

Modelo de estimativa da produtividade de fitomassa seca de parte aérea de *Cynodon nlemfuensis* Vanderyst var. *nlemfuensis* cv. Florico em função da radiação solar

N. A. Villa Nova*, E. R. Detomini**, D. Dourado Neto***, P. A. Manfron^ψ, e C. G. S. Pedreira^φ

Introdução

Em anos recentes têm sido registrados avanços na compreensão das diversas relações e fluxos de energia entre planta e atmosfera. Além disso, com as facilidades proporcionadas pelo desenvolvimento de técnicas computacionais e pela geração de bancos de dados sobre as respostas das espécies forrageiras ao ambiente e ao manejo, técnicas de modelagem vêm proporcionando oportunidades de otimização do uso de tempo e recursos no planejamento da atividade pecuária baseada em pastagens. Ao longo de um ciclo de produção de forragem (fitomassa seca de parte aérea) em condições isentas de déficit hídrico e nutricional, é sabido que a massa acumulada é dependente, entre outros fatores, da temperatura média diária do ar e da radiação solar fotossinteticamente ativa (PAR) disponíveis ao estande de plantas.

Embora a PAR e a temperatura sejam ambas importantes, essas variáveis desempenham papéis diferentes na fisiologia

das plantas. A PAR funciona como fonte de energia que é convertida em biomassa vegetal (Heemst, 1986), ao passo que a temperatura está associada à eficiência dos processos metabólicos envolvidos nessa conversão, uma vez que afeta atividade enzimática, solubilidade de fluidos (gases e líquidos), e a cinética dos processos bioquímicos (Bonhomme, 2000).

Apesar de o conceito de produtividade potencial raramente seja atingido na prática, é importante que se quantifique essa resposta experimentalmente. Isso pode ser útil para nortear a intervenção do homem num determinado agroecossistema agrícola na forma de manejo, bem como direcionar esforços de melhoramento genético.

A produtividade de uma cultura é, por definição, a produtividade potencial (ou biológica) normalmente modificada por um fator de restrição. Isso é comum nos casos de déficit hídrico (Villa Nova et al., 2001), que ocasiona redução na evapotranspiração máxima da cultura (Doorenbos e Kassam, 1979), reduzindo também a absorção de nutrientes, além de outros processos componentes do acúmulo de fitomassa.

O objetivo do presente trabalho foi, conforme fizeram Gosse et al. (1976), Gustavsson et al. (1995) e Duru et al. (2000), determinar a relação de dependência entre o acúmulo de forragem (fitomassa seca de parte aérea) de grama estrela (*Cynodon nlemfuensis* Vanderyst var. *nlemfuensis*) cv. Florico,

* Professor Associado, Departamento de Ciências Exatas, ESALQ/USP, Piracicaba-SP.

** Eng. Agrônomo, M.Sc. Doutorando em Irrigação e Drenagem, ESALQ/USP, Piracicaba-SP.

*** Professor Associado, Departamento de Produção Vegetal, ESALQ/USP, Piracicaba-SP.

^ψ Professor Titular, Departamento de Fitotecnia, UFSM, Santa Maria-RS.

^φ Professor Doutor, Departamento de Zootecnia, ESALQ/USP, Piracicaba-SP.

durante um ciclo de rebrotação no verão (sem déficit hídrico), e a quantidade de energia solar (PAR) acumulada no período, visando ajustar um modelo logístico capaz de simular a produtividade de forragem em cenários variados, desde que não haja restrições sérias na disponibilidade de fatores de crescimento.

Material e métodos

Foi utilizado o banco de dados gerado por Castro (1997) em Piracicaba, SP, Brasil (22° 42' S, 47° 38' W, 540 m alt.), em uma pastagem homogênea, uniforme e bem estabelecida em termos de população de plantas de grama estrela (*C. nlemfuensis* Vanderyst var. *nlemfuensis*) cv. Florico, cultivada em um Nitossolo eutrófico típico de alta fertilidade. Ao longo de um ciclo de crescimento a partir de um corte de igualação foram realizados sete amostragens, caracterizando a massa de forragem em 1 m² a 3 cm acima da superfície do solo (quatro amostras por data de amostragem). As datas de amostragem seguiram intervalos de 10 dias (Tabela 1), de 06/Jan a 05/Mar/1997. No período considerado, utilizou-se uma adubação de 400 kg/ha da fórmula comercial 20-00-20 (N - P₂O₅ - K₂O), consistindo, portanto, um suprimento adequado de nitrogênio e potássio. A cada data, a média das quatro amostras de massa de forragem foi considerada a produtividade observada.

Além da obtenção dos dados de produtividade observada (P_o), foram coletados os dados de radiação solar global incidente

(Q_g) e das número de horas de brilho solar (n) da Estação Meteorológica da ESALQ, USP, localizada a 1000 m da área experimental. De posse dos valores do número máximo de horas de brilho solar (n) e do fotoperíodo (N), o qual é função do dia Juliano e da latitude local, pode-se obter a razão de insolação (n/N), a qual representa a fração realmente iluminada do comprimento máximo do dia.

A massa de forragem média em cada data de amostragem foi modelada contra a PAR acumulada até a respectiva data. A quantidade de PAR acumulada a qual foi estimada através da equação proposta por Assunção (1994):

$$PAR_{AC} = C \cdot \overline{Qg} \cdot \left(0.5 - 0.1 \cdot \frac{n}{N} \right) \quad (1)$$

em que PAR_{AC} se refere à PAR (MJ/m²) acumulada entre duas datas; C ao número de dias existentes neste período; \overline{Qg} à radiação solar global incidente (MJ/m²/dia) média de cada período; e n/N a razão de insolação média do período (dimensional).

Resultados e discussão

Os dados foram tabulados conforme os totais acumulados por decêndio com início em 6 Jan 1997 (Tabela 1). Para cada data, além da quantificação da fitomassa seca de parte aérea foram tabulados a radiação solar global média, a razão de insolação (valores médios diários de cada período de C dias, obtidos do

Tabela 1. Valores de radiação solar global média, de razão de insolação, de radiação PAR acumulada e de fitomassa seca de parte aérea observada de grama estrela (*C. nlemfuensis*) cv. Florico em seis datas de amostragem durante um ciclo de crescimento livre iniciado em 6 Jan 1997.

Amostragem	Data (início em 6 Jan)	P_o (kg MS/ha)	C (dias)	\overline{Qg} (MJ/m ² /dia)	n/N	PAR_{AC} (MJ/m ² /ciclo)
1	25 Jan	1534	20	14.79	0.32	138.43
2	4 Fev	3602	30	14.71	0.4	203.00
3	14 Fev	5433	40	15.51	0.6	272.98
4	24 Fev	7700	50	15.67	0.6	344.74
5	5 Mar	9229	60	16.01	0.7	413.06
6	15 Mar	10987	70	18.43	0.65	561.19

posto meteorológico da ESALQ/USP), assim como os valores calculados de de PAR_{AC} .

Um modelo logístico (Figura 1) foi ajustado para descrever a relação funcional entre a produtividade potencial (P) e o acúmulo de radiação PAR (PAR_{AC}) calculado:

$$P = \frac{a}{1 + e^{\frac{b - PAR_{AC}}{c}}} \quad (2)$$

em que P se refere à massa de forragem de grama estrela cv. Florico potencialmente acumulada até um ponto do ciclo de rebrotação; à radiação solar PAR média acumulada no mesmo período (MJ/m^2); e, aos parâmetros gerados empiricamente pela análise de regressão, equivalentes a 11342.636; 279.73147 e 86.527541, respectivamente.

Além dos três parâmetros serem significativos ($P < 0.05$), eles delimitam um intervalo de confiança onde não está compreendido o valor zero (0), o que

estatisticamente torna o modelo sigmóide válido para descrever a relação entre acúmulo de PAR e de fitomassa seca da parte aérea acima de 3 cm (Figura 1).

O modelo proposto foi capaz de prever a produtividade da grama estrela cv. Florico com boa aproximação (Tabela 2) em função do bom ajuste ($R^2 = 0.9918$) da produtividade com variável independente (PAR acumulada).

Confrontando-se os valores observados de produtividades de parte aérea de *C. nlemfuensis* L. cv. Florico obtidos por Castro (1997) com aqueles estimados pelo modelo proposto (equação 2), verifica-se que há uma boa correspondência entre os mesmos, o que expressa a robustez do modelo (Figura 2). Valores preditos e observados apresentaram boa correlação (Tabela 2).

Devido ao fato de ser a temperatura um fator ambiental altamente influente na produtividade de fitomassa das culturas, especula-se que modelos mais complexos que

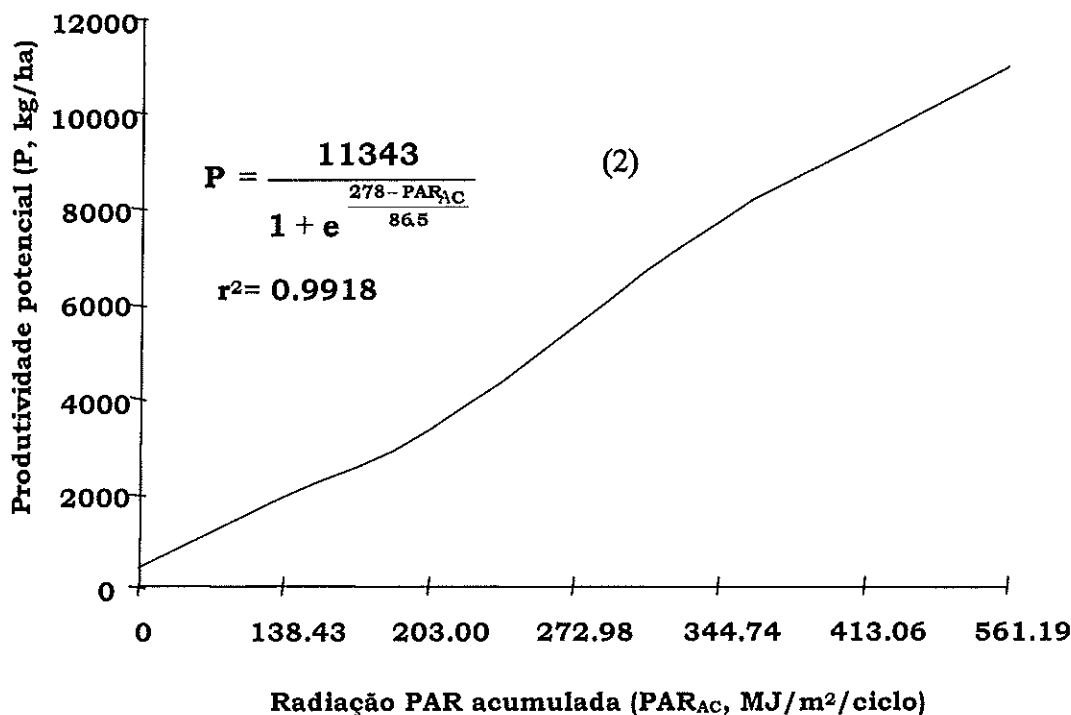


Figura 1. Relação de dependência entre a produtividade de fitomassa seca de parte aérea de grama estrela (P , $kg \cdot ha^{-1}$) e a radiação solar PAR disponível no período ($\Sigma \overline{Q_{PAR}}$, $MJ \cdot m^{-2} \cdot ciclo^{-1}$).

Tabela 2. Comparação entre os valores observados (Castro, 1997) de produtividade (P_o , kg/ha) com os de produtividade estimada (P_e , kg/ha) pelo modelo (Equação 2).

P_o (kg/ha)	P_e (kg/ha)
1534	1853.6545
3602	3309.4252
5433	5450.0418
7700	7706.9001
9229	9341.6726
10987	10920.415

incluíssem também o efeito da temperatura sobre a resposta produtiva seriam mais poderosos como preditores da produtividade potencial, conforme proposto por Dourado Neto et al. (2004). Desta forma, o modelo se aplica bem à estimação da produtividade potencial de grama estrela principalmente em condições não restritivas também de temperatura (entre 15 e 35 °C), já que essa conversão da luz solar em biomassa vegetal seria realizada de maneira mais eficaz, nestas condições.

Atualmente, técnicas computacionais permitem desenvolver softwares capazes de simular, de forma estocástica, produtividades potenciais com base em diversas variáveis de entrada, sem, no entanto que a complexidade seja aumentada significativamente (Dourado Neto et al., 2004). Vale ressaltar ainda, a importância de se avaliar o modelo com dados de locais que disponham de mensurações de radiação solar global incidente, bem como onde a produtividade tenha sido aferida em condições ótimas de crescimento da planta forrageira (em termos de suprimento hídrico, de nutrientes, e de densidade populacional de perfilhos).

A versatilidade do modelo poderá requerer ajustes de parametrização para uso sob outras condições, embora sua utilidade potencial seja evidente tanto para o planejamento da produção de forragem e orçamento forrageiro na propriedade pecuária, bem como para compor programas mais complexos de gerenciamento que incluam a necessidade de se estimar a produtividade das pastagens em condições favoráveis de crescimento.

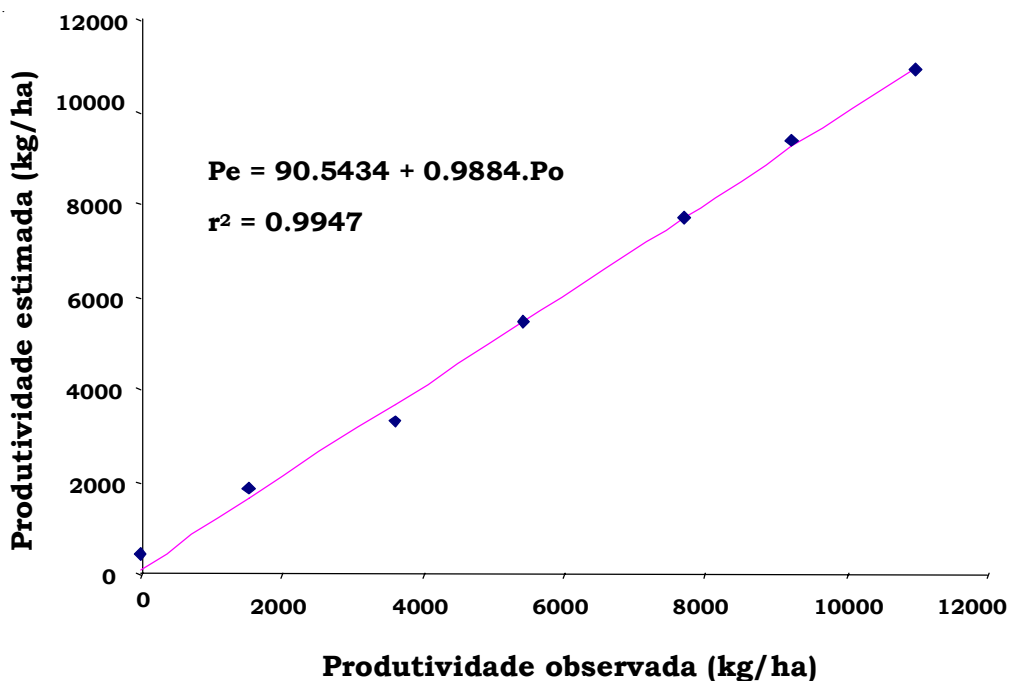


Figura 2. Correlação entre os valores observados por Castro (1997) e os valores estimados pelo modelo proposto.

Conclusão

O modelo simples proposto foi eficaz na estimativa da produtividade da grama estrela, podendo ser utilizado em previsões, desde que se conheça a disponibilidade de radiação solar fotossinteticamente ativa do local de interesse. Ao modelo proposto, podem-se agregar diversos outros, como um modelo de balanço hídrico visando obter a estimativa do produtividade de parte aérea de grama estrela, bem como modelos de resposta à adubação nitrogenada e/ou outros atributos relacionados à fertilidade do solo.

Resumen

La relación existente entre la energía del medio ambiente y el desarrollo de las pasturas es esencial en la construcción de modelos para la estimación de la productividad de estas últimas, lo que permite economías de tiempo y trabajo. Se sabe que la producción de biomasa depende de la temperatura promedio diaria del aire y de la radiación solar fotosintéticamente activa (radiación PAR). Mediante la técnica de modelamiento y tomando los resultados de las investigaciones en campo realizadas por varios autores con *Cynodon nlemfuensis* cv. Florico en la región de Piracicaba, Brasil, con

el modelo:
$$P = \frac{a}{1 + e^{\frac{b - PAR_{AC}}{c}}}$$
 donde, P es el

potencial de producción (kg/ha); PAR_{AC} es el efecto promedio de la PAR (MJ/m²) sobre el rebrote de la planta; a , b , c son los parámetros empíricos de del análisis de regresión, se encontró una alta correlación ($r^2 = 0.9918$) entre los valores de PAR calculados a partir de los datos de clima local y la producción potencial de biomasa aérea de *C. nlemfuensis* cv. Florico.

Summary

The relationship existing between atmospheric energy and pasture development is

key in the building of models to estimate pasture productivity, saving both time and work. Biomass production is known to depend on the daily average temperature of air and on photosynthetically active solar radiation (PAR radiation). The modeling technique and results of field research carried out by several authors with *Cynodon nlemfuensis* cv. Florico in Brazil's Piracicaba region, with the

model, indicated a high

correlation ($r^2 = 0.9918$) between PAR values calculated on the basis of local climate data and potential aerial biomass production of *C. nlemfuensis* cv. Florico. In the model used, P represents the production potential (kg/ha); PAR_{AC} is the average PAR effect (MJ/m²) on plant regrowth; and a , b , c are the empirical parameters of regression analysis.

Referências

- Assunção, H.F. 1994. Relações entre radiação fotossinteticamente ativa e radiação solar global em Piracicaba (SP). Piracicaba, 1994. Dissertação Mestrado, Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo. 58 p.
- Bonhomme, R. 2000. Bases and limits to using degree.day units. *Europ. J. Agron.* 13:1-10.
- Castro, F. G. 1997. Efeito da idade de corte sobre a produção, composição química-bromatológica, digestibilidade in vitro da matéria seca e da matéria orgânica e conteúdo ácido cianídrico de *Cynodon nlemfuensis* Vanderyst var. *nlemfuensis* cv. Florico. Piracicaba. 1997. Dissertação Mestrado, 128p. Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo.
- Doorenbos, J. e Kassam, A. H. 1979. Efectos del agua sobre el rendimiento de los cultivos. Roma. FAO, Riego y Drenaje no. 33. 212 p.

- Dourado Neto, D.; Detomini, E. R.; e Manfron, P. A. 2004. Programa computacional PPBB_MX: Produtividade potencial de *Brachiaria brizantha*, variedades cultivadas Marandu e Xaraés - v.1. Piracicaba: USP/ESALQ-LPV (Manual do usuário). 80 p.
- Duru, M.; Ducrocq, H.; Fabre, C.; e Feullera, C. E. 2002. Modeling net herbage accumulation of na orchardgrass sward. Agron. J. 94:1244-1256.
- Gosse, G.; Chartier, M.; Bonhomme, R.; Allirand, M.; e Lemaire, G. 1986. Maximum solar radiation intercepted by a canopy. Agronomie 6:47-56.
- Gustavsson, A. M.; Angus, J. F.; e Torssel, B. W. 1995. An integrated model for growth and nutritional values of timothy. Agric. Syst. 47:73-92.
- Heemst, H. D. van. 1986. Physiological principles. En: Keulen, H. e Wolf, J. Modelling of agricultural production: Weather soils and crops. Wageningen, Pudoc. 1986. p. 13-26.
- Villa Nova, N. A.; Santiago, A.V.; e Rezende, F.C. 2001. Energia Solar. Aspectos fisicos de captura pela biomassa. Piracicaba: LCE - ESALQ/USP. 20 p.