

Avaliação de um modelo matemático para estimar o acúmulo de forragem em função de variáveis climáticas*

H. R. de Medeiros**, C. G. S. Pedreira^ψ, e N. A. Villa Nova^φ

Introdução

Estimar a produção de forragem ao longo do ano é um desafio enfrentado na hora do planejamento sistemas de produção de bovinos em pastagens. Uma das razões para isso é o crescimento estacional das plantas forrageiras (Rolim, 1980). Dentre os fatores responsáveis pela estacionalidade podem ser citados o clima (temperatura e fotoperíodo), a disponibilidade de nutrientes e água (Alcântara et al., 1989; Rodrigues et al., 1989; Rolim, 1980).

A temperatura e o fotoperíodo são os principais condicionantes (na ausência de outro fator limitante do crescimento) da adaptação, da persistência e da produção da pastagem (Rodrigues et al., 1989). Assim, o entendimento e a racionalização da resposta da planta ao fotoperíodo e à temperatura, possibilitaria ao manejador da pastagem estimar a produção de forragem ao longo do ano. Dentre as ferramentas que podem ser utilizadas para estimar a produção de forragem estão os modelos matemáticos que estimam a resposta das plantas utilizando variáveis climáticas, os quais permitem compreender, quantificar e prever as interações entre o ambiente e a planta (Nabinger, 1997).

Utilizando os conceitos propostos por Villa Nova et al. (1983 e 1999), Medeiros et al. (2001) parametrizaram o modelo de UF (Unidades Fototérmicas) para estimar o acúmulo de forragem e a produção de *Cynodon* spp. Entretanto Medeiros et al. (2001) citaram que a falta de dados disponíveis na literatura impediu a validação do modelo sob condições irrigadas, para as quais foi parametrizado. Assim, este trabalho tem por objetivo validar o modelo parametrizado por Medeiros et al. (2001) para *Cynodon* spp.

Material e métodos

O cálculo da quantidade de UF acumuladas no período de tempo determinado é obtido utilizando-se as equações propostas por Villa Nova et al. (1983) e Villa Nova (1999): os resultados de acúmulo de forragem estimados pelo modelo foram comparados aos medidos por Tonato et al. (2002) e Tonato (2003) para cinco cultivares de *Cynodon* (Florico, Florona, Estrela, Coastcross e Tifton 85) submetidos a duas frequências de colheita, 28 ou 42 dias. Esse experimento foi conduzido no período de dezembro de 2000 e janeiro de 2002, em área irrigada e adubada com 400 kg/ha por ano de N e K₂O. O acúmulo de forragem foi calculado pela diferença entre a massa de forragem residual (quantificada no dia zero ou logo após a colheita) e no dia da colheita (Pedreira, 2002 The Forage and Grassland Terminology Committee 1992). A taxa média diária de acúmulo de forragem, foi calculada dividindo-se a massa de a forragem acumulada pelo

* Projeto Finaciado pela Fundação de Amparo a Pesquisa do Estado de São Paulo

** Bolsista do CNPQ/EMPARN, Natal-RN. Email: hrdemedeiros@yahoo.com.br

^ψ Professor Associado, Departamento de Zootecnia, ESALQ/USP, Piracicaba-SP.

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

período de crescimento para o respectivo intervalo entre cortes, 28 ou 42 dias (Tabela 1).

Foi realizada a análise de sensibilidade da precisão do modelo para períodos de tempo (n) de 7, 14, 21 e 28 dias sobre o acúmulo de forragem. Essa foi realizada utilizando os dados estimados para janeiro e julho de 2001. Esses meses foram escolhidos pois caracterizam as estações do verão e inverno onde ocorrem, respectivamente, a maior e menor produção de forragem. Para essa avaliação foi simulada a produção de forragem nos meses de janeiro e julho sem que as temperaturas média, máxima e mínima fossem alteradas. Os valores de acúmulo de forragem foram estimados a cada 7, 14, 21, 28 e 31 dias divididos pelo respectivo período de crescimento, para a determinação da taxa média diária de acúmulo de forragem (TAF). Assim a TAF média diária foi estimada a cada 7, 14, 21 e 28 dias foram comparados com relação à estimada para 31 dias de crescimento, considerado o valor de referência (VR) do modelo (100%).

A análise de sensibilidade do modelo para o fotoperíodo foi estimada fixando-se a temperatura média (25 °C) e a temperatura base (T_b) inferior (13 °C) durante todos os meses do ano. Nesta avaliação, o único fator de variação e causa de estacionalidade foi o fotoperíodo. A sensibilidade do modelo para a temperatura média do ar foi realizada fixando-se o fotoperíodo inicial (N_i) e final (N_f) em 13.31, bem como a relação N_f/N_i igual a 1 durante todos os meses do ano. Nessa análise foram utilizadas as temperaturas médias, máximas e mínimas medidas pela estação meteorológica do Departamento de Ciências Exatas da ESALQ durante o ano de 2001, disponíveis no site: <http://www.ciagri.usp.br>. Essa metodologia permitiu isolar os efeitos, respectivamente, do fotoperíodo e da temperatura média do ar no modelo.

Os resultados estimados pelo modelo de UF foram comparados aos medidos por Tonato et al. (2002) utilizando-se o o

procedimento Proc GLM do pacote estatístico SAS® (SAS Institute, 1988). O teste estatístico utilizado foi o de Tukey com nível de significância de 0.05. Além disso, a precisão do modelo foi avaliada utilizando-se análise de regressão linear entre os resultados medidos por Tonato et al. (2002) e os estimados pelo modelo de UF utilizando o procedimento Proc REG do pacote estatístico SAS® (SAS Institute, 1988).

A hipótese de nulidade (H_0) testada foi: $Y = \beta_0 + \beta_1 X$; onde $\beta_0 = 0$ e $\beta_1 = 1$. Foi realizado o teste F para avaliar o grau de significância dos parâmetros β_0 e β_1 . O coeficiente de determinação (R^2) calculado pela metodologia proposta por (Kvalset, 1985):

$$R^2 = 1 - [\sum_i (X_i - Y_i)^2 / \sum (X_i - X_m)^2]$$

onde,

X_i corresponde produção medida no período de tempo i , Y_i a produção estimada para o período i e X_m é a média aritmética da produção medida durante todo o período do experimento. Esse método é indicado para situações onde a fonte de erro do modelo também é resultado dos dados utilizados na sua parametrização e análise de sensibilidade.

Resultados e discussão

Não houve diferença estatística significativa ($P > 0.05$) entre os valores estimados pelo modelo UF e os medidos por Tonato (2002) (Tabelas 1 e 2). O modelo UF estima corretamente ($\beta_0 = 0$ e $\beta_1 = 1$) a taxa de acúmulo de forragem de *Cynodon* spp. desde que a temperatura base inferior utilizada seja um valor entre 13 e 15°C (Medeiros et al., 2001). O coeficiente de determinação (R^2) das regressões entre o modelo e os medidos por Tonato (2002) foram superiores a 60% (Tabela 3). Esses resultados confirmam a boa capacidade de predição do modelo.

Nas simulações realizadas com períodos de acúmulo (intervalo entre cortes) de 42 dias, o coeficiente de determinação

Tabela 1. Taxa média diária de acúmulo de forragem (kg/ha) estimada por Tonato et al. (2002) para *Cynodon* spp. (cvs. Florico, Florona, Estrela, Coastcross e Tifton 85), colhido a cada 28 dias, e utilizando o Modelo de Unidades Fototérmicas (UF).

Data da colheita	Cultivares					Modelo UF
	Estrela	Florico	Florona	Coastcross	Tifton 85	
18/01/01	81	88	69	71	115	127
15/02/01	118	117	96	98	131	80
14/03/01	80	69	73	74	79	52
12/04/01	76	71	53	72	80	117
10/05/01	22	20	19	30	33	54
07/06/01	39	52	29	40	22	24
06/07/01	16	13	27	24	25	18
02/08/01	24	32	30	28	18	24
30/08/01	33	42	38	32	40	43
29/09/01	50	56	66	51	50	84
25/10/01	74	66	52	49	62	84
21/11/01	90	80	78	92	106	126
21/12/01	117	123	108	117	121	151
Média	63	64	57	60	68	76

Data do corte de uniformização: 20/12/2000.

P = 0.3167 pelo teste de Tukey.

aumenta quando se utiliza a temperatura base inferior de 15°C. Isso se deve possivelmente à incapacidade do modelo de estimar os efeitos de frentes frias, que provocam a diminuição da temperatura média do ar durante intervalos de tempo relativamente curtos (de 1 a 3 dias) quando comparados ao período de acúmulo estimado (42 dias). Esse fenômeno ocorre principalmente no outono e primavera, quando se registram as maiores variâncias na temperatura média do ar. Assim a utilização da temperatura base inferior maior (15°C) corrige parte desse erro, e melhora o coeficiente de determinação do modelo.

A medida que se diminui o período de tempo (n) simulado ocorre o incremento no erro do modelo. Possivelmente, isso é devido ao efeito multiplicativo desta variável (n) sobre o cálculo da quantidade de unidades fototérmicas acumuladas. Por esse motivo o modelo deve ser utilizado para realizar estimativa de produção de forragem durante períodos entre 28 e 42 dias de crescimento, quando o erro percentual é inferior a 20% e ao coeficiente de variação da massa de forragem medido no experimento realizado por Tonato (2003). Esse erro pode ser considerado aceitável uma vez que a taxa

Tabela 2. Taxa média diária de acúmulo de forragem (kg/ha) estimada por Tonato et al. (2002) para *Cynodon* spp. (cvs. Florico, Florona, Estrela, Coastcross e Tifton 85), colhido a cada 42 dias, e utilizando o Modelo de Unidades Fototérmicas (UF).

Data da Colheita	Cultivares					Modelo UF
	Florico	Florona	Tifton85	Coastcross	Estrela	
01/02/01	74	84	112	82	82	84
14/03/01	129	120	139	131	120	102
26/04/01	89	81	89	81	82	87
07/06/01	40	37	27	46	39	28
19/07/01	20	28	20	20	17	19
30/08/01	54	55	32	43	37	44
11/10/01	71	72	64	72	67	92
21/11/01	78	81	87	75	78	134
03/01/02	145	137	152	143	130	126
Média	78	77	80	77	72	80

Data do corte de uniformização: 20/12/2000

P = 0.6627 pelo teste de Tukey

Tabela 3. Coeficiente de determinação (R^2) da regressão entre o Modelo de Unidades Fototérmicas (UF) e os resultados medidos por Tonato et al. (2002) para *Cynodon* spp. (cvs. Florico, Florona, Estrela, Coastcross e Tifton 85).

Cultivar	Temperatura base		
	13 °C	14 °C	15 °C
Florico	0.6583	0.6765	0.6866
Florona	0.7420	0.7511	0.7579
Tifton85	0.7028	0.7263	0.7559
Ccross	0.6887	0,7141	0.7286
Estrela	0.6770	0.6970	0.7137

média diária de acúmulo (TMDAC) de forragem é uma variável bastante instável. Isto ocorre pois o crescimento das plantas e consequentemente do seu acúmulo é resultado da interação entre o ambiente (temperatura, fotoperíodo, fertilidade e umidade do solo) e a planta. As estimativas de produção de forragem para períodos curtos podem ser realizadas desde que o usuário simule o acúmulo de unidades fototérmicas para um mês inteiro e divida o valor calculado pelo número de dias do período simulado. Assim, pode-se corrigir o erro da estimativa da quantidade de unidades fototérmicas disponíveis para a planta.

Embora a temperatura seja uma das causas da estacionalidade do acúmulo de forragem, seus efeitos são modificados pela ação de outros fatores como, por exemplo, o fotoperíodo (Bonhomme, 2000). Esse efeito integrado entre a temperatura e o fotoperíodo sobre o crescimento das plantas foi relatado por Hodges (1990), Villa Nova et al. (1999) e Lemos Filho (1997).

O fotoperíodo influencia o acúmulo de forragem (Ludlow, 1978). O efeito dessa variável está mais relacionado com a razão entre o N_f/N_i , que com o fotoperíodo em si. Isto se deve ao fato de fotoperíodos crescentes ($N_f/N_i > 1$) disponibilizarem mais unidades fototérmicas (energia) para o sistema que quando esta razão é decrescente ($N_f/N_i < 1$), no mesmo período de tempo (dias). Por esse motivo, se não houvesse efeito da temperatura, o crescimento das plantas seria crescente de agosto a dezembro e decrescente de janeiro a julho (Figura 1).

Este modelo poderá ser utilizado para estimar o acúmulo de forragem nas pastagens irrigadas desde que não existam limitações físicas e de fertilidade de solo, e os fatores de variação sejam o fotoperíodo e temperatura. Com isso pode-se estimar o acúmulo de forragem presente na pastagem e assim traçar estratégias de sua utilização. Uma outra aplicação do modelo é no planejamento de sistemas de produção de forragem conservada como, por exemplo, a fenação. Nesse caso o usuário poderá estimar o acúmulo de forragem e determinar o momento mais adequado para sua colheita e armazenamento.

Para a utilização do modelo de UF em pastagens cultivadas sob condições não irrigadas e/ou solos de baixa fertilidade, deve-se incorporar ferramentas matemáticas que permitam estimar o risco de se obter um

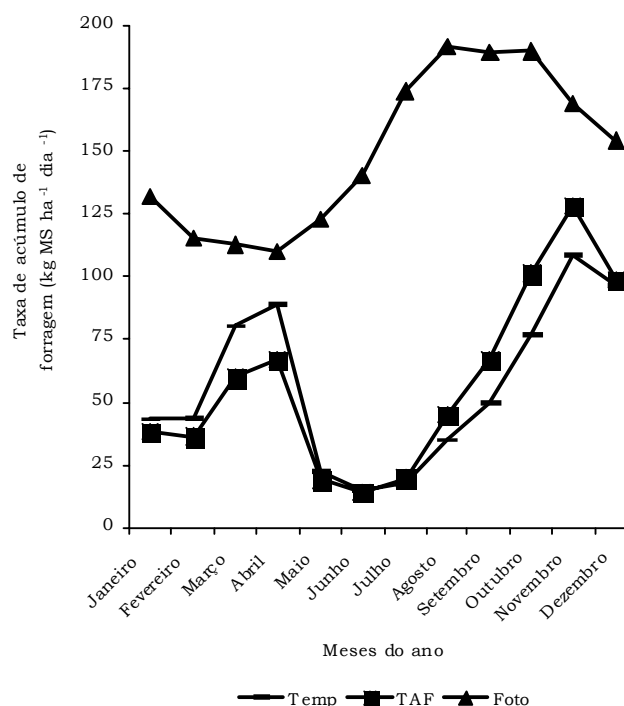


Figura 1. Efeito do fotoperíodo (Foto), da temperatura (Temp) e da unidade fototérmica sobre a taxa média diária de acúmulo de forragem (TAF).

acúmulo de forragem menor que o esperado, provocado por déficit hídrico ou deficiência de nutrientes para a planta.

Conclusão

O Modelo de UF proposto é adequado para estimar a produção de *Cynodon* spp. desde que os fatores de variação sejam unicamente fotoperíodo e temperatura. No futuro mais variáveis, por exemplo, que incorporem os efeitos de fertilidade e umidade do solo sobre o acúmulo de forragem deverão ser incorporadas ao modelo a fim de melhorar a exatidão das suas estimativas.

Resumen

La predicción de la acumulación de forraje a través de la edad de las pasturas es un desafío para los investigadores en áreas tropicales. En este estudio se evaluó un modelo para predecir la acumulación de forraje durante el ciclo de crecimiento de *Cynodon* cvs. Estrella común, Florico, Florona, Coastcross y Tifton 85 como una función de las unidades fototérmicas (UF) en Piracicaba, Brazil. Los resultados obtenidos con el modelo se correlacionaron con mediciones en el campo, utilizando regresiones lineales. El modelo presentó un buen ajuste para predecir la acumulación de forraje de los cultivares en el rango entre 13°C y 15°C. A medida que el período de acumulación de forraje fue menor, el error de predicción fue mayor. El modelo fue adecuado para predecir la acumulación de forraje en periodos entre 28 y 42 días y demostró que la temperatura, unida a la longitud del día, es el factor ambiental que más limitó la producción de forraje.

Summary

Predicting monthly herbage accumulation throughout the year as a result of seasonal growth patterns reported for tropical grasses is

a challenging task when planning pasture-based livestock production systems. The objective of the present study was to evaluate a model that predicts herbage accumulation on *Cynodon* spp. pastures as a function of photothermal units (PU). Predicted results from the PU model were contrasted with actual herbage accumulation values using linear regression. The model was able to predict herbage accumulation rates adequately and the base-temperature values ranged from 13 and 15 °C. As the duration of the accumulation period was shortened, the error of the prediction was increased. This led to the recommendation that the model be used for grazing cycles where the regrowth interval is equal to or longer than 28 days and equal or less than 42 days. In addition, the model showed that temperature is the major environmental constraint to forage growth in Piracicaba, SP, although it compounds with daylength in determining the yield response.

Referências

- Alcantara, P. B.; Pedro Junior, M. J.; Donzelli, e P. L. 1989. Zoneamento edafoclimático de plantas forrageiras. En: Favoretto, V.; Rodrigues, L. R.; e Reis, R. de A. (ed.). Simpósio sobre Ecossistemas de Pastagens. 2. Jaboticabal, 1989. Anais. Jaboticabal: FUNEP, UNESP. p. 1-16.
- Bonhomme, R. 2000. Bases and limits to using 'degree-day' units. European J. Agron. 13:1-10.
- Hodges, T. 1990. Temperature and water stress effects on phenology. En: Predicting Crop Phenology. Boca Raton, Florida. CRC Press. p. 7-13.
- Kvalset, T. O. 1985. Cautionary note about R². Amer. Statist. 39(4):279-285.
- Lemos Filho, J. P.; Villa Nova, N. A.; e Pinto, H. S. 1997. A model including photoperiod in degree-days for estimating *Hevea* bud growth. Intern. J. Biom. 41:1-4.

- Ludlow, M. M. 1978. Light relations of pastures plants. En: Plant relation in pastures. Wilson, J. R. (ed.). East Melbourne, Australia, CSIRO. p. 35-49.
- Medeiros, H. R. de; Pedreira, C. G.; Villa Nova, N. A.; Barioni, L. G.; e Mello, A. C. 2001. Prediction of herbage accumulation of *Cynodon* grasses by an empirical model based on temperature and daylength. En: International Grassland Congress, 19, Piracicaba, 2001,. Proceedings. FEALQ. p. 263-265.
- Nabinger, C. 1997. Princípios da exploração intensiva de pastagens. En: Simpósio sobre Manejo de Pastagens, 14, Piracicaba, 1997. Anais. Piracicaba. FEALQ. p. 213-251.
- Pedreira, C. G. S. 2002. Avanços metodológicos na avaliação de pastagens. En: Reunião Anual da ociedade Brasileira De Zootecnia, 39., Recife, 2002. Anais. Recife:SBZ, 2002. p 10-150.
- Pedreira, 2002. The Forage and Grassland Terminology Committee 1992)
- Rodrigues, T. de J. D.; Rodrigues, L. R. de A.; e Reis, R. de A. 1989. Adaptação de plantas forrageiras as condições adversas. En: Favoretto, V.; Rodrigues, L. R.; e Reis, R. de A. (Eds.). Simpósio sobre Ecossistemas de Pastagens, 2, Jaboticabal, 1989. Anais. Jaboticabal. FUNEP, UNESP. p. 17-61.
- Rolim, F. A. 1980. Estacionalidade de produção forrageira. En: Moura, J. C. e Faria, V. P. de (eds.). 1980. Simpósio sobre Manejo de Pastagens, 6, Piracicaba, ESALQ, 1980. p. 39-81.
- Sas Institute, SAS User's guide: Release 6.03 ed. Cary, 1988. 1028 p.
- The Forage And Grassland Terminology Committee – FGTC. 1992. Terminology for grazing lands and grazing animals. J. Prod. Agric. 5:191-201.
- Tonato, F.; Moreno, L.S. de B.; Pedreira, C. G. S.; e Medeiros, H. R. de. 2002. Produção de matéria seca total e taxa média de acúmulo de forragem de cinco cultivares do gênero *Cynodon* manejados para a produção de feno sob irrigação. En: Reunião Anual da Sociedade Brasileira de Zootecnia, 39., Recife, 2002. Anais. Recife. Sociedade Brasileira de Zootecnia (SBZ). CD-Rom.
- _____. 2003. Determinação de parâmetros produtivos e qualitativos de *Cynodon* spp. em função de variáveis climáticas. Dissertação Mestrado. Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz , Universidade de São Paulo. 85 p.
- Villa Nova, N. A.; Carreteiro, M. V.; e Scardua, R. 1983. Um modelo para avaliação do crescimento de cana-de-açúcar (*Sacharum* spp.) em termos da ação combinada do fotoperíodo e da temperatura média do ar. En: Congresso Brasileiro de Agrometeorologia. 2. Campinas, 1983, Anais. Sociedade Brasileira de Agrometeorologia/Instituto Agrônomo de Campinas: Sociedade Brasileira de Agrometeorologia/Instituto Agrônomo de Campinas. p.31-48.
- _____; Barioni, L. G.; Pedreira, C. G.; e Pereira, A. R. 1999. Modelo para previsão da produtividade do capim elefante em função da temperatura do ar, fotoperíodo e frequência de desfolha. Rev. Brasil. Agrometeo. 7:75-79.