

Simulação do crescimento do capim Tanzânia irrigado com base na unidade fototérmica, na adubação nitrogenada e na disponibilidade hídrica do período

Alexsandro Claudio dos Santos Almeida*, Rafael Mingoti, Rubens Duarte Coelho e Leandro Fellet Lourenço

Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade De São Paulo, Av. Páduas Dias, 11, Cx. Postal 9, 13418-900, Piracicaba, São Paulo, Brasil. *Autor para correspondência. E-mail: acdsalme@esalq.usp.br

RESUMO. A modelagem da produção de forragem com o uso de unidades fototérmicas (UF) foi utilizada com sucesso nos capins elefante cv. Napier, Tanzânia e Brachiaria em condições ótimas de adubação e disponibilidade hídrica. Havendo a necessidade de modelos de produção de forragens para diferentes níveis de adubação e de irrigação. Nesse sentido, o objetivo deste trabalho é propor modelos para o capim Tanzânia (*Panicum maximum* Jacq. cv Tanzânia) sob diferentes lâminas de irrigação (25, 50,75, 100 e 125% da ETc) e adubação nitrogenada em diferentes localidades do Brasil, a partir de unidades fototérmicas. Os modelos foram ajustados para as doses de 0, 30, 60, 110 e 270 kg de N ha⁻¹, doses divididas em aplicações após cada corte, com um ciclo de 35 dias de descanso. Os modelos de produtividade ajustados apresentaram r² de 0,9999, de boa confiança para estimativa da produção de matéria seca do capim Tanzânia. Sendo assim, pode-se estimar a produção de matéria seca do capim Tanzânia para várias regiões do país, desde que se conheça a latitude local e as temperaturas máxima e mínima.

Palavras-chave: otimização, modelagem, irrigação.

ABSTRACT. Simulation of irrigated Thanzania grass growth based on photothermal units, nitrogen fertilization and water availability. The mathematical model to predict the forage yield using photothermal units was utilized with success in Elephant grass, Thanzania and *Brachiaria ruziziensis* in the absence of water stress and nitrogen stress. The aim of this study was to propose models to estimate the forage yield of Thanzania grass under different irrigation (25, 50,75, 100 e 125% of ETc) and nitrogen level in various regions of Brazil. As such, models were developed to estimate the dry matter production of *Panicum maximum* Jacq. frass cv Thanzania in different irrigation and nitrogen levels, using photothermal units. The models were adjusted to doses of 0, 30, 60, 110 and 270 kg of N ha⁻¹, doses were divided in applications after each evaluation, with a rest cycle of 35 days. The adjusted model presented good performance in predicting dry matter production of Thanzania grass, with r² = 0.9999. The results made it possible to verify that the proposed model can be used to predict forage production in different regions of Brazil. It can be estimated, with good precision. The production of Thanzania grass dry matter can be accurately estimated in specific places (in function of latitude and time of year), with the maximum and minimum temperature values.

Keywords: optimization, modeling, irrigation.

Introdução

O rendimento de uma cultura, em dada região, depende das condições climáticas, podendo ser estimado, para diferentes localidades, por meio de relações que expressam a eficiência da cultura na conversão de energia solar em produção de matéria seca, pois a obtenção de altas produtividades de forragens é dependente do índice da área foliar, do fotoperíodo, da temperatura do ar, da radiação solar e da disponibilidade hídrica (CUNHA et al., 2008). Dentre esses fatores, a temperatura do ar é o que

mais influencia o desenvolvimento das plantas, já que esta deve estar em equilíbrio com a temperatura do meristema, que determina o crescimento da planta (STONE et al., 1999).

Por isso, o conceito de graus-dia tem sido extensivamente utilizado para estimativa da produção de forragens, por meio de modelos matemáticos, baseando-se na premissa de que a planta necessita de certa quantidade de energia (BONHOMME, 2000), representada pela soma de graus térmicos acima de uma temperatura-base (15°C para a maioria das forrageiras tropicais).

Abaixo da temperatura-base, a planta não apresenta nenhum crescimento.

Entretanto, alguns trabalhos revelam que melhores estimativas são alcançadas quando é introduzido o fotoperíodo (N), elemento indispensável que comanda a produção estacional de matéria seca ao longo do ano nas médias e altas latitudes, com abundância no verão e escassez no inverno. Villa Nova et al. (1999) utilizaram um índice que leva em conta a ação combinada da temperatura do ar e do fotoperíodo na produção de gramíneas forrageiras, denominado unidades fototérmicas, facilmente calculado para diversas regiões do Brasil.

O uso da unidade fototérmica demonstra ser viável para estimativa da produção total de matéria seca de pastagens e sua variação estacional em condições irrigadas. Esse tipo de estimativa é importante para o planejamento e a avaliação de sistemas de produção a pasto, principalmente se levando em consideração a crescente utilização de sistemas modernos de irrigação na região do Brasil Central. Esta ferramenta torna possível avaliar a produtividade potencial estacional, permitindo nortear e balizar as intervenções de manejo, a exemplo do estudo de viabilização econômica de sistemas de irrigação para forrageiras.

A modelagem de estimativa de produção de forragem com o uso de unidades fototérmicas foi utilizada com sucesso nos capins elefante cv. Napier (VILLA NOVA et al., 1999), Tanzânia (CUNHA et al., 2008) e *Brachiaria ruziziensis* (VILLA NOVA et al., 2005) em condições ótimas de adubação e disponibilidade hídrica. Desta forma, o objetivo deste trabalho é propor um modelo para o capim Tanzânia sob diferentes lâminas de irrigação e adubação nitrogenada, conforme metodologia empregada por Villa Nova et al. (1999), em diferentes localidades do Brasil.

Material e métodos

Desenvolveu-se um modelo de estimativa de produção de matéria seca do capim *Panicum maximum* Jacq. Cv. Tanzânia sob diferentes lâminas de irrigação e adubação, a partir de unidades fototérmicas e épocas de corte. Os tratamentos foram arrançados em esquema fatorial de 4 x 5, doses de adubação e lâminas de irrigação. O delineamento experimental foi de blocos ao acaso, com quatro repetições para cada período de avaliação. Nos blocos, foram distribuídas aleatoriamente as diferentes lâminas de irrigação L₂₅, L₅₀, L₇₅, L₁₀₀ e L₁₂₅% da ETc da testemunha e doses de nitrogênio D₀, D₃₀, D₆₀, D₁₁₀ e D₂₇₀ kg N ha⁻¹ ciclo⁻¹, totalizando-se 25 tratamentos.

Os dados de produção de MS foram extraídos de um experimento conduzido em casa-de-vegetação telada lateralmente (21 x 22,5 x 3 m) em Piracicaba, Estado de São Paulo. As plantas foram cultivadas em caixas de amianto com capacidade de 500 L com o objetivo de se explorar maior número de tratamentos sem que houvesse a contaminação entre lâminas de irrigação e doses de adubação nitrogenada, otimizando-se a superfície de cobertura da estufa. O volume da caixa foi preenchido com amostras de solo Latossolo Vermelho Amarelo, textura franco-arenosa. O capim Tanzânia foi semeado em área total por sementes. As doses de nitrogênio 0, 60, 110 e 270 kg N ha⁻¹ ciclo⁻¹ foram aplicadas após o corte, nas parcelas, via fertirrigação com nitrato de potássio e nitrato de amônia. O potássio foi aplicado na forma de nitrato de potássio, junto com os tratamentos de N, a fim de se repor o K₂O removido pelos cortes e para se manter os níveis de K na matéria seca em um mínimo de 20 g kg⁻¹. A variação da lâmina de irrigação, representando os tratamentos de déficit hídrico, foi obtida a partir de um percentual da quantidade de água evapotranspirada pela testemunha com 100% de reposição, mantida a capacidade de campo, por meio do monitoramento do potencial mátrico do solo com base em tensiômetros de punção digital. A irrigação teve início quando a média dos tensiômetros, posicionados a 20 cm, registrava valores de potencial matricial entre -0,03 e -0,04 MPa. O corte manual da gramínea foi realizado após período de descanso de 35 dias. A altura de corte foi fixada entre 0,3 e 0,4 m.

Os dados meteorológicos diários (temperatura do ar e fotoperíodo) para o período do experimento foram obtidos da estação meteorológica referência da Esalq-USP. Estes dados foram utilizados para se realizar o ajuste da equação que será apresentada adiante.

Para se estimar a produção de MS em outras regiões do Brasil, utilizaram-se os dados meteorológicos extraídos do software Balanço hídrico – Brasil (SENTELHAS et al., 1999), em que as temperaturas do ar utilizadas são uma média histórica das condições climáticas das regiões estudadas para se calcular a UF e calcularam-se as produções em função das adubações e das disponibilidades hídricas já apresentadas. As cidades escolhidas para estudos foram: Piracicaba, Estado de São Paulo, sede da área experimental; Araçatuba, Estado de São Paulo; São José do Rio Preto, Estado de São Paulo; Goiânia, Estado de Goiás; Aragarças, Estado de Goiás; Catalão, Estado de Goiás; Goiás, Estado de Goiás; Rio Verde, Estado de Goiás; Paranaíba, Estado do Mato Grosso do Sul; Campo Grande, Estado do Mato Grosso do Sul; Sete Lagoas, Estado de Minas Gerais; Uberaba, Estado de Minas Gerais; Montes Claros, Estado de Minas Gerais; Linhares, Estado do Espírito Santo; Barreiras, Estado da

Bahia; Caetitê, Estado da Bahia; Boa Vista, Estado de Roraima; Morada Nova, Estado do Ceará; Picos, Estado do Piauí; Imperatriz, Estado do Maranhão; Porto Nacional, Estado do Tocantins; Cuiabá, Estado do Mato Grosso; Cáceres, Estado do Mato Grosso; Brasília, Distrito Federal, e Petrolina, Estado do Pernambuco.

Unidades fototérmicas

Para determinação da unidade fototérmica (°C dia⁻¹), tem-se a seguinte equação extraída de Villa Nova et al. (1999):

$$UF = \frac{\left(\frac{n}{2} \overline{GD}\right)^{\frac{N_f}{N_i}+1}}{\frac{N_f}{N_i} + 1} \tag{1}$$

em que:

UF é o número de unidades fototérmicas correspondente ao período de n dias de desenvolvimento após a desfolha; N_i e N_f se referem ao fotoperíodo (horas) calculado, em função da declinação solar (dependente do dia do ano) e da latitude local, no dia de corte e no dia final do subperíodo vegetativo, respectivamente; n ao número necessário de dias para que ocorra o acúmulo de massa de matéria seca; e GD ao número de graus-dias (°C dia⁻¹).

O valor de GD pode ser obtido pelas equações (2), (3) e (4).

$$\overline{GD} = (\overline{T} - 15) - C \tag{2}$$

$$\overline{GD} = \frac{(\overline{T_x} - 15)^2}{2(\overline{T_x} - \overline{T_m})} - C \tag{3}$$

em que:

T_x é a média das temperaturas máximas do ar no período; T_m, a média das temperaturas mínimas do ar do período; T, a temperatura média do ar do período, calculada pela média de T_x e T_m e C, a correção de temperatura base superior. A equação (2) será utilizada quando a temperatura mínima for maior que 15°C, que corresponde à temperatura base inferior. Quando T_m for menor que 15°C, deverá ser utilizada a equação (3).

Uma correção da equação de GD (equações 2 ou 3) deve ser feita quando a temperatura média do ar do período (T_m) for maior que 30°C; para isso, utiliza-se a equação (4).

$$C = \frac{(\overline{T_x} - 30)^2}{2(\overline{T_x} - \overline{T_m})} \tag{4}$$

Os valores de N (N_f ou N_i) para qualquer dia do ano pode ser obtido pelas equações (5) e (6):

$$N = 0,13333 \arccos(-\text{tg}\delta.\text{tg}\Phi) \tag{5}$$

$$\delta = 23,45 \text{sen} \left[\frac{360}{365} (DJ - 80) \right] \tag{6}$$

em que:

N é o fotoperíodo (horas), Φ, a latitude local (graus: negativa sul, positiva norte); δ, a declinação solar (graus), e DJ, o dia juliano (nº de ordem a partir de 1º de janeiro).

O estudo de crescimento das gramíneas forrageiras tem demonstrado que estas apresentam, geralmente, uma curva assintótica de crescimento que muitas vezes toma a forma de uma sigmoide quando submetida a cortes drásticos. Assim se espera que a resposta da planta à temperatura do ar e ao fotoperíodo não seja sempre a mesma durante seu desenvolvimento e, portanto, que correlacione produção e unidades fototérmicas (p=f(UF)) não seja linear.

O modelo de produtividade ajustado foi o melhor dentre os testados pelo software TableCurve 3D. Este software fez uma listagem das equações que mais se ajustaram e apresentou a significância de cada coeficiente determinado. A equação (7) foi a selecionada, apresentando um r² de 0,9999, sendo de ótima confiança para estimativa da produção de matéria seca do capim Tanzânia dentro dos limites dos dados de entrada.

$$P = \frac{(a + bUF + cUF^2 + d.Ln(DH) + e.(Ln(DH))^2 + f.(Ln(DH))^3)}{(1 + gUF + hUF^2 + i.Ln(DH) + j.(Ln(DH))^2 + k.(Ln(DH))^3)} \tag{7}$$

em que:

P é a produção de MS (Mg. ha⁻¹); DH, a disponibilidade hídrica [(lâmina aplicada). (lâmina de referência)⁻¹]; UF, a Unidade Fototérmica; a, b, c, d, e, f, g, h, i, j e k são os parâmetros de ajuste determinados pela regressão linear. Todas as variáveis estão relacionadas ao período de um ciclo de n dias.

Resultados e discussão

Análise da influência da disponibilidade hídrica sobre a produção de forragem

A irrigação promoveu aumentos significativos nas produções de massa de forragem para todas as adubações nitrogenadas (Figura 1). Ou seja, independente da dose de adubação utilizada, maiores acúmulos de forragem foram observados nas condições

de maiores disponibilidades hídricas. Esse padrão de variação também foi observado por Barbosa et al. (2007) e Euclides et al. (2007), para o acúmulo de MS em pastagem de capim Tanzânia adubado com 50, 100 e 150 kg de N ciclo⁻¹.

Quando o capim Tanzânia teve sua disponibilidade hídrica de 100% atendida, a produção foi de 39 toneladas ano⁻¹, com média de 3,9 t ciclo⁻¹, valor

próximo ao máximo de Cunha et al. (2008), que encontrou acúmulos de forragem, variando de 1,2 a 4 t ciclo⁻¹ em intervalos de corte de 35 dias durante o período de chuva, para capins do gênero *Panicum maximum* cv. Porém esses valores estão abaixo dos relatados por Sória et al. (2003) que encontraram produções médias de 4,5, 6,0 e 7,0 t de MS ha⁻¹ por pastejo, usando intervalos de pastejo de 28, 38 e 48 dias.

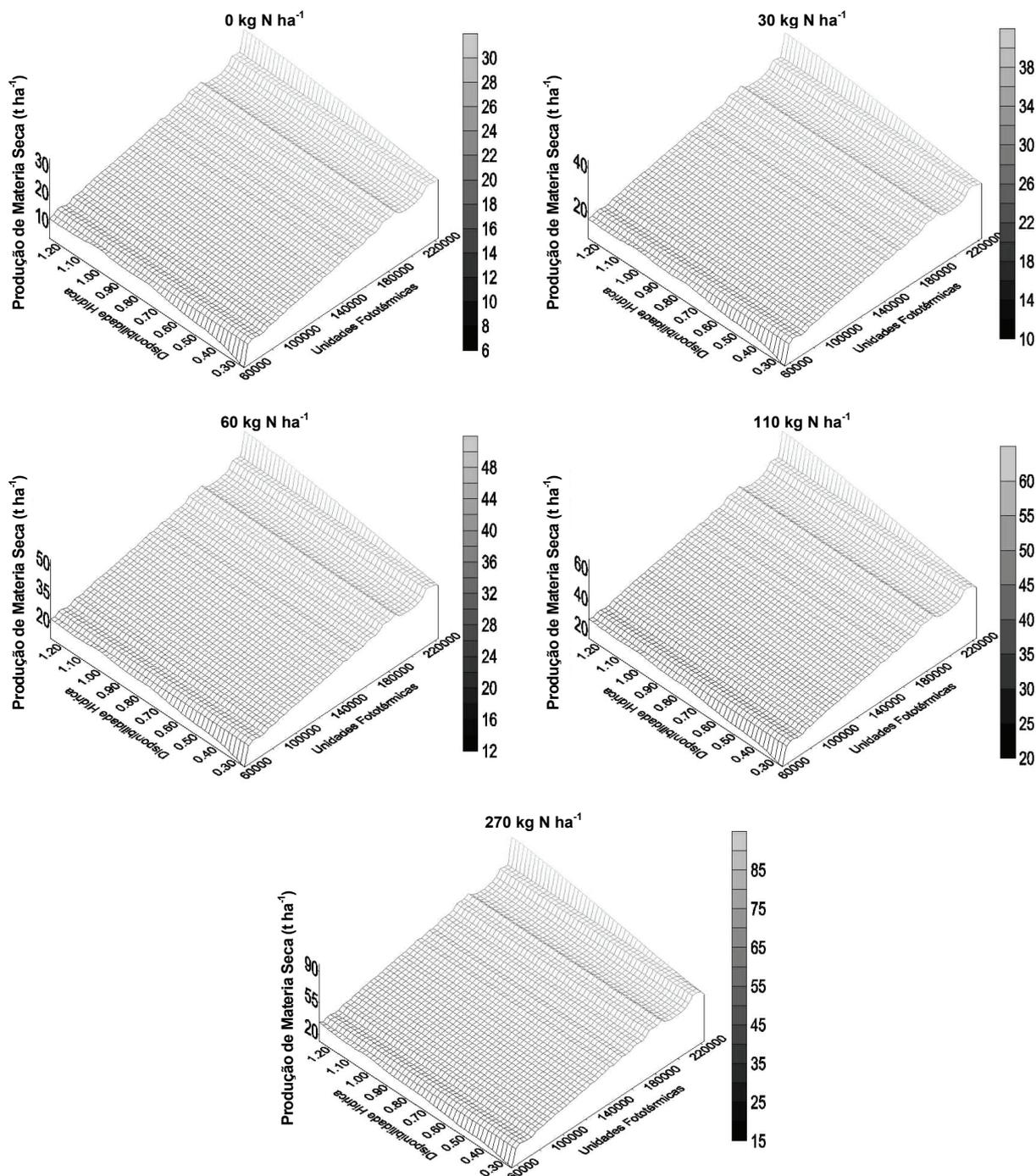


Figura 1. Valores de produção de matéria seca em função das unidades fototérmicas disponíveis e da de disponibilidade hídrica (0,25; 0,50; 0,75; 1,00 e 1,25) sob cinco doses de N (0, 30, 60, 110 e 270 kg ha⁻¹ ciclo⁻¹).

Nos tratamentos com lâminas de irrigação de 25, 50 e 75%, as produções de MS foram 42, 67 e 87% em relação à disponibilidade hídrica plenamente atendida (39,44 t ano⁻¹), sendo coerentes com a literatura citada ao afirmar que a irrigação em capim Tanzânia promove incrementos da ordem de 50%. Porém a produção de MS, nas lâminas de 100 e 125% da ETC da testemunha, não diferiu estatisticamente, o que pode ser atribuído ao fato de o sensor de umidade que determinava a irrigação ficar restrito ao tratamento com L100% da ETC da testemunha. Desse modo não atendeu a real necessidade hídrica do tratamento L125% que apresentava maior potencial de crescimento em função da maior área foliar, principalmente nas maiores doses de adubo nitrogenado.

Porém para condições de baixa disponibilidade de unidades fototérmicas não se observaram incrementos significativos com o aumento da lâmina de irrigação e da adubação nitrogenada, mostrando-se que a deficiência hídrica não é o principal fator limitante da produção de forragem no período de estiagem das regiões produtoras, mas sim a restrição climática causada pela diminuição da temperatura do ar e menor fotoperíodo. Essa baixa disponibilidade de unidades fototérmicas é a responsável pela estacionalidade que compromete a produção pecuária nas regiões de altas e médias latitudes. Essas observações são referendadas pelos trabalhos anteriores de irrigação de pastagens associada à adubação que mostraram que, mesmo em condições hídricas adequadas, a estacionalidade de produção é bastante acentuada (CUNHA et al., 2008; EUCLIDES et al., 2007; VILLA NOVA et al., 2005), em consequência do menor fotoperíodo e da temperatura mais baixa no inverno.

Os fatores temperatura do ar e fotoperíodo não atuam isoladamente na produção do capim e é difícil quantificar sua contribuição individual (VILLA NOVA et al., 2005). A ação conjugada desses fatores sobre o acúmulo de forragem pode ser descrita pela unidade fototérmica, embora estudos, que contemplem maior amplitude de respostas da planta, tanto a variáveis climáticas como os fatores de manejo, sejam necessários para que o uso desse modelo se consolide como ferramenta de planejamento dos sistemas intensificados de produção de forrageiras.

Influência da adubação

O incremento das doses de adubo nitrogenado provocou aumento linear na produção de matéria seca em todas as lâminas de irrigação (Figura 1), alcançando valores máximos de 61,8 t de MS ha⁻¹ (L₁₀₀) e 70,5 t de MS ha⁻¹ (L₁₂₅) para dose de 270 kg de

N ha⁻¹ ciclo⁻¹. Comparando-se os resultados obtidos neste trabalho com os de Sória et al. (2003) e os de Euclides et al. (2007) para as produções obtidas utilizando doses de 30, 60 e 270 kg de N ha⁻¹ ciclo⁻¹, observa-se que de modo geral os valores alcançados de matéria seca são 30% maiores, o que pode ser atribuído ao fato de o experimento ter sido conduzido em estufa em condições controladas e também à aplicação intensiva de potássio, enquanto que os outros estavam em condição de campo.

Com relação à produção de MS o tratamento com 0 kg de N ha⁻¹ não apresentou diferença significativa em função das lâminas de L₇₅, L₁₀₀ e L₁₂₅ (Figura 1). Porém quanto maior a dose de adubação nitrogenada, mais significativo é o efeito da deficiência hídrica na produção de forragem. Sendo assim, quanto mais intensificado for o sistema de produção, maior deverá ser a relação adubação versus irrigação. Observa-se neste tratamento que a produção variou entre 9,3 e 20,3 t de MS ha⁻¹ ciclo⁻¹, valores considerados baixos para se manter um sistema com sustentabilidade econômica. Cadish et al. (1994) estimaram que o déficit anual de nitrogênio pelas gramíneas tropicais é de 60 a 100 kg ha⁻¹ em solos de cerrado. Portanto, para se manter a sustentabilidade da produção, alguma adubação de manutenção se faz necessária e, nesta condição de adubação, a tendência é diminuir ainda mais as produções de MS, pelo esgotamento do N disponível no solo. Sória et al. (2003) observaram que a produção começa a decair muito a partir do terceiro ano quando o efeito da adubação residual do plantio não mais atua, visto que adubações com N em doses menores de que 100 kg por ano são suficientes para se manter a produção de forragem estável apenas por no máximo três anos. A partir do quarto ano de utilização do pasto, faz-se necessário aumentar a dose para quantidades maiores (EUCLIDES et al., 2007).

A produção de forragem não foi incrementada no período de baixa disponibilidade de unidades fototérmicas. Para tanto, alguns autores recomendam que, em produções comerciais, não seja realizada adubação durante esse período, de modo a se diminuir os custos com insumos e concentrar as aplicações de nitrogênio em seis a oito aplicações durante o período climático ótimo (BARBOSA et al., 2007).

Simulação da produção de matéria seca do capim Tanzânia para várias regiões do Brasil

Os modelos foram ajustados para as doses de 0, 30, 60, 110 e 270 kg de N ha⁻¹, doses divididas em aplicações após cada corte, com um ciclo de 35 dias de descanso ao longo do ano, não variando o período

de descanso no inverno, para poderem-se ajustar os parâmetros dos modelos matemáticos para cada dose de adubação nitrogenada. Com isso se obtiveram as funções polinomiais de terceiro grau, parametrizadas (P é a produção t de MS ha^{-1}) para as doses de 0, 30, 60, 110 e 270 kg de N $ha^{-1} ano^{-1}$, nas equações (8), (9), (10), (11) e (12), respectivamente.

Os Modelos de produtividade ajustados, equações (8, 9, 10 e 11), apresentaram r^2 de 0,9999, de boa confiança para estimativa da produção de matéria seca do capim Tanzânia, em função da disponibilidade hídrica e unidade fototérmica local para cinco doses de adubação nitrogenada. Sendo assim, pode-se extrapolar para várias regiões do país a produção de matéria seca do capim Tanzânia.

Conforme pode ser observado na Tabela 1, existe variação da produção de matéria seca de região para região. De modo geral, observa-se que, nas cidades de Porto Nacional, Estado do Tocantins, Imperatriz, Estado do Maranhão, Picos, Estado do Piauí, Cuiabá, Estado do Mato Grosso do Sul, Petrolina, Estado do Pernambuco, Morada Nova, Estado do Ceará e Boa Vista, Estado de Roraima, o potencial de produção de matéria seca, em condições de máxima disponibilidade hídrica e adubação nitrogenada, é maior que 85 t de MS ano^{-1} . Enquanto nas cidades de Piracicaba, Estado de São Paulo, São José do Rio Preto, Estado de São Paulo, Goiânia, Estado de Goiás, Catalão, Estado de Goiás, Rio Verde,

Estado de Goiás, Paranaíba, Estado do Mato Grosso do Sul, Uberaba, Estado de Minas Gerais, e Montes Claros, Estado de Minas Gerais pode alcançar no máximo 55 t de MS ano^{-1} .

O que mais influencia esta diferença são as condições climáticas: temperatura média anual e latitude do município estudado. Este último fator influencia o fotoperíodo, pois em latitudes mais baixas e próximas ao Equador as respostas do capim Tanzânia à irrigação são maiores. Caso em que se incluem as primeiras cidades que estão situadas em latitudes menores que 6° e também pela alta disponibilidade fototérmica anual (maior que 160.000), que se deve ao fato de as temperaturas ficarem mais próximas da faixa ideal, principalmente durante o inverno e na estação seca. Por outro lado, as cidades com menor potencial de produção de MS, cujas latitudes são altas ($> 16^\circ$), os efeitos da temperatura do ar (disponibilidade fototérmica menor que 70.000 por ano) e do fotoperíodo durante o inverno determinam baixos índices de crescimento, mesmo na ausência de déficit hídrico. Assim, uma boa razão para o uso da irrigação e adubação nitrogenada estaria em maximizar o aproveitamento das condições ótimas do período quente e chuvoso (evitando veranicos) na tentativa de se fazer com que as variações estacionais sejam regulares ao longo dos anos, tornando-as previsíveis e, conseqüentemente, menos problemáticas (CUNHA et al., 2008; EUCLIDES et al., 2007).

$$P = \frac{(5,639 + 1,36 \cdot 10^{-4} \cdot UF + 1,39 \cdot 10^{-11} \cdot UF^2 - 8,098 \cdot \ln(DH) - 18,150 \cdot (\ln(DH))^2 - 5,88 \cdot (\ln(DH))^3)}{(1 + 1,38 \cdot 10^{-7} \cdot UF - 5,5 \cdot 10^{-14} \cdot h \cdot UF^2 - 0,474 \cdot \ln(DH) + 0,0195 \cdot (\ln(DH))^2 + 0,0477 \cdot (\ln(DH))^3)} \quad (8)$$

$$P = \frac{(9,065 + 1,70 \cdot 10^{-4} \cdot UF + 6,28 \cdot 10^{-11} \cdot UF^2 - 10,591 \cdot \ln(DH) - 17,779 \cdot (\ln(DH))^2 - 5,165 \cdot (\ln(DH))^3)}{(1 + 1,09 \cdot 10^{-7} \cdot UF - 1,4 \cdot 10^{-13} \cdot h \cdot UF^2 - 0,579 \cdot \ln(DH) + 0,0622 \cdot (\ln(DH))^2 + 0,0570 \cdot (\ln(DH))^3)} \quad (9)$$

$$P = \frac{(11,750 + 2,02 \cdot 10^{-4} \cdot UF + 2,47 \cdot 10^{-12} \cdot UF^2 - 12,834 \cdot \ln(DH) - 17,146 \cdot (\ln(DH))^2 - 4,574 \cdot (\ln(DH))^3)}{(1 + 4,85 \cdot 10^{-8} \cdot UF - 7,3 \cdot 10^{-14} \cdot h \cdot UF^2 - 0,647 \cdot \ln(DH) + 0,104 \cdot (\ln(DH))^2 + 0,0596 \cdot (\ln(DH))^3)} \quad (10)$$

$$P = \frac{(14,465 + 2,56 \cdot 10^{-4} \cdot UF - 2,1 \cdot 10^{-13} \cdot UF^2 - 15,546 \cdot \ln(DH) - 16,012 \cdot (\ln(DH))^2 - 3,88 \cdot (\ln(DH))^3)}{(1 - 4,5 \cdot 10^{-9} \cdot UF + 7,61 \cdot 10^{-15} \cdot h \cdot UF^2 - 0,720 \cdot \ln(DH) + 0,166 \cdot (\ln(DH))^2 + 0,0557 \cdot (\ln(DH))^3)} \quad (11)$$

$$P = \frac{(8,362 + 4,30 \cdot 10^{-4} \cdot UF + 1,9 \cdot 10^{-12} \cdot UF^2 - 12,026 \cdot \ln(DH) - 16,0021 \cdot (\ln(DH))^2 - 3,157 \cdot (\ln(DH))^3)}{(1 - 2,8 \cdot 10^{-8} \cdot UF + 5,13 \cdot 10^{-14} \cdot h \cdot UF^2 - 0,834 \cdot \ln(DH) + 0,285 \cdot (\ln(DH))^2 + 0,0167 \cdot (\ln(DH))^3)} \quad (12)$$

Tabela 1. Valores de produção de matéria seca do capim Tanzânia em função das unidades fototérmicas disponíveis e doses de 0, 30, 60, 110 e 270 kg de N ha⁻¹ ciclo⁻¹ sob cinco condições de disponibilidade hídrica (0,25; 0,50; 0,75; 1,00 e 1,25), simuladas pelos modelos apresentados anteriormente.

Cidades	Sem adubação nitrogenada					30 kg de N por ha por ciclo					60 kg de N por ha por ciclo					110 kg de N por ha por ciclo					270 kg de N por ha por ciclo				
	0,25	0,50	0,75	1,00	1,25	0,25	0,50	0,75	1,00	1,25	0,25	0,50	0,75	1,00	1,25	0,25	0,50	0,75	1,00	1,25	0,25	0,50	0,75	1,00	1,25
Disponibilidade Hídrica	0,25	0,50	0,75	1,00	1,25	0,25	0,50	0,75	1,00	1,25	0,25	0,50	0,75	1,00	1,25	0,25	0,50	0,75	1,00	1,25	0,25	0,50	0,75	1,00	1,25
Piracicaba - SP	5	10	14	15	14	8	15	19	21	20	12	19	23	26	25	15	23	29	32	33	12	23	32	38	41
Araçatuba - SP	9	15	20	21	21	13	21	26	29	29	17	25	31	35	36	21	31	39	44	47	20	35	48	58	66
S. J. Rio Preto - SP	8	15	19	20	20	12	20	25	27	28	16	24	30	34	35	20	30	37	42	45	19	33	45	55	63
Goiânia - GO	7	13	17	19	18	11	19	23	26	25	15	23	28	31	32	19	28	35	40	42	17	31	42	51	57
Aragarças - GO	11	18	23	25	25	15	24	30	33	34	19	29	36	40	42	24	35	44	51	55	24	42	57	69	80
Catalão - GO	5	11	14	15	14	9	15	20	21	21	12	19	24	26	26	16	24	30	33	34	13	24	33	39	43
Goiás - GO	10	17	22	24	24	15	23	29	32	33	19	28	35	39	41	23	34	43	49	53	23	40	55	67	77
Rio Verde - GO	6	12	16	17	16	10	17	21	23	22	13	21	26	28	28	17	25	32	35	37	14	27	36	44	49
Paranaíba - MS	7	14	18	20	19	12	19	24	26	26	15	23	29	32	33	19	29	36	41	43	18	32	43	53	59
Campo Grande - MS	6	13	16	18	17	10	17	22	24	24	14	22	27	30	30	18	27	33	37	39	15	28	39	47	52
Sete Lagoas - MG	9	15	20	21	21	13	21	26	29	29	17	25	32	35	37	21	31	39	44	47	20	35	48	59	67
Uberaba - MG	5	11	14	15	14	9	15	20	21	20	12	19	24	26	26	16	24	30	33	34	13	24	33	39	43
Montes Claros - MG	6	12	15	17	15	10	16	21	23	22	13	20	25	28	28	17	25	31	35	36	14	26	36	43	48
Linhares - ES	8	14	18	20	19	12	19	24	27	27	16	24	30	33	34	20	29	37	41	44	18	32	44	54	61
Barreiras - BA	9	16	21	22	22	14	22	27	30	30	17	26	33	37	38	22	32	41	46	49	21	37	51	62	71
Caetitê - BA	4	9	13	13	12	7	14	17	19	18	11	17	22	23	23	14	21	27	29	29	10	20	28	33	36
Boa Vista - RR	17	25	31	35	35	22	32	40	45	48	27	39	48	55	59	32	47	59	69	77	36	60	81	101	117
Morada Nova - CE	15	22	28	31	31	20	29	36	40	42	24	35	43	49	52	29	42	53	62	68	31	52	71	88	102
Picos - PI	18	26	32	36	37	23	33	41	47	49	28	40	49	57	61	33	49	61	71	79	37	62	84	104	122
Imperatriz - MA	15	22	28	31	31	20	29	36	40	42	24	35	43	49	52	29	42	53	62	68	31	52	72	88	102
Porto Nacional - TO	14	21	27	29	30	19	28	34	39	40	23	33	41	47	50	28	41	51	59	65	29	50	68	84	97
Cuiabá - MT	13	20	25	28	28	18	26	33	37	38	22	32	39	45	47	26	39	49	56	61	27	47	64	79	91
Cáceres - MT	12	19	24	26	26	16	25	31	34	36	20	30	37	42	44	25	37	46	53	57	25	44	60	73	84
Brasília - DF	3	9	12	13	12	7	13	17	19	17	10	17	21	23	22	14	21	26	29	29	10	20	27	32	35
Petrolina - PE	14	22	27	30	30	19	28	35	39	41	23	34	42	48	51	28	41	52	60	66	30	51	70	86	99

As diferenças de potencial de produção observadas para as cidades de Barreiras e Caetitê no Estado da Bahia; entre Piracicaba e Araçatuba em São Paulo; e entre Sete Lagoas e Uberaba em Minas Gerais, todas umas próximas às outras e com latitudes semelhantes, devem-se ao efeito das diferenças de altitude local, pois nas cidades de maiores altitudes (Catité, Piracicaba e Uberaba) ocorrem temperaturas mínimas baixas, limitando-se a disponibilidade fototérmica. Além do que essas regiões apresentam temperaturas mínimas menores do que a temperatura base do capim Tanzânia (15°C) durante quase todo o inverno.

Dentre as cidades com alto potencial de produção de MS, as cidades de Petrolina, Morada Nova e Picos estão situadas na região do polígono das secas do Nordeste brasileiro e são caracterizadas por precipitações anuais inferiores a 800 mm; nestas condições, a irrigação passa a ser imprescindível para se atender grande parte da demanda hídrica do capim Tanzânia, a qual exige 1.350 mm ano bem distribuídos. Além do que, essas regiões apresentam altas disponibilidades fototérmicas pelas temperaturas quentes durante praticamente todo o ano. As regiões de Porto Nacional, Boa Vista e Imperatriz apresentam precipitações anuais superiores a 1.400 mm, porém apresentam irregularidades de distribuição ao longo do ano, concentrando-se em oito meses do ano, com estiagem no período mais quente. Embora Cuiabá

esteja situada nas altas latitudes, sua disponibilidade fototérmica é alta pelas altas temperaturas médias ao longo do ano (por volta de 30°C), o que lhe confere alta capacidade de produção de MS de capim Tanzânia.

A decisão de adotar ou não a prática da irrigação em pastagens, principalmente durante o período seco do ano, depende da análise econômica do contexto em que está inserida. Embora proporcione pouca vantagem quanto à distribuição estacional da produção, o pequeno incremento na produção, aliado à melhora na eficiência de fertilizantes nitrogenados, pode ser compensador. Para tanto, estudos de viabilidade econômica, em diferentes cenários, são imprescindíveis.

Bancos de dados mais abrangentes, que contemplam a máxima variabilidade climática e outras espécies de capim, são necessários para que o modelo de unidades fototérmicas se estabeleça com ferramenta de planejamento de produção e manejo do pastejo. A representatividade das condições encontradas em sistemas de produção fará com que o uso dos modelos não se restrinja às condições do lugar ou da época em que foram gerados.

Conclusão

Os Modelos apresentaram boa confiança (r² de 0,9999) para estimativa da produção de matéria seca do capim Tanzânia, e, nas cidades de Porto

Nacional, Estado do Tocantins, Imperatriz, Estado do Maranhão, Picos, Estado do Piauí, Cuiabá, Estado do Mato Grosso do Sul, Petrolina, Estado do Pernambuco, Morada Nova, Estado do Ceará e Boa Vista, Estado de Roraima, o potencial de produção de matéria seca é maior que 85 t de MS ano⁻¹, em condições de máxima disponibilidade hídrica e adubação nitrogenada (lâmina de irrigação de 100% da ETc e doses de 270 kg de N ha⁻¹ ciclo).

Referências

- BARBOSA, R. A.; NASCIMENTO JÚNIOR, D.; EUCLIDES, V. P. B.; SILVA, S. C.; ZIMMER, A. H.; TORRES JÚNIOR, R. A. A. Capim-tanzânia submetido a combinações entre intensidade e frequência de pastejo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 42, n. 3, p. 329-340, 2007.
- BONHOMME, R. Bases and limits to using degree day units. **European Journal of Agronomy**, v. 13, n. 1, p. 1-10, 2000.
- CADISH, G.; SCHUNKE, R. M.; GILLER, K. E. Nitrogen cycling in a pure grass pasture and grass-legume mixture on a Red Latosol in Brasil. **Tropical Grassland**, v. 28, p. 43-52, 1994.
- 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.
- EUCLIDES, V. P. B.; MACEDO, M. C. M.; ZIMMER, A. H.; MEDEIROS, R. N.; OLIVEIRA, M. P. Características do pasto de capim-tanzânia adubado com nitrogênio no final do verão. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 42, n. 8, p. 1189-1198, 2007.
- SENTELHAS, P. C.; PEREIRA, A. R.; MARIN, F. R.; ANGELOCCI, L. R.; ALFONSI, R. R.; CARAMORI, P. H.; SWART, S. **Balances hídricos climatológicos do Brasil**. Piracicaba: Departamento de Ciências Exatas, Esalq-USP, 1999. (Boletim técnico).
- SÓRIA, L. G. T.; COELHO, R. D.; HERLING, V. R.; PINHEIRO, V. Resposta do capim Tanzânia a aplicação do nitrogênio e de lâminas de irrigação. I: Produção de forragem. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 7, n. 3, p. 430-436, 2003.
- STONE, P. J.; SORENSEN, I. B.; JAMIESON, P. D. Effect of soil temperature on phenology, canopy development, biomass and yield of maize in a cool-temperature climate. **Field Crops Research**, v. 48, n. 2, p. 169-178, 1999.
- VILLA NOVA, N. A.; BARIONI, L. G.; PEDREIRA, C. G.; PEREIRA, A. R. Modelo para previsão de produtividade do capim elefante cv. Napier em função da temperatura do ar, fotoperíodo e frequência de desfolha. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, v. 7, n. 1, p. 75-79, 1999.
- VILLA NOVA, N. A.; DETOMINI, E. R.; DOURADO NETO, D.; PILAU, F. G.; PEDREIRA, C. G. S. Avaliação da produtividade potencial de *Brachiaria ruziziensis* (Germain & Evard) em função de unidades fototérmicas. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, v. 13, n. 3, p. 443-449, 2005.

Received on September 2, 2008.

Accepted on April 24, 2009.

License information: This is an open-access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution License, which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.