

EVOLUÇÃO DO ALBEDO, SALDO DE RADIAÇÃO E FLUXO DE CALOR NO SOLO APÓS DERRUBADA FLORESTAL SEGUIDA DE QUEIMADA E REBROTA NA REGIÃO DE ALTA FLORESTA, MATO GROSSO

Ralf GIELOW¹, João Andrade de CARVALHO JR.², Ernesto ALVARADO³,
David Victor SANDBERG⁴, José Carlos dos SANTOS⁵

1. INTRODUÇÃO

A derrubada de florestas e queimadas subsequentes são parte do processo de ocupação da Amazônia, causando impactos ambientais, em especial no tempo e no clima. Assim, para avaliar algumas de suas consequências, realizaram-se campanhas com queimadas controladas de diâmetros derrubadas em floresta virgem de "terra firme" na Fazenda Caiabi, Alta Floresta, MT, utilizando as técnicas locais. Este trabalho apresenta preliminarmente a evolução de componentes do balanço de energia (saldo de radiação e fluxo de calor no solo) mais o albedo, medidos em intervalos contínuos entre 30 de maio de 1999 (DJ 150) e 6 de março de 2001 (DJ 066), no sítio de 200 x 200 m², centrado em 9°57'42" S e 56°20'52.05" O, cerca de 800 km ao norte de Cuiabá. A derrubada, após quinze dias de trabalho no fim da estação chuvosa, foi concluída em 26 de maio de 1999 (DJ 146), seguindo-se a queimada em 24 de agosto de 1999 (DJ 236).

2. MATERIAIS E METODOS

A energia solar incidente e a refletida foram medidas com piranômetros Kipp and Zonen, o saldo de radiação com saldo-radiômetro REBS, a temperatura do ar com um termopar tipo K à prova de fogo Robert Shaw / Salvi Casagrande, instrumentos instalados no topo de uma torre de madeira de 6 m situada no centro do sítio, construída com três troncos de madeira densa. No solo foram instalados uma placa de fluxo REBS na profundidade de 2 cm, mais quatro termopares REBS tipo T, respectivamente em 5, 10, 20 e 40 cm. Próximo à torre, a 1 m do chão, instalou-se um pluviômetro Hydrological Services. Os dados foram gravados por um "datalogger" CR10X (Campbell), com medidas de 10 minutos até o DJ 245/1999, passando a 15 minutos após esta data. Energia foi provida por uma bateria de 24 A h, conectada a dois painéis solares Solarex de 11 W. Em setembro de 2000 a torre de madeira foi substituída por uma de alumínio.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

O albedo diário (α) foi obtido pela média dos quocientes entre a radiação solar refletida (K_T) e a incidente (K_d) no período das 8 às 16 HL. Apresentou um aumento de 0,165 a 0,20 (Fig. 1) no período entre quatro dias após o término da derrubada (DJ 150) e a queimada (DJ 236), devido à secagem das folhas verdes, tornando-as amareladas e, portanto, amarronzadas, a alteração súbita em torno do DJ 236 deve-se à única chuva antes da queima (5 mm, medidos 5 km do sítio, na sede da fazenda; as demais chuvas foram medidas junto à torre). Após a queimada, o solo ficou coberto com manchas claras de cinzas, devidas à queima completa, especialmente de troncos e galhada, mais áreas escuras, originadas principalmente da queima incompleta de folhas, nos poucos troncos, usualmente com mais de 10 cm de

diâmetro, tiveram sua superfície escurecida. O albedo caiu para 0,11, em seguida aumentando para 0,12 no DJ 249, possivelmente devido ao espalhamento, pelo vento, das cinzas claras mais finas sobre os resíduos mais escuros. No DJ 249, entre as 16:15 e 18:00 HL, ocorreu uma chuva de 13,5 mm, da qual resultou um decréscimo imediato do albedo para 0,065, devido ao umedecimento da superfície do solo e à percolação no solo da maioria das cinzas duras, e a exposição tanto de mais resíduos escuros, quanto do solo nu avermelhado. Com a secagem da superfície, o albedo aumentava rapidamente, entretanto, cada chuva subsequente causava sua imediata redução, resultando oscilações rápidas e de maior amplitude na série do albedo. Na estação seca, esta amplitude foi menor. Este comportamento manteve-se durante todos os períodos observados. Os máximos locais, em 1999, aumentaram linearmente de 0,09 (DJ 251) a 0,135 no DJ 284, seguindo-se uma tendência decrescente até 0,12 no DJ 299, após o que volta a crescer até o fim do ano de 1999, quando ocorre uma queda súbita, após uma forte chuva, seguida, aparentemente, de crescimentos lineares até o DJ 154/2000, fim da estação chuvosa, quando alcança 0,16. Então passa a decrescer linearmente durante a estação seca. Os poucos dados da estação chuvosa subsequente parecem ter tendência semelhante à anterior, a série dos albedos foi interrompida devido a problema com o cabo do piranômetro de radiação refletida, somente resolvido em março de 2001. Concernente a rebrota, no DJ 330/1999 havia uma discreta distribuição homogênea de "tufos" e ausência de trepadeiras rasteiras, cobrindo cerca de 5% da superfície. Em março de 2001 (DJ 66) a distribuição da vegetação era fechada, com cerca de 2 m de altura e completamente coberta de trepadeiras rasteiras. Fotos panorâmicas ainda estão em processamento, com o objetivo de melhor quantificar a cobertura vegetal, talvez o fator mais importante para explicar a variação do albedo. Outrossim, apesar de não ter havido determinações locais do albedo sobre o dossel original, floresta similar em Rondônia (10° S e cerca de 500 km a oeste do sítio) apresentou valores em torno de 0,14 e 0,12, respectivamente para as estações seca e chuvosa (Salvão, 1999). Finalmente, a evolução do albedo imediatamente após a queimada é similar ao constatado por Fisch et al. (1994) depois de queimada acidental de pastagem em Marabá, PA (5° 10' S), mas com tendência de aumento mais suave, provavelmente devido a uma rebrota mais incipiente na Caiabi.

O saldo de radiação total diurno (R_{nD}), que é variado em calor latente e sensível mais fluxo de calor no solo (FCS) e armazenamento na biomassa derrubada, foi relativamente estável antes da queimada, com uma média em torno de 12 MJ m², correspondendo a cerca de 65% do total diário da radiação solar incidente (K_d) nestes dias, não obstante, houve dois dias com valores em torno de 5 MJ m², mas mantendo a proporção de 65%. Neste período o fluxo de calor no solo (FCS), devido ao efeito isolante da biomassa derrubada, apresentava baixas oscilações diárias e a oscilação máxima diária da temperatura do solo em 10 cm (T_{10}) era de 2 C (vs até 20 C no ar), em dias sem nuvens. Após o DJ 249 (primeira chuva após a queimada)

1. LMO/CPTEC/INPE, São José dos Campos, SP. ralf@cptec.inpe.br
2. FEG/UNESP, Guaratinguetá, SP. joao@feg.unesp.br
3. U.W., Seattle, WA. alvarado@u.washington.edu
4. USDA-FS, Corvallis, OR. sandberg@fs.fsl.orst.edu
5. LCP/INPE, Cach. Paulista, SP. jcsantos@cptec.inpe.br

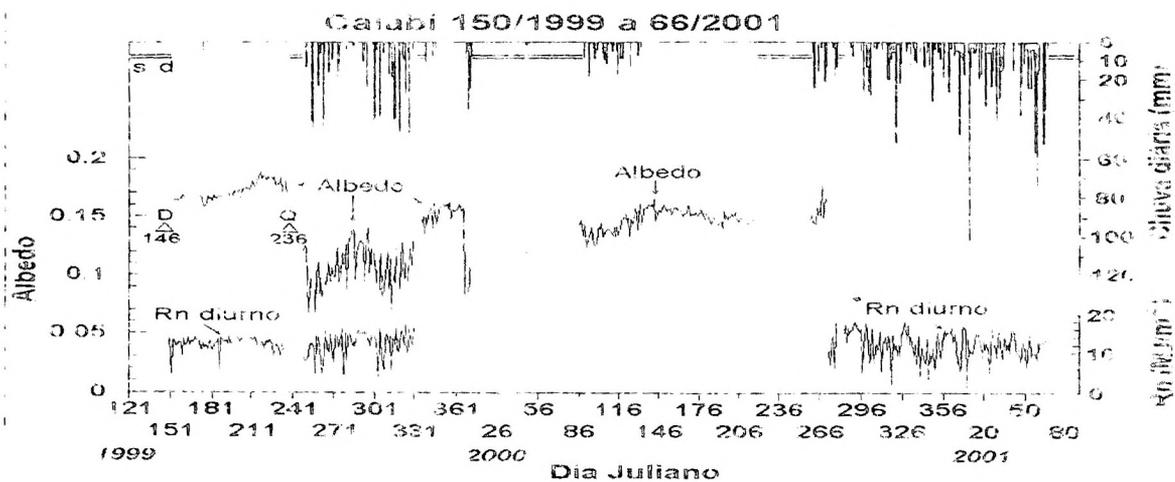


Fig. 1 Albedo, saldo de radiação e pluviometria entre 30/05/1999 e 07/03/2001 - clareira na Fazenda Caiabi, MT D - Derubada (26/05/99) Q - Queimada (24/08/99) s d. (horizontais) - sem dados pluviométricos

até o DJ 295, Rn_d oscilou entre 4,3 e 16 $MJ m^{-2}$ com média de 12 $MJ m^{-2}$, que corresponde a 65% de $K\downarrow_d$ médio. Entre o DJ 295 até o DJ 330 (data em que cessam os dados de Rn_d devido a defeito no saldo-radiômetro, sanado no DJ 272/2000), coincidindo com alteração de tendência no albedo, Rn_d (com uma média de 69,7%) chega a 75% de $K\downarrow_d$ em dias chuvosos, do DJ 272/2000 até o DJ 315/2000 ocorreu um comportamento similar. Após o DJ 315/2000 até o DJ 366/2001 o percentual mostra tendência decrescente, com uma média de 68% para o período, que é chuvoso. O FCS, após a queimada, oscilou diariamente entre -20 $W m^{-2}$ e 60 $W m^{-2}$, exceto em dias muito encobertos ou chuvosos, ou com raras passagem de frentes; durante as chuvas ocorriam diminuições intensas do FCS, imediatamente recuperadas. A amplitude de T_m nos dias normais era em torno de 8 C, versus até 20 C no ar, em dias sem nuvens.

Estudos mais detalhados estão em andamento, e dados meteorológicos continuam sendo medidos no sítio, como parte de um esforço iniciado em 1991, reportado, p. ex., em Gielow et al. (1996) e Carvalho et al. (2001).

4. CONCLUSÕES

A derubada e subsequente queimada de clareira na Floresta Amazônica, seguida de rebrota, introduzem mudanças transientes significativas nas variáveis que influenciam o tempo e o clima. Os resultados, com o

possível auxílio de informações obtidas por Sensoriamento Remoto, podem ser estendidos à região, para subsidiar melhores previsões de tempo e clima regionais.

5. REFERÊNCIAS

- CARVALHO JR., J. A.; COSTA, F. S.; VERAS, C. A. G.; SANDBERG, D. V.; ALVARADO, E. C.; GIELOW, R.; SERRA JR., A. M.; SANTOS, J. C. Combustion completeness and carbon release rates of rainforest clearing experiments conducted in northern Mato Grosso, Brazil. *J. Geophysical Research*, in press, 2001.
- FISCH, G.; WRIGHT, I. R.; BASTABLE, H. G. Albedo of tropical grass: a case study of pre- and post-burned. *Int. J. Climate*, 14:103-107, 1994.
- GALVÃO, J. A. C. Estudo do balanço de radiação em áreas de floresta e pastagem na Amazônia. Mestrado em Meteorologia, INPE, S. J. Campos, SP, 1999.
- GIELOW, R.; LEITÃO, M. M. V. B. R.; SANTOS, J. M.; CARVALHO JR., J. A.; HIGUCHI, N. Albedo and net radiation, before and after a "Terra Firme" forest burning in Central Amazonia. *Actas del 7. Cong. Argentino Meteorología & 7. Congr. Latinoamericano e Iberico de Meteorologia*, Buenos Ayres, AR, 281-282, 1996.

Agradecimentos

À FAPESP (Proc. 1998/00104-9) e ao PNW/USDA (Proc 5147 pelo apoio, e a S. B. M. Sambatti pela finalização da figura

1. INTRODUÇÃO

Em simulações climáticas que envolvem um tempo de integração superior a décadas e séculos, torna-se necessário prognosticar a distribuição global de biomas. A forma mais simples de realizar esse prognóstico consiste em realizar o acoplamento entre o modelo atmosférico e um modelo de equilíbrio bioma-clima (MEBC, i.e. modelo que diagnostica o bioma em equilíbrio com um dado clima). Essa metodologia tem sido amplamente utilizada na literatura (revisão em Foley et al., 2000).

O modelo climático do Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos (CPTEC) utiliza a classificação e distribuição global de biomas elaborada por Dorman e Sellers (1989). Neste trabalho, elaboramos um MEBC que utiliza a classificação de biomas de Dorman e Sellers. O desempenho do modelo será avaliado com dados climatológicos observados. O acoplamento com o modelo climático e o desempenho do modelo acoplado serão enfocados em trabalhos futuros. Com o presente trabalho, espera-se contribuir na capacitação do modelo climático do CPTEC para realizar integrações de décadas e séculos (e.g. estudos de aquecimento global, paleoclima etc).

2. MATERIAL

O mapa da distribuição global de biomas (doravante chamado de mapa original), mostrado na Figura 1, é o atualmente utilizado nas integrações operacionais do modelo climático do CPTEC. O mapa possui uma resolução espacial de cerca de 2°. O bioma 1 representa floresta pluvial, 2, floresta tropical caducifólia ou temperada; 3, floresta mista; 4, floresta de coníferas perenifólia; 5, floresta de coníferas caducifólia; 6, savana e cerrado; 7, campos; 8, coatinga, 9, estepe e semi-deserto; 10, tundra; e 11, deserto.

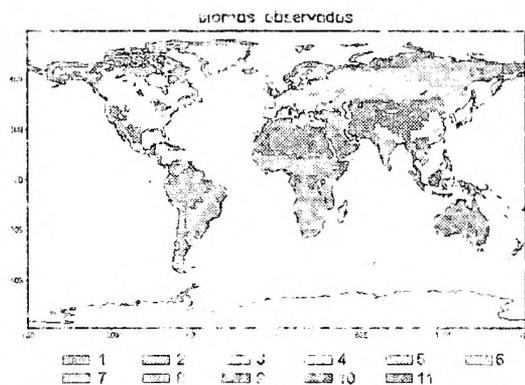


Figura 1 - Mapa original da distribuição de biomas. Geógrafos e agricultura não estão representados

A climatologia mensal de precipitação e temperatura do ar provém de Willmott et al. (1998). Os dados, originalmente na resolução espacial de 0,5° foram degradados para a resolução do mapa de biomas.

3. METODOLOGIA

Para cada ponto, a partir de climatologia mensal de precipitação e temperatura do ar, obtêm-se: temperatura do

mes mais frio (T_0), grau dia acima de 5°C (G) e índice de seca (I). A variável G é proporcional à soma de todas as temperaturas mensais acima de 5°C. O índice I é proporcional ao módulo da soma de todos os D negativos. A variável D é a diferença entre a precipitação mensal e uma função da temperatura mensal. Essa função representa a evapotranspiração potencial.

Para comparar a semelhança entre mapas de biomas, dois métodos serão usados. No primeiro, obtêm-se a fração de pontos (localidades) onde há concordância entre os mapas (ρ , em %). No segundo, calcula-se a estatística χ^2 (Monserud e Leemans, 1992). A concordância entre mapas é melhor quanto maior é (varia de 0 a 1).

4. REDEFINIÇÃO DOS BIOMAS DO MAPA ORIGINAL

Comparando os biomas do mapa original com os dados climáticos, chegou-se à conclusão de que seria conveniente definir um limiar de T_0 que separasse os biomas tropicais dos extratropicais. O limiar escolhido é de 10,5°C. Cada bioma foi dividido em duas partes, tropical e extratropical. Então, realizou-se uma redefinição da distribuição global de biomas com base, principalmente, na similaridade climática. A distribuição dos biomas redefinidos está apresentada na Figura 2. Com a redefinição, os biomas tropicais são 1, 6, 8 e 11, os extratropicais, 2, 4, 5, 7, 10 e 11. Cabe notar que o bioma 11 possui uma parte tropical e outra extratropical. A avaliação objetiva (ρ e χ^2) do desempenho do modelo será feita com base no mapa de biomas redefinidos.

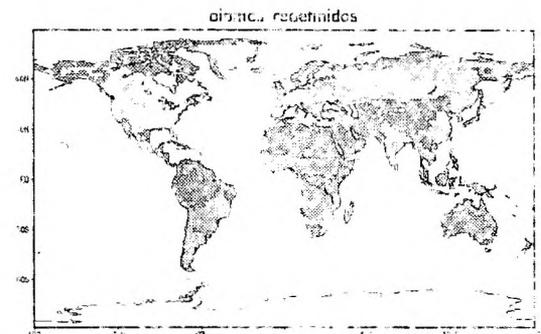


Figura 2 - Distribuição dos biomas redefinidos

5. MODELO DE EQUILÍBRIO BIOMA-CLIMA

O modelo utiliza, como variáveis de entrada, a precipitação média anual, T_0 , G e I. Para cada bioma, e para cada variável, calcula-se um fator que terá os maiores valores dentro de certos limites. Por exemplo, no caso de florestas tropicais, o fator de precipitação terá valores máximos se a precipitação for acima do limite de 150 mm mês⁻¹. O modelo gera o bioma que maximiza os fatores. Isso demanda uma escolha de pesos para expressar a importância relativa dos fatores.

Para os biomas tropicais, os limites foram obtidos visando otimizar a distribuição de biomas no Brasil. Os pesos foram ajustados para melhorar a representação da floresta do Congo. Para os biomas extratropicais, os limites baseiam-se na estatística das variáveis climáticas para cada

bioma. Os pesos foram ajustados para tornar o desempenho do modelo o mais independente possível do bioma.

6. DESEMPENHO

Os biomas gerados pelo modelo estão apresentados na Figura 3. Por comparação visual, pode-se notar que, em geral, existe uma boa concordância entre os biomas redefinidos e os gerados pelo modelo. No caso dos biomas tropicais, o modelo consegue gerar floresta pluvial na Amazônia, África e Indonésia; savana na América do Sul (cerrado) e África; e caatinga no Brasil e ao sul do Saara. No entanto, o deserto e semi-deserto australiano é substituído por caatinga.

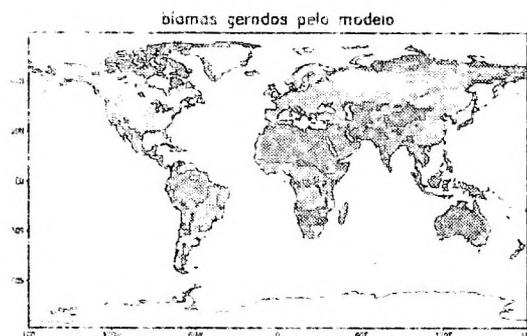


Figura 3. Distribuição dos biomas gerados pelo modelo.

No caso dos biomas extratropicais, a floresta de coníferas perenifolia, caducifolia e a tundra são bem representadas pelo modelo. O modelo consegue gerar a floresta temperada na Europa e América do Norte. O modelo gera os campos da América do Norte (pradarias) e Eurásia central. Exceto na Austrália, o modelo representa bem os desertos.

No Brasil, a floresta Amazônica, o cerrado e a caatinga estão bem representados. Inclusive, o modelo gera a Mata Atlântica, que não está presente no mapa original. Embora o modelo não consiga gerar os Pampas no sul do país, pode-se dizer que o modelo possui um bom desempenho sobre o Brasil.

O valor global da estatística κ é de 0,56, confirmando que existe uma boa concordância entre os biomas redefinidos e os gerados pelo modelo. Prentice et al. (1992) obtiveram 0,49 utilizando o modelo BIOME; Monserud e Leemans (1992) obtiveram 0,43 utilizando uma versão modificada do modelo de Holdridge. Portanto, o presente modelo possui um desempenho comparável aos da literatura. Por outro lado, em cerca de 62% dos pontos, existe concordância entre os biomas redefinidos e os gerados

pelo modelo. Esse valor é superior aos 38-40% obtidos por Prentice (1990), que utilizou 4 MEBC tradicionais, ratificando que o desempenho do modelo é comparável aos da literatura.

Analisando-se o desempenho para cada bioma, a concordância entre os biomas observado e redefinido varia de 55 a 75% (ρ). Isso mostra que o desempenho é aproximadamente o mesmo para todos os biomas. No entanto, ele varia sobre uma faixa maior, de 0,37 a 0,70. Do ponto de vista, o desempenho é muito bom para florestas pluviais e tundra e ruim para campos e caatinga.

7. CONCLUSÕES

Elaborou-se um modelo de equilíbrio bioma-clima que utiliza a classificação de biomas de Dorman e Sellers (1989). O modelo utiliza, como variáveis de entrada, a precipitação média anual, temperatura do mês mais frio, grau-dia acima de 5°C e um índice de seca. Como saída, o modelo gera um bioma que pertence à classificação de Dorman e Sellers.

O desempenho do modelo é bom, o valor global de κ é 0,56, e há concordância de biomas em 62% dos pontos. O desempenho é muito bom para os biomas 1 (florestas pluviais) e 10 (tundra) e ruim para os biomas 7 (campos) e 8 (caatinga). Para o Brasil, a floresta Amazônica, o cerrado e a caatinga estão bem representados. Portanto, é possível estimar a distribuição global dos biomas, utilizando a climatologia mensal de precipitação e temperatura.

8. REFERÊNCIAS

- Dorman, J.L. e Sellers, P.J. A global climatology of albedo, roughness length and stomatal resistance for atmospheric general circulation models as represented by the Simple Biosphere model (SiB). *Journal of Applied Meteorology*, v.28, p.833-855, 1989.
- Foley, J.A.; Levis, S.; Costa, M.H.; Cramer, W.; Pollard, D. Incorporating dynamic vegetation cover within global climate models. *Ecological Applications*, v.10, p.1620-1632, 2000.
- Monserud, R.A. e Leemans, R. Comparing global vegetation maps with the Kappa statistic. *Ecological Modelling*, v.62, p.275-293, 1992.
- Prentice, I.C.; Cramer, W.; Harrison, S.P.; Leemans, R.; Monserud, R.A.; Solomon, A. A global biome model based on plant physiology and dominance, soil properties and climate. *Journal of Biogeography*, v.19, p.117-134, 1992.
- Prentice, K.C. Bioclimatic distribution of vegetation for general circulation models. *Journal of Geophysical Research*, v.95, n.D8, p.11,811-11,830, 1990.
- Willmott, C.J. e Matsuura, K. Terrestrial air temperature and precipitation: monthly and annual climatologies. <http://climate.geog.udel.edu/~climate>, 1993.