São Luis	-2,53	-44,30	33	Cabrobó	-8,52	-39,33
3	Zé Docas	-3,72	-45,53	34	Triunfo	-7,85	-38,13
4	Imperatriz	-5,53	-47,50	35	Arco Verde	-8,42	-37,08
5	B. do Corda ⁽¹⁾	-5,50	-45,27	36	Garanhuns	-8,88	-36,52
6	Caxias	-4,87	-43,35	37	Surubim	-7,83	-35,72
7	Carolina	-7,33	-47,47	38	Recife	-8,05	-34,92
8	Parnaíba	-2,92	-41,60	39	P. dos Índios ⁽⁵⁾	-9,45	-36,70
9	Teresina	-5,08	-42,82	40	Maceió	-9,67	-35,73
10	Floriano	-6,77	-43,02	41	Aracajú	-10,92	-37,05
11	Picos	-7,07	-41,48	42	Remanso	-9,63	-42,12
12	B. J. do Piauí ⁽²⁾	-9,10	-44,12	43	Paulo Afonso	-9,40	-38,22
13	Paulistana	-8,13	-41,13	44	Monte Santo	-10,43	-39,30
14	Sobral	-3,70	-40,35	45	Barra	-11,08	-43,17
15	Guaramiranga	-4,28	-39,01	46	Irecê	-11,30	-41,87
16	Fortaleza	-3,77	-38,60	47	Jacobina	-11,18	-40,47
17	Jaguaruana	-4,78	-37,80	48	Serrinha	-11,63	-38,97
18	Crateús	-5,17	-40,67	49	Barreiras	-12,15	-45,01
19	Quixeramobim	-5,19	-39,30	50	Lençóis	-12,57	-41,38
20	Morada Nova	-5,14	-38,38	51	Itaberaba	-12,55	-40,43
21	Iguatu	-6,37	-39,30	52	Alagoinhas	-12,28	-38,58
22	Barbalha	-7,32	-39,29	53	Salvador	-13,02	-38,52
23	Apodi	-5,65	-37,80	54	Correntina	-13,47	-44,78
24	Macau	-5,12	-36,63	55	B. J. da Lapa ⁽⁶⁾	-13,27	-43,42
25	Ceará Mirim	-5,54	-35,42	56	Carinhanha	-14,17	-43,92
26	Cruzeta	-6,43	-36,58	57	Caetité	-14,05	-42,62
27	São Gonçalo	-6,75	-38,22	58	V. Conquista ⁽⁷⁾	-14,85	-40,88
28	S. J. do Cariri ⁽³⁾	-7,38	-36,47	59	Ilhéus	-14,80	-39,07
29	C. Grande ⁽⁴⁾	-7,22	-35,88	60	Guaratinga	-16,73	-39,71
30	João Pessoa	-7,13	-34,87	61	Caravelas	-17,73	-39,25
31	Monteiro	-7,88	-36,95				

(¹) - Barra do Corda; (²) - Bom Jesus do Piauí; (³) - São João do Cariri; (⁴) - Campina Grande; (⁵) - Palmeira dos Índios; (⁶) - Bom Jesus da Lapa; (⁷) - Vitória da Conquista.

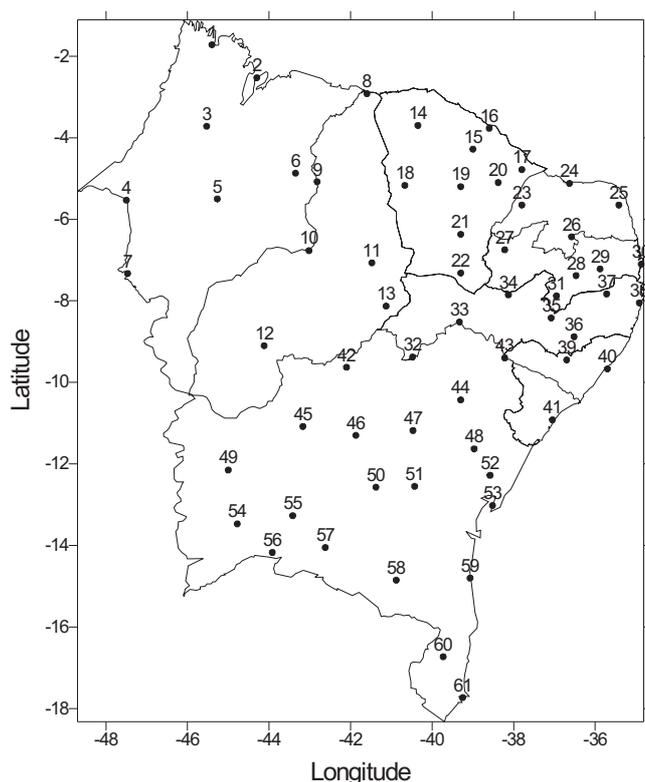


Figura 1. Distribuição espacial das estações climatológicas do NEB usadas no presente trabalho, os números são códigos de cada localidade listados na Tabela 1.

2.2 Métodos

Para estimar o IAF e a altura da vegetação potencial no modelo proposto, inicialmente é atribuído o valor de 0,2 ao IAF na equação da evapotranspiração de referência de Penman-Monteith-FAO. Com este valor calcula-se a altura da vegetação e a evapotranspiração (ET). Verifica-se se o valor encontrado da ET é aproximadamente igual à quantidade de água disponível (total de precipitação pluvial anual) ou à evapotranspiração potencial (o menor entre ambos), se não, é adicionado o valor de 0,1 ao IAF e repetem-se os cálculos. Esse procedimento é repetido várias vezes até encontrar uma ET aproximadamente igual à quantidade de água disponível ou ETP. O valor obtido do IAF e da altura da vegetação são obtidos da vegetação potencial.

A água disponível foi tomada como igual à precipitação pluvial total média anual que será totalmente evapotranspirada, exceto quando a precipitação pluvial do local é superior à ETP, para o cálculo do IAF e da altura da vegetação.

Observa-se, na figura 1, de modo geral, que há boa distribuição espacial das estações em quase todo o NEB, com exceção do Nordeste, Oeste e Sul do Maranhão; Centro-Leste, Sudeste e Sul do Piauí.

Os dados de umidade relativa foram extraídos diretamente das Normais Climatológicas do INMET (1992), exceto para São João do Cariri, obtida usando a equação (9b), uma vez que ed foi obtido pela equação (9a) e es pela (10). Como na estação de São João do Cariri não havia medições de insolação, foram tomados os dados de insolação da cidade de Cabaceiras (7°29'S; 36°17'W) devido a sua proximidade com São João do Cariri (7°24'S; 36°52'W).

Como os dados de velocidade do vento nas estações meteorológicas são observados a 10 m, utilizou-se a equação (4) para estimar os valores a 2 m, com exceção para São João do Cariri, localidade em que a medida do vento é feita a 2 m.

A equação para a altura da vegetação em metros, A_v , em função do IAF é dada por:

$$A_v = 58,46(1 - e^{-(0,05 \times \text{IAF})}) \text{ (m)} \quad (1)$$

Sendo: IAF o índice de área foliar. A equação (1) foi sugerida por KELLIHER et al. (1993) e utilizada por REY (1999) para calcular as resistências aerodinâmicas e do dossel, usadas como dados de entrada na equação da evapotranspiração potencial.

De acordo com REY (1999), a equação de Penman-Monteith permite o cálculo da ETP usando variáveis meteorológicas determinadas pelo clima (PENMAN, 1948) e características intrínsecas da vegetação, assim como resistência aerodinâmica e resistência da superfície foliar (MONTEITH, 1965) e pode ser expressa pela equação:

$$ETP = \frac{1}{\lambda} \left[\frac{\Delta(R_n + G) + 0,0864 \rho_a c_p \frac{D}{r_a}}{\Delta + \gamma(1 + \frac{r_d}{r_a})} \right] \text{ (mm.dia-1)} \quad (2)$$

Sendo: λ (2,5 MJ.kg⁻¹) o calor latente de evaporação da água; Δ (kPa.K⁻¹) o gradiente da curva de saturação do vapor d'água como uma função da temperatura do ar; R_n (MJ.m⁻².dia⁻¹) o saldo de radiação; G (MJ.m⁻².dia⁻¹) o fluxo vertical de calor do solo, que neste estudo foi considerado nulo; ρ_a (kg.m⁻³) a densidade do ar; D (kPa) o déficit de pressão do vapor d'água; c_p (1004 J.kg⁻¹.K⁻¹) o calor específico do ar; λ (kPa . K⁻¹) a constante psicrométrica; r_a (s.m⁻¹) a resistência aerodinâmica; r_d (s.m⁻¹) a resistência do dossel da planta e 0,0864 é o fator de conversão de (J.s⁻¹) para (MJ.dia⁻¹).

A equação para a resistência aerodinâmica, r_a , é (REY, 1999):

$$r_a = \frac{\ln \left[\frac{(0,22A_v + z_m)}{0,076A_v} \right]^2}{k^2 u} \text{ (s.m-1)} \quad (3)$$

Sendo: k a constante de Von Karman e é igual a 0,41; u (m.s^{-1}) a velocidade do vento 2 m acima do dossel da planta e $z_m = 2\text{m}$.

Como não dispõe de medidas de u , pois, a altura do dossel varia para cada tipo de planta a velocidade do vento u foi estimada pela seguinte equação (ALLEN et al., 1994):

$$u = u_{10} \frac{\ln\left(\frac{z-d}{z_0}\right)}{\ln\left(\frac{z_{10}-d}{z_0}\right)} \quad (\text{m.s}^{-1}) \quad (4)$$

Sendo: u_{10} (m.s^{-1}) a velocidade do vento medida a 10m de altura; z (m) altura do dossel da planta mais 2m; d (m) a altura do deslocamento do plano zero ($d = 0,78Av$) e z_0 (m) o parâmetro de rugosidade da superfície ($z_0 = 0,076Av$).

A resistência do dossel, r_d (m.s^{-1}), que é a resistência representada pela superfície da planta para evaporação da água, foi definida por ALLEN et al. (1989) para o gramado pela seguinte expressão:

$$r_d = \frac{r_e}{0,5IAF} \quad (\text{s.m}^{-1}) \quad (5a)$$

Sendo: r_e (s.m^{-1}) a resistência estomática, que de acordo com RADERSMA e RIDDER (1996) para floresta e vegetação herbácea natural com valores aproximadamente duas vezes aos de culturas agrícolas. Portanto, a equação (5a) foi recolocada pela:

$$r_d = \frac{r_e}{0,25IAF} \quad (\text{s.m}^{-1}) \quad (5b)$$

O gradiente da curva de pressão de vapor d'água é dado por (HARTMANN, 1994):

$$\Delta = \frac{\lambda}{R_v T^2} e_0 \exp\left\{\frac{\lambda}{R_v} \left(\frac{1}{273} - \frac{1}{T}\right)\right\} \quad (\text{kPa.K}^{-1}) \quad (6)$$

Sendo: T (K) a temperatura do ar; R_v ($\text{MJ.kg}^{-1}.\text{K}^{-1}$) a constante universal dos gases para o vapor d'água ($R_v = 4,61 \times 10^{-4} \text{ MJ.kg}^{-1}.\text{K}^{-1}$); e_0 (kPa) a pressão de saturação a 273K ($e_0 = 0,611 \text{ kPa}$).

O saldo de radiação, R_n ($\text{MJ.m}^{-2}.\text{dia}^{-1}$), foi estimado pela seguinte equação (ALLEN et al., 1994):

$$R_n = Q_0 \left(a_s + b_s \frac{n}{N}\right) (1-\alpha) - \varepsilon \sigma \left(a_c + b_c \frac{n}{N}\right) \left(\frac{T_x^4 + T_m^4}{2}\right) \quad (7a)$$

Sendo: a_s e b_s coeficientes adimensionais ($a_s = 0,25$ e $b_s = 0,50$); n (h) a insolação diária média mensal; N (h/dia) máximo teórico de brilho solar durante o dia na estação em um dia do ano (este estudo N foi tomado para o dia 15 de cada mês, exceto

em fevereiro que foi o dia 14); α é o albedo; σ é a constante de Stefan-Boltzmann ($\sigma = 4,90 \times 10^{-9} \text{ MJ.m}^{-2}.\text{dia}^{-1}.\text{K}^{-4}$); ε a emissividade ($\varepsilon = 0,98$, para área vegetada, HARTMANN 1994); a_c , b_c e a_1 coeficientes adimensionais ($a_c = 0,1$, $b_c = 0,9$ e $a_1 = 0,34$); b_1 um coeficiente dimensional ($b_1 = 0,14 \text{ kPa}^{-1}/2$); e_d (kPa) a pressão de vapor no ponto de orvalho; T_x (K) temperatura máxima média mensal; T_m (K) temperatura mínima média mensal e Q_0 ($\text{MJ.m}^{-2}.\text{dia}^{-1}$) a radiação no topo da atmosfera. O albedo α depende da cobertura da vegetação e do status do crescimento da vegetação, pois, decresce com a altura do dossel (LI et al., 2000). HARTMANN (1994, p. 88) considera como valor típico do albedo 0,17 para Floresta Decídua e 0,25 para vegetação seca. Como no Nordeste do Brasil, em geral, a vegetação é seca, a floresta semidecídua, optou-se por utilizar $\alpha = 0,20$. Ressalta-se, que ALLEN et al., (1994) sugeriram $\alpha = 0,23$ para gramado.

Substituindo os valores dos coeficientes, emissividade e constante de Stefan-Boltzmann a equação (7a) é escrita na forma:

$$R_n = Q_0 \left(0,25 + 0,50 \frac{n}{N}\right) (0,8) - 2,401 \times 10^{-9} \left(0,34 - 0,14 e_d^{\frac{1}{2}}\right) \left(0,1 + 0,9 \frac{n}{N}\right) \left(\frac{T_x^4 + T_m^4}{2}\right) \quad (7b)$$

De acordo com HARTMANN(1994) Q_0 ($\text{MJ.m}^{-2}.\text{dia}^{-1}$) pode ser obtida pela seguinte expressão:

$$Q_0 = \frac{S_0}{\pi} \left(\frac{d}{d}\right) \left[h_0 (\sin \delta \sin \phi) + (\cos \delta \cos \phi \sin h_0)\right] \quad (\text{MJ.m}^{-2}.\text{dia}^{-1}) \quad (8)$$

Sendo: S_0 ($\text{MJ.m}^{-2}.\text{dia}^{-1}$) a constante solar ($S_0 = 118,109 \text{ MJ.m}^{-2}.\text{dia}^{-1}$); (km) a distância média Terra-Sol; d (km) a distância Terra-Sol em um dia do ano; h_0 o ângulo horário em radiano na estação em um dia do ano; ϕ a latitude da estação; δ o ângulo de declinação do sol em um dia do ano. Os valores d , h_0 e δ foram tomados para o dia 15 de cada mês, exceto em fevereiro que foi o dia 14.

A pressão de vapor do ar, e_d (kPa), é dada por:

$$e_d = e_0 \exp\left(\frac{\lambda}{R_v} \left(\frac{1}{273} - \frac{1}{T_d}\right)\right) \quad (\text{kPa}) \quad (9a)$$

Sendo: T_d (K) a temperatura do ponto de orvalho; e_d também pode ser expresso como:

$$e_d = \frac{e_s \cdot UR}{100} \quad (\text{kPa}) \quad (9b)$$

Sendo: UR (%) a umidade relativa do ar e e_s (kPa), a pressão de vapor a saturação, dada por:

$$e_s = e_0 \exp\left(\frac{\lambda}{R_v} \left(\frac{1}{273} - \frac{1}{T}\right)\right) \quad (\text{kPa}) \quad (10)$$

em que T (K) é a temperatura do ar.

A constante psicrométrica (γ) foi calculada pela expressão (ALLEN et al., 1994):

$$\gamma = \frac{10^{-3} c_p P}{0,622 \lambda} \quad (\text{kPa.K-1}) \quad (11)$$

sendo: P a pressão atmosférica em kPa.

A resistência estomática, r_e , dada por (KELLIHER et al., 1993):

$$r_e = \frac{D_o \rho}{E} \quad (\text{s.m-1}) \quad (12)$$

Sendo; ρ (1000 kg.m^{-3}) a densidade da água; D_o déficit de saturação na superfície foliar em kPa, é dado por (KELLIHER et al., 1993):

$$D_o = (e_s - e_d) - \frac{\Delta + \gamma(E - E_{eq})}{86400 \frac{\rho}{r_a}} \quad (\text{kPa}) \quad (13)$$

E_{eq} é o termo de radiação da equação de Penman quando a atmosfera está saturada com vapor d'água e o termo aerodinâmico é zero. É dado por:

$$E_{eq} = \frac{\Delta R_n}{\lambda(\Delta + \gamma)} \quad (\text{mm/dia}) \quad (14)$$

E_{eq} dado em mm/dia, e E nas equações (12) e (13) pode ser calculado pela equação de Penman original (FENNESSEY e VOGEL, 1996):

$$E = \frac{1}{\lambda} \left(\frac{\Delta}{\Delta + \gamma} R_n + \frac{1}{\Delta + \gamma} E_c \right) \quad (\text{mm/dia}) \quad (15)$$

que não inclui as resistências aerodinâmica da planta ou do dossel. O valor de E_c na equação (15) é dado por:

$$E_c = 0,521 u_2 D \quad (\text{MJ.kPa.K}^{-1}.\text{m}^{-2}.\text{dia}^{-1}) \quad (16)$$

Sendo: u_2 a velocidade do vento em m.s^{-1} a 2 m, estimada pela equação (4) fazendo $z = 2$, e D o déficit de saturação de vapor em kPa.

3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

É importante mencionar que os resultados não refletem a realidade da vegetação nativa, pois, o objetivo é compreender que porte deveria ter a vegetação do NEB caso o único impedimento para o seu crescimento fosse o total médio anual da precipitação pluvial observada em cada localidade, conforme o modelo de REY (1999), que descreve uma

relação entre evapotranspiração potencial de planta potencial, altura da vegetação e IAF. A propósito, na figura 2 mostra a relação empírica, sugerida por KELLIHER et al. (1993), entre a altura da vegetação e o IAF.

Observa-se na figura 2 que com um IAF de 11 e 23 obtém-se altura da vegetação de 25 m e 40 m, respectivamente. Para IAF superior a 35, o aumento da altura da vegetação é muito pequeno, ou seja, a equação (1) não é capaz de mostra uma relação eficaz entre IAF e altura da vegetação para altura superior a 50 m.

REY (1999) apresenta os resultados observados por diferentes pesquisadores que relacionaram o IAF e a altura da vegetação, entre eles, WHITTAKER e NIERING (1975, apud REY 1999) que verificaram IAF de 14,0, 18,0 e 19,0 e altura de 35 m, 40 m e 50 m respectivamente; GORTINSKY (1975, apud REY, 1999) que obteve IAF de 4,9 e 4,0 e altura de 17 m e 15 m, respectivamente, e PRICE et al. (1990), apud REY (1999) que notou uma altura de 7 m para IAF de 5,0. Verifica-se que não há uma função direta entre IAF e altura da vegetação, como a descrita por KELLIHER et al. (1993), porém observa-se uma tendência de que valores mais elevados de IAF estão correlacionados com valores mais elevados da altura da vegetação. Partindo dessa constatação KELLIHER et al. (1993) desenvolver a equação (1) utilizando método de regressão exponencial (REY, 1999).

Mesmo com as restrições imposta pelo modelo de Rey, a configuração espacial obtida para a altura da vegetação na região NEB (Figura 3), de modo geral, foi semelhante à da vegetação nativa.

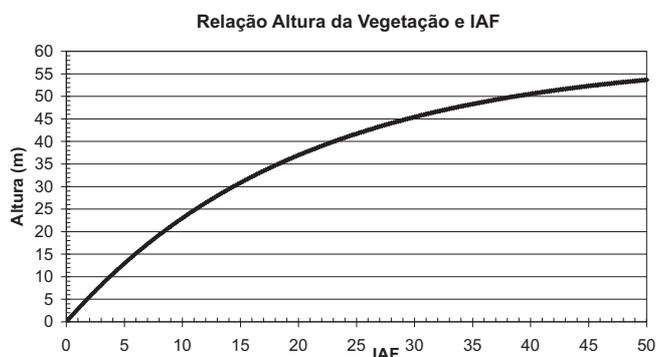


Figura 2. Relação empírica proposta por KELLIHER et al. (1993) entre a altura da vegetação e o IAF.

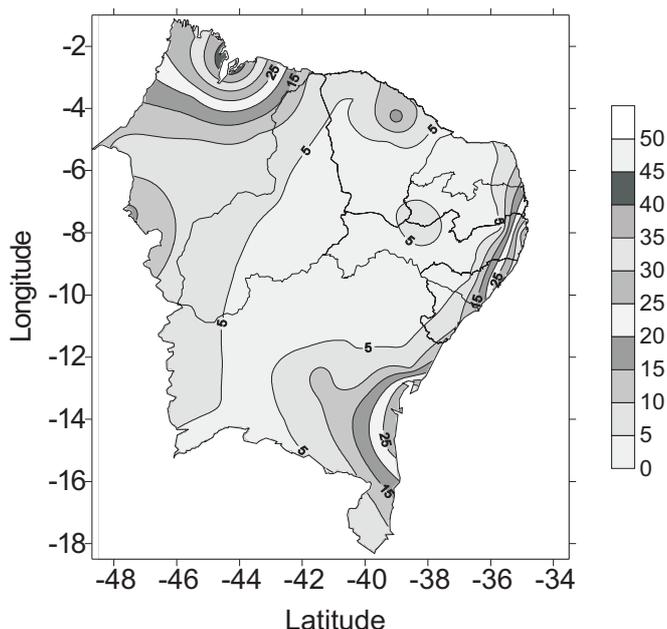


Figura 3. Altura da vegetação potencial em metros para o NEB estimada pelo modelo REY (1999).

De um lado, o modelo foi capaz de reproduzir os principais biomas da região NEB, como a Floresta Estacional Perenifólia do noroeste do Maranhão; a Caatinga exceto no norte do Ceará e centro-sul da Bahia; o Cerrado, com exceção do sudoeste da Bahia; a Floresta Pluvial Perenifólia (Mata Atlântica), exceto no litoral de Sergipe e na área da Hiléia Baiana no sudeste da Bahia; a Floresta Decídua, ao longo da Mata Atlântica do Rio Grande do Norte ao sul da Bahia, (Figura 3).

Por outro lado, com exceção da Floresta Estacional Semidecídua do maciço de Baturité no Ceará e da Floresta Decídua na Serra do Teixeira divisa da Paraíba/Pernambuco, o modelo foi incapaz de simular a vegetação mais elevada de áreas insulares, tais como: as Florestas Estacionais Semidecíduas da Chapada do Araripe, do oeste e sul da Bahia e do norte do Piauí; Florestas Decíduas da Serra da Ibiapaba e Chapada do Apodi, no Ceará; a Floresta Pluvial Perenifólia Hiléia Bahia, no sudeste da Bahia, e as áreas de Cerradão, no oeste da Bahia e no sul do Piauí e Maranhão. Portanto, o modelo é eficiente para simular os grandes Biomas, mas incapaz de visualizar suas particularidades, tanto para a vegetação mais elevadas como para as mais baixas.

Comparando a figura 3 com o mapa de vegetação do Atlas do IBGE (1985), observam-se as seguintes semelhanças: as florestas de Mata Atlântica (15-30 m) são bem representadas ao longo do Estado do Rio Grande do Norte até a Bahia, exceto em Sergipe, com a altura da vegetação do modelo

compatível ao observado no Atlas do IBGE (1985); a Floresta Estacional Perenifólia (30-40 m) foi bem simulada pelo modelo, com árvores superiores a 30 m devido aos altos índices de precipitação pluvial nessa região (norte e noroeste do MA); a Floresta Decídua (10-12 m) - adjacente à Mata Atlântica - com altura semelhante à divulgada pelo Atlas do IBGE (1985), o mesmo ocorrendo com as áreas de Caatinga e Cerrado. Porém, o modelo foi incapaz de simular as Florestas Deciduais, as Florestas Estacionais Semidecíduas, do interior da região Nordeste, a Hiléia Baiana, litoral da Bahia, e os Cerradões.

Comparando os resultados observados para a vegetação potencial do Modelo Rey com a vegetação potencial de OYAMA e NOBRE (2002), observa-se que, de modo geral, os modelos são semelhantes para a Caatinga, o Cerrado e a Floresta Estacional Perenifólia. Entretanto, para a Mata Atlântica o Modelo de Rey foi mais preciso que o de OYAMA e NOBRE (2002), enquanto, para a Hiléia Baiana ocorreu o contrário, ou seja, OYAMA e NOBRE (2002) apresentaram uma simulação mais próxima da realidade.

Na figura 4 estão os índices de área foliar usando o Modelo Rey. De modo geral, observa-se que a configuração espacial do índice de área foliar é extremamente semelhante ao da altura potencial, como pode ser visto comparando as figuras 3 e 4. Além disso, os valores estão combatíveis aos citados na literatura, por exemplo, IAF de 2 a 4, altura da vegetação de 5 a 10 m e IAF de 18 a 20 e altura de 30 m a 40 m.

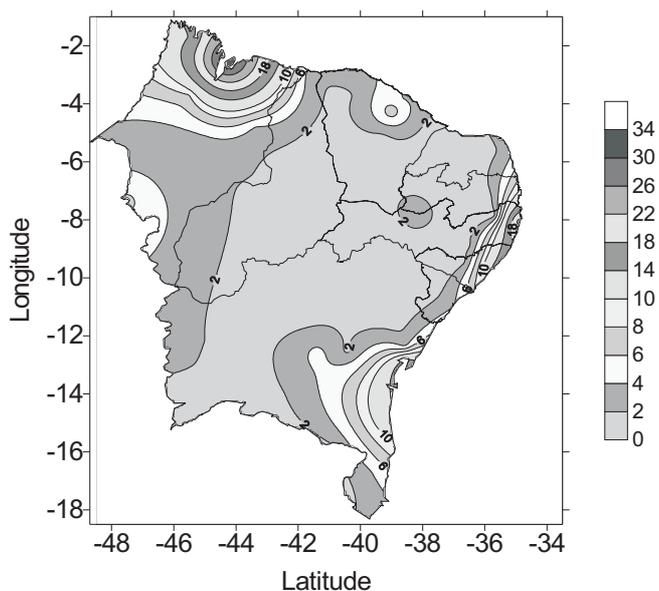


Figura 4. IAF da vegetação potencial para o NEB estimado pelo modelo REY (1999).

Ressalta-se que o IAF inferior a 2, observado na figura 4, para grandes áreas dos estados da Bahia, de Pernambuco, da Paraíba, do Rio Grande Norte e Ceará está coerente com aqueles estimados por MELO (2003) para a caatinga do Nordeste do Brasil para os anos de 1983 e 1986. Os valores obtidos para as áreas da Mata Atlântica e das Florestas Estacionais estão muito diferentes dos encontrados por MELO (2003). Entretanto, é bom lembrar que MELO (2003) estimou o IAF para dois anos distintos. Portanto, os valores obtidos por ela refletem as condições daquele momento levando em consideração as ações antrópicas, as quais foram bastante intensas nas áreas das Florestas Estacionais e da Mata Atlântica. No presente trabalho, os valores foram obtidos para uma vegetação potencial de acordo com o clima de cada área.

4. CONCLUSÕES

1. O Modelo foi capaz de simular a vegetação dos principais Biomas da região Nordeste, que são a Caatinga, a Mata Atlântica, a Floresta Estacional Perenifólia, a Floresta Decidual e o Cerrado. Porém, em algumas áreas foi observada discrepância entre a vegetação natural e a apresentada pelo modelo, como as áreas de Caatinga, no centro-sul da Bahia e no norte do Ceará, a Floresta Hiléia Baiana, e áreas de Florestas Semidecíduas e Decíduas, no interior da Região, e os Cerradões, cujas configurações o modelo não foi capaz de simular.

2. De modo geral, o modelo conseguiu visualizar os grandes conglomerados vegetais, mas foi incapaz de detectar os enclaves insulares embutidos na vegetação dominante. Os fatores que levaram à não-representação destas áreas ainda precisam ser investigados, mas possivelmente estejam relacionados ao tipo de solo.

3. O IAF teve uma distribuição para toda água evapotranspirada bem representada, estando seus valores relacionados a cada bioma. Verifica-se, também, que tanto nas configurações das alturas como nos índices de área foliar o Modelo não conseguiu captar a vegetação da Chapada do Araripe, a Caatinga no norte do Ceará, as Florestas Decíduas interiores, os Cerradões e a Hiléia Baiana. Portanto, o modelo necessita de aprimoramento.

AGRADECIMENTOS

À Unidade Acadêmica de Ciências Atmosféricas da Universidade Federal de Campina Grande, por disponibilizar parte de sua infra-

estrutura para o desenvolvimento do trabalho. Aos revisores Ad Hoc, pelas valiosas sugestões e comentários na versão anterior deste manuscrito.

A CAPES pela concessão de Bolsa de mestrado ao primeiro autor.

REFERÊNCIAS

- ALLEN, R. G., SMITH, M., PEREIRA, L. S., PERRIER, A. An Update for the Calculation of Reference Evapotranspiration. *ICID Bulletin*, v. 43, n. 2, p. 35-91, 1994.
- ALLEN, R. G., JENSEN, M. E., WRIGHT, J. L., BURMAN, D. R. Operational estimates of reference evapotranspiration. *Agronomy Journal*, Madison, v. 81, p. 650-662, 1989.
- BIASUTTI, M., BATTISTI, D. S., SARACHIK, E. S. Mechanisms controlling the annual cycle of precipitation in the Tropical Atlantic sector in an Atmospheric GCM. *Journal of Climate*, Boston, v. 17, p. 4708-4723, 2004.
- COX, P. M., HUNTINGFORD, C., HARDING, R. J. A canopy conductances and photosynthesis model for use in a GCM land surface scheme. *Journal of Hydrology*, Amsterdam, v. 212-213, p. 79-94, 1998.
- FENNESSEY, N.M.; VOGEL, R.M. Regional models of potential evaporation and reference evapotranspiration for the northeast USA. *Journal of Hydrology*, v.184, n.3-4, p.337-354, 1996.
- HARTMANN, D.L. *Global Physical Climatology*. San Diego, Ca: Academic Press, 1994. 411p.
- HEEK, P., LUTHI, D., WERNLI, H., SCHAR, C. Climate impacts of European-scale anthropogenic vegetation changes: A sensitivity study using a regional climate model. *Journal of Geophysical Research Atmospheres*, Washington, v.106, n.D8, p.7817-7835, 2001.
- INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). *Atlas Nacional do Brasil (Região Nordeste)*. Rio de Janeiro: IBGE, 1985. p.W-3.
- INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA (INMET). *Normais Climatológicas (1961-1990)*. Brasília: INMET, 1992. 84p.
- JENSEN, M. E., DIBENEDETTO, J. P., BARBER, J. A., MONTAGNE, C., BOURGERON, P. S. Spatial modeling of rangeland potential vegetation environments. *Journal of Range Management*, Tucson, v.54, n.5, p.528-536, 2001.
- KELLIHER, F. M., LENNING, R., SCHYLZE, E. D. Evaporation and canopy characteristics of coniferous forests and grasslands. *Oecologia*, v.95, p.153-163, 1993.
- KELLIHER, F. M., LENNING, R., RAUPACH, M.R., SCHYLZE, E. D. Maximum conductances for evaporation from global vegetation types. *Agricultural and Forest Meteorology*, Amsterdam, v.72, p.1-16, 1995.

- LI, S. G., HARAZONO, Y., OIKAWA, T., ZHAO, H. L., HE, Z. Y., CHANG, X. L. Grassland desertification by grazing and the resulting micrometeorological changes in Inner Mongolia. *Agricultural and Forest Meteorology*, Amsterdam, v.102, p.125-137, 2000.
- MELO, M.L.D. Efeito da vegetação em simulações numéricas com o modelo RAMS. 2003. 108p. Dissertação (Mestrado em Meteorologia) - Universidade Federal da Paraíba - UFPB, Campina Grande, 2003.
- MONTEITH, J.L. Evaporation and environment. In: *The State and Movement of Water in Living Organisms*. In: SYMPOSIUM OF THE SOCIETY OF EXPERIMENTAL BIOLOGY, XIXth., Swansea: Cambridge University Press, 1965. p. 205-234.
- OSBORNE, T.M., LAWRENCE, D.M., SLINGO, J.M., CHALLINOR, A.J., WHEELER, T.R. Influence of vegetation on the local climate and hidrology in tropics: sensitivity to soil parameters. *Climate Dynamics*, Heidelberg, v.23, n.1, p.45-61, 2004.
- OYAMA, M.D., NOBRE, C.A. Um Modelo de Vegetação Potencial para Estudos Climáticos. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE METEOROLOGIA, 12., Anais... Foz de Iguaçu: Sociedade Brasileira de Meteorologia, 2002. p.377-392.
- PENMAN, H.L. Natural evaporation from open water, bare soil and grass. *Proceedings. Royal Society London*, A193, p.120-145, 1948.
- POLCHER, J., LAVAL, K. The impact of African and Amazonian deforestation on tropical climate. *Journal of Hydrology*, Amsterdam, v.155, p.389-405, 1994.
- RADERSMA, S., RIDDER, N. Computed evapotranspiration of annual and perennial crops at different temporal and spatial scales using published parameter values. *Agricultural Water Management*, v. 31, n. 1, p. 17-34, 1996.
- REY, J. M. Modelling potential evapotranspiration of potential vegetation. *Ecological Modelling*, v. 123, p.141-159, 1999.
- SHAFER, S. L., BARTLEIN, P. J., THOMPSON, R. S. Potential Changes in the Distributions of Western North America Tree and Shrub Taxa under Future Climate Scenarios. *Ecosystems*, Amsterdam, v.4, n.3, p.200-215, 2001.
- SUD, Y C., WALKER, G.K., KIM, J.-H., LISTON, G.E., SELLERS, P.J., LAU, W.K. -M. Biogeophysical Consequences of a Tropical Deforestation Scenario: A GCM Simulation Study. *Journal of Climate*, Boston, v.9, p.3225-3247, 1996.