

ISSN 0104-1347

Fundamentos do programa computacional PPBB_MX para a simulação da produtividade potencial de *Brachiaria brizantha* (cultivares Marandu e Xaraés)

Fundamentals of the PPBB_MX software to estimate potential productivity of *Brachiaria brizantha* (cultivar Marandu and Xaraés)

Euro Roberto Detomini¹, Durval Dourado Neto², Luiz Gustavo Barioni³, Roberto Daniel Sainz⁴

- NOTA TÉCNICA / TECHNICAL NOTE -

Resumo: A poácea *Brachiaria brizantha* é a espécie vegetal que ocupa a maior área cultivada no Brasil. Com base em técnicas de modelagem e em dados experimentais, elaborou-se um programa computacional em linguagem de programação Visual BASIC para ambiente Windows, denominado PPBB_MX, com o intuito de permitir a calibração e a simulação estocástica da produtividade potencial de fitomassa seca de parte aérea de *Brachiaria brizantha*, cultivares Marandu e Xaraés, conforme a latitude local, a época do ano (a partir da data de desfolha) e os elementos do clima (radiação solar global e temperatura do ar). Para pastagens com elevada densidade populacional de perfilhos e sob condições ótimas de suprimento hídrico e de nutrientes, especialmente de nitrogênio, o programa PPBB_MX simulou satisfatoriamente a produtividade potencial dos genótipos avaliados.

Palavras-chave: modelagem, produtividade, pastagem

Abstract: *Brachiaria brizantha* is the most cultivated specie in Brazil, in terms of area. Mathematical modeling techniques and data from field experiments were applied to the development of a computer program, named PPBB_MX, that allows the calibration and the stochastic simulation of shoot potential yield of *Brachiaria brizantha*, cultivars Marandu and Xaraés. The inputs required are local latitude, time from defoliation, and daily data of global radiation and air temperature for the period to be simulated. For pastures with high tiller population density and near optimal conditions of water and nutrient supplies, especially nitrogen, PPBB_MX accurately gave the estimation of shoot potential yield of those.

Key words: Modeling, productivity, pasture

Introdução

Os modelos de simulação podem ser definidos como um conjunto de equações que representam quantitativamente as suposições relativas a um sistema real. Esses modelos têm como objetivo o avanço científico com base em uma

análise de agregação dos diversos componentes do sistema estudado, possibilitando, assim, uma representação simplificada e organizada dos processos (THORNLEY, 1998).

O objetivo deste trabalho é apresentar os fundamentos do programa computacional

¹ Eng. Agrônomo, M.Sc., Doutorando em Irrigação e Drenagem, ESALQ/USP, Piracicaba-SP, e-mail: detomini@esalq.usp.br. Bolsista do CNPQ

² Professor Associado, Depto. Produção Vegetal, ESALQ/USP, Piracicaba-SP, e-mail: dourado@esalq.usp.br

³ Pesquisador, CPAC / Embrapa, Brasília-DF, e-mail: barioni@cpac.embrapa.br

⁴ Professor Associado, UC Davis, Davis, Califórnia, EUA, e-mail: rdsainz@ucdavis.edu

PPBB_MX, elaborado em linguagem de programação Visual BASIC para ambiente Windows, com base em técnicas de modelagem e nos dados experimentais de DETOMINI (2004), no intuito de permitir a calibração e a simulação estocástica da produtividade potencial de fitomassa seca de parte aérea de *Brachiaria brizantha*, cultivares Marandu e Xaraés, conforme a latitude local, a época do ano (a partir da data de desfolha) e os elementos do clima (médias diárias de radiação solar global e de temperatura).

Material e Métodos

O cálculo da produtividade de fitomassa seca de parte aérea ($FSpa$, kg.ha⁻¹), baseou-se em 14 equações, ora contemplando elementos e fatores do clima, ora contemplando elementos fisiológicos, sendo:

$$DS_i = \frac{\pi}{180} \cdot 23,45 \cdot \text{sen} \left[\frac{\pi}{180} \cdot (i + 284) \cdot \frac{360}{365} \right] \quad (1)$$

$$H_i = \frac{24}{\pi} \cdot \arccos \left[-\text{tg}(DS_i) \cdot \text{tg}(\phi) \right] \quad (2)$$

$$q_i = \frac{\lambda \cdot Rs_i \cdot (1 - Prc)}{60 \cdot H_i} \quad (3)$$

$$Adc_i = a \cdot e^{-\frac{1}{2} \left\{ \frac{1}{c} \left[\ln \left(\frac{q_i}{b} \right) \right]^2 + \frac{1}{f} \left[\ln \left(\frac{T_i}{d} \right) \right]^2 \right\}} \quad (4)$$

em que DS_i se refere à declinação solar (radianos) no i -ésimo dia Juliano; i ao número de ordem do dia do ano (dia juliano); H_i à duração teórica do dia (horas.dia⁻¹); ϕ à latitude (radianos) do local; q_i à radiação solar fotossinteticamente ativa absorvida (696,67 W m⁻²); λ à fração fotossinteticamente ativa da radiação solar global (assunção: = 0,5); Rs_i à densidade de fluxo de radiação solar (cal.cm⁻².dia⁻¹); Prc ao albedo (assunção: $Prc = 0,20$); Adc_i à taxa potencial de assimilação de dióxido de carbono ($\mu\text{L} \cdot \text{cm}^{-2} \cdot \text{h}^{-1}$); a, b, c, d, e, f aos parâmetros empíricos determinados através de análise de regressão múltipla ($a = 262,9636617$; $b = 0,468547664$; $c =$

$1,230198161$; $d = 33,54420813$; $f = 0,538660895$) para plantas C4 com base nos dados de HEEMST (1986), conforme sugerido por DETOMINI (2004); e T_i à temperatura (°C) média diária do ar.

O índice de área foliar (IAF_i , m².m⁻²), o coeficiente de extinção da luz (k) e a correção da interceptação de radiação solar absorvida (CR_{si}) podem ser generalizados pela seguintes equações:

$$IAF_i = \xi \cdot Dr_i^{-\alpha-1} \cdot \varphi^{\alpha+1} \cdot e^{\frac{\left[\left(\varphi^\alpha \cdot Dr_i^{-\alpha-1} \right) \cdot (-\alpha-1) \right]}{\alpha}} \quad (5)$$

$$k_i = m + n \cdot IAF_i^2 + p \cdot e^{IAF_i} + \frac{g}{IAF_i^{1,5}} \quad (6)$$

$$CR_{si} = 1 - e^{-k_i \cdot IAF_i} \quad (7)$$

em que Dr_i se refere ao desenvolvimento relativo da pastagem no i -ésimo dia após o corte; ξ , φ , α , m , n , p e g aos parâmetros empíricos determinados através de análise de regressão, sendo $\xi = 10,736531$; $\varphi = 1,0937349$ e $\alpha = -2,4317573$; $r^2 = 0,9874$ (Marandu) e $\xi = 12,029783$; $\varphi = 1,1528556$; e $\alpha = -2,4287915$; $r^2 = 0,9825$ (Xaraés); e $m = 0,147235960$; $n = 0,00194947$; $p = -0,0000445320$; e $g = 0,075124603$.

Assumindo temperatura basal inferior de *B. brizantha* (cultivares Marandu e Xaraés) de 15 °C, e desprezando-se a temperatura basal superior, verificou-se o máximo desenvolvimento das pastagens quando a soma térmica encerrou 603 °C.dia (DETOMINI, 2004). Portanto, o desenvolvimento relativo a partir da data de corte pode ser expresso da seguinte maneira:

$$Dr_i = \frac{\int_{dac=0}^{dac=Pcp} [T(t) - 15] dt}{603} \quad (8)$$

em que $T(t)$ se refere à temperatura (°C) em função do tempo (t , dias); dac ao número de dias após o corte (ou desfolha); e P_{cp} ao número de dias

após o corte, referente ao ponto de colheita da pastagem.

A fotossíntese bruta no i -ésimo dia do ciclo (FB_i , $\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$), a fotossíntese bruta acumulada (FBA_i , $\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{ciclo}^{-1}$) e o coeficiente relatando a respiração para manutenção e crescimento ($CRmc_i$), que denota a fotossíntese líquida por unidade de FB , podem assim ser estimados:

$$FB_i = \frac{36,585 \cdot P \cdot IAF_i \cdot Adc_i \cdot H_i \cdot CRs_i}{T_i + 273} \quad (9)$$

$$FBA_i = \sum_{i=1}^n FB_i \quad (10)$$

$$CRmc_i = u + v \cdot T_i + w \cdot T_i^2 \quad (11)$$

em que P se refere à pressão atmosférica (1 atm); , e u, v e w se referem aos parâmetros empíricos determinados em análise de regressão com base em dados encontrados em DOORENBOS & KASSAM (1979), sendo $u = -0,545$; $v = 0,0786$; e $w = -0,0013$.

A fitomassa seca total acumulada (FST_i , $\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$) até o i -ésimo dia do ciclo pode ser então obtida:

$$FST_i = CRmc_i \cdot FBA_i \quad (12)$$

A equação que generaliza relação funcional entre alocação relativa de carboidrato ao sistema radicular no i -ésimo dia após o corte (ARR_i , $\text{kg}\cdot\text{kg}^{-1}$) é dada pela seguinte expressão:

$$ARR_i = r + \frac{s}{1 + \left(\frac{Dr_i}{x}\right)^z} \quad (13)$$

em que r, s, x e z são os parâmetros empíricos determinados em análise de regressão, sendo: $r =$

$0,14723596$; $s = 0,0019494165$; $x = -0,00044532022$; $z = 0,075124603$).

Os valores de fitomassa seca de parte aérea ($FSpa_i$, $\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$) são então calculados:

(14)

$$FSpa_i = (1 - ARR_i) \cdot FST_i$$

em que $FSpa_i$ refere-se à fitomassa seca ($\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$) de parte aérea sintetizada, acumulada até o i -ésimo dia após a desfolhação, da qual apenas uma fração é aproveitada para a colheita (ou lotação intermitente), ficando a outra fração sujeita à dinâmica da rebrota posterior.

Um algoritmo contendo procedimentos iterativos foi desenvolvido com o intuito de ajustar ARR e Adc , sendo representados por um fator (F_2) e por uma função de calibração (F_1), respectivamente. Dentro de uma margem de erro definida pelo usuário (necessário para o procedimento iterativo) do programa PPBB_MX, os atributos F_1 e F_2 são empregados para a simulação da produtividade de $FSpa$ (fitomassa seca de parte aérea, $\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$) e de FST (fitomassa seca total, $\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$), respectivamente.

Resultados e Discussão

Ao confrontar os valores de produtividade potencial estimados, após a calibração, com os valores observados do próprio experimento, constatou-se que o programa PPBB_MX superestimou os valores de fitomassa seca da parte aérea tanto do capim Marandu (em 1,98%) quanto do capim Xaraés (em 3,54%), considerando todos os momentos de amostragem da experimentação. Os coeficientes de determinação (r^2) foram 0,9956 e 0,9996; respectivamente. Gráficos referentes a esses aspectos e gráficos elaborados pelo programa são apresentados em DETOMINI (2004).

Em seguida, a simulação pode ser realizada em "Setup - definições gerais". A partir do histórico de radiação solar global e das temperaturas médias diárias do ar, define-se a função de densidade de probabilidade a partir da qual são amostrados (pelo próprio programa) 1000 valores de um dos atributos climáticos para a estimação de $FSpa$, para cada dia

do ano em que se estende o ciclo de rebrota, a partir da data de corte e da latitude local escolhida. Por ser um modelo estocástico, essa amostragem é necessária para a geração de uma faixa de valores de produtividade (frequência).

No PPBB_MX, existem 6 possibilidades de escolha de distribuição probabilística. O Caso 1 simula a temperatura, assumindo distribuição normal truncada, onde os valores extremos são os valores máximo e mínimo da série histórica para cada dia para cada localidade, fixando a radiação solar global (valor médio). O Caso 2 simula a radiação solar global, assumindo distribuição normal truncada, onde os valores extremos são os valores máximo e mínimo da série histórica para cada dia para cada localidade, fixando a temperatura (valor médio). O Caso 3 simula a temperatura, assumindo distribuição triangular simétrica, onde os valores extremos são os valores máximo e mínimo da série histórica para cada dia para cada localidade, fixando a radiação solar global (valor médio). O Caso 4 simula a radiação solar global, assumindo distribuição triangular simétrica, onde os valores extremos são os valores máximo e mínimo da série histórica para cada dia para cada localidade, fixando a temperatura (valor médio). O Caso 5 simula a temperatura, assumindo distribuição triangular assimétrica, a qual é caracterizada pela moda e pelos valores extremos (valores máximo e mínimo) da série histórica para

cada dia para cada localidade, fixando a radiação solar global (valor médio). O Caso 6 simula a radiação solar global, assumindo distribuição triangular assimétrica, a qual é caracterizada pela moda e pelos valores extremos (valores máximo e mínimo) da série histórica para cada dia para cada localidade, fixando a temperatura (valor médio).

A Figura 1 mostra o resultado de uma simulação realizada pelo programa PPBB_MX, no qual se obtém, de forma estocástica, produtividades da parte aérea do capim Xaraés a partir de uma desfolhação feita em 22 de novembro, em Piracicaba (SP), município que dispõe, para cada dia do ano, de um histórico de temperatura média do ar e de radiação solar global de 85 e 25 anos, respectivamente. Nesta circunstância, foram simuladas produtividades da fitomassa seca da parte aérea variando entre 16156 e 17458 kg.ha⁻¹, ao final de 66 dias considerados, para o Caso 1, e entre 16254 e 17405 kg.ha⁻¹, para o Caso 6. A escolha do tipo de função de densidade de probabilidade normal truncada para o Caso 1 ocorreu devido à disponibilidade de dados climáticos do local de simulação. Quando os valores de uma grandeza (radiação solar global, por exemplo) apresentam uma tendência central, quando não há disponibilidade de série histórica longa ou há apenas a informação de um “especialista” da região, recorre-se à distribuição triangular (Caso 6), baseando-se nos supostos

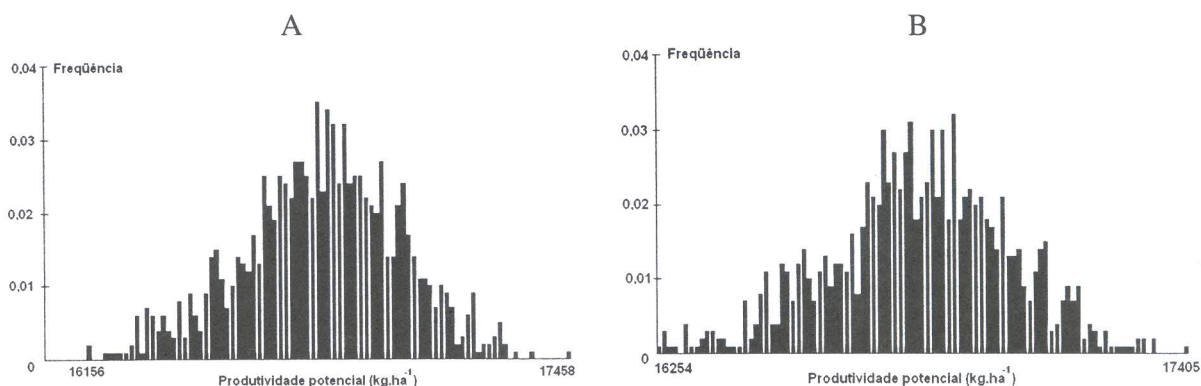


Figura 1. Exemplo de resultados provenientes da simulação da produtividade potencial de fitomassa seca da parte aérea (*FSpa*, kg.ha⁻¹) do capim Xaraés feita pelo programa computacional PPBB_MX, utilizando-se a seleção do Caso 1 (A): distribuição normal truncada de temperatura, com radiação solar global fixada em um valor médio; e do Caso 6 (B): distribuição triangular assimétrica de radiação solar global, com a temperatura fixada em um valor médio.

valores médios, bem como nos máximos e mínimos de radiação ou temperatura.

Diante da existência de históricos de radiação solar e de temperatura para outros locais, o programa PPBB_MX poderá ser atualizado para versões que possibilitem a leitura de valores desses atributos também para esses locais, bem como sejam inseridos os novos valores de radiação solar e de temperatura. Logo, diante dos valores de produtividade potencial de *B. brizantha* (Marandu e Xaraés) e dos elementos do clima desses locais, o modelo poderá ser avaliado quanto à sua maior capacidade de predição.

Cabe ressaltar que, em pastagens submetidas à desfolhação intermitente (corte ou pastejo sob lotação rotacionada), o ponto de colheita ocorre em um momento anterior àquele onde se verifica a produtividade potencial, ou seja, quando o dossel faz a interceptação de grande parte da luz incidente. Embora o PPBB_MX não permita identificar esse ponto, DETOMINI (2004) observou que após o desenvolvimento relativo ter atingido por volta de 64%, para ambos os genótipos, houve predominância de hastes e material em senescência – indicando queda na qualidade da forragem -, com estabilização da fitomassa devida as folhas (órgão de interesse) até os momentos finais do ciclo de rebrota.

Para trabalhos futuros, no intuito de simular também produções abaixo do potencial biológico, pode-se agregar à estrutura do modelo alguns componentes que contemplem variáveis relacionadas ao suprimento hídrico, tais como umidade do solo, profundidade efetiva do sistema radicular, coeficiente de cultivo (K_c), sensibilidade da pastagem à deficiência hídrica, fator de depleção de água no solo e evapotranspiração de referência. Também, aspectos relacionados ao suprimento de nitrogênio e ao consumo (valor nutritivo, oferta de forragem e estrutura, por exemplo) podem vir a ser contemplados.

Conclusão

De forma estocástica, o modelo proposto simula satisfatoriamente, através do software PPBB_MX, a produtividade potencial de fitomassa seca da parte aérea de *Brachiaria brizantha* (cultivares Marandu e Xaraés) em função da época do ano (a partir da data de corte), das variáveis climáticas (médias diárias de radiação solar global e temperatura) e da latitude local; devendo o modelo ser avaliado também para outros locais que disponham de dados de elementos do clima e de produtividade potencial.

Agradecimentos

Os autores agradecem à Fundação Agrisus pelo apoio financeiro ao desenvolvimento desta pesquisa.

Referências Bibliográficas

DETOMINI, E.R. **Modelagem da produtividade potencial de *Brachiaria brizantha* variedades cultivadas Marandu e Xaraés**. Piracicaba, 2004. 112p. Dissertação (Mestrado) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, 2004.

DOORENBOS, J.; KASSAM, A. H. **Efectos del agua sobre el rendimiento de los cultivos**. Roma: FAO, 1979. 212p. (FAO: Riego y Drenaje, 33).

HEEMST, H.D.J, van. Physiological principles. In: KEULEN, H. van; WOLF, J. **Modelling of agricultural production: Weather soils and crops**. Wageningen, Pudoc, 1986. p.13-26.

THORNLEY, J.H.M. **Grassland dynamics – an ecosystem simulation model**. Wallingford: CAB International, 1998. 241p.