



XIX Congresso Brasileiro de Agrometeorologia

23 a 28 de agosto de 2015

Lavras – MG – Brasil

Agrometeorologia no século 21:

O desafio do uso sustentável dos biomas brasileiros

Calibração do Modelo da Zona Agroecológica da FAO para Estimativa da Produtividade de cultivares do gênero *Urochloa* cultivadas a pleno sol e em sistema silvipastoril¹



Cristiam Bosi²; Paulo Cesar Sentelhas³; José Ricardo Macedo Pezzopane⁴; Patrícia Menezes Santos⁵

¹ Trabalho apresentado no XIX Congresso Brasileiro de Agrometeorologia, 23 a 28 de agosto de 2015

² Eng. Agrônomo, Doutorando, Dpto. Engenharia de Biossistemas, ESALQ-USP, Piracicaba-SP, Fone: (16) 3411-5620, cristiambosi@yahoo.com.br

³ Eng. Agrônomo, Prof. Associado 3, Dpto. Engenharia de Biossistemas, ESALQ-USP, Piracicaba-SP, pcsentel.esalq@usp.br

⁴ Eng. Agrônomo, Pesquisador, Embrapa Pecuária Sudeste, São Carlos-SP, jose.pezzopane@embrapa.br

⁵ Eng. Agrônoma, Pesquisadora, Embrapa Pecuária Sudeste, São Carlos-SP, patricia.santos@embrapa.br

RESUMO: Este estudo teve por objetivo calibrar e testar o Modelo da Zona Agroecológica da FAO para a estimativa da produtividade das cultivares Marandu, Piatã e Xaraés de *Urochloa brizantha*, cultivadas a pleno sol e, posteriormente, avaliar a capacidade de tal parametrização para estimar a produtividade de *Urochloa decumbens* em um sistema silvipastoril com árvores nativas. Para isso, foram utilizados dados coletados em três experimentos, conduzidos na Embrapa Pecuária Sudeste, em São Carlos, SP. No primeiro experimento, utilizado para a calibração do modelo, foram avaliadas as três cultivares de *U. brizantha*, sob irrigação e em condições de sequeiro, totalizando 8 ciclos de crescimento. No segundo experimento, as mesmas cultivares foram avaliadas apenas sob irrigação, totalizando nove ciclos de crescimento. No terceiro experimento, foi avaliada uma pastagem de *U. decumbens*, em um sistema silvipastoril composto por árvores nativas, sob condições de sequeiro, totalizando 7 ciclos de crescimento. O modelo foi eficiente em estimar a produtividade potencial das três cultivares de *U. brizantha* ($R^2 = 0,73$ e $d = 0,90$). Já a estimativa de produtividade atingível para *U. brizantha* não foi eficiente ($R^2 = 0,56$ e $d = 0,83$), pois em alguns ciclos, os dados de produtividade no experimento irrigado foram menores do que no não-irrigado, situação que não corresponde ao que possa ser captado pelo modelo. O modelo foi eficiente em estimar a produtividade atingível de *U. decumbens* em sistema silvipastoril, para as posições que possuíam menor sombreamento ($R^2 = 0,89$ e $d = 0,96$), porém, as estimativas não foram boas em locais com alto sombreamento ($R^2 = 0,79$ e $d = 0,83$), já que o modelo não considera o efeito da plasticidade fenotípica dessa espécie sob sombreamento, o que pode manter a produtividade elevada mesmo sob déficit de luminosidade.

PALAVRAS-CHAVE: modelo agrometeorológico simples, pastagens tropicais, sombreamento

Calibration of the FAO Agroecological Zone Model to estimate yields of *Urochloa* genus cultivars conducted under full sun and silvipastoral systems

ABSTRACT: This study aimed to calibrate and test the FAO Agroecological Zone Model to estimate the yield of Marandu, Piatã and Xaraés cultivars of *Urochloa brizantha* grown in full sun system and later evaluate the ability of such parameterization to estimate *Urochloa decumbens* yield in a silvipastoral system. Three experiments were carried out at Embrapa Cattle Southeast, in São Carlos, SP, Brazil, for obtaining pasture yield data. In the first experiment, used for the calibration of the model, the three cultivars of *U. brizantha* were evaluated under irrigated and rainfed conditions, totaling eight growth cycles. In the second experiment, the same cultivars were evaluated only under irrigation, totaling nine growth cycles. In the third experiment, a *U. decumbens* pasture was evaluated in a silvipastoral system composed by native trees, under rainfed conditions, and totaling 7 growth cycles. The model was efficient for estimating potential yield for the three cultivars of *U. brizantha* ($R^2 = 0,73$ e $d = 0,90$). The attainable yield estimates for *U. brizantha* were not efficient ($R^2 = 0,56$ e $d = 0,83$),

O desafio do uso sustentável dos biomas brasileiros

since in some cycles the yield data obtained in the irrigated experiment were lower than those at non-irrigated fields, which cannot be captured by the model. The model was efficient for estimating the attainable yield of *U. decumbens* in the silvopastoral system for the positions with less shading ($R^2 = 0,89$ e $d = 0,96$); however, the model was not able for generating satisfactory estimates when the pasture was under high shading conditions ($R^2 = 0,79$ e $d = 0,83$), once the model is not able to simulate the effect of phenotypic plasticity of this species when cultivated under shade, which can maintain the yield high even under light deficit.

KEY WORDS: simple agrometeorological model, tropical pastures, shading

INTRODUÇÃO

O rendimento de uma cultura depende das condições climáticas, podendo ser estimado por meio de relações que representem a eficiência da cultura em converter a energia solar em matéria seca, sendo que, a obtenção de altas produtividades de forragem depende do índice de área foliar, do fotoperíodo, da temperatura do ar, da radiação solar e da disponibilidade hídrica do solo (Cunha *et al.*, 2008).

Segundo Nabinger (1997), dentre as ferramentas que podem ser utilizadas para estimar a produção de forragem estão os modelos matemáticos, pois estes utilizam os fatores climáticos para prever a resposta das plantas, permitindo compreender, quantificar e prever as interações entre o ambiente e a pastagem. No Brasil, alguns modelos agrometeorológicos simples já foram utilizados para pastagens, por exemplo, o Índice Climático de Crescimento (Fitzpatrick e Nix, 1973), modelos baseados no acúmulo de unidades fototérmicas (Villa Nova *et al.*, 1999), baseados na radiação solar (Villa Nova *et al.*, 2004) e na temperatura do ar (Tonato *et al.*, 2010).

Segundo Doorenbos e Kassam (1979), o Modelo da Zona Agroecológica (FAO-MZA) considera o fotoperíodo, a temperatura do ar e a radiação solar global nas estimativas da produtividade potencial (PP) e calcula a produtividade atingível (PA) por meio da penalização da PP pela deficiência hídrica. Esse método pode ser eficiente na estimativa da produtividade de pastagens, no entanto, não há registros na literatura sobre a aplicação dele para tais plantas ainda mais em Sistemas Silvopastoris (SSPs). Assim, este estudo teve por objetivo calibrar e testar o modelo FAO-MZA para a estimativa da produtividade potencial e atingível de três cultivares de *U. brizantha* a pleno sol e, posteriormente, avaliar a capacidade de tal parametrização para estimar a produtividade de *U. decumbens* em diferentes pontos de um sistema silvipastoril.

MATERIAIS E MÉTODOS

Os experimentos que deram origem aos dados utilizados para a calibração do modelo foram conduzidos na Embrapa Pecuária Sudeste, em São Carlos, SP, Brasil (21°57'42" S, 47°50'28" W, 860 m), onde o clima é o Cwa (Köppen).

No primeiro experimento, conduzido em condições de pleno sol, foram quantificados a produtividade de forragem (matéria seca acima dos 0,2 m) e o índice de área foliar (IAF) da *U. brizantha* cvs. Marandu, Piatã e Xaraés, cultivadas sob irrigação e em sequeiro, em oito ciclos de rebrota, com duração variando de 35 dias, nas épocas quentes, a 56 dias, nas épocas frias, no período entre abril de 2011 e maio de 2012. As coletas foram feitas quatro vezes em cada ciclo de rebrota, totalizando 32 dados de produtividade de forragem. Os dados da pastagem irrigada foram considerados como a produtividade potencial, enquanto que os dados de sequeiro como a produtividade atingível.

O desafio do uso sustentável dos biomas brasileiros

O segundo experimento foi conduzido nas mesmas condições que o anterior, no período de 27 de abril de 2009 a 01 de março de 2010, porém apenas sob irrigação, com avaliações de produtividade em nove ciclos de rebrota, com duração variando de 28 a 36 dias, totalizando nove dados médios de produtividade por cultivar.

O terceiro experimento foi realizado em área experimental de um sistema silvipastoril, implantado em dezembro de 2007. A área foi composta por pastagem da espécie *U. decumbens* arborizada pelas espécies arbóreas nativas: angico-branco (*Anadenanthera colubrina*), canafístula (*Peltophorum dubium*), ipê-felpudo (*Zeyheria tuberculosa*), jequitibá-branco (*Cariniana estrellensis*) e pau-jacaré (*Piptadenia gonoacantha*), nas linhas centrais, sendo estas cinco as espécies de interesse econômico; e para tutoramento destas espécies foram plantadas duas linhas marginais mescladas com mutambo (*Guazuma ulmifolia*) e capixingui (*Croton floribundum*). Na pastagem foram mantidos bovinos da raça Canchim, em pastejo rotacionado, sendo que o período de ocupação em cada piquete foi de sete dias e o período de descanso de 35 dias. A taxa de lotação dos piquetes foi variável, sendo ajustada conforme a oferta de forragem, sempre priorizando uma altura de resíduo próxima a 0,20 m para a saída dos animais. Nesse experimento, foram avaliados sete ciclos de rebrota, nas quatro distâncias de avaliação: a 2 metros do renque leste (2m_L), a 6 metros do renque leste (6m_L), a 6 metros do renque oeste (6m_O) e a 2 metros do renque oeste (2m_O), havendo quatro repetições. Nesta dinâmica, o processo de monitoramento, em cada ciclo, foi dividido em cinco etapas, iniciando-se logo após a saída dos animais da área, sendo que a primeira coleta caracterizou a situação da planta pós-pastejo, a segunda efetuou-se duas semanas após, deixando-se um intervalo de tempo para a retomada do crescimento inicial, e a terceira, quarta e quinta coletas foram nas semanas subsequentes, com a última caracterizando a coleta pré-pastejo, pois logo em seguida os animais passaram a ocupar o piquete.

O modelo calibrado para a estimativa da produtividade das pastagens foi descrito por Doorenbos e Kassam (1979). A produtividade potencial (PP) foi calculada pela seguinte equação:

$$PP = \sum_{i=1}^n (PPB_i \times C_{IAFi} \times C_{Ri} \times C_{ci}) \quad (1)$$

em que: PPB corresponde à produtividade potencial bruta de uma cultura padrão (kg MS ha⁻¹ dia⁻¹), calculada em função da disponibilidade de radiação solar, fotoperíodo e temperatura; C_R é a correção da taxa de respiração de manutenção da cultura; C_{IAF} é o índice de correção da área foliar, sendo necessário devido à variação da área foliar ao longo do ciclo, disponível para realizar fotossíntese; C_c é o índice de colheita, efetuando a correção para o produto de interesse da cultura, que no caso de plantas forrageiras é a parte aérea disponível para a colheita ou pastejo; i é o dia do ciclo e n a duração do ciclo.

O C_{IAF} do modelo é, originalmente, calculado com base no IAF máximo da cultura no ciclo de crescimento, porém, isso não pode ser empregado para plantas forrageiras, pois o IAF possui padrão diferente em razão do pastejo. Desse modo, foi desenvolvida a equação 2, baseada no acúmulo de Graus-dia (ΣGD) para uma temperatura base inferior (T_b) de 17,2°C (Cruz, 2010), a fim de estimar o aumento do IAF ao longo de cada ciclo de rebrota.

$$IAF = 0,0231 \times \sum GD - 0,5159 \quad (2)$$

Em razão dessas modificações, o C_{IAF} foi calculado com base nas equações 3 e 4:

$$C_{IAF} = \frac{IAF}{5} \quad (\text{para } IAF < 5) \quad (3)$$

$$C_{IAF} = 1 \quad (\text{para } IAF \geq 5) \quad (4)$$

O desafio do uso sustentável dos biomas brasileiros

A correção para a parte colhida (C_c) foi calibrada, pois os outros parâmetros utilizados para o cálculo da PP já estavam definidos e foi necessário apenas ajustar esse coeficiente de modo a atingir o melhor resultado na comparação entre a produtividade potencial observada e a produtividade potencial estimada.

A produtividade atingível (PA) foi calculada pela equação 5:

$$PA = \sum_{i=1}^n \left\{ PP_i \times \left[1 - ky \left(1 - \frac{ETr_i}{ETc_i} \right) \right] \times C_{c_{corr}} \right\} \quad (5)$$

em que: ky é o coeficiente de sensibilidade ao déficit hídrico; ETr a evapotranspiração real da cultura (mm dia^{-1}); e ETc a evapotranspiração máxima da cultura (mm dia^{-1}); $C_{c_{corr}}$ é a correção para o índice de colheita, dependente da deficiência hídrica (0,7 para valores de $ETr/ETc < 0,5$ e 1,0 para valores de $ETr/ETc \geq 0,5$), pois em condições de déficit hídrico intenso ocorrem maiores perdas por senescência e alocação de fotoassimilados para o crescimento de raízes. O Ky foi determinado por meio do processo de calibração, já que não há valores na literatura para espécies de *Urochloa*, tendo sido ajustado por meio da comparação entre os dados de PA, obtidos a campo, e os estimados pelo modelo, buscando a melhor concordância.

Para a avaliação do desempenho do modelo foram utilizados a análise de regressão linear e o coeficiente de determinação (R^2), o índice de concordância (d), o Erro médio (EM) e o Erro Absoluto Médio (EAM).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

O processo de calibração dos coeficientes do FAO-MZA foi feito para cada uma das cultivares, separadamente. Para o cálculo da PP, foi necessário calibrar o índice de correção para a parte colhida (C_c). Assim, para a cultivar Marandu, o C_c calibrado foi de 0,6, ou seja, considerou-se que 60 % da MS acumulada pela planta foi alocada para o crescimento da parte aérea acima dos 0,2 m (altura do resíduo). Com isso, os dados estimados de produtividade potencial quando comparados aos observados apresentaram boa concordância, com $R^2 = 0,73$ e índice $d = 0,90$. O EM foi de $-360,24 \text{ kg ha}^{-1}$, e o EAM igual a $566,85 \text{ kg ha}^{-1}$. Para a cultivar Piatã foi empregado um C_c de 0,85. Essa cultivar apresenta o C_c maior que as demais cultivares por possuir hábito de crescimento mais ereto e, conseqüentemente, maior razão entre o acúmulo de MS acima dos 0,2 m e o acúmulo abaixo disso. A análise comparativa dos dados de produtividade potencial estimados e observados demonstra precisão elevada, com $R^2 = 0,78$ e boa exatidão, com $d = 0,93$. O EM foi de $-201,39 \text{ kg ha}^{-1}$ e o EAM de $544,96 \text{ kg ha}^{-1}$. No caso da cultivar Xaraés, o C_c calibrado foi de 0,6, gerando boa precisão ($R^2 = 0,73$) e boa exatidão ($d = 0,91$), EM = $-221,69 \text{ kg ha}^{-1}$ e EAM = $597,89 \text{ kg ha}^{-1}$.

Para o cálculo da produtividade atingível, efetuou-se o ajuste do coeficiente de sensibilidade ao déficit hídrico (ky) de cada cultivar. Para a cultivar Marandú, o ky calibrado foi de 0,6, gerando boa precisão ($R^2 = 0,65$), exatidão regular ($d = 0,85$), EM = $-485,73 \text{ kg ha}^{-1}$ e EAM = $653,93 \text{ kg ha}^{-1}$. No caso da cultivar Piatã, o valor de ky que proporcionou o melhor ajuste foi de 0,4, apresentando subestimativa dos dados, obtendo precisão e exatidão regulares ($R^2 = 0,56$ e $d = 0,83$), EM = $-453,12 \text{ kg ha}^{-1}$ e EAM = $717,03 \text{ kg ha}^{-1}$. Para a cultivar Xaraés foi empregado um ky de 0,6, o que resultou em estimativas razoáveis, apresentando boa precisão, com $R^2 = 0,63$; exatidão regular, com $d = 0,83$; EM = $-528,32 \text{ kg ha}^{-1}$ e EAM = $776,93 \text{ kg ha}^{-1}$.

Observando esses dados, pode-se inferir que o modelo foi eficiente para a estimativa da produtividade potencial, porém não foi eficiente em estimar a produtividade atingível dessas cultivares. Isso é conseqüência, provavelmente, das diferenças entre a pastagem irrigada e a não irrigada. Com isso, pode-se afirmar que a calibração efetuada para a estimativa da produtividade potencial (sob irrigação)

O desafio do uso sustentável dos biomas brasileiros

não pode ser aplicada às condições de sequeiro, necessitando-se de uma calibração específica, que leve em conta as características das plantas em cada condição. Para isso torna-se necessária a condução de experimentos que avaliem o sistema radicular, as relações fisiológicas, a dinâmica de crescimento, o perfilhamento e a diferenciação e altura do meristema apical das plantas.

Nas estimativas da produtividade atingível de *U. decumbens* em SSP foram utilizados os mesmos valores de C_c e de k_y calibrados para *U. brizantha* cv. Marandu. As estimativas para a distância $6m_L$, que obteve o menor sombreamento (em torno de 25 % em todos os ciclos) foram boas, alcançando boa precisão ($R^2 = 0,89$), exatidão boa ($d = 0,97$) e erros baixos ($EM = -44,14 \text{ kg ha}^{-1}$ e $EAM = 100,19 \text{ kg ha}^{-1}$). Para a posição $6m_O$ (em torno de 30 % de sombreamento até o ciclo 4, e chegando a 40 % nas épocas seguintes), o desempenho do modelo em estimar a produtividade foi igualmente eficiente, alcançando boa precisão e exatidão ($R^2 = 0,90$ e $d = 0,96$) e erros baixos ($EM = -74,69 \text{ kg ha}^{-1}$ e $EAM = 99,17 \text{ kg ha}^{-1}$).

Já nas posições sob as árvores, observou-se uma maior dispersão dos dados, o que indica uma maior complexidade dos fatores que afetam a produtividade da pastagem sob as árvores. Na posição $2m_O$ (com sombreamento chegando a 50 % até o ciclo 3 e até 65 % nos demais), a análise comparativa entre os dados estimados e observados demonstrou capacidade preditiva regular ($R^2 = 0,83$; $d = 0,92$; $EM = -107,05 \text{ kg ha}^{-1}$ e $EAM = 136,59 \text{ kg ha}^{-1}$). O mesmo padrão de desempenho do modelo de estimativa da produtividade foi observado na posição $2m_L$ (com 65 a 70% de sombreamento até o ciclo 4 e 35 a 55% nos ciclos seguintes), a qual teve os piores resultados entre todas as posições avaliadas ($R^2 = 0,79$; $d = 0,83$; $EM = -123,51 \text{ kg ha}^{-1}$ e $EAM = 140,42 \text{ kg ha}^{-1}$).

Esses resultados demonstram que o modelo foi eficiente em estimar a produtividade atingível de *U. decumbens* em sistema silvipastoril, para as posições $6m_L$ e $6m_O$, que possuíam maior incidência de radiação solar. Entretanto, nas posições $2m_O$ e $2m_L$, o modelo não foi capaz de gerar estimativas mais acuradas, já que não considera nos cálculos o efeito da plasticidade fenotípica dessa espécie em conservar a produtividade sob sombreamento.

CONCLUSÕES

O modelo foi eficiente em estimar a produtividade potencial das três cultivares de *U. brizantha*.

A estimativa de produtividade atingível para *U. brizantha* não foi eficiente.

O modelo foi eficiente em estimar a produtividade atingível de *U. decumbens* em sistema silvipastoril, para as posições que possuíam menor sombreamento. Entretanto, nas posições $2m_O$ e $2m_L$, o modelo não foi eficaz, porque não considera nos seus cálculos o efeito da plasticidade fenotípica dessa espécie sob sombreamento.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

CRUZ, P.G. **Produção de forragem em *Brachiaria brizantha*: adaptação, geração e avaliação de modelos empíricos e mecanicistas para estimativa do acúmulo de forragem**. 2010. 102p. Tese (Doutorado em Ciência Animal e Pastagens) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiróz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2010.

CUNHA, F.F.; SOARES, A.A.; MANTOVANI, E.C.; SEDIYAMA, G.C.; PEREIRA, O.G.; ABREU, F.V.S. Produtividade do capim tanzânia em diferentes níveis e frequências de irrigação. *Acta Scientiarum*, Agronomy, v. 30, n. 1, p. 103-108, 2008.



XIX Congresso Brasileiro de Agrometeorologia

23 a 28 de agosto de 2015

Lavras – MG – Brasil

Agrometeorologia no século 21:

O desafio do uso sustentável dos biomas brasileiros



DOORENBOS, J.; KASSAM, A.H. **Yield response to water**: FAO Irrigation and drainage paper N° 33, Rome: FAO, 1979. 193p.

FITZPATRICK, E.A.; NIX, H.A. The Climatic Factor in Australian Grassland Ecology. In: MOORE, R. M. (Ed.) **Australian Grasslands**. Canberra: Australian National University Press, 1973, cap. 1, p. 3-36.

NABINGER, C. Princípios da exploração intensiva de pastagens. In: SIMPÓSIO SOBRE MANEJO DE PASTAGENS, 14., 1997. Piracicaba. **Anais...** Piracicaba: FEALQ, 1997. p. 213-251.

TONATO, F.; BARIONI, L.G.; PEDREIRA, C.G.S.; DANTAS, O.D.; MALAQUIAS, J.V. Desenvolvimento de modelos preditores de acúmulo de forragem em pastagens tropicais. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 45, n. 5, p. 522-529, 2010.

VILLA NOVA, N.A.; BARIONI, L.G.; PEDREIRA, C.G.S.; PEREIRA, A.R. Modelo para previsão da produtividade de capim elefante em função da temperatura do ar, fotoperíodo e frequência de desfolha. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Santa Maria, v. 7, n. 1, p. 75-79, 1999.

VILLA NOVA, N.A.; DETOMINI, E.R.; DOURADO NETO, D.; MANFRON, P.A.; PEDREIRA, C.G.S. Modelo de estimativa da produtividade de fitomassa seca de parte aérea de *Cynodon nlemfuënsis* Vanderyst var. nlemfuënsis cv. Florico em função da radiação solar. **Pasturas Tropicais**, Cali, v. 26, n. 3, p. 56-61, 2004