

Método alternativo para cálculo da temperatura base de gramíneas forrageiras

Alternate method to compute the base temperature of forage grasses

Nilson Augusto Villa Nova^I Felipe Tonato^{II}

Carlos Guilherme Silveira Pedreira^{II*}

Henrique Rocha de Medeiros^{III}

RESUMO

O conhecimento da temperatura abaixo da qual o crescimento das plantas cessa, a temperatura base (T_b), é de grande importância na avaliação do potencial produtivo de um recurso vegetal em uma determinada área e na correta inserção de uma cultura em um sistema de produção, em especial no caso de espécies forrageiras perenes. Objetivou-se, no presente trabalho, avaliar um novo método para a determinação dessa temperatura base, usando não apenas a temperatura média do ar, mas também o fotoperíodo na forma de uma variável climática denominada de unidade fototérmica (UF) como variável preditora da T_b . Usando-se dois ciclos de rebrotação e as suas respectivas quantidades de forragem acumulada, pode-se calcular o valor da T_b se as relações entre produção de forragem e acúmulo de UFs em cada período forem as mesmas. Dados de produtividade de duas diferentes espécies forrageiras, capim-elefante (*Pennisetum purpureum* Schum. cv. Napier) e grama-estrela (*Cynodon nlemfuensis* Vanderyst var. *nlemfuensis* cv. Florico), provenientes de dois diferentes experimentos, foram usados para avaliar o método de cálculo proposto, obtendo-se valores de T_b de 15 e 12°C para as duas espécies, respectivamente. Esses valores são consistentes com os apresentados na literatura, o que comprova a eficiência do método proposto.

Palavras-chave: pastagens, crescimento, unidades de calor, unidade fototérmica, graus-dia.

ABSTRACT

The assessment of the temperature below which plant growth ceases, known as base temperature (T_b) is key in for establishing the potential yield of a plant resource at a given location, and for quantifying the fitness of a given crop for a given production system. Whereas this is widely recognized, it is especially true in the case of perennial crops such as many of the forage species. This present study was aimed at developing,

evaluating, and proposing a new methodological approach for the calculation of the T_b of forage crops, using both temperature and daylength, as a climatic variable named photothermal unit (PU). By using two regrowth cycles and their respective amounts of forage accumulated, the value of T_b can be calculated if the proportion between harvested yields and accumulated PUs of both regrowth cycles are the same. Yield data from two forage grass species, elephantgrass (*Pennisetum purpureum* Schum. cv. Napier) and Florico stargrass (*Cynodon nlemfuensis* Vanderyst var. *nlemfuensis*), from two field trials were used to test the proposed approach. Calculated T_b values were 15 and 12°C for elephantgrass and stargrass, respectively. These values are consistent with those generated by the classic method and reported in the literature.

Key words: pasture, growth, heat units, photothermal unit, degree-days.

INTRODUÇÃO

É fato reconhecido que o acúmulo de matéria seca pelo dossel de uma cultura é dependente, além do índice de área foliar, da energia solar incidente. Adicionalmente, a resposta produtiva é altamente dependente da temperatura do ar para todas as gramíneas forrageiras (VAN HEEMST, 1986). Por razões fisiológicas, sabe-se que, para cada espécie, existe uma temperatura abaixo da qual o crescimento é desprezível ou nulo, sendo esta denominada de temperatura base (T_b), que assume valores menores para gramíneas de clima temperado e maiores para as tropicais.

O conhecimento da temperatura base de uma espécie vegetal é importante para possibilitar a

^IDepartamento de Ciências Exatas, Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo (ESALQ/USP), Piracicaba, São Paulo, Brasil.

^{II}Departamento de Zootecnia, ESALQ/USP, Piracicaba, São Paulo, Brasil. E-mail: cgspedre@esalq.usp.br. *Autor para correspondência.

^{III}Instituto Centro de Ensino Tecnológico (CENTEC), Quixeramombim, Ceará, Brasil. E-mail: hrdemedeiros@superig.com.br.

avaliação do potencial de produção de uma determinada área em diferentes épocas do ano, e é indispensável para a viabilização econômica de projetos agropecuários. No presente trabalho, é sugerido um novo método para estimar a temperatura base (Tb), que leva em conta, além da temperatura média do ar, o fotoperíodo (N), elemento indispensável que comanda a produção estacional de matéria seca ao longo do ano nas médias e altas latitudes.

Apesar de o conceito de Tb ser amplamente aceito com valores já determinados para diversas culturas, para as plantas forrageiras, marcadamente para as gramíneas tropicais, os valores exatos da Tb são controversos. Autores como ALCÂNTARA et al. (1989) e RODRIGUES et al. (1989) citam que, para gramíneas, em função da interação existente entre genótipo e ambiente (clima) da região da qual ela se origina, cada espécie ou cultivar dentro de espécie apresentaria um diferente valor de Tb. Os dados existentes são em sua maioria citações "generalistas", que indicam faixas como 10 a 15°C (COOPER & TAINTON, 1968) ou valores pontuais como 10°C (RIO GRANDE DO SUL, 1975), 15°C (MC WILLIAM, 1978) ou 17°C (COSTA, 1984) para todas as espécies, assumindo que a resposta fisiológica seria semelhante a todas elas. E dados como 10°C (JACQUES, 1994) ou 13°C (MEDEIROS et al., 2002) para capim-elefante (*Pennisetum purpureum* Schum.), 10°C para *Panicum virgatum* (L.) (SANDERSON & WOLF, 1995) e 13°C (MEDEIROS et al., 2001) para plantas do gênero *Cynodon*, são raros na literatura e, mesmo assim, não consideram as diferenças existentes entre cultivares.

Na prática, os métodos utilizados são geralmente aqueles nos quais procura-se estabelecer uma relação linear de dependência entre produção de massa seca (P) por unidade de área e de tempo, ou seja, P/A dt e a temperatura média do ar (Ta) no período correspondente, com P/A dt = a + (b Ta). Assim, a lógica indica que a temperatura na qual P/A dt se torna nula será a temperatura base. Dessa maneira, procede, entre outros, o método sugerido por PEDRO Jr. et al. (1990).

Embora esse método possa proporcionar aproximações razoáveis das estimativas da Tb, ocorre que, na maioria das vezes, a relação linear de dependência é baixa pelo fato de não se levar em conta a ação do fotoperíodo (N), como fator não apenas de modificação dos efeitos da temperatura, mas também indutor do desenvolvimento reprodutivo. Assim é que, na prática, pode-se observar que, nas épocas de fotoperíodo decrescente (geralmente no inverno), o desenvolvimento vegetativo na maioria das gramíneas é retardado significativamente, mesmo que as

temperaturas sejam mais elevadas (no caso de inverno atípico). Isso sugere que o uso de relações temperatura H produção para o estabelecimento do valor de Tb pode não ser inequívoco.

Para avaliar o efeito do fotoperíodo sobre a produção (acúmulo de fitomassa seca), VILLA NOVA et al. (1983) propuseram a unidade fototérmica (UF), utilizando-a com sucesso para modelar o crescimento estacional de cana-de-açúcar (*Saccharum officinarum* L.). Mais recentemente, VILLA NOVA et al. (1999) verificaram que a variação estacional de produtividade (kg ha⁻¹) de capim-elefante cv. "Napier" é altamente relacionada com a unidade fototérmica (UF). O objetivo do presente estudo é propor uma alternativa de cálculo para a Tb com base na premissa de que o fotoperíodo interage com a temperatura na determinação da temperatura base. Um método interativo é demonstrado utilizando-se dados publicados na literatura.

MATERIAL E MÉTODOS

Método proposto

O método baseia-se na aplicação das equações (1), (2) e (3) (VILLA NOVA et al., 1999).

$$P = \frac{1,261}{1 + e^{2,85 - 8,133 \times 10^{-3} UF}} \quad (1)$$

$$UF = \frac{\left(\frac{n}{2} GD\right)^{\frac{Nf}{Ni} + 1}}{\frac{Nf}{Ni} + 1} \quad (2)$$

$$GD = (\bar{T} - Tb) \quad (\text{se } Tb \leq \bar{T} \text{ min}) \quad (3)$$

$$GD = \left(\frac{(\bar{T} \text{ max} - Tb)^2}{2(\bar{T} \text{ max} - \bar{T} \text{ min})} \right) \quad (\text{se } Tb > \bar{T} \text{ min})$$

Nessas equações, P se refere à produtividade de matéria seca do período (kg ha⁻¹); UF ao número de unidades fototérmicas acumuladas no período; GD ao número de graus-dia acumulados no período (°C dia); n ao número de dias no período; (\bar{T}) à média das temperaturas médias do período; Tb à temperatura base para determinada cultivar; \bar{T} à média das temperaturas máximas do período; $\bar{T} \text{ min}$ à média das temperaturas

mínimas do período; N_f ao valor do fotoperíodo (horas e décimos de horas) no final do período de crescimento; N_i ao valor do fotoperíodo (horas e décimos) no início do período de crescimento; e δ ao valor da declinação solar para aquela latitude. A última variável pode ser calculada aplicando-se as equações (4) e (5).

$$N_f \text{ ou } N_i = 0,133 \arcsin(-\text{tg } \delta \cdot \text{tg } \varphi) \quad (4)$$

$$\delta = 23,45 \text{sen} \left[\left(\frac{360}{365} (Dj - 80) \right) \right] \quad (5)$$

Depreende-se das equações (1) a (5) que a produtividade é resultado não só da ação da \bar{T} e da T_b , mas também é afetada pelo fotoperíodo, que é variável em função da latitude do local (φ) e da época (estação) do ano (δ), sendo, portanto, dependente da unidade fototérmica (UF). A equação (1) representa o modelo logístico de crescimento, já demonstrado por OVERMAN et al. (1988) como função do tempo cronológico, válida apenas para o local do experimento, diferentemente da equação (2), que, como função de δ e φ , é válida para diferentes latitudes e épocas do ano.

O método proposto no presente trabalho baseia-se no conceito da UF, assumindo que as produções de massa seca medidas serão sempre proporcionais às UF acumuladas no período, conforme equação (6):

$$\frac{P_1}{P_2} = \frac{UF_1}{UF_2} = \frac{\left[\frac{n_1}{2} (T_1 - T_b) \right]^{(N_f/N_i + 1)}}{\left(\frac{N_f}{N_i} + 1 \right)} \quad (6)$$

Assim sendo, conhecendo-se para dois períodos consecutivos de N_1 e N_2 dias com temperatura média \bar{T}_1 e \bar{T}_2 , os valores dos fotoperíodos inicial e final (N_{f1} , N_{f2} , N_{i1} e N_{i2}) de cada período e as produções correspondentes (P_1 e P_2), pode-se determinar a temperatura base T_b como o valor que satisfaz a condição da igualdade (6).

Essa metodologia deve sempre ser aplicada em períodos subseqüentes, que representem uma condição estrutural e fisiológica aproximada e em que às plantas estejam na mesma fase fenológica. Caso contrário, a temperatura base será diferente e, por consequência, também serão diferentes as relações entre o acúmulo de graus-dia e o acúmulo de massa.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Aplicação do método

Capim elefante

Dos resultados obtidos por GHELFI FILHO (1972) em Piracicaba-SP, relativos a produtividades de capim-elefante cv. "Napier" irrigado, cortado a cada 61 dias (com adubação de 20 kg de N após cada corte), foram obtidos os resultados discriminados abaixo, aos quais foram ajustados valores de fotoperíodos inicial e final (N_i e N_f), temperatura média (\bar{T}) e duração do período de dias (N), conforme pode-se ver na tabela 1.

Aplicando-se, de acordo com o método proposto, a relação (6) entre o 1º e 4º períodos, pode-se escrever:

$$\frac{P_1}{P_2} = \frac{3,92}{2,66} = \frac{\left[\frac{61}{2} (24,4 - T_b) \right]^{(11,337/12,633 + 1)}}{\left(\frac{11,337}{12,633} + 1 \right)} \times \frac{12,633}{11,377 + 1}$$

O valor de T_b é, assim, aquele que satisfaz a igualdade acima. No presente exemplo, $T_b \cong 15^\circ\text{C}$. Repetindo-se a operação com os períodos 5 e 6, obtém-se igualmente o valor $T_b \cong 15^\circ\text{C}$. Esse valor parece coerente e é igual aos 15°C citados por Mc WILLIAM (1978), além de estar dentro da faixa citada por COOPER & TANTON (1968), de 10 a 15°C como referência para plantas tropicais, embora um pouco acima do valor relatado por JACQUES (1994), de 10°C , e do valor relatado por MEDEIROS et al. (2002), de 13°C para as mesmas espécies. Apesar de também estarem dentro da faixa proposta por COOPER & TANTON (1968), parecem muito baixos para a planta em questão, principalmente considerando-se que os valores propostos por esses autores são muito próximos ou idênticos ao relatado por MEDEIROS et al. (2001) para plantas do gênero *Cynodon*, consideradas muito menos estacionais e tolerantes a baixas temperaturas (PEDREIRA & MATTOS, 1981), características não atribuídas ao gênero *Pennisetum* (PEDREIRA et al., 2005).

Tabela 1 - Dados meteorológicos, fotoperíodo (N_i e N_f), temperatura média (\bar{T}) e produtividade ($t\ ha^{-1}$) por corte de capim-elefante (irrigado), em Piracicaba, SP (Lat~22,71°S). Dados obtidos de Ghelfi Filho (1972).

Período	N	\bar{T}	N_i	N_f	Produtividade de matéria seca	
n°	(datas)	(dias)	(°C)	(horas)	(horas)	($t\ ha^{-1}$)
1	20/02 – 21/04	61	24,4	12,633	11,337	3,92
2	22/04 – 21/06	61	21,3	11,317	10,621	1,85
3	22/06 – 21/08	61	17,3	10,621	11,318	1,44
4	22/08 – 21/10	60	20,3	11,377	12,596	2,66
5	22/10 – 21/12	60	23,4	12,617	13,379	8,03
6	22/12 – 21/02	62	25,4	13,379	12,613	7,17
Total ($tha^{-1}\cdot ano^{-1}$)						25,07

Gramma-estrela

Para esta avaliação, ajustaram-se os dados do experimento conduzido por CASTRO (1997), em Piracicaba-SP, relatados no quadro abaixo (tabela 2).

Novamente, aplicando-se a equação (6) tem-se: A) para os períodos (3) e (4),

$$\frac{P_3}{P_4} = \frac{5,433}{7,700} = \frac{\left[\frac{40}{2} (23,5 - T_b) \right]^{1,957}}{\left[\frac{50}{2} (23,5 - T_b) \right]^{1,942}} \times \frac{1,942}{1,957}$$

B) para os períodos (4) e (5),

$$\frac{P_4}{P_5} = \frac{7,700}{9,229} = \frac{\left[\frac{50}{2} (23,5 - T_b) \right]^{1,942}}{\left[\frac{60}{2} (23,4 - T_b) \right]^{1,926}} \times \frac{1,926}{1,942}$$

O valor de $T_b = 11,5^\circ C$ satisfaz com boa aproximação as igualdades acima, e é condizente com o reportado por MISLEVY & PATE (1996), que

Tabela 2 - Dados meteorológicos, fotoperíodo (N_i e N_f), temperatura média (\bar{T}) e produtividade ($t\ ha^{-1}$) de grama-estrela nas épocas correspondentes em Piracicaba, SP (Lat~22,71°S). Dados obtidos de Castro (1997).

Período	N	\bar{T}	N_i	N_f	$\frac{N_f}{N_i} + 1$	Produtividade de matéria seca	
n°	(datas)	(dias)	(°C)	(horas)	(horas)	($t\ ha^{-1}$)	
1	06/01 – 25/01	20	23,3	13,325	13,107	1,984	1,537
2	06/01 - 04/02	30	23,2	13,325	12,942	1,971	3,062
3	06/01 - 14/02	40	23,4	13,325	12,754	1,957	5,433
4	06/01 - 24/02	50	23,5	13,325	12,550	1,942	7,700
5	06/01 - 05/03	60	23,5	13,325	12,337	1,926	9,229
6	06/01 - 15/03	70	23,4	13,325	12,316	1,910	10,987

relataram, para essa gramínea, temperaturas adequadas para acúmulo de forragem entre 12 e 34°C. Adicionalmente, está muito próximo dos 13°C citados por MEDEIROS et al. (2001) e dentro da faixa de 10 a 15°C citada por COOPER & TAINTON (1968). O método “tradicional” não poderia ser utilizado nas condições presentes, posto que, para os mesmos valores de temperatura, as produtividades são muito diferentes.

CONCLUSÕES

A unidade fototérmica, por ser uma variável climática que combina a ação da temperatura e do fotoperíodo sobre o desempenho produtivo das culturas, confere ao método um caráter racional e permite estimar com boa aproximação o valor da temperatura base. As simulações sugerem que o método convencional, que se baseia numa relação linear entre a temperatura e o acúmulo de fitomassa, pode apresentar imprecisões na estimativa de produção, uma vez que o modelo baseado exclusivamente em soma calórica não contempla o efeito do fotoperíodo, o que pode limitar a sua eficácia de predição da resposta produtiva.

REFERÊNCIAS

- ALCANTARA, P.B. et al. Zoneamento edafoclimático de plantas forrageiras. In: FAVORETTO, V. et al. (Ed). SIMPÓSIO SOBRE ECOSSISTEMAS DE PASTAGENS 2., 1989, Jaboticabal. **Anais...** Jaboticabal: FUNEP, UNESP, 1989. p.1-16.
- CASTRO, F.G.F. **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. 128f. Dissertação (Mestrado em Ciência Animal e Pastagens) – Curso de Pós-graduação em Agronomia, Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo.
- COOPER, J.P.; TAINTON, N.M. Light and temperature requirements for the growth of tropical and temperate grasses. Review article. **Herbage Abstracts**, v.38, p.167-176, 1968.
- COSTA, N.M.S. Regionalização da produção de sementes de plantas forrageiras em Minas Gerais. **Informe Agropecuário**, n.11, p.18–23, 1984.
- GHELFI FILHO, H. **Efeito da irrigação sobre a produtividade do capim elefante (*Pennisetum purpureum* Schum.) variedade Napier.** Piracicaba, 1972. 77f. Tese (Doutorado em Irrigação e Drenagem) - Curso de Pós-graduação em Agronomia, Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo.
- JACQUES, A.V.A. Caracteres morfo-fisiológicos e suas implicações com o manejo. In: CARVALHO, M.M. et al. (Ed.) **Capim – elefante: produção e utilização.** Coronel Pacheco: EMBRAPA/CNPGL, 1994. p.31–48.
- McWILLIAM, J.R. Response of pastures plants to temperature. In: WILSON, J.R. (Ed). **Plant relation in pastures.** East Melbourne, Australia: CSIRO, 1978. p.17–34.
- MEDEIROS, H.R. et al. Prediction of herbage accumulation of cynodon grasses by an empirical model based on temperature and day length. In: INTERNATIONAL GRASSLANDS CONGRESS, 19., 2001, Piracicaba. **Proceedings...** Piracicaba: FEALQ, 2001. p.263-265.
- MEDEIROS, H.R. et al. Temperatura base de gramíneas forrageiras estimada através do conceito de unidades fototérmicas. In: REUNIÃO ANUAL DA SOCIEDADE BRASILEIRA DE ZOOTECNIA, 39., 2002, Recife. **Anais...** Recife: SBZ, 2002. 1 CD-Rom.
- MISLEVY, P.; PATE, M. Establishment management and utilization of *Cynodon* grasses in Florida. In: WORKSHOP SOBRE O POTENCIAL FORRGEIRO DO GENERO CYNODON, 1996, Juiz de Fora. **Anais...** Juiz de Fora: EMBRAPA, CNPGL, 1996. p.127–138.
- OVERMAN, A.R. et al. Empirical model of Coastal bermudagrass production. **Transactions of the American Society of Agricultural Engineering**, v.31, p.466-470, 1988.
- PEDREIRA, C.G.S. et al. Forage yield and grazing efficiency on rotationally stocked pastures of Tanzania-1 guineagrass and Guaçu elephantgrass. **Scientia Agricola**, v.62, n.5, p.433-439, 2005.
- PEDREIRA, J.V.S.; MATTOS, H.B. Crescimento estacional de vinte e cinco espécies ou variedades de capins. **Boletim de Indústria Animal**, v.38 n.2, p.117-143, 1981.
- PEDRO Jr., M.J. et al. **Aptidão climática para plantas forrageiras no Estado de São Paulo.** Campinas-SP: Instituto Agrônomo, 1990. 13p. (Boletim Técnico 139).
- RIO GRANDE DO SUL. **Programa de investimentos integrados para o setor agropecuário.** Zoneamento climático por cultura: forrageiras de clima tropical e subtropical. Zoneamento agrícola. Porto Alegre: Pallotti, 1975. V.2, cap.2, p.177-183. (Estudos básicos, v.2).
- RODRIGUES, T. de J. D. et al. Adaptação de plantas forrageiras as condições adversas. In: FAVORETTO, V. et al. (Ed.). SIMPÓSIO SOBRE ECOSSISTEMAS DE PASTAGENS 2., 1989, Jaboticabal. **Anais...** Jaboticabal: FUNEP, UNESP, 1989. p.17–61.
- SANDERSON, M.A.; WOLF, D.D. Morphological development of switchgrass in diverse environments. **Agronomy Journal**. v.87, p.908-915, 1995.
- VAN HEEMST, H.D.J. Physiological principles. In: VAN KEULEN, H.; WOLF, J. (Eds). **Modeling of agricultural production: weather, soils and crop.** Amsterdam: The Hagge, 1986. p.13-26.
- VILLA NOVA, N.A. et al. Um modelo de avaliação do crescimento de cana-de-açúcar (*Saccharum* spp.) em termos da ação combinada do fotoperíodo e da temperatura média do ar. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE AGROMETEOROLOGIA 2., 1983, Campinas. **Anais...** Campinas: Sociedade Brasileira de Agrometeorologia, 1983. p.31-48.
- VILLA NOVA, N.A. et al. Modelo para a previsão da produtividade do capim elefante em função de temperatura do ar, fotoperíodo e frequência de desfolha. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, v.7, n.1, p.75-79, 1999.