**Universidade de São Paulo
Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”**

**Produção de forragem em *Brachiaria brizantha*: adaptação, geração e
avaliação de modelos empíricos e mecanicistas para estimativa do acúmulo de
forragem**

Pedro Gomes da Cruz

Tese apresentada para obtenção do título de Doutor em
Ciências. Área de concentração: Ciência Animal e Pastagens

**Piracicaba
2010**

Pedro Gomes da Cruz
Engenheiro Agrônomo

Produção de forragem em *Brachiaria brizantha*: adaptação, geração e avaliação de modelos empíricos e mecanicistas para estimativa do acúmulo de forragem

Orientador:
Prof. Dr. **PATRICIA MENEZES SANTOS**

Tese apresentada para obtenção do título de Doutor em Ciências. Área de concentração: Ciência Animal e Pastagens

Piracicaba
2010

**Dados Internacionais de Catalogação na Publicação
DIVISÃO DE BIBLIOTECA E DOCUMENTAÇÃO - ESALQ/USP**

Cruz, Pedro Gomes da

Produção de forragem em *Brachiaria brizantha*: adaptação, geração e avaliação de modelos empíricos e mecanicistas para estimativa do acúmulo de forragem / Pedro Gomes da Cruz. - - Piracicaba, 2010.
102 p. : il.

Tese (Doutorado) - - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", 2010.

1. Brachiaria 2. Capim marandu 3. Forragem - Produção 4. Gramíneas forrageiras 5. Simulação - Modelos I. Título

CDD 636.0855
C957p

"Permitida a cópia total ou parcial deste documento, desde que citada a fonte – O autor"

À minha querida e amada noiva Keityane Boone Bergamaschi pelo amor e paciência

OFEREÇO.

Aos meus pais Adão Vicente da Cruz e Ercília Almeida Gomes da Cruz

DEDICO.

AGRADECIMENTOS

A Deus, pela oportunidade desse momento e ter chegado ao final dessa jornada com vida e saúde.

Aos meus pais, pela paciência e pelo grande amor, mesmo distantes. Muito obrigado!

Às minhas queridas irmãs Lindaní, Paz, Solange e Guia e aos sobrinhos Felipe, Clarinha, Letícia e Manuel Henrique pelo grande carinho e incentivo dessa longa jornada.

Ao meu amor Keity, por estar sempre ao meu lado nos momentos felizes e difíceis.

À minha orientadora Patricia Menezes Santos pela confiança concedida, pela sua sabedoria e sensibilidade em ensinar e orientar e pelo seu grande profissionalismo. Muito obrigado!

À Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz” e ao Departamento de Zootecnia pela oportunidade de realizar o Doutorado.

À Embrapa Pecuária Sudeste pelo suporte de área, equipamentos e funcionários para realização deste trabalho.

Aos pesquisadores Patricia Perondi Anchão de Oliveira, Francisco Humberto Dübbern Souza, José Ricardo Macedo Pezzopane, Fábio Marin e Luís Gustavo Barioni pelas sugestões e dúvidas solucionadas na condução deste trabalho.

Aos professores Carlos Guilherme Silveira Pedreira, Sila Carneiro da Silva, Patricia Menezes Santos, Moacir Corsi, Carlos Alberto Vettorazzi, Rubens Angulo Filho, Irineu Umberto Packer (*in memoriam*), Durval Dourado Neto e Ricardo Ferraz de Oliveira pelos ensinamentos como docentes.

Ao casal Luiz e Adália (sogro e sogra) e Flaulles e Eliane (cunhado e cunhada) pelo grande carinho e apoio em todos os momentos.

Ao amigo e cunhado “João de Guia”, juntamente com Jaques e Ana, pelo companheirismo e incentivo.

Aos amigos Leandro, Nino, Ana Clara, Vinícius e Renan pela ajuda na realização deste trabalho e pela convivência nos momentos difíceis e de grande felicidade.

Aos colegas que fiz nesta escola Jorge, Marcio, Bruno, Felipe, Diego, Aliedson, Davi, Adenilson, Priscila e Lilian.

Aos funcionários e amigos da Embrapa Pecuária Sudeste Mineiro, Amadeu, Fábio Júnior, José, Luiz e Jorge pelo grande apoio nos trabalhos de campo.

Ao CNPq pela bolsa e auxílio financeiro para realização deste trabalho.

Ao meu cachorro “Nino”, pela tentativa de compreensão nos momentos alegres e difíceis.

A todos, os meus sinceros agradecimentos.

SUMÁRIO

RESUMO.....	11
ABSTRACT.....	13
1 INTRODUÇÃO.....	15
Referências.....	16
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	17
2.1 O gênero <i>Brachiaria Brizantha</i> cv. Marandu, Xaraés e Piatã.....	17
2.2 Determinantes ambientais da produção de forragem.....	18
2.2.1 Efeito da radiação no crescimento.....	19
2.2.2 Efeito da temperatura no crescimento.....	20
2.2.3 Efeito da disponibilidade hídrica.....	21
2.3 Modelos empíricos e mecanicistas.....	22
Referências.....	25
3 DETERMINAÇÃO DE FATORES QUE INTERFEREM NA PARTIÇÃO DE MASSA SECA AÉREA EM <i>Brachiaria brizantha</i>	29
Resumo.....	29
Abstract.....	29
3.1 Introdução.....	30
3.2 Material e métodos.....	32
3.2.1 Delineamento experimental.....	33
3.2.2 Preparo da área experimental.....	33
3.2.3 Avaliações realizadas.....	34
3.2.3.1 Acúmulo de forragem.....	34
3.2.3.2 Índice de área foliar e área foliar específica.....	35
3.2.3.3 Altura do meristema apical e altura de plantas.....	35
3.2.3.4 Análise do estágio de desenvolvimento do perfilho.....	35
3.2.4 Análise da variância.....	36
3.3 Resultados.....	37
3.3.1 Efeito do corte sobre a produção e partição de matéria seca em cultivares de <i>Brachiaria Brizantha</i>	37
3.3.1.1 Área foliar específica e índice de área foliar.....	39

3.3.2 Acúmulo de forragem e partição de massa seca em cultivares de <i>Brachiaria</i> <i>Brizantha</i> sob frequência de corte de 35 dias ao longo do ano.....	43
3.3.2.1 Índice de área foliar.....	47
3.3.3 Altura de plantas, altura do meristema e estágio de desenvolvimento do meristema apical.....	48
3.4 Discussão.....	50
3.4.1 Efeito do corte.....	50
3.4.2 Efeito climático.....	52
3.4.2.1 Acúmulo de forragem.....	52
3.4.2.2 Partição.....	52
3.4.2.3 Índice de área foliar.....	53
3.4.2.4 Desenvolvimento reprodutivo.....	54
3.5 Conclusão.....	55
Referências.....	55
4 MODELOS EMPÍRICOS PARA A ESTIMATIVA DE ACÚMULO DE MASSA SECA DE <i>Brachiaria brizantha</i> CV. MARANDU UTILIZANDO VARIÁVEIS AGROCLIMÁTICAS.....	61
Resumo.....	61
Abstract.....	61
4.1 Introdução.....	62
4.2 Material e métodos.....	63
4.3 Resultados e discussão.....	68
4.3.1 Teste dos modelos agroclimáticos.....	72
4.3.2 Curva de estacionalidade de produção.....	76
4.4 Conclusão.....	77
Referências.....	77
5 ADAPTAÇÃO E COMPARAÇÃO DOS MODELOS CROPGRO E GRAZPLAN PARA ESTIMATIVA DE PRODUÇÃO DE MATÉRIA SECA DA <i>Brachiaria brizantha</i> CV. MARANDU.....	81
Resumo.....	81
Abstract.....	81

5.1 Introdução.....	82
5.2 Material e métodos.....	83
5.2.1 Modelos CROPGRO e GRAZPLAN.....	84
5.2.2 Teste dos modelos mecanicistas.....	85
5.3 Resultados e discussão.....	86
5.3.1 Parametrização do modelo CROPGRO.....	86
5.3.2 Parametrização do modelo AUSFARM.....	88
5.3.3 Teste dos modelos.....	95
5.4 Conclusão.....	98
Referências.....	98

RESUMO

Produção de forragem em *Brachiaria brizantha*: adaptação, geração e avaliação de modelos empíricos e mecanicistas para estimativa do acúmulo de forragem

As gramíneas forrageiras representam plantas de grande interesse econômico. Diversas são as espécies tropicais que apresentam-se como opções para a formação de pastagens no Brasil, desta forma objetivou-se neste trabalho a determinação de fatores que devem ser considerados em modelos para a predição da produção de forragem em cultivares de *Brachiaria brizantha*; gerar e testar modelos empíricos para a predição da taxa de acúmulo de matéria seca no capim-marandu; e parametrizar e comparar modelos mecanicistas, na estimativa de produção de matéria seca do capim-marandu. Para isso, foi conduzido um experimento no campo experimental da Embrapa Pecuária Sudeste, localizada no município de São Carlos – SP. O delineamento experimental utilizado foi em blocos completos inteiramente casualizado com quatro repetições. Os cultivares de *Brachiaria brizantha* cv. Marandu, Xaraés e Piatã foram avaliados em crescimento livre e com frequência de corte a cada 35 dias, em esquema fatorial 3x2. Foram avaliados: acúmulo de forragem, índice de área foliar (IAF), área foliar específica (AFE), altura do meristema apical, altura de plantas e estágio de desenvolvimento do perfilho. O corte influenciou a massa seca de forragem acumulada por corte acima do resíduo em todos os cultivares de *B. brizantha*, sendo que o cultivar Xaraés apresentou o maior acúmulo quando comparado aos cultivares Marandu e Piatã. Na avaliação da AFE, houve efeito de cultivar, onde o cultivar Piatã apresentou a menor média ($136,3 \text{ cm}^2.\text{g}^{-1}$), entretanto, os cultivares Marandu e Xaraés foram semelhantes ($163,6$ e $156,7 \text{ cm}^2.\text{g}^{-1}$; $P>0,05$). O corte não influenciou nos valores de AFE, mas a AFE diminuiu ao longo do tempo. No acúmulo de forragem ao longo do ano, destacou-se o cultivar Xaraés quando comparado aos cultivares Marandu e Piatã (25.539 contra 18.148 e $19.292 \text{ kg MS.ha}^{-1}.\text{ano}^{-1}$). O IAF acima do resíduo apresentou altas correlações com o acúmulo de forragem ao longo do ano com valores de r de $0,95$, $0,93$ e $0,94$ para os cultivares Marandu, Piatã e Xaraés, respectivamente ($P<0,0001$). A partição de massa seca da parte aérea foi influenciada pelo corte e pelas variações estacionais de temperatura e luminosidade. Em todos os cultivares foram observados períodos de juvenilidade, sendo um importante fator a ser considerado em modelos envolvendo o crescimento de *Brachiaria brizantha*. A abordagem de modelos empíricos mostrou-se uma alternativa prática e viável, capaz de estimar a produção de forragem. O modelo que relacionou a variável climática de graus-dias corrigida pela relação ETR/ETP apresentou a melhor predição da taxa média de acúmulo de matéria seca para a cidade de São Carlos. O CROPGRO apresentou subestimativas na produção de matéria seca nos diferentes anos, principalmente no período de primavera/verão, responsável pelas maiores produções. Já o GRAZPLAN simulou satisfatoriamente as produções de massa seca, estimando valores bem próximos aos valores reais de produção, tanto no período de menor produção (outono/inverno) quanto no período de maior produção (primavera/verão).

Palavras-chave: Modelos empíricos e mecanicistas; CROPGRO; GRAZPLAN

ABSTRACT

Forage production *Brachiaria brizantha*: adaptation, generation and evaluation of empirical and mechanistic models to estimate the forage accumulation

The grasses represent plants of great economic interest. Several tropical species that are presented as options for pasture establishment in Brazil, so the objective of this work is to determine the factors that should be considered in models for prediction of forage in *Brachiaria brizantha* generate and test empirical models for predicting the rate of dry matter accumulation in Marandu grass, and parameterize and compare mechanistic models to estimate the dry matter production of Marandu grass. For this, an experiment was conducted at Embrapa Southeast Cattle, located in São Carlos - SP. The experimental design was randomized complete block with four replications. The cultivars of *Brachiaria brizantha* cv. Marandu, Xaraés and Piatã were valued at free growth and with a cut each 35 days in a factorial 3x2. It was evaluated: herbage accumulation, leaf area index (LAI), at specific leaf area (SLA), height of apical meristem, plant height and tiller growth stage. The cut affected the herbage dry matter accumulated by cutting up the residue in all cultivars of *B. brizantha*, and the Xaraés cultivar showed the greatest accumulation when compared to the cultivars Marandu and Piatã. In the evaluation of ERA, there was no effect of cultivar, where the Piatã had the lowest average ($136,3 \text{ cm}^2 \cdot \text{g}^{-1}$), however Xaraés and Marandu cultivars were similar ($163,6$ and $156,7 \text{ cm}^2 \cdot \text{g}^{-1}$, $P > 0.05$). The cut did not affect the values of AFE, but the SLA has decreased over time. In herbage accumulation over the years, the highlight was the cultivar Xaraés compared to cultivars Marandu and Piatã ($25,539$ against $18,148$ and $19,292 \text{ kg MS} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{year}^{-1}$). LAI above the residue showed a high correlation with herbage accumulation over the years with r values of $0,95$, $0,93$ and $0,94$ for cultivars Marandu, Piatã and Xaraés, respectively ($P < 0,0001$). The partitioning of dry mass of shoots was influenced by the cut and the seasonal variations in temperature and luminosity. In all cultivars were observed periods of juvenility, being an important factor to be considered in models involving the growth of *Brachiaria brizantha*. The approach of empirical models proved to be a practical and viable alternative, capable of estimating forage production. The model relating the variable climate of degree-days adjusted by the ratio AE/PE showed the best prediction of the rate of accumulation of dry matter to the city of São Carlos. The CROPGRO had underestimated the dry matter production in different years, especially during the spring/summer, responsible for higher yields. Already the GRAZPLAN simulated satisfactorily dry mass production, estimating values very close to the real values of production, both in periods of low production (fall/winter) and in the period of peak production (spring/summer).

Keywords: Empirical and mechanistic models; CROPGRO; GRAZPLAN

1 INTRODUÇÃO

As gramíneas forrageiras representam plantas de grande interesse econômico. Diversas são as espécies tropicais que se apresentam como opções para a formação de pastagens no Brasil. As do gênero *Brachiaria* têm-se firmado pela capacidade de adaptação às diversas condições ambientais e de manejo da pastagem. Nas últimas décadas, alguns cultivares da *Brachiaria brizantha* foram selecionados como o cultivar Marandu, o Xaraés e o Piatã, novas opções de materiais forrageiros para a exploração dos ecossistemas pastoris.

O Brasil apresenta grandes extensões de pastagens cultivadas levando à necessidade de se conhecer melhor a disponibilidade dos fatores ambientais, as características ecológicas e fenológicas das plantas a serem cultivadas e suas interações. Nesse contexto, os modelos apresentam-se como ferramentas de grande importância, integrando tecnologia computacional junto aos conhecimentos adquiridos sobre as culturas ao longo dos anos. Dessa forma, os modelos auxiliam na interpretação de dados relacionados ao crescimento, desenvolvimento e produtividade de diversas culturas e na compreensão e organização dos conceitos (HERNÁNDEZ; SOTO; CABALLERO, 2009).

Os modelos de simulação podem ser distribuídos em dois grandes grupos, os empíricos e os mecanicistas. Os modelos empíricos são descritivos e originam-se de dados observados sem envolver os processos fisiológicos. Em contrapartida, os modelos mecanicistas envolvem os processos fisiológicos da cultura como fotossíntese, formação do índice de área foliar, respiração e eficiência na utilização da radiação (VILLEGAS et al., 2004). Entretanto, quanto maior a complexidade de um modelo (mecanicistas), maior é a necessidade de se conhecer os fatores que interferem nos processos fisiológicos da planta.

Dessa forma, objetivou-se neste trabalho a determinação de fatores que devem ser considerados em modelos para a predição da produção de forragem em cultivares de *Brachiaria brizantha*; gerar e testar modelos empíricos de regressão linear para a predição da taxa de acúmulo de matéria seca, e parametrizar e comparar modelos mecanicistas, na estimativa de produção de matéria seca do cultivar Marandu.

Referências

HERNÁNDEZ, N.; SOTO, F.; CABALLERO, A. Modelos de simulación de cultivos. Características y usos. **Cultivos Tropicales**, La Habana, v. 30, n. 1, p. 73-82, 2009.

VILLEGAS, J.R.; HERNÁNDEZ, V.A.G.; SALAZAR, J.A.C.; MUÑOZ, M.L.; CASTILLO, F.S.D.; ENCISO, T.O. Modelos empíricos del crecimiento y rendimiento de tomate podado a tres racimos. **Revista Fitotecnia Mexicana**, Chapingo, v. 27, n. 1, p. 63-67, 2004.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 O gênero *Brachiaria brizantha* cv. Marandu, Xaraés e Piatã

As gramíneas do gênero *Brachiaria* originaram-se do leste da África e hoje representam um marco na pecuária brasileira, pois ocupam grandes áreas em todo território nacional. O gênero contém mais de 100 espécies distribuídas principalmente nos trópicos (VALLE; MILLES, 1994). Diversas são as espécies de gramíneas forrageiras tropicais que se apresentam como opções para a formação de pastagens no Brasil. As do gênero *Brachiaria* têm-se firmado pela capacidade de adaptação às diversas condições ambientais e de manejo da pastagem. A *Brachiaria brizantha* é uma espécie cosmopolita, originária da África e apresenta grande diversidade de tipos. É descrita como uma planta perene, cespitosa, muito robusta, lâminas foliares linear-lanceoladas, com colmos iniciais prostados, mas produzindo perfilhos predominantemente eretos (SOARES FILHO, 1994).

Em 1977 a *Brachiaria brizantha* cv. Marandu (capim-marandu) foi incluída no processo de avaliação de plantas forrageiras da Embrapa Gado de Corte e da Embrapa Cerrados. Em 1984 lançaram o cultivar Marandu como uma alternativa para a diversificação das espécies forrageiras utilizadas na pecuária (NUNES; BOOK; PENTEADO, 1984). Com a substituição das pastagens nativas por pastagens cultivadas e o aparecimento da cigarrinha das pastagens, a *B. brizantha* tornou-se a espécie forrageira considerada ideal para a exploração pecuária nos Cerrados.

O capim-marandu é um dos cultivares forrageiros mais utilizados nas áreas de pastagens para pecuária no Brasil Central, em função das suas características, como tolerância à restrição na fertilidade do solo, resistência à cigarrinha das pastagens, elevada produtividade quando devidamente adubada e manejada (ANDRADE; VALENTIM, 2007). Estima-se que de 50-60% das áreas de pastagens cultivadas estejam ocupadas com essa gramínea, na região Centro-Oeste (MACEDO, 2005). Na região Norte, as estimativas são de aproximadamente 65% (DIAS FILHO; ANDRADE, 2005).

Após o lançamento bem-sucedido do capim-Marandu em 1984, pesquisadores da Embrapa Cerrado e Embrapa Gado de Corte lançaram, em 2003, a *B. brizantha* cv. Xaraés. Esse cultivar foi coletado no Burundi, África, apresentando características de uma planta cespitosa, folha lanceolada e longa e de coloração verde-escura. Seus principais atributos positivos são a alta produtividade, especialmente de folhas, rápida rebrota e florescimento tardio, prolongando o

período de pastejo nas águas, além de alto valor nutritivo e alta capacidade de suporte resultando em maior produtividade animal quando comparado ao cultivar Marandu (VALLE; EUCLIDES; MACEDO, 2001).

O cultivar Piatã foi resultado de uma seleção a partir do material coletado na década de 80 na região de Welega, na Etiópia, África, sendo lançada em 2007. É uma planta de crescimento ereto e cespitoso, de porte médio, com colmos verdes e finos. As bainhas foliares têm poucos pêlos e a lâmina foliar é glabra. É uma opção para a diversificação das pastagens, tendo produção de forragem de melhor qualidade do que os cv. Marandu e Xaraés, maior acúmulo de folhas e tolerância a solos com má drenagem que o cv. Marandu, bem como maior aptidão para o pastejo diferido do que o cv. Xaraés (EMBRAPA-CNPQC, 2010).

A capacidade de produção da pastagem esta intrinsecamente relacionada às condições de ambiente prevaletentes na área e às praticas de manejo adotadas, sendo assim, fatores como a temperatura, luminosidade, água e nutrientes condicionam o potencial fotossintético do dossel, em decorrência de alterações na área foliar e na capacidade fotossintética da planta (MARCELINO et al., 2006). Essas variáveis de ambiente são responsáveis pela distribuição territorial das diferentes espécies forrageiras e influenciam de maneira direta a produtividade das pastagens.

2.2 Determinantes ambientais da produção de forragem

Durante o período de um ano, vários eventos climáticos ocorrem no planeta Terra, dentre eles pode-se observar: variações de temperaturas, umidade relativa do ar, precipitações, fotoperíodo, velocidade dos ventos, qualidade da luz, dentre outros. Estes eventos são induzidos, principalmente, pelos movimentos de rotação e translação da Terra, em sua posição (Terra-Sol) no sistema solar (LARCHER, 2000; PEREIRA, et al., 2002). Dessa forma, quatro estações ao longo do ano ficam definidas, com suas respectivas características, sendo as estações equivalentes ao: verão, outono, inverno e primavera, podendo estas, serem mais evidenciadas de acordo com a posição geográfica (latitude e longitude). Enquanto o verão proporciona temperaturas e índices pluviométricos elevados, e, por isso, altas taxas de evapotranspiração, já no inverno pode-se observar um fotoperíodo mais curto, temperaturas noturnas menores e a baixa umidade relativa do ar, consequência da menor pluviosidade, podendo limitar o crescimento das

gramíneas tropicais, gerando assim um padrão estacional de produção que será mais ou menos acentuado de acordo com o genótipo (VALLE et al., 2001).

Os fatores climáticos exercem grande impacto sobre as variações no ritmo de crescimento das plantas. Dentre os fatores determinantes da produção de forragem, a temperatura do ar, a radiação solar e precipitação são consideradas as principais. Essas variáveis ambientais são de extrema importância para os processos de crescimento e senescência dos tecidos vegetais, alterando a taxa de aparecimentos de folhas, perfilhamento, florescimento, alongamento foliar e, conseqüentemente, o manejo da planta forrageira (NABINGER; PONTES, 2001).

2.2.1 Efeito da radiação no crescimento

O nível de irradiância é o principal fator ecológico que influencia o crescimento dos vegetais. Entretanto, apesar de sua grande importância, estima-se que menos de 1 % da energia solar incidente anualmente na superfície terrestre seja transformada em energia química pela vegetação (NABINGER; PONTES, 2001). Os vegetais respondem aos diferentes níveis de irradiância por meio de adaptação genética e aclimação fenotípica. O nível total de irradiância e o fotoperíodo, a composição do espectro e a direção da luz (fototropismo) afetam o crescimento da planta (LAMBERS; CHAPIN; PONS, 2008).

Plantas que crescem em ambientes sombreados investem relativamente mais produtos da fotossíntese em área foliar. De maneira geral essas plantas possuem uma maior área foliar específica e uma menor massa foliar. Isso é associado com poucas e pequenas células do mesófilo paliádico por unidade de área (LAMBERS; CHAPIN; PONS, 2008; TAIZ; ZEIGER, 2009).

Dias Filho (2000), em trabalho realizado com 0 e 70% de sombreamento, observou reduções na produção de matéria seca da parte aérea (folhas e colmos) na ordem de 75 e 74% para *B. brizantha* e *B. humidicola*, respectivamente. Em relação à partição de matéria seca, as plantas mantidas em ambiente sombreado alocaram quantidade significativamente menor de biomassa no sistema radicular e quantidade maior nos tecidos foliares, e apresentaram reduções de 90% na produção de matéria seca de raízes (ambas as espécies), quando submetidas ao sombreamento (DIAS FILHO, 2000). Em outro trabalho com os mesmos tratamentos, Dias Filho (2002) observou que ambas as espécies foram capazes de ajustar o processo fotossintético ao sombreamento. Entretanto, a capacidade fotossintética de ambas as espécies foi reduzida quando

mantidas em sombreamento permanente (29 e 16% para *Brachiaria brizantha* e *Brachiaria humidicola*, respectivamente).

As respostas das plantas à duração do dia (fotoperíodo) são chamadas de fotoperíodismo (CHANG, 1974). Essa resposta exerce influência marcante no crescimento e reprodução das plantas forrageiras, influenciando no metabolismo e alterando as taxas de expansão foliar, produção de massa seca e duração da fase reprodutiva (HAY, 1990). Nas gramíneas forrageiras da espécie *Brachiaria brizantha*, os requerimentos fotoperiódicos à floração ainda não estão claramente elucidados (SOUZA, 2001). Rodrigues (2004) observou que nos cultivares de *B. brizantha* o primeiro a florescer foi o Arapoty (fevereiro) seguido do Marandu (final de março) e Capiporã e Xaraés (junho). Para os cultivares Capiporã e Xaraés ficam mais evidentes que a resposta ao florescimento só inicia após a temperatura diminuir de maneira mais acentuada, o que ocorreu após o mês de abril. Até então, somente a redução do número de horas de luz não teve efeito sobre o desenvolvimento reprodutivo.

2.2.2 Efeito da temperatura no crescimento

A temperatura possui efeito marcante como catalisador de reações químicas e nos processos associados às membranas celulares, constituindo um fator abiótico determinante da distribuição, da adaptabilidade e da produtividade das plantas nas regiões tropicais. Em geral, o efeito da temperatura nas funções biológicas das plantas é explicado pela ação enzimática. A conformação das enzimas é um passo essencial à reação que ela irá participar. Sob baixas temperaturas, as enzimas (que são proteínas) não são flexíveis o suficiente, e dessa forma não estão aptas às mudanças de conformação requeridas pela reação; sob altas temperaturas, as enzimas coagulam e uma nova estrutura é então obtida, mas é incapaz de catalisar a reação. A curva de ação da temperatura nessas enzimas apresenta então duas etapas: uma tendência inicial crescente na qual a ativação térmica das moléculas melhora a eficiência das reações; e uma tendência posterior decrescente na qual altas temperaturas irão inativar progressivamente enzimas (NELSON; COX, 2004). A energia de ativação em diferentes reações químicas pode apresentar grandes variações. Como regra geral, para cada 10 °C acrescidos a temperatura dobra a velocidade das reações químicas (Lei de Van't Hoff).

Por esse motivo, nota-se a existência de uma temperatura máxima, uma mínima e uma ótima para a curva de resposta à temperatura (BONHOMME, 2000). A temperatura ótima para o

crescimento radicular tende a ser menor quando comparado a temperatura ótima para o crescimento da parte aérea (LAMBERS; CHAPIN; PONS, 2008). No início da primavera, portanto, raízes iniciam o crescimento antes do que a parte aérea.

Trabalhando com *Tripsacum dactyloides* (C₄), avaliando o acúmulo de biomassa e a partição sob diferentes temperaturas (20/14, 27,5/21,5 e 35/29°C; dia/noite) e CO₂ (350 e 740 µmol mol⁻¹), Krizek et al. (2004) observaram efeito marcante da temperatura sobre o crescimento vegetativo, onde houve um aumento na massa de folhas com o aumento da temperatura. A temperatura ótima para o acúmulo de biomassa de folhas foi maior (35/29 °C) do que para coroa e raízes (27,5/21,5 °C). O aumento da temperatura acima da faixa ótima aumenta a demanda por substrato respiratório nas raízes, o qual resulta em uma menor concentração de carboidratos em toda a planta (LAMBERS; CHAPIN; PONS, 2008).

Demonstrando a habilidade competitiva de *Dactylis glomerata* em relação à *Festuca pratensis*, em diferentes temperaturas (11/6, 18/13 e 25/20 °C) e fotoperíodos (16 e 12h) sem limitação nutricional, Krizek et al. (2004) atribuíram a menor habilidade competitiva de *Festuca pratensis* a uma diminuição da partição de matéria seca para as raízes em temperaturas elevadas e consequentemente a uma menor capacidade de utilização de nitrogênio. O efeito da temperatura e do fotoperíodo no crescimento e nos atributos do crescimento variam não apenas entre as espécies, mas também entre os ecótipos e variedades.

O crescimento, desenvolvimento e a partição são também afetados pela temperatura. A variação na taxa de crescimento com a temperatura é associada com as mudanças no balanço de carbono na planta. O balanço positivo de carbono pode ser mantido em temperaturas adversas pela mudança no padrão de partição de reservas para as folhas e partes não - fotossintetizantes da planta. Aclimação em diferentes temperaturas, portanto, podem afetar a taxa fotossintética por unidade de área ou o padrão de partição.

2.2.3 Efeito da influência da disponibilidade hídrica

A água constitui a matriz e o meio onde ocorre a maioria dos processos bioquímicos essenciais à vida. Nas plantas a água é continuamente perdida para a atmosfera e absorvida do solo, onde o seu movimento é governado por uma redução em energia livre. A água pode se mover por difusão (gradiente de concentração), por transporte em massa (gradiente de pressão) ou por uma combinação destes dois mecanismos (KRAMER, 1995). Em plantas com

metabolismo C_4 , como a *Brachiaria brizantha*, para cada grama de matéria orgânica produzida, aproximadamente, 300g de água são absorvidos pelas raízes, sendo que 95% é perdida pelo processo de transpiração e o restante utilizado no metabolismo e crescimento vegetal (TAIZ; ZEIGER, 2009). O conteúdo de água abaixo daquele observado na condição de maior hidratação é definido como déficit hídrico. O déficit hídrico tem vários efeitos no crescimento um dos quais é a limitação da expansão foliar. Desta forma, as plantas estão constantemente sujeitas a déficits hídricos diurnos e sazonais, em que a gravidade do estresse será determinada por sua intensidade, duração e período de ocorrência no ciclo da cultura (TAIZ; ZEIGER, 2009).

A elevada energia incidente nos trópicos e sub-trópicos pode proporcionar elevadas produções de forragens, mas provoca freqüentemente um aumento significativo da evapotranspiração que pode causar escassez temporária de água às mesmas. Cooper e Taiton (1968) afirmam que, devido ao fato das altas temperaturas e da maior quantidade de energia recebida nas regiões tropicais serem concentradas em dias mais curtos do que aqueles de clima temperado, a evapotranspiração é mais acentuada, a ponto de tornar a disponibilidade de água o fator mais limitante ao crescimento de plantas nos trópicos. Assim, o manejo de forrageiras nestas condições deve procurar uma maior eficiência no uso da água, que é expressa pela quantidade de matéria seca produzida por volume de água utilizada.

2.3 Modelos empíricos e mecanicistas

A modelagem é oriunda de uma área do conhecimento chamada análise de sistemas, e pode ser definida como uma organização de atributos de interesse particular, que visa conceituar, integrar e generalizar o conhecimento científico através da simplificação da realidade (mais complexa), e que resulta em uma ferramenta de auxílio (o modelo) para simulações de diversos cenários (DETOMINI, 2004). Esse pensamento sistêmico foi impulsionado pelo biólogo francês Ludwig Von Bertalanffy, na década de 40, considerando o organismo como um sistema físico, estabelecendo formas de pensar em termos de totalidade, essa forma de pensar sistêmica ganhou força como forma de reação e crítica às falhas apresentadas pela ciência reducionista. Já na década de 60, com a evolução dos sistemas computacionais, Jay W. Forrester, a partir de idéias de gerenciamento, desenvolveu a metodologia de dinâmica de sistemas, usando ferramenta computacional para relacionar e simular a estrutura de um sistema e seu comportamento no tempo (FERREIRA; CARDOZO; LIMA, 2002; NICOLOSO; SILVEIRA, 2010).

A dinâmica de sistemas permite superar a dificuldade em captar a não linearidade e as relações de causa, efeito e temporalidade dos sistemas. Nesse contexto, a simulação de cenários a partir de dados que expressem também os fatores mutáveis dentro de um sistema de produção, contribui para o processo de tomada de decisão (FONTOURA JÚNIOR, 2008). Parte desta metodologia é um resultado dos avanços da informática e da ciência da computação, usados como ferramentas de apoio à integração e conhecimentos adquiridos ao longo dos anos. Estas ferramentas incluem modelos de simulação de crescimento de plantas, modelos de sistemas econômicos e sociais, sistemas de informação (SIG) e sistemas gestão de dados (BOWEN; JARAMILLO, 2001).

Segundo Thompson e Formby (1998) um modelo tenta espelhar as características fundamentais de um sistema de forma a ser simples o suficiente para compreensão e manipulação e, ao mesmo tempo, próximo o suficiente da realidade para proporcionar resultados relevantes. Um modelo é uma representação de um sistema simplificado e o sistema por sua vez é uma parte delimitada, por exemplo, uma dada cultura onde a raiz, o caule e as folhas e os seus processos e mecanismos fisiológicos, como fotossíntese, crescimento, desenvolvimento e a transpiração representam um sistema. A construção de um modelo é a identificação de uma série de equações matemáticas pela qual é possível reproduzir o modelo a fim de demonstrar dados que se aproximem ao máximo do sistema analisado. Atualmente, as mudanças climáticas e a sustentabilidade ambiental, tornaram-se questões importantes do âmbito da agricultura, desta forma a utilização da modelagem apresenta-se como uma ferramenta capaz de fornecer informações sobre uma abordagem sistemática da produção agrícola (HERNÁNDEZ; SOTO; CABALLERO, 2009).

Os modelos de simulação são classificados em dois grupos principais: empíricos e mecanicistas. Os modelos empíricos são descritivos e derivados de dados observados, geralmente são expressos em equações de regressão e não envolvem os processos fisiológicos da cultura, fornecendo informações simplificadas sobre o seu comportamento. Em contrapartida, os modelos mecanicistas estudam as relações biológicas para descrever o comportamento de um sistema, apresentando maiores informações sobre fisiologia de uma cultura, pois consideram aspectos como a temperatura, radiação, índice de área foliar, fotossíntese e respiração (VILLEGAS et al., 2004).

A introdução de modelos como ferramenta de auxílio à tomada de decisão teve como agentes facilitadores a disponibilidade de informações e a necessidade de sistematizar o conhecimento acumulado. Modelos matemáticos de predição/estimativa da produtividade das pastagens surgiram com o intuito de prever as variações estacionais de produtividade das pastagens com base nas relações obtidas experimentalmente e associar o crescimento das plantas à magnitude das variáveis climáticas (BARIONI et al., 2003). Atualmente existem vários modelos disponíveis que auxiliam na predição/estimativa da produtividade de diversas culturas.

A ferramenta DSSAT (*Decision Support System for Agrotechnology Transfer*) compõe-se de diferentes modelos para simular o crescimento de culturas de importância econômica. Com o auxílio deste modelo é possível organizar e arquivar bases de dados sobre o clima, solo, culturas e experimentos; simular a produção agrícola em uma determinada época do ano ou em várias épocas; analisar resultados e representar graficamente as simulações e avaliar diferentes práticas específicas de manejo (JONES, 1993).

As experiências com o modelo DSSAT em pastagens são ainda pouco difundidas. A primeira incorporação de pastagens no modelo DSSAT foi realizada na Universidade da Flórida, usando-se como base o modelo CROPGRO, modificando os valores dos parâmetros fisiológicos, fenológicos e de composição bromatológica que descrevem as características da espécie, do cultivar e do ecótipo, sem alterar a estrutura do modelo (KELLY, 1995). Para os parâmetros não disponíveis para a pastagem, foram utilizados no CROPGRO valores originais utilizados na cultura da soja (GIRALDO et al., 1998).

Na década de 90, surge o GRAZPLAN, composto de um conjunto de modelos que visa simular o pastejo efetivamente em nível de exploração. Seu projeto foi para ser de âmbito genérico, sendo que as características essenciais do modelo um conjunto de equações generalizadas que descrevem os processos básicos da biologia dos sistemas de pastejo, juntamente com conjunto de coeficientes para estas equações. No modelo animal, os coeficientes que especificam o genótipo são provenientes de pesquisas, da mesma forma na modelagem de pastagens, e ao se selecionar a espécie, e os coeficientes relevantes são automaticamente ligados às equações do modelo. Esta abordagem de modelagem tem permitido um alto nível de realismo com uma gama de condições ambientais, sem a necessidade de alterar a base de modelos. As ferramentas GRAZPLAN vão desde ferramentas relativamente simples (*LambAlive* e *MetAccess*)

até o *GrassGro* o qual visa avaliar as combinações de pastejo e opções de manejo que têm um grande impacto sobre a rentabilidade e sustentabilidade (MOORE; DONNELLY; FREER, 1997).

A estratégia de utilização de modelos matemáticos é essencial em estudos envolvendo simulações de cenários futuros, tornando-se imprescindíveis nos trabalhos envolvendo o impacto das mudanças climáticas globais nos sistemas de produções a pasto.

Referências

ANDRADE, R.P.; VALENTIM, J.F. **Síndrome da morte do Capim-brizantão no Acre:** características, causas e soluções tecnológicas. Rio Branco: Embrapa Acre, 2007. 43 p. (Documentos, 105).

BARIONI, L.G.; MARTHA JÚNIOR, G.B.; RAMOS, A.K.B.; VELOSO, R.F.; RODRIGUES, D.C.; VILELA, L. Planejamento e gestão do uso de recursos forrageiros na produção de bovinos em pastejo. In: SIMPÓSIO SOBRE MANEJO DA PASTAGEM, 20., 2003, Piracicaba. **Produção animal em pastagens:** situação atual e perspectivas: anais. Piracicaba: FEALQ, 2003. p. 105–153.

BONHOMME, R. Bases and limits to using “degree.day” units. **European Journal of Agronomy**. Oxford, v. 13, n. 1, p. 1-10, 2000.

BOWEN, W. Y.; JARAMILLO, R. Modelos de dinâmica de nutrientes en el suelo y en la planta. In: CONGRESO SOCIEDAD ECUATORIANA DE LA CIENCIA DEL SUELO, 7., 2001, Quito. **Anais...** Quito: Sociedad Ecuatoriana de la Ciencia del Suelo, 2001. p. 19-20.

CHANG, J.H. **Climate and agriculture an ecological survey**. Chicago: Transaction Publ., 1974. 304 p.

COOPER, J.P.; TANTON, N.M. Light and temperature requirements for growth of tropical and temperate grasses. review article. **Herbage Abstracts**, Farnham Royal, v. 38, n. 3, p.167-176, 1968.

DETOMINI, E.R. **Modelagem da produtividade potencial de *Brachiaria brizantha* (variedades cultivadas Marandu e Xaraés)**. 2004. 112 p. Dissertação (Mestrado em Fitotecnia) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2004.

DIAS-FILHO, M.B. Growth and biomass allocation of the C4 grasses *Brachiaria brizantha* and *B. humidicula* under shade. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 35, n. 12, p. 2335-2341, 2000.

DIAS FILHO, M.B.; ANDRADE, C.M.S. de. Pastagens no ecossistema do trópico úmido. In: SIMPÓSIO SOBRE PASTAGENS NOS ECOSISTEMAS BRASILEIROS, 2., 2005, Goiânia. **Anais...** Goiânia: SBZ, 2005. p. 95–104.

EMBRAPA. **Capim Piatã**. Disponível em:

<<http://www.cnpqc.embrapa.br/produtoseservicos/pdf/piata.pdf>> Acesso em: 05 out. 2010.

FERREIRA, G.; CARDOZO, O.; LIMA, J.M.S. Modelos bio-econômico para tomada de decisões em engorde de novilhos a pastoreio. In: MODELOS PARA A TOMADA DE DECISÕES NA PRODUÇÃO DE BOVINOS E OVINOS, 1., 2002, Santa Maria. **Anais...** Santa Maria: UFSM, 2002. p. 121-145.

FONTOURA JÚNIOR, J.A.S. **Modelo de simulação do desempenho reprodutivo de vacas de corte baseado no escore de condição corporal**. 2008. 98 p. Tese (Doutorado em Zootecnia) – Universidade Federal de Pelotas, Pelotas, 2008.

GIRALDO, L.M.; LIZCANO, L.J.; GIJSMAN, A.J.; RIVERA, B.; FRANCOL, H. Adaptación del modelo DSSAT para simular la producción de *Brachiaria decumbens*. **Pasturas Tropicales**, Cali, v. 20, n. 2, p. 2-12, 1998.

HAY, R.K.M. The influence of photoperiod on the dry-matter production of grasses and cereals. **New Physiologist**. Lancaster, v. 116, n. 2, p. 233-254, 1990.

HERNÁNDEZ, N.; SOTO, F.; CABALLERO, A. Modelos de simulación de cultivos características y usos. **Cultivos Tropicales**, La Habana, v. 30, n. 1, p. 73-82, 2009.

JONES, J.W. Decision support systems for agricultural development. In: VRIES, F.P.; TENG, P.; METSELAAR, K. **Systems approaches for agricultural development**. Dordrecht: Kluwer Academic, 1993. p. 459-471.

KELLY, T.C. **A bioeconomic systems approach to sustainability analysis at the farm level**. 1995, 114 p. Thesis (Ph.D. in Agronomy) - University of Florida, Gainesville, 1995.

KRAMER, P.J. **Plant and soil water relationships**: a modern synthesis. New Delhi: Mc-Graw-Hill, 1995. 482 p.

KRIZEK, D.T.; GITZ, D.C.; RITCHIE, J.C. Biomass accumulation and partitioning of Eastern Gamagrass grown under different temperature and CO₂ levels. In: INTERNATIONAL HORTICULTURAL CONGRESS: SUSTAINABILITY OF HORTICULTURAL SYSTEMS IN THE 21 ST CENTURY, 26., 2004, Toronto. v. 638, n. 40, p. 293-299.

LAMBERS, H.; CHAPIN III, E.S.; PONS, T.L. **Plant physiological ecology**. 2nd ed. New York: Springer, 2008. 604 p.

LARCHER, W. **Ecofisiologia vegetal**. São Carlos: Rima, 2000. 531 p.

MACEDO, M.C.M. Pastagens no ecossistema cerrado: evolução das pesquisas para o desenvolvimento sustentável. In: REUNIÃO ANUAL DA SOCIEDADE BRASILEIRA DE ZOOTECNIA, 42., 2005, Goiânia. **Anais...** Goiânia: SBZ, 2005. p. 56-84.

MARCELINO, K.R.A.; NASCIMENTO JUNIOR, D.; SILVA, S.C.; EUCLIDES, V.P.B.; DA FONSECA, D.M. Características morfogênicas e estruturais e produção de forragem do capim-marandu submetido a intensidades e frequências de desfolhação. **Revista Brasileira de Zootecnia**, Viçosa, v. 35, n. 6, p. 2243-2252, 2006.

MOORE, A.D.; DONNELLY, J.R.; FREER, M. GRAZPLAN: decision support systems for Australian grazing enterprises. III. Pasture growth and soil moisture sub models, and the GrassGro DSS. **Agricultural Systems**, Barking, v. 55, n. 4, p. 535-582, 1997.

NABINGER, C.; PONTES, L.S. Morfogênese de plantas forrageiras e estrutura do pasto. In: REUNIÃO ANUAL DA SOCIEDADE BRASILEIRA DE ZOOTECNIA, 38., 2001, Piracicaba. **A produção animal na visão dos brasileiros: anais...** Piracicaba: SBZ, 2001. p. 755-767.

NELSON, D.L.; COX, M.M. **Lehninger principles of biochemistry**. 6th ed. New York: W.H. Freeman, 2004. 1124 p.

NICOLOSO, C.S.; SILVEIRA, V.C.P. Utilização de modelos sistêmicos e simulação para suporte a decisão em pecuária de corte. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE SISTEMAS, 6., 2010, Foz do Iguaçu. **Anais...** Foz do Iguaçu: UNIOEST, 2010. p. 1-16.

NUNES, S.F.; BOOK, A.; PENTEADO, M.I. **Brachiaria brizantha cv. Marandu**. Campo Grande: EMBRAPA, CNPGC, 1984. 31 p. (Documentos, 21).

PEREIRA, A.R.; ANGELOCCI, L.R.; SENTELHAS, P.C. **Agrometereologia**: fundamentos e aplicações práticas. Guaíba: Agropecuária, 2002. 436 p.

RODRIGUES, D.C. **Produção de forragem de cultivares de *Brachiaria brizantha* (Hochst. ex A. Rich) Staf e modelagem de respostas produtivas em função de variáveis climáticas**. 2004. 94 p. Dissertação (Mestrado em Ciência Animal e Pastagens) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2004.

SOUZA, F.H.D. **Produção de sementes de gramíneas forrageiras tropicais**. São Carlos: Embrapa Pecuária Sudeste, 2001. 43 p. (Comunicado Técnico, 30).

TAIZ, L.; ZAIGER, E. **Fisiologia vegetal**. 4. ed. Porto Alegre: Artmed, 2009. 820 p.

THOMPSON, A.A.; FORMBY, J.P. **Microeconomia da firma**: teoria e prática. 6. ed. Rio de Janeiro: LTC, 1998. 358 p.

VALLE, C.B.; MILES, J.W. Melhoramento de gramíneas do gênero *Brachiaria*. In: SIMPÓSIO SOBRE O MANEJO DA PASTAGEM, 11., 1994, Piracicaba. **Anais...** Piracicaba: FEALQ, 1994. p. 1-24.

VALLE, C.B.; EUCLIDES, V.P.B.; MACEDO, M.C.M. Características de plantas forrageiras do gênero *Brachiaria*. In: SIMPÓSIO SOBRE O MANEJO DA PASTAGEM, 17., 2001, Piracicaba. **Anais...** Piracicaba: FEALQ, 2001. p. 133-176.

VILLEGAS, J.R.; HERNÁNDEZ, V.A.G.; SALAZAR, J.A.C.; MUÑOZ, M.L.; CASTILLO, F.S.D.; ENCISO, T.O. Modelos empíricos del crecimiento y rendimiento de tomate podado a tres racimos. **Revista Fitotecnia Mexicana**, Chapingo, v. 27, n. 1, p. 63-67, 2004.

3 DETERMINAÇÃO DE FATORES QUE INTERFEREM NA PARTIÇÃO DE MASSA SECA AÉREA EM *Brachiaria brizantha*

Resumo

Quanto mais complexo torna-se o modelo de estimativa de produção, maior é a necessidade de conhecimentos de fatores que interferem nos processos fisiológicos das plantas. Um dos processos-chave que está relacionado a dinâmica de crescimento da população vegetal é o destino do carbono fixado e, principalmente, sua partição entre as partes aéreas e as partes subterrâneas e, dentro da parte aérea, a partição em folhas e colmos. Outro componente relevante para o desenvolvimento de modelos é a determinação da fenologia da planta, devido a sua influência na partição do crescimento entre os diferentes órgãos da planta. O objetivo desse trabalho foi determinar fatores que devem ser considerados em modelos mecanicistas para a predição da produção de forragem em cultivares de *Brachiaria brizantha* (cv. Marandu, Piatã e Xaraés). O delineamento experimental utilizado foi em blocos completos inteiramente casualizado com quatro repetições. Os cultivares de *Brachiaria brizantha* cv. Marandu, Xaraés e Piatã foram avaliados em crescimento livre e com frequência de corte a cada 35 dias, em esquema fatorial 3x2. A altura do resíduo utilizada foi de 25 cm. Foram avaliados: acúmulo de forragem, índice de área foliar (IAF), área foliar específica (AFE), altura do meristema apical, altura de plantas e estágio de desenvolvimento do perfilho. A massa seca de forragem acumulada por corte acima do resíduo foi influenciada pelo corte em todos os cultivares de *B. brizantha*, sendo que o cultivar Xaraés apresentou o maior acúmulo quando comparado aos cultivares Marandu e Piatã. Na avaliação da AFE, houve efeito de cultivar, onde o cultivar Piatã apresentou a menor média ($136,3 \text{ cm}^2 \cdot \text{g}^{-1}$), entretanto, os cultivares Marandu e Xaraés foram semelhantes ($163,6$ e $156,7 \text{ cm}^2 \cdot \text{g}^{-1}$; $P > 0,05$). O corte não influenciou nos valores de AFE, mas a AFE diminuiu ao longo do tempo. O IAF teve influência do corte ($P < 0,0001$). No acúmulo de forragem ao longo do ano, destacou-se o cultivar Xaraés quando comparado aos cultivares Marandu e Piatã (25.539 contra 18.148 e $19.292 \text{ kg MS} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{ano}^{-1}$). O IAF acima do resíduo apresentou altas correlações com o acúmulo de forragem ao longo do ano com valores de r de $0,95$, $0,93$ e $0,94$ para os cultivares Marandu, Piatã e Xaraés, respectivamente ($P < 0,0001$). A altura do meristema apical acompanhou a variação na altura de plantas em todos os tratamentos, semelhante nos tratamentos com corte ou em crescimento livre. A partição de massa seca da parte aérea foi influenciada pelo corte e pelas variações estacionais de temperatura e luminosidade. Em todos os cultivares foram observados períodos de juvenilidade, sendo um importante fator a ser considerado em modelos envolvendo o crescimento de *Brachiaria brizantha*.

Palavras-chave: *Brachiaria Brizantha*; Cultivares; Acúmulo de forragem; Área foliar; Área foliar específica

Abstract

The more complex it becomes the model of production estimate, the greater the need for knowledge of factors that influence the physiological processes of plants. One of the key processes that are related to population growth dynamics of the plant is the fate of fixed carbon and, especially, its partitioning between the shoot and underground parts, and within the shoot, the partition into leaves and stems. Another important component to the development of models is the determination of plant phenology, due to its influence on the partition of growth among

different plant organs. The aim of this study was to determine factors that should be considered in mechanistic models for prediction of forage in *Brachiaria brizantha* (cv. Marandu, Piatã and Xaraés). The experimental design was randomized complete block with four replications. The cultivars of *Brachiaria brizantha* cv. Marandu, Xaraés and Piatã were valued at free growth and with a cutoff of 35 days each in a factorial 3x2. The height of the residue used was 25 cm. It was evaluated: herbage accumulation, leaf area index (LAI), specific leaf area (SLA), height of apical meristem plant height and tiller growth stage. The herbage dry matter accumulated by cutting up the residue was influenced by the cut in all cultivars of *B. brizantha*, and the Xaraés cultivar showed the greatest accumulation when compared to the cultivars Marandu and Piatã. In the evaluation of ERA, there was no effect of cultivar, where the Piatã had the lowest average ($136,3 \text{ cm}^2.\text{g}^{-1}$), however, Xaraés and Marandu cultivars were similar ($163,6$ and $156,7 \text{ cm}^2.\text{g}^{-1}$, $P > 0,05$). The cut did not affect the values of AFE, but the SLA has decreased over time. The IAF had an effect of cutting ($P < 0,0001$). In herbage accumulation over the years, the highlight was the cultivar Xaraés compared to cultivars Marandu and Piatã ($25,539$ against $18,148$ and $19,292 \text{ kg MS.ha}^{-1}.\text{year}^{-1}$). LAI above the residue showed a high correlation with herbage accumulation over the years with r values of $0,95$, $0,93$ and $0,94$ for cultivars Marandu, Piatã and Xaraés, respectively ($P < 0,0001$). The height of the apical meristem followed the variation in height in all treatments, similar in treatments with cutting or growing free. The partitioning of dry mass of shoots was influenced by the cut and the seasonal variations in temperature and luminosity. In all cultivars were observed periods of juvenility, being an important factor to be considered in models involving the growth of *Brachiaria brizantha*.

Keywords: *Brachiaria brizantha*; Cultivar; Forage accumulation; Leaf area; Specific leaf area

3.1 Introdução

Nas últimas décadas, muitas pesquisas em plantas forrageiras foram desenvolvidas e a integração de fatores determinantes da produtividade com fatores do meio e suas variações estacionais permitiram entender e explicar a estacionalidade da produção. Com o intuito de sintetizar, apresentar e analisar os aspectos da produção e os diferentes tipos de interações entre a cultura e o ambiente, a modelagem matemática constitui-se em uma ferramenta primordial, capaz de descrever de forma simplificada os sistemas reais a partir da integração de conhecimentos de diferentes disciplinas (WOODWARD, 1998).

Atualmente existem diversos modelos que simulam a produção de plantas desde modelos mais simples, com abordagens empíricas, até mais complexos como os mecanicistas. Os modelos empíricos baseiam-se em equações de regressão envolvendo variáveis climáticas, fornecendo estimativas de produção, mas são restritos às condições do meio e ao cultivar com os quais foram gerados. Por outro lado, os modelos mecanicistas têm como objetivo explicar o crescimento a partir das respostas integradas de processos básicos, como a assimilação de CO_2 , respiração e fatores ambientais (GOUDRIAAN; VAN LAAR, 1994). Por exemplo, por meio da integração de

alguns dos fatores determinantes da assimilação de carbono pelas plantas, tais como o índice de área foliar (IAF), coeficiente de extinção luminosa, densidade de fluxo da radiação e máxima taxa de fotossíntese foliar, é possível estimar a fotossíntese do dossel e sua resposta à radiação (BOOTE; JONES, 1987; HAY; WALKER, 1989).

Quanto mais complexo torna-se o modelo, maior é a necessidade de conhecimentos de fatores que interferem nos processos fisiológicos das plantas. Um dos processos-chave relacionado à dinâmica de crescimento da população vegetal é o destino do carbono fixado e, principalmente, sua partição entre as partes aéreas e as partes subterrâneas e, dentro da parte aérea, a partição em folhas e colmos (NABINGER, 1997). O estágio de desenvolvimento, o ambiente e a desfolha são fatores que interferem no padrão de partição de massa seca das plantas (BOOTE; JONES; HOOGENBOOM, 1998; BOOTE et al., 2003).

Em pastagens cultivadas estima-se que cerca de 70 a 80 % são formadas pelo gênero *Brachiaria* spp. (VALLE et al., 2000). Dentre as espécies do gênero, a *Brachiaria brizantha* é a gramínea forrageira mais cultivada no Brasil atualmente (MILES et al., 2004). A *Brachiaria brizantha* cultivar Marandu foi lançada em 1984 e a partir desta data foi responsável pela grande expansão da pecuária nas regiões Centro-Oeste e Norte, devido a sua adaptação às diversas condições de clima e solo do País. A excelente adaptação desse cultivar às condições brasileiras, não impediu que, a partir de 1994, começassem a ser observados problemas de morte dos pastos de capim-marandu (BARBOSA, 2006). Assim, em 2003 e posteriormente em 2007, foram lançados os cultivares Xaraés e Piatã com o objetivo de aumentar as alternativas de diversificação de espécies forrageiras produtivas (EUCLIDES et al., 2008). Segundo a Embrapa-CNPGC (2010), em 2006, os benefícios econômicos gerados pela *Brachiaria brizantha* foram superiores a 3,9 bilhões de reais.

Diante do exposto, o objetivo desse trabalho foi determinar fatores que interferem na partição de massa seca de *Brachiaria brizantha*. Para isso, foi estudada a influência de cultivares, desfolha, fatores climáticos e estágio de desenvolvimento sobre a estrutura, produção e partição de massa seca da parte aérea. O conhecimento do efeito destes fatores e de suas interações sobre a partição de massa seca de plantas forrageiras tropicais auxiliará no desenvolvimento de modelos de processos para predição de produção.

3.2 Material e métodos

O experimento foi conduzido no campo experimental da Embrapa Pecuária Sudeste, localizada no município de São Carlos – SP (21°57' de latitude sul 47°51' de longitude oeste). O solo é classificado como Latossolo Vermelho-Amarelo com textura argilosa (SANTOS et al., 2006). Na Tabela 1 é apresentada a análise química e física do solo da área experimental. O clima é do tipo Cwa (Classificação de Köppen), caracterizado por verão quente úmido e inverno seco (ROLIM et al., 2007). Os dados meteorológicos de temperatura do ar e radiação solar foram obtidos por meio de estação automática distante cerca de 2 km da área experimental (Figura 1).

Tabela 1 – Análise química e física do solo da área experimental

Profundidade (cm)	pH H ₂ O	M.O	P	S.SO ₄	K	Ca	Mg	H+Al	Al	CTC	S	V
		<i>g/dm³</i>	<i>...mg/dm³...</i>				<i>.....mmolc/dm³.....</i>				<i>....%....</i>	
0-20	7,0	27,0	3,0	4,0	0,8	10,0	1,0	15,0	0	27,0	13,0	46,0
20-40	6,8	17,0	12,0	2,0	0,5	14,0	5,0	18,0	0	37,0	19,0	51,0
Física												
				Areia		Argila		Silte				
				<i>.....%......</i>								
0-20				25,9		53,9		20,2				
20-40				17,6		57,2		25,2				

S – soma de base, CTC – capacidade de troca catiônica, V – saturação de bases

A média da temperatura máxima e mínima correspondente ao período experimental foram de 27,1 e 16,8 °C, respectivamente . A radiação solar média foi de 17,9 MJ.m², sendo que a maior intensidade foi observada no mês de novembro de 2009 e a menor intensidade no mês de junho de 2009 (21,8 e 12,7 MJ.m², respectivamente).

Figura 1 – Dados de temperatura mínima (---) e máxima (—) (°C) e radiação (barras; MJ.m²) no período experimental

3.2.1 Delineamento experimental

O delineamento experimental utilizado foi em blocos completos inteiramente casualizado com quatro repetições. Os cultivares de *Brachiaria brizantha* cv. Marandu, Xaraés e Piatã foram avaliados em crescimento livre e com frequência de corte a cada 35 dias, em esquema fatorial 3x2. A altura do resíduo utilizada foi de 25 cm. O critério utilizado para a formação dos blocos foi os setores do sistema de irrigação.

3.2.2 Preparo da área experimental

O preparo da área experimental iniciou-se em dezembro de 2008, com a dessecação da pastagem de *Brachiaria decumbens* cv. Basilisk com herbicida Glifosat e incorporação por gradagens. Devido à necessidade de controle da sementeira, essa operação repetiu-se em janeiro de 2009. A semeadura dos cultivares de *Brachiaria brizantha* (cv. Marandu, Xaraés e Piatã) foi realizada no dia 17/02/2009 em linhas espaçadas 20 cm, com uma taxa de semeadura de 10 kg de sementes puras viáveis. As parcelas possuíam 5 m de comprimento por 2 m de largura com corredor de 1 m entres as parcelas (Figura 2). O corte de uniformização foi realizado a 25 cm de altura no dia 27 de abril de 2009.

No plantio foi realizada a adubação de fundação com 80 kg.ha⁻¹ de P₂O₅ na forma de Superfosfato Simples. Em cada corte as parcelas foram adubadas com 30 kg.ha⁻¹ de N e K₂O na forma de Uréia e Cloreto de potássio, totalizando 300 kg.ano.ha⁻¹ de N e K₂O.

O método de irrigação foi por aspersão com linhas laterais espaçadas 12 m entre si e 12 m entre os aspersores. Os aspersores possuíam dispositivo de giro setorial, permitindo a irrigação por setores (blocos experimentais). As parcelas eram irrigadas quando a umidade do solo atingia 75 % do volume da capacidade de campo. Para isso utilizou-se a sonda de capacitância Diviner 2000[®] calibrada para as condições locais do experimento¹. As leituras de umidade foram realizadas diariamente nos canos instalados no centro das parcelas dos tratamentos de um bloco, totalizando seis canos (Figura 2).

Figura 2 – Representação esquemática das parcelas, do sistema de irrigação e dos canos de leitura de umidade

3.2.3 Avaliações realizadas

3.2.3.1 Acúmulo de forragem

O acúmulo de forragem foi medido cortando e pesando o material contido em um quadrado de 0,5 x 0,5 m (0,25 m²) acima da altura de corte (25 cm acima do solo). Após o corte, o material era pesado e retirava-se uma sub-amostra representativa para posterior separação morfológica de folha (lâmina foliar), colmo (bainha + colmo) e material morto. Após a separação, o material era levado à estufa de circulação de ar a 65 °C até atingir peso constante, sendo pesado novamente para determinação do seu peso seco.

¹ Calibração realizada seguindo recomendações do fabricante em diferentes condições de umidade do solo.

3.2.3.2 Índice de área foliar e área foliar específica

Após a separação morfológica da sub-amostra, a área das laminas foliares verdes era medida com o auxílio de um medidor de área foliar (LiCor modelo LI-3100). Posteriormente, os valores de área foliar das sub-amostras de folhas foram extrapolado para o total de folhas presente no quadrado de 0,25 m². O índice de área foliar (IAF) foi calculado pela razão entre a área de laminas foliares e a área de coleta (IAF=área foliar em m² / área de coleta em m²). Após a secagem das folhas (estufa a 65 °C até peso constante), a área foliar específica foi determinada pela razão da área de laminas foliares por sua massa seca (cm².g⁻¹).

3.2.3.3 Altura do meristema apical e altura de plantas

A altura do meristema apical foi medida em cinco perfilhos escolhidos aleatoriamente em cada parcela. Após um corte longitudinal no perfilho com estilete, o meristema era identificado com o auxílio de uma lupa e sua altura em relação ao solo medida com uma trena. A altura de plantas foi medida em 10 pontos por parcela com o auxílio de trena e transparência de acetato (PEDREIRA, 2002).

3.2.3.4 Análise do estágio de desenvolvimento do perfilho

Para as avaliações do estágio de desenvolvimento dos capins foram coletados 10 perfilhos por parcela sendo identificados e acondicionados em sacos plásticos mantidos sob refrigeração à temperatura de 7 a 8 °C. Posteriormente no laboratório, para identificação do meristema apical, os perfilhos foram cortados no sentido longitudinal com estilete, e com o auxílio de uma lupa binocular, foram classificados quanto ao estágio de desenvolvimento em: vegetativo, transição e/ou reprodutivo (Figura 3).

Figura 3 – Fotos dos meristemas em estágio vegetativo (A), transição (B) e reprodutivo (C) da *Brachiaria brizantha*

3.2.4 Análise de variância

Para efeito de comparação dos cultivares de *B. brizantha* submetidos aos tratamentos com corte a cada 35 dias e em crescimento livre foi considerado os valores acumulados de produção de massa seca e os seus componentes morfofisiológicos. Devido a problemas de acamamento nas parcelas em crescimento livre, optou-se por analisar os dados até o quinto período. Já para o efeito do ambiente sobre a produção e composição morfofisiológica dos cultivares de *B. brizantha* foram utilizados os dados com frequência de corte a cada 35 dias até o nono período.

Para a análise de variância foi utilizado o procedimento de modelos mistos (MIXED) do SAS com medidas repetidas no tempo (LITTELL et al., 2006). Os efeitos dos cultivares, do corte e das épocas do ano (períodos) e suas respectivas interações foram considerados como fixos e o efeito de blocos como aleatório. Utilizou-se o critério de informação de Akaike e o Bayesiano na

escolha da matriz de covariância. As médias foram comparadas pelo teste de *Tukey* em nível de significância de 5%. As correlações foram realizadas no “PROC CORR”

3.3 Resultados

3.3.1 Efeito do corte sobre a produção e partição de matéria seca em cultivares de *Brachiaria brizantha*

A massa seca de forragem acumulada acima do resíduo foi influenciado pelo corte ao longo do tempo em todos os cultivares de *B. brizantha* avaliados ($P < 0,0001$) (Tabela 2). A interação entre cultivares, corte e período foi significativa ($P < 0,0001$). A partir do segundo período (70 dias) foi possível observar a influência do corte no acúmulo de forragem do cultivar Piatã. Entretanto, nos cultivares Marandu e Xaraés a influência do corte iniciou após o terceiro período (105 dias) (Tabela 2).

O cultivar Xaraés apresentou maior acúmulo de forragem quando comparado aos cultivares Marandu e Piatã ($P = 0,0103$). A maior disponibilidade de temperatura no início da primavera (quinto período; Figura 1) proporcionou um maior acúmulo de forragem em todos os cultivares (Tabela 2).

Tabela 2 – Produção de massa seca acumulada acima de 25 cm de altura ao longo do tempo (kg MS.ha⁻¹) nos cultivares Marandu, Piatã e Xaraés submetidos a corte a cada 35 dias (Corte) e em crescimento livre (Livre)

Meses	Períodos	Tratamentos		Média	EPM
		Corte ¹	Livre		
Marandu (kg MS.ha ⁻¹)					
Jun/2009	1	1.254 e	1.011 e	1.133 d	644
Jul/2009	2	1.631 de	2.459 d	2.045 cd	644
Ago/2009	3	2.222 d	4.090 c	3.156 bc	644
Set/2009	4	3.644 c	5.605 b	4.625 b	644
Out/2009	5	4.772 bc	12.635 a	8.703 a	644
	Média	2.705 B	5.160 A		
Piatã (kg MS.ha ⁻¹)					
Jun/2009	1	1.060 f	1.785 ef	1.423 d	694
Jul/2009	2	1.460 f	3.452 de	2.456 cd	694
Ago/2009	3	2.185 ef	6.150 c	4.168 c	694
Set/2009	4	3.376 de	9.271 b	6.324 b	694
Out/2009	5	4.718 d	14.207 a	9.463 a	694
	Média	2.560 B	6.973 A		
Xaraés (kg MS.ha ⁻¹)					
Jun/2009	1	1.620 e	1.855 e	1.738 d	531
Jul/2009	2	2.392 e	3.288 de	2.840 cd	531
Ago/2009	3	3.213 de	4.875 d	4.044 c	531
Set/2009	4	4.779 d	10.283 b	7.531 b	531
Out/2009	5	7.666 c	14.148 a	10.907 a	531
	Média	3.934 B	6.890 A		

¹ produção acumulada em cada corte

Médias seguidas de mesma letra maiúscula na linha e minúscula na coluna não diferem entre si pelo teste Tukey (P>0,05).

Os processos de partição de massa seca da parte aérea foram influenciados pelo corte, sendo que nos tratamentos em crescimento livre houve um aumento da participação de colmo e material morto na massa de forragem (Figura 4). A proporção de colmo e material morto na massa de forragem dos cultivares Marandu, Piatã e Xaraés submetidos ao crescimento livre foram de 60, 65 e 57%, respectivamente. Nos tratamentos com corte a participação das folhas na massa de forragem variou em torno de 80 % (Figura 4).

Figura 4 – Proporção dos componentes morfológicos dos cultivares Marundu (A), Piatã (B) e Xaraés (C) (*Brachiaria brizantha*) submetidos à frequência de corte de 35 dias e em crescimento livre

3.3.1.1 Área foliar específica e índice de área foliar

A área foliar específica (AFE) indica mudanças anatômicas e morfológicas da folha, onde o seu inverso expressa diferenças na espessura foliar (BENINCASA, 2003) e permite descrever a alocação da biomassa da folha por unidade de área (POORTER; GARNIER, 1999).

Houve efeito de cultivar para a AFE ($P=0,0003$), onde o capim-piatã apresentou a menor média entre os cultivares avaliados ($136,3 \text{ cm}^2.\text{g}^{-1}$). Já os cultivares Marundu e Xaraés apresentaram AFE semelhantes ($163,6$ e $156,7 \text{ cm}^2.\text{g}^{-1}$; $P>0,05$) (Figura 5). O corte não influenciou nos valores de AFE acima do resíduo ($P=0,4304$), mas a AFE diminuiu ao longo do tempo ($P<0,0001$) (Figura 5). A diminuição da AFE ao longo do tempo demonstra um aumento

da massa de folhas sem um correspondente aumento da área de lâmina foliar, ou seja, um aumento na espessura e maior alocação de fotoassimilados para a folha (BENINCASA, 2003).

Figura 5 – Área foliar específica (AFE) dos cultivares Marandu (A), Piatã (B) e Xaraés (C) ao longo do tempo

O índice de área foliar é a principal variável estrutural do pasto e está diretamente relacionada com os processos de interceptação luminosa e assimilação de carbono pelas plantas (fotossíntese). O corte influenciou o IAF, com valores médios de 1,5 e 4,8 para os tratamentos com cortes e em crescimento livre, respectivamente ($P < 0,0001$). Entre os cultivares avaliados, o Xaraés apresentou o maior IAF médio (3,8; $P = 0,0024$), seguido dos cultivares Marandu e Piatã, com IAF médio de 2,7 e 2,8, respectivamente ($P > 0,05$). Nos tratamentos em crescimento livre o IAF aumentou ao longo dos períodos de avaliação em todos os cultivares ($P < 0,0001$), com uma tendência de estabilização a partir do terceiro período (Figura 6). Essa estabilização está relacionada aos processos avançados de senescência observado a partir do terceiro período (Figura 6). Quanto maior a massa de forragem, maior o IAF e, conseqüentemente, as taxas de crescimento estão associadas a perdas acentuadas pelo processo de senescência (LEMAIRE; CHAPMAN, 1996).

Figura 6 – Índice de área foliar (IAF) acima do resíduo nos cultivares Marandu (A), Piatã (B) e Xaraés (B) (*Brachiaria brizantha*)

3.3.2 Acúmulo de forragem e partição de massa seca em cultivares de *Brachiaria brizantha* sob frequência de corte de 35 dias ao longo do ano

Na Tabela 3 são apresentados os dados de acúmulo de matéria seca dos cultivares de *Brachiaria brizantha* com corte a cada 35 dias. Houve efeito de cultivar ($P=0,0433$) e épocas de colheita ($P<0,0001$), já para a interação cultivar x épocas de colheita o efeito não foi observado ($P=0,0947$).

Tabela 3 – Produção de matéria seca de cultivares de *Brachiaria brizantha* submetidos a corte a cada 35 dias ao longo do ano (kg MS.ha⁻¹)

Data	Estação ¹	Período	Cultivares de <i>Brachiaria brizantha</i>			
			Marandu	Piatã	Xaraés	Média
Jun/2009	Inverno	1	1.254	1.060	1.620	1.311 def
Jul/2009	Inverno	2	377	400	772	516 f
Ago/2009	Inverno	3	591	725	821	712 ef
Set/2009	Inverno	4	1.422	1.191	1.566	1.393 def
Out/2009	Verão	5	784	1.342	2.887	1.671 de
Nov/2009	Verão	6	3.488	3.597	5.041	4.042 ab
Dez/2009	Verão	7	2.135	2.258	3.173	2.522 cd
Jan/2010	Verão	8	4.386	5.558	5.899	5.281 a
Mar/2010	Verão	9	3.711	3.161	3.760	3.544 bc
	Média		2.001 B	2.144 B	2.838 A	
	Total		18.148	19.292	25.53	

¹“Inverno” corresponde às estações outono e inverno; “Verão” corresponde às estações primavera e verão.

Médias seguidas de mesma letra maiúscula na linha e minúscula na coluna não diferem entre si pelo teste Tukey ($P>0,05$). Erro padrão da média para cultivar = 192,8; período = 379,7; interação = 1.226,9

O acúmulo de forragem observado para o cultivar Xaraés foi maior quando comparado aos cultivares Marandu e Piatã (25.539 contra 18.148 e 19.292 kg MS.ha⁻¹.ano⁻¹). Os cultivares Marandu e Piatã apresentaram acúmulo ao longo dos períodos similar ($P>0,05$). O período 8 destacou-se dos demais devido à maior disponibilidade de fatores do meio ambiente favoráveis ao crescimento, como luminosidade e temperatura (Figura 1). Para épocas de colheita foi possível observar a superioridade dos períodos de Verão (período 5, 6, 7, 8 e 9) em relação aos períodos de Inverno (períodos 1, 2, 3 e 4). No mês de dezembro (sétimo período) o decréscimo observado no acúmulo, em todos os cultivares avaliados, pode ser explicado pelo menor período de crescimento (28 dias) e pelo registro de longos períodos de precipitação, reduzindo principalmente a luminosidade e temperatura.

O acúmulo de matéria seca dos componentes morfológicos dos tratamentos com frequência de corte de 35 dias é apresentado na Tabela 4. Para o acúmulo de folha houve efeito de cultivar ($P=0,0014$) e época de colheita ($P<0,0001$), sendo que os maiores acúmulos ocorreram no verão, com exceção do período 5 ($P<0,05$). Para o acúmulo de colmo e material morto apenas houve efeito de épocas de colheita ($P<0,0001$).

Tabela 4 – Acúmulo de matéria seca de folhas, colmo e material morto nos cultivares Marandu, Piatã e Xaraés com frequência de corte a cada 35 dias

Cultivares de <i>Brachiaria brizantha</i>					
Estação ¹	Período	Marandu	Piatã	Xaraés	
<i>Folha (kg MS.ha⁻¹)</i>					Média
Inverno	1	1.062	920	1.415	1.132 c
Inverno	2	363	359	687	470 d
Inverno	3	567	687	767	674 d
Inverno	4	1.261	1.037	1.441	1.246 c
Verão	5	649	1.070	2.608	1.406 c
Verão	6	2.872	2.899	4.447	3.406 a
Verão	7 ¹	1.745	1.797	3.022	2.188 b
Verão	8	3.042	3.570	5.131	3.914 a
Verão	9	2.770	2.003	3.140	2.638 b
	Média	1.592 B	1.594 B	2.518 A	
	Total	14.332	14.341	22.658	
<i>Colmo (kg MS.ha⁻¹)</i>					
Inverno	1	192	140	205	179 c
Inverno	2	10	34	60	35 c
Inverno	3	22	30	33	28 c
Inverno	4	119	121	100	113 c
Verão	5	71	199	171	137 c
Verão	6	616	697	577	630 b
Verão	7 ¹	390	454	147	330 c
Verão	8	1.174	1.894	705	1258 a
Verão	9	941	1.069	620	877 b
	Média	390 A	515 A	291 A	
	Total	3.534	4.638	2.618	
<i>Material morto (kg MS.ha⁻¹)</i>					
Inverno	1	-	-	-	-
Inverno	2	4	7	25	12 b
Inverno	3	2	8	21	10 b
Inverno	4	42	33	25	33 b
Verão	5	64	73	108	82 a
Verão	6	-	-	17	6 b
Verão	7 ¹	-	7	4	4 b
Verão	8	170	95	62	109 a
Verão	9	-	88	-	29 b
	Média	31 A	35 A	29 A	
	Total	282	312	263	

Médias seguidas de mesma letra maiúscula na linha e minúscula na coluna não diferem entre si pelo teste Tukey (P>0,05).

¹Período com 28 dias de crescimento

Figura 6 – Proporção de componentes morfológicos de *Brachiaria brizantha* cv. Marandu (A), Piatã (B) e Xaraés (C) submetidos à frequência de corte de 35 dias ao longo do ano

3.3.2.1 Índice de área foliar

Os dados referentes ao índice de área foliar (IAF) total dos cultivares de *B. brizantha* cv. Marandu, Piatã e Xaraés dos tratamentos com corte a cada 35 dias é apresentado na Figuras 6.

Figura 7 – Índice de área foliar do resíduo (■) e acima do resíduo (■) dos cultivares de *Brachiaria brizantha* cv. Marandu (A), Piatã (B) e Xaraés (C) com frequência de corte de 35 dias

Houve efeito de cultivar ($P=0,0040$) e época de colheita ($P<0,0001$) para o IAF, sendo que o cultivar Xaraés destacou-se dos demais com um IAF médio de 5,3, seguido dos cultivares Marandu e Piatã (4,5 e 3,4, respectivamente). No verão foram registrados os maiores valores de IAF acima do resíduo, promovido por uma resposta adaptativa a partir do alongamento de colmo. Esse fato permitiu que as forrageiras explorassem extratos mais altos em busca de melhor interceptação de luz, refletindo em menor IAF residual (Figura 6).

3.3.3 Altura de plantas, altura do meristema e estágio de desenvolvimento do meristema apical

Na Figura 8 é apresentado as alturas de plantas e altura de meristema apical para os cultivares de *B. brizantha*. Para altura de plantas, nos tratamentos com corte, houve efeito de cultivar ($P=0,0012$) sendo que o cultivar Xaraés foi superior aos cultivares Marandu e Piatã (51,4 cm contra 40,1 e 43,6 cm). No verão a altura de plantas foi de 49,9 cm superior a observada no inverno de 40,2 cm ($P<0,0001$) e não houve efeito da interação cultivar x época de colheita ($P=0,3105$). Nos tratamentos em crescimento livre a altura aumentou ao longo do tempo ($P<0,0001$) e novamente o cultivar Xaraés apresentou a maior altura (73,8 cm) diferindo dos cultivares Marandu e Piatã (59,4 e 66,3 cm; $P=0,0359$). A diminuição da altura de plantas nos tratamentos em crescimento livre no quinto período esta associado ao início do processo de acamamento reflexo de um maior alongamento de colmo.

Para altura do meristema, nos tratamentos com corte, houve efeito de cultivar ($P=0,0372$) onde o cultivar Piatã (17,1 cm) diferiu do cultivar Xaraés (13,0 cm), sendo que o cultivar Marandu ficou intermediário entre os dois (14,7 cm). Nos tratamentos em crescimento livre a altura do meristema aumentou ao longo do tempo ($P<0,0001$) mas não houve efeito de cultivar ($P=0,1393$) e interação ($P=0,2916$). Ao final dos 175 dias (quinto período) as alturas dos meristemas dos cultivares Marandu, Piatã e Xaraés foram de 53,4, 49,5 e 53,2 cm, respectivamente.

A altura do meristema apical acompanhou a variação na altura de plantas em todos os tratamentos, semelhante nos tratamentos com corte ou em crescimento livre. A diferença entre a altura média de plantas e a altura média do meristema apical nos tratamentos com corte foi 23,3, 24,6 e 35,4 cm, e nos tratamentos em crescimento livre foi de 23,9, 21,6 e 32,7 para os cultivares Marandu, Piatã e Xaraés, respectivamente (Figura 8).

Figura 8 – Altura média de plantas e de meristemas em cultivares de *Brachiaria brizantha* cv. Marandu (A), Piatã (B) e Xaraés (C)

Na análise do estágio de desenvolvimento do perfilho o corte alterou a resposta ao florescimento nos cultivares de *B. brizantha*, retardando o aparecimento de perfilhos em estágio reprodutivo (Tabela 6). Assim, o estágio reprodutivo começou a ser observado primeiro nos tratamentos em crescimento livre, iniciando a partir do quinto período nos cultivares Marandu e Piatã e sexto período no cultivar Xaraés. Nos tratamentos com corte, o primeiro a apresentar maior porcentagem de perfilhos reprodutivos foi o Piatã (sexto período) seguido do cultivar Marandu (sétimo período). O cultivar Xaraés, no tratamento com corte, não apresentou perfilhos reprodutivos. Entretanto, foram observados 11% de perfilhos em estágio intermediário, ou seja, iniciando o processo de diferenciação passando de vegetativo para reprodutivo (Figura 3-B e Tabela 6).

Tabela 6 – Porcentagem dos perfilhos nos estádios de desenvolvimento vegetativo, intermediário e reprodutivo ao longo do ano nos cultivares de *Brachiaria brizantha* cv. Marandu, Piatã e Xaraés com corte a cada 35 e em crescimento livre

Estádio	Períodos								
	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Marandu									
Corte (%)									
Vegetativo	100	100	100	100	100	100	78,9	10,5	21,4
Intermediário	-	-	-	-	-	-	0,1	26,3	35,7
Reprodutivo	-	-	-	-	-	-	3,0	63,2	42,9
Crescimento livre (%)									
Vegetativo	100	100	100	100	87,1	75	12,1	-	-
Intermediário	-	-	-	-	10,9	-	51,5	-	4,5
Reprodutivo	-	-	-	-	2,0	25	36,4	100	95,5
Piatã									
Corte (%)									
Vegetativo	100	100	100	100	100	82,4	43,7	10,0	11,8
Intermediário	-	-	-	-	-	17,6	25,0	5,0	5,9
Reprodutivo	-	-	-	-	-	-	31,3	85,0	82,3
Crescimento livre (%)									
Vegetativo	100	100	100	100	68,7	42,9	7,1	15,8	15,8
Intermediário	-	-	-	-	19,9	57,1	3,6	5,3	-
Reprodutivo	-	-	-	-	11,4	-	89,3	78,9	84,2
Xaraés									
Corte (%)									
Vegetativo	100	100	100	100	100	100	100	100	88,9
Intermediário	-	-	-	-	-	-	-	-	11,1
Reprodutivo	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Crescimento livre (%)									
Vegetativo	100	100	100	100	100	88,2	65,4	55,0	40,0
Intermediário	-	-	-	-	-	-	10,4	45,0	5,0
Reprodutivo	-	-	-	-	-	11,8	24,2	-	55,0

3.4 Discussão

3.4.1 Efeito do corte

O maior acúmulo de colmo observado nos tratamentos em crescimento livre demonstra um padrão necessário para a forrageira na tentativa de melhorar o arranjo espacial das folhas em busca de uma melhor interceptação da luminosidade incidente. Como consequências desse processo, elevaram-se a altura de plantas e do meristema apical (Figura 8). Um dos fatores que corrobora para o processo de alongamento de colmo é a quantidade e qualidade de luz que penetra no dossel forrageiro. Esse processo ocorre quando há diminuição na relação

vermelho/vermelho distante, ao longo do período de rebrotação (DEREGIBUS et al., 1985). Com o aumento do alongamento de colmo, acentua-se também o processo de senescência das folhas localizadas no estrato inferior (SILVA; CORSI, 2003). Consequentemente, esses processos influenciaram na tendência de estabilização do IAF a partir do terceiro período, proporcionada principalmente, pelo aumento da senescência foliar (Figura 4 e Figura 6).

O efeito do corte foi mais pronunciado na partição de massa seca do que promovendo alterações na AFE. Ao longo do tempo, a AFE diminuiu em ambos os tratamentos, com corte e em crescimento livre (Figura 6), diferentemente do que ocorreu com a partição, onde o corte favoreceu o acúmulo de folhas (Figura 4). A redução da AFE observada (Figura 5) pode estar associada ao aumento do nível de irradiância observado a partir do mês de junho (primeiro período) até o mês de outubro (quinto período) (média de 12,7 e 20,2 MJ.m², respectivamente; Figura 1). A redução da AFE em plantas sob maior irradiância promove uma maior proteção ao excesso de radiação, devido à maior espessura das folhas (TAIZ; ZEIGER, 2009). Ao contrário, adversidades climáticas que promovem diminuição do nível de irradiância (sombreamento) e estresse hídrico (alagamento e/ou déficit) favorecem o aumento da AFE como destacado por Dias-filho (2000) e Paciullo et al. (2007).

Em modelagem de sistemas um dos pontos chaves é a estimativa da área foliar, que é a principal variável relacionada com a interceptação de energia luminosa. Uma abordagem utilizada na maioria dos modelos de simulação (ex. CERES, EPIC, GOSSYM) relaciona o aumento da área foliar (AF) em um determinado dia pela diferença entre a fotossíntese (F) e a respiração (R) (g.d⁻¹) com a proporção de carbono alocado para as folhas no mesmo dia (P; g.g⁻¹) e a AFE (cm².g⁻¹) ($\Delta AF/\Delta t = (F-R) \times P \times AFE$). Isso implica que a alocação de carbono para folhas (P) e AFE é constante em um dado genótipo. Entretanto, os mecanismos de flexibilidade, principalmente da AFE, ainda não são bem conhecidos e, portanto, a variável muitas vezes se torna fonte de incertezas nos modelos (TARDIEU; GRANIER; MULLER, 1999).

No CROPGRO a AFE pode ser flexível a partir das condições ambientais que interferem nas variações da mesma (luminosidade, temperatura e déficit hídrico) (BOOTE et al., 2003). Contudo, o grande número de parâmetros envolvidos nesses processos dificulta o entendimento e o seu uso generalizado (ex. 203 parâmetros de entradas, dos quais 147 estão indiretamente associados com o IAF por meio do acúmulo de massa seca e componentes morfológicos).

3.4.2 Efeito climático

3.4.2.1 Acúmulo de forragem

A produção de forragem superior para o Xaraés está de acordo com outros trabalhos. Euclides et al. (2008), em experimento na Embrapa Gado de Corte em Campo Grande – MS, observaram maior massa de forragem para o cultivar Xaraés quando comparado ao Marandu, sendo que, no mesmo experimento, o Piatã ficou intermediário. Lupatini et al. (2009) avaliaram os cultivares Xaraés, Marandu e Piatã com alturas de resíduo de 15 e 25 cm e observaram maior produção para o cultivar Xaraés.

Produções acima de 20.000 kg MS.ha⁻¹.ano⁻¹ são relatados na literatura para os cultivares de *Brachiaria brizantha* em condições não limitantes para o crescimento. Oliveira, Oliveira e Barioni Júnior (2007) observaram produções de 26.800 kg de MS.ha⁻¹.ano⁻¹ para o capim-marandu adubado com 300 kg.ha⁻¹.ano⁻¹ de nitrogênio em São Carlos – SP. Bertolote (2009) observou produções de 23.670 e 19.800 kg MS.ha⁻¹.ano⁻¹ para o cultivar Marandu no primeiro e segundo ano de experimento, respectivamente. Cunha (2009) trabalhando com fertirrigação no cultivar Xaraés encontrou produções de 20.210 kg MS.ha⁻¹.ano⁻¹ em Governador Valadares – MG.

Mesmo com irrigação e adubações nitrogenadas e potássicas (30 kg.ha⁻¹ de ambos) a estacionalidade de produção de forragem foi influenciada negativamente pelas baixas temperaturas e menor radiação observado no período de inverno (Figura 1). Com isso, os cultivares Marandu, Piatã e Xaraés apresentaram estacionalidade de produção de 19, 17 e 19% no período outono/inverno contra 81, 83 e 81% no período de verão, respectivamente. A associação de baixas temperaturas e luminosidade típicas dos períodos de outono/inverno altera de modo direto e/ou indireto o metabolismo das plantas, afetando principalmente a fotossíntese (diminuição), a absorção de água e nutrientes e a translocação de fotoassimilados (MANNETJE; PRITCHARD, 1974). Resultados similares foram encontrados por Lara (2007) e Rodrigues (2004) com cultivares de *Brachiaria brizantha*, onde encontraram estacionalidade de 80% de produção na primavera/verão e 20% outono/inverno, mesmo com irrigação.

3.4.2.2 Partição

No verão, com a temperatura e a luminosidade favorável, houve um maior acúmulo de colmo e material morto no extrato colhido (acima de 25 cm) (Tabela 4 e Figura 6). Esses

resultados corroboram com outros trabalhos em *B. brizantha*, demonstrando que quando a planta é desafiada em expressar seu potencial de produção, fatores de manejo devem ser modificados para garantir uma colheita eficiente da pastagem pelo animal (RODRIGUES, 2004; PEDREIRA; PEDREIRA, 2007; LARA, 2007).

A preferência na partição de massa seca para a fração colmo no período primavera/verão, mesmo ainda no estágio vegetativo, pode estar relacionada à necessidade da planta em favorecer a interceptação luminosa. O alongamento de colmo favorece um rearranjo na estrutura do pasto, cujas lâminas foliares se tornam mais eretas, permitindo uma melhoria na interceptação de luz pelo dossel forrageiro (GOMIDE; CÂNDIDO; ALEXANDRINO, 2003; GOMIDE; GOMIDE; PACIULLO, 2006). Pedreira (2009) observou maior acúmulo de colmo na matéria seca com a frequência de corte com 100% de interceptação de luz. Nos dados do autor, os menores acúmulos de colmo e material morto foram observados na frequência de pastejo onde 95% da luminosidade incidente era absorvida.

Embora o desenvolvimento de colmo favoreça uma melhoria do ambiente luminoso, existem aspectos negativos relacionados a esse processo como o menor número de ciclos de pastejo ao longo do ano, menor aproveitamento e menor valor nutritivo da forragem produzida (SANTOS, 2002).

3.4.2.3 Índice de área foliar

O IAF acima do resíduo correlacionou positivamente com o acúmulo de forragem (Tabela 3) com valores de r de 0,95, 0,93 e 0,94 para os cultivares Marandu, Piatã e Xaraés, respectivamente ($P < 0,0001$). O aumento da área foliar está diretamente relacionada à capacidade da folha em absorver a radiação incidente, tendo efeito direto na fotossíntese por unidade de superfície foliar e, conseqüentemente, na produção de forragem (NAMBINGER, 1997; GOMIDE; GOMIDE, 2000). A redução do IAF no nono período, mesmo com temperatura e luminosidade similares ao período anterior (Figura 1), pode estar associado com o avanço do estágio de desenvolvimento reprodutivo dos capins (Tabela 6). A partição de matéria seca é influenciada pela época e duração do estágio reprodutivo, sendo que o desenvolvimento da inflorescência nos perfilhos leva à paralisação da emissão de novas folhas e, conseqüentemente, a uma redução na área foliar e produção (TAIZ; ZEIGER, 2009).

O florescimento e a elevação do meristema apical se comportaram de forma independente ao longo do tempo, apesar de ocorrerem simultaneamente no verão (Figura 8 e Tabela 6). A elevação do meristema apical esta diretamente associada ao alongamento de colmo, e é influenciada pela época do ano, pela altura de corte, pela frequência de corte e a pela adubação utilizada (GOMIDE; OBEID; RODRIGUES, 1979; GERDES et al., 2000; BUSQUE; HERRERO, 2001; RÊGO et al., 2002). De fato, o alongamento do colmo ocorre já no estágio vegetativo em gramíneas tropicais (GOMIDE; CÂNDIDO; ALEXANDRINO, 2003). Assim, os modelos devem contemplar mudanças na partição de massa seca não apenas com a mudança do estágio de desenvolvimento (vegetativo e reprodutivo), mas também com alterações na interceptação luminosa.

3.4.2.4 Desenvolvimento reprodutivo

O retardamento do desenvolvimento do meristema apical nos cultivares de *B. brizantha* no período de outono/inverno pode estar associado à existência de um período de juvenilidade. Nesse estágio a planta é insensível às condições que mais tarde promoveram o florescimento (TAINTON, 1969). O retardamento da primeira florada em *Brachiaria brizantha* cv. Marandu é descrito na literatura, indicando a existência de um período de juvenilidade no qual as plantas precisam de determinado desenvolvimento antes da floração (ISON; HOPKINSON, 1984; HOPKINSON, 1998; SOUZA, 2001). Segundo Souza (2001) devido ao estágio juvenil, a época aproximada do aparecimento das primeiras inflorescências no capim-marandu semeado em outubro é em fevereiro, e nos anos subseqüentes é antecipado para janeiro. Maiores detalhes a respeito da duração do período de juvenilidade e suas interações com fatores de meio (ex. disponibilidade hídrica) ainda necessitam ser melhor elucidados em *B. brizantha*.

A juvenilidade apresentada pelos cultivares de *Brachiaria brizantha* deve ser considerada no âmbito da modelagem, principalmente no primeiro ano de cultivo, da mesma forma que a vernalização é considerada um processo importante em gramíneas temperadas (MOORE; DONNELLY; FREER, 1997).

As forrageiras tropicais constituem um grupo altamente heterogêneo quanto as características morfológicas, anatômicas, fisiológicas e reprodutivas e tais variações podem ser observadas até mesmo entre cultivares de uma mesma espécie. Para as espécies de *B. brizantha* não há informações suficientes para classificá-las de modo definitivo dentro de nenhum grupo de

requerimentos fotoperiódicos. Algumas evidências esparsas sugerem que devem ser classificadas como plantas de dias neutros, outras evidências permitem não excluídas do grupo das plantas de dias curto (ISON; HOPKINSON, 1984; SOUZA, 2001). O cultivar Xaraés demonstrou ser mais tardio quando comparado aos cultivares Marandu e Piatã, como apresentado por Valle et al. (2004), Rodrigues (2004, 2008) onde observaram que o florescimento no cultivar Marandu ocorreu primeiro quando comparado ao cultivar Xaraés. Resultados similares foram reportados por Euclides et al. (2008) em pastos estabelecidos, onde observaram florescimento esparsos no capim-marandu do final da primavera (dezembro) até o início do outono (abril), em Campo Grande – MS (latitude 20°27' Sul). Nos cultivares Piatã e Xaraés os autores observaram florescimento em dezembro/janeiro e maio/junho, respectivamente.

3.5 Conclusão

Os cultivares Marandu e Piatã apresentam comportamentos similares em relação a produção e composição morfofisiológica. Em contrapartida, o cultivar Xaraés demonstra características distintas dos demais cultivares de *Brachiaria brizantha* avaliados. Isso indica que parâmetros utilizados em modelos mecanicistas podem apresentar similaridade entre os cultivares Marandu e Piatã.

A partição de massa seca da parte aérea foi influenciada pelo corte e pelas variações estacionais de temperatura e luminosidade. Em todos os cultivares, observa-se períodos de juvenilidade, sendo um importante fator a ser considerado em modelos envolvendo o crescimento de *Brachiaria brizantha*. O cultivar Xaraés demonstra ser a mais tardia dos cultivares de *B. brizantha*.

Referências

- BARBOSA, R.A. **Morte de pastos de braquiária**. Campo Grande: Embrapa Gado de Corte, 2006. 206 p.
- BENINCASA, M.M.P. **Análise de crescimento de plantas**: noções básicas. 2. ed. Jaboticabal: Funep, 2003. 41 p.
- BERTOLETE, L.E.M. **Sobressemeadura de forrageiras de clima temperado em pastagens tropicais**. 2009. 84 p. Dissertação (Mestrado em Zootecnia) - Faculdade de Medicina Veterinária e Zootecnia, Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Botucatu, 2009.

BOOTE, K.J.; JONES, J.W.; HOOGENBOOM, G. Simulation of crop growth: CROPGRO model. In: PEART, R.M.; CURRY, R.B. (Ed.). **Agricultural systems modeling and simulation**. New York: Marcel Dekker, 1998. p. 651-692.

BOOTE, K.J.; JONES, J.W.; HOOGENBOOM, G.; BATCHELOR, W.D.; PORTER, C.H. CROPGRO. Plant growth and partitioning model. In: JONES, J.W.; HOOGENBOOM, G.; WILKENS, P.W.; PORTER, C.H.; TSUJI, G.Y. **Decision support system for agrotechnology transfer**. Honolulu: University of Hawaii, 2003. DSSAT v. 4: Crop model documentation.

BUSQUE, J.; HERRERO, M. Sward structure and patterns of defoliation of signal grass (*Brachiaria decumbens*) pastures under different cattle grazing intensities. **Tropical Grasslands**, Santa Lúcia, v. 35, n. 1, p. 193-204, 2001.

CUNHA, F.F. **Produção e características morfogênicas da *Brachiaria brizantha* cv. Xaraés com adubação convencional e fertirrigação na região leste de Minas Gerais**. 2009. 83 p. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2009.

DEREGIBUS, V.A.; SANCHEZ, R.A.; CASAL, J.J.; TRILICA, M.J. Tillering responses to enrichment of red light beneath the canopy in a humid natural grassland. **Journal of Applied Ecology**, Oxford, v. 22, n. 2, p. 199-206, 1985.

DIAS-FILHO, M.B. Growth and biomass allocation of the C_4 grasses *Brachiaria brizantha* and *B. humidicola* under shade. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 35, n. 12, p. 2335-2341, 2000.

EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Gado de Corte. **Xaraés é o mais novo capim lançado pela EMBRAPA Gado de Corte**. Disponível em: <<http://www.cnpge.embrapa.br/produtoseservicos/pdf/marandu.pdf>>. Acesso em: 22 set. 2010.

EUCLIDES, V.P.B.; MACEDO, M.C.M.; VALLE, C.B.; BARBOSA, R.A.; GONÇALVES, W.V. Produção de forragem e características da estrutura do dossel de cultivares de *Brachiaria brizantha* sob pastejo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 43, n. 12, p. 1805-1812, 2008.

GERDES, L.; WERNER, J.C.; COLOZZA, M.T.; CARVALHO, D.D.; SCHAMMASS, E.A. Avaliação de características agronômicas e morfológicas das gramíneas forrageiras Marandu, Setária e Tanzânia aos 35 dias de crescimento nas estações do ano. **Revista Brasileira de Zootecnia**, Viçosa, v. 29, n. 4, p. 947-954, 2000.

GOMIDE, C.A.M.; GOMIDE, J.A. Morfogênese de cultivares de *Panicum maximum* Jacq. **Revista Brasileira de Zootecnia**, Viçosa, v. 29, n. 2, p. 341-348, 2000.

GOMIDE, C.A.M.; GOMIDE, J.A.; PACIULLO, D.S.C. Morfogênese como ferramenta para o manejo de pastagens In: REUNIÃO ANUAL DA SOCIEDADE BRASILEIRA DE ZOOTECNIA, 43., 2006, João Pessoa. **Anais...** João Pessoa: SBZ, 2006. p. 554-579.

GOMIDE, J.A.; CÂNDIDO, M.J.D.; ALEXANDRINO, E. As interfaces solo, planta e animal da exploração da pastagem. In: FORRAGICULTURA E PASTAGENS: TEMAS EM EVIDÊNCIA SUSTENTABILIDADE, 4., 2003, Lavras. **Anais...** Lavras: Ed. UFLA, 2003. p. 75-116.

GOMIDE, J.A.; OBEID, J.A.; RODRIGUES, L.R.A. Fatores morfofisiológicos de rebrota do capim-colonião (*Panicum maximum*). **Revista da Sociedade Brasileira de Zootecnia**, Viçosa, v. 8, n. 4, p. 532-561, 1979.

GOUDRIAAN, J.; VAN LAAR, H.H. **Modeling potential crop growth processes**: textbook with exercises. Dordrecht: Kluwer Academic, 1994. 238 p.

HOPKINSON, J.M.; SOUZA, F.H.D.; DIULGHEROFF, S.; ORTIZ, A.; SÁNCHEZ, M. Fisiología reproductiva, producción de semilla y calidad de la semilla el género *Brachiaria*. In: MILES, J.W.; MAASS, B.L.; VALLE, C.B. **Brachiaria**: biología, agronomía y mejoramiento. Cali: Centro Nacional de Agricultura Tropical, 1998.

ISON, R.L.; HOPKINSON, J.M. Pasture legumes and grasses of warm climate regions. In: HALEVY, A.H. **Handbook of flowering**. Boca Raton: CRC Press, 1984. chap. 5. p. 203-251.

LARA, M.A.S. **Respostas morfofisiológicas de cinco cultivares de Brachiaria spp. às variações estacionais da temperatura do ar e do fotoperíodo**. 2007. 91 p. Dissertação (Mestrado em Ciência Animal e Pastagens) – Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2007.

LITTELL, R.C.; MILLIKEN, G.A.; STROUP, W.W.; WOLFINGER, R.D.; SCHABENBERGER, O. **SAS for mixed models**. 2nd ed. SAS Institute, 2006. 813 p.

LUPATINI, G.C.; COSTA, C.; MEIRELLES, P.R.L.; TREVISANUTO, C.; FACTORI, M.A.; FONSECA, R. Produção de forragem de cultivares de *Brachiaria brizantha*: Marandu, Xaraés e Piatã. In: REUNIÃO ANUAL DA SOCIEDADE BRASILEIRA DE ZOOTECNIA, 46., 2009, Maringá. **Anais...** Maringá: SBZ, 2009. 1 CD-ROM.

MANNETJE, L.T.; PRITCHARD, A.J. The effect of day length and temperature on introduced legumes and grasses for tropics and subtropics of Coastal Australia: Dry matter production, tillering and leaf area. **Australian Journal of Experimental Agriculture and Animal Husbandry**, Victoria, v. 14, p. 173-181, 1974.

MILES, J.W.; VALLE, C.B.; RAO, I.M.; EUCLIDES, V.P.B. *Brachiaria* grasses. In: MOSER, L.E.; BURSON, B.L.; SOLLENBERGER, L.E. **Warm-season (C₄) grasses**. Madison: ASA; CSSA; SSSA, 2004. p. 745-783.

MOORE, A.D.; DONNELLY, J.R.; FREER, M. GRAZPLAN: decision support systems for Australian grazing enterprises. III. Pasture growth and soil moisture sub models, and the GrassGro DSS. **Agricultural Systems**, Barking, v. 55, n. 4, p. 535-582, 1997.

NABINGER, C. Princípios da exploração intensiva das pastagens. In: SIMPÓSIO SOBRE MANEJO DE PASTAGENS: PRODUÇÃO ANIMAL A PASTO, 13., 1997, Piracicaba. **Anais...** Piracicaba: FEALQ, 1997. p. 15-95.

OLIVEIRA, P.P.A.; OLIVEIRA, W.S.; BARIONI JÚNIOR, W. **Produção de forragem e qualidade de *Brachiaria brizantha* cv. Marandu com *Azospirillum brasilense* e fertilizada com nitrogênio.** São Carlos: Embrapa Pecuária Sudeste, 2007. 6 p. (Comunicado Técnico, 54).

PACIULLO, D.S.C.; CARVALHO, C.A.B.; AROEIRA, L.J.M.; MORENZ, M.F.; LOPES, F.C.F.; ROSSIELLO, R.O.P. Morfofisiologia e valor nutritivo do capim-braquiária sob sombreamento natural e a sol pleno. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 42, n. 4, p. 573-579, 2007.

PEDREIRA, B.C. **Capim Xaraés sob pastejo: respostas agronômicas e morfofisiológicas, e adaptação do modelo CROPGRO para a predição de crescimento.** 2009. 111p. Tese (Doutorado em Ciência Animal e Pastagens) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2009.

PEDREIRA, B.C.; PEDREIRA, C.G.S. Fotossíntese foliar do capim-xaraés (*Brachiaria brizantha* (A. Rich) Stapf. cv. Xaraés) e modelagem da assimilação potencial de dosséis sob estratégias de pastejo rotativo. **Revista Brasileira de Zootecnia**, Viçosa, v. 36, n. 4, p. 773-779, 2007.

PEDREIRA, C.G.S. Avanços metodológicos na avaliação de pastagens. In: REUNIÃO ANUAL DA SOCIEDADE BRASILEIRA DE ZOOTECNIA, 39., 2002, Recife. **Anais...** Recife: SBZ, 2002. p. 100-150.

POORTER, H.; GARNIER, E. Ecological significance of inherent variation in relative growth rate and its components. In: PUGNAIRE, F.I.; VALLADARES, F. **Handbook of functional plant ecology.** New York: Marcel Dekker, 1999. p. 81-120.

RÊGO, F.C.A.; CEVATO, U.; CANTO, M.W.; MARTINS, E.N.; SANTOS, G.T.; CANO, C.P.; PETERNELLI, M. Características morfológicas e índice de área foliar do capim-tanzânia (*Panicum maximum* Jacq. cv. Tanzânia-1) manejado em diferentes alturas, sob pastejo. **Revista Brasileira de Zootecnia**, Viçosa, v. 31, n. 5, p. 1931-1937, 2002.

RODRIGUES, C.S. **Caracterização morfogênica de gramíneas forrageiras tropicais sob crescimento livre.** 2008. 87 p. Dissertação (Mestrado em Zootecnia) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2008.

RODRIGUES, D.C. **Produção de forragem de cultivares de *Brachiaria brizantha* (Hochst. ex. a. Rich.) stapf e modelagem de respostas produtivas em função de variáveis climáticas.** 2004. 94 p. Dissertação (Mestrado em Ciência Animal e Pastagens) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2004.

ROLIM, G.S.; CAMARGO, M.B.P.; LANIA, D.G.; MORAES, J.F.L. Classificação climática de Köppen e de Thornthwaite e sua aplicabilidade na determinação de zonas agroclimáticas para o estado de São Paulo. **Bragantia**, Campinas, v. 66, n. 4, p. 711-720, 2007.

SANTOS, H.G.; JACOMINE, P.K.T.; ANJOS, L.H.C.; OLIVEIRA, V.A.; OLIVEIRA, J.B. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. 2. ed. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2006. 306 p.

SANTOS, P.M. **Controle do desenvolvimento das hastes no capim tanzânia: um desafio**. 2002. 98 p. Tese (Doutorado em Ciência Animal e Pastagens) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2002.

SILVA, A.C.; FERREIRA, L.R.; SILVA, A.A.; FERREIRA, F.A. Análise de crescimento de *Brachiaria brizantha* submetida a doses de fluazifop-p-butil. **Planta Daninha**, Viçosa, v. 23, n. 1, p.85-91, 2005.

SILVA, S.C.; CORSI, M. Manejo do pastejo. In: SIMPÓSIO SOBRE MANEJO DE PASTAGENS, 20., 2003, Piracicaba. **Anais...** Piracicaba: FEALQ, 2003. p. 155-186.

SOUZA, F.H.D. **Produção de sementes de gramíneas forrageiras tropicais**. São Carlos: Embrapa Pecuária Sudeste, 2001. 43 p. (Comunicado Técnico, 30).

TAINTON, N.M. Environmental control of flowering in tropical – subtropical grasses. **Proceedings of the Grassland Society of Southern Africa**, Pretoria, v. 4, n. 1, p. 49-55, 1969.

TARDIEU, F.; GRANIER, C.; MULLER, B. Modelling leaf expansion in a fluctuating environment: are changes in specific leaf area a consequence of changes in expansion rate? **New Phytologist**, Lancaster, v. 143, n. 1, p. 33-43, 1999.

TAIZ, L.; ZAIGER, E. **Fisiologia vegetal**. 4. ed. Porto Alegre: Artmed, 2009. 820 p.

VALLE, C.B.; EUCLIDES, V.P.B.; MACEDO, M.C.M. Características de plantas forrageiras do gênero *Brachiaria*. In: SIMPÓSIO SOBRE O MANEJO DA PASTAGEM, 17., 2001, Piracicaba. **Anais...** Piracicaba: FEALQ, 2000. p. 133-176.

VALLE, C.B.; EUCLIDES, V.P.B.; PEREIRA, J.M.; VALÉRIO, J.R.; PAGLIARINI, M.S.; MACEDO, M.C.M.; LEITE, G.G.; LOURENÇO, A.J.; FERNANDES, C.D.; DIAS FILHO, M.B.; LEMPP, B.; POTT, A.; SOUZA, M.A. **O capim-xaraés (*Brachiaria brizantha* cv. Xaraés) na diversificação das pastagens de braquiária**. Campo Grande: Embrapa Gado de Corte, 2004. 36 p. (Comunicado Técnico, 154).

WOODWARD, S.J.R. Dynamical systems models and their application to optimazing grazing management. In: PEART, R.M.; CURRY, R.B. **Agricultural systems modeling and simulation**. New York: Marcel Dekker, 1998. p. 419-473.

4 MODELOS EMPÍRICOS PARA A ESTIMATIVA DE ACÚMULO DE MASSA SECA DE *Brachiaria brizantha* CV. MARANDU UTILIZANDO VARIÁVEIS AGROCLIMÁTICAS

Resumo

Os modelos de simulação mecanicistas são complexos e necessitam de conhecimentos específicos sobre diversos processos fisiológicos da planta e sobre como cada variável ambiental influencia em tais processos. Por outro lado, a utilização de modelos empíricos visa representar de forma simplificada as relações existentes entre a resposta fisiológica das plantas e as variáveis ambientais. Desta forma, o objetivo deste estudo foi gerar e testar modelos empíricos de regressão linear para a predição da taxa de acúmulo de matéria seca de *Brachiaria brizantha* cv. Marandu em função de variáveis climáticas. Para gerar os modelos empíricos foram utilizados dados de taxa média de acúmulo de matéria seca (TAMS) do capim-marandu, cultivado em condições de sequeiro na Embrapa Pecuária Sudeste, relativos a 29 períodos de crescimento nos anos de 1998, 2000, 2001 e 2002. Cada período de crescimento representa uma média de 10 amostragens em quadrados de 0,5 x 0,5 m (0,25 m²), onde as amostras de forragem eram secas em estufa de circulação de ar a 65 °C até atingir peso constante. As variáveis climáticas avaliadas foram temperatura mínima (Tmin), temperatura máxima (Tmax), temperatura média (Tmed), radiação (Rg), graus-dia (GD), evapotranspiração real (ETr) e potencial (ETp), obtida a partir do balanço hídrico climatológico, unidades fototérmicas (UF) e o índice climático de crescimento (ICC). As análises de regressão linear univariada e multivariada entre a TAMS e as ocorrências climáticas nos períodos de crescimento demonstraram bons resultados na capacidade preditora, com exceção feita à variável UF. Os melhores resultados foram observados para a regressão linear multivariada (MRE), com as variáveis Tmin, Rg e ETR, apresentando valores de r², RQMR e CIA (0,84, 14,72 e 222,5, respectivamente). Nas equações de regressão linear univariada destacaram-se as variáveis preditoras GDcorr (r²=0,75, RQMR=17,84 e CIA=242,6), Tmincorr (r²=0,75, RQMR=17,82 e CIA=244,1) e ICC (r²=0,74, RQMR=17,85 e CIA=236,9) com os maiores valores de r² e menores RQMR e CIA. Os modelos apresentaram capacidade distinta de predição da TAMS. A abordagem de modelos empíricos mostra-se uma alternativa prática e viável, capaz de estimar a variação da produção de forragem. O modelo que relacionou a variável climática de graus-dia corrigidos pela relação ETR/ETP apresenta a melhor predição da taxa média de acúmulo de matéria seca para a cidade de São Carlos.

Palavras-chaves: Capim-marandu; Acúmulo de matéria seca; Modelos empíricos; Variáveis climáticas

Abstract

Knowledge of environmental factors that influence the development and growth of a particular culture is fundamental not only to guide the management practices but especially for developing models that can serve the correct interpretation of search results. The simulation models are mechanistic or deterministic complex and require knowledge of plant physiological processes and several how each environmental variables these influences processes. The use of agrometeorological models aim to represent in simplified form the relationship between the physiological response of plants and environmental variables during different stages of the

phenological culture. Thus, the aim of this study was to generate and validate empirical models of linear regression to predict the rate of dry matter Accumulation of *Brachiaria brizantha* cv. Marandu depending on climatic variables, to propose models to estimate the seasonal variation. To generate empirical models used data from the average rate of accumulation of dry matter (TFM) of palisade grass, grown under rainfed conditions in the southeast, relating to 29 periods of growth in the years 1998, 2000, 2001 and 2002. Each period of growth represents an average of 10 samples in squares of 0,5 x 0,5 m (0,25 m²), the forage samples Where were dried in air circulation at 65 °C until the got constant weight. The Climatic variables were assessed minimum temperature (Tmin), maximum temperature (Tmax), mean temperature (Tmed), radiation (Rg), degree-day (GD), real evapotranspiration (ETr) and potential evapotranspiration (ETp) obtained from climatic water balance, photothermal units (UF) and climatic growth index (CCI). The linear regression analysis of univariate and multivariate analysis of the TFM and weather events during periods of growth have shown good results in predictive ability, with the exception variable UF had the lowest performance. The best results were observed for the linear regression (ERM), with variables Tmin, Rg and REE, with the best values of r^2 , CIA and RQMR (0,84, 14,72 and 222,5, respectively). In univariate linear regression equations were the high lights GDcorr predictors ($r^2=0,75$, 17,84 and RQMR=CIA=242,6), Tmincorr ($r^2 = 0,75$, 17,82 and RQMR = CIA=244, 1) and ICC ($r^2 = 0,74$, 17,85 and RQMR = CIA = 236,9) with the highest r^2 values and lower RQMR and CIA. The models showed different results on the predictive ability of the TFM. The approach of empirical models proved to be a practical and viable alternative capable of estimating forage production. The model relating the variable climate of degree-days adjusted by the ratio AE/PE showed the best prediction of the rate of accumulation of dry matter to the city of São Carlos - SP.

Keywords: Marandu grass; Accumulation of dry matter; Empirical models; Climatic variables

4.1 Introdução

O Brasil apresenta características climáticas que favorecem a exploração de forrageiras tropicais com elevado potencial de produção de biomassa. Nos ecossistemas de pastagens, o potencial de produção pode ser determinado geneticamente, entretanto, fatores ambientais tais como a temperatura, a luminosidade e a disponibilidade hídrica influenciam diretamente nas respostas fisiológicas das pastagens (ZHU; LONG; ORT, 2008).

Nos últimos anos, a preocupação com o clima e o tempo se tornou um fato recorrente, principalmente com relação ao seu efeito sobre o planejamento das atividades agrícolas. Os relatórios do *Intergovernmental Panel on Climate Change* (IPCC, 2001) indicam que significativas perdas na agricultura ocorrerão caso as perspectivas de mudanças climáticas venham a se configurar. Mudanças estas que compreendem desde as variações consideradas naturais do regime climático até aquelas aceleradas pelas ações antrópicas.

O conhecimento dos principais fatores ambientais que condicionam o desenvolvimento e o crescimento de uma determinada cultura torna-se fundamental não apenas para nortear as

práticas de manejo, mas, sobretudo, na elaboração de modelos que possam servir à interpretação correta de resultados de pesquisa (NABINGER, 1996; THORNLEY, 1998).

Os modelos de simulação mecanísticos ou determinísticos são complexos e necessitam de conhecimentos sobre diversos processos fisiológicos da planta e sobre como cada variável ambiental influencia tais processos. Contudo, a aplicação destes modelos em grandes escalas torna-se difícil pela falta de conhecimento dos processos fisiológicos que ocorrem no dossel, pela dificuldade de desenvolvimento de modelos que integrem todos os processos fisiológicos e pela dificuldade em obtenção de dados relacionados ao clima e solo. (BERLATO, 1987; BOOTE et al., 1996; PASSIOURA, 1996).

Nesse contexto, a utilização de modelos empíricos torna-se uma ferramenta viável capaz de representar de forma simplificada as relações existentes entre a resposta fisiológica das plantas e as variáveis ambientais durante os diferentes estádios fenológicos de uma cultura (FONSECA; PONZONI; FORMAGGIO, 2007). A decisão sobre quais variáveis a serem utilizadas baseia-se em relações empíricas obtidas através do conhecimento experimental. Nos dias atuais, com a evolução das técnicas de coleta, processamento e análise de dados meteorológicos, há uma maior possibilidade de sucesso no planejamento de uma cultura a partir de informações meteorológicas globais, regionais e locais (VOLPATO; ALVES; VIEIRA, 2008).

Desta forma, o objetivo deste estudo foi gerar modelos empíricos de regressão linear para a predição da taxa de acúmulo de matéria seca de *Brachiaria brizantha* cv. Marandu em função de variáveis climáticas que permitam estimar a estacionalidade de produção de diferentes regiões.

4.2 Material e métodos

Para gerar os modelos empíricos foram utilizados dados de taxa média de acúmulo de matéria seca (TAMS) de *Brachiaria brizantha* cv. Marandu (capim-marandu), cultivado em condições de sequeiro na Embrapa Pecuária Sudeste (21°57' de latitude sul 47°51' de longitude oeste), relativos a 29 períodos de crescimento nos anos de 1998, 2000, 2001 e 2002. O clima é classificado como tropical de altitude (Koeppen – Cwa) e o solo como Latossolo Vermelho-Amarelo. Cada período de crescimento representa uma média de 10 amostragens em quadrados de 0,5 x 0,5 m (0,25 m²), onde as amostras de forragem eram secas em estufa de circulação de ar a 65 °C até atingir peso constante. A TAMS foi calculada dividindo a massa de forragem coletada acima da altura de resíduo (25 cm) pelo número de dias de crescimento.

As variáveis climáticas avaliadas foram temperatura mínima (Tmin), temperatura máxima (Tmax), temperatura média (Tmed), radiação (Rg), graus-dia (GD), evapotranspiração real (ETr) e potencial (ETp), obtidas a partir do balanço hídrico climatológico, unidades fototérmicas (UF) (VILLA NOVA; CARRETEIRO; SCARDUA, 1983) e o índice climático de crescimento (ICC) (FITZPATRICK; NIX, 1970). A essas variáveis, com exceção a ETr, foi adicionado um fator de penalização de disponibilidade hídrica dado pela relação ETr/ETp. As variáveis climáticas Tmin, Tmax, Tmed e Rg foram obtidas por meio de estação meteorológica automática de coleta de dados situada na Embrapa Pecuária Sudeste. Para a regressão foram utilizados os valores médios das variáveis climáticas em cada período de crescimento.

O balanço hídrico foi calculado pelo programa proposto por Rolim, Sentelhas e Barbieri (1998), no ambiente ExcelTM, baseado no método de Thornthwaite e Mather (1995), em escala quinquidial.

A temperatura base inferior (Tbi) foi obtida relacionando os dados de TAMS (utilizados na geração dos modelos) com os dados de temperatura média do ar em cada período de crescimento ($TAMS = a + b.Tmed$, onde a e b são os coeficientes linear e angular da regressão). Quando a TAMS for igual a zero a Tmed será igual a Tbi ($Tbi = -a/b$) (Figura 1).

Figura 1 – Relação entre a taxa média de acúmulo de matéria seca e a temperatura média do período de crescimento, para determinação da temperatura base inferior (Tbi) na *Brachiaria brizantha* cv. Marandu

O GD foi calculado pela Equação 1, 2 e 3 (OMETTO, 1981):

(i) quando $T_{med} > T_{bi}$

$$GD = T_{med} - T_{bi} \quad (1)$$

(ii) quando $T_{med} = T_{bi}$

$$GD = \frac{(T_{max} - T_{med})^2}{(T_{max} - T_{min}) \cdot 2} \quad (2)$$

(iii) quando $T_{med} < T_{bi}$

$$GD = \frac{(T_{max} - T_{bi})^2}{(T_{max} - T_{min}) \cdot 2} \quad (3)$$

onde: T_{bi} é a temperatura base inferior (17,2 °C) (Figura 1); T_{med} é a temperatura média; T_{max} é a temperatura máxima; T_{min} é a temperatura mínima.

As UF foram calculadas pela equação 4:

$$UF = \frac{\left(\frac{1}{2}GD\right)^{\frac{N_f}{N_i}+1}}{\frac{N_f}{N_i}+1} \quad (4)$$

onde: GD são os graus-dia; N_f e N_i é o fotoperíodo inicial e final (equação 5).

$$N = \frac{24}{\pi} \cos^{-1} \left(\frac{\cos\left(\frac{209}{365}\pi\right) - \sin(\lambda)\sin(\varnothing)}{\cos(\lambda)\cos(\varnothing)} \right) \quad (5)$$

onde: λ é a latitude; $\varnothing$ é a declinação solar (equação 6)

$$\varnothing = \frac{23.5\pi}{180} \cos\left(\frac{2\pi}{365}(\text{DOY} - 173)\right) \quad (6)$$

onde: DOY é o dia juliano.

O ICC foi calculado (equação 7):

$$ICC = IL.IT.IH \quad (7)$$

onde: IL é o índice de luz (equação 8); IT é o índice térmico de gramíneas tropicais, a partir de tabelas apresentadas por Mota, Berny e Mota (1981), que leva em consideração as temperaturas acima ou abaixo da temperatura ótima (Figura 2); IH é o índice hídrico representado pela relação ETR/ETP.

$$IL = 1,0 - \exp\left(-3,5 \left(\frac{R_g}{750}\right)\right) \quad (8)$$

onde: R_g é a radiação solar em $\text{cal.cm}^{-2}.\text{dia}$.

Figura 2 – Índice térmico de gramíneas e leguminosas de clima temperado, gramíneas e leguminosas de clima tropical
Fonte: Adaptado de Mota, Berny e Mota (1981)

Os dados relacionando a TAMS e os parâmetros climáticos foram submetidos a análises exploratórias preliminares com o intuito de eliminar dados discrepantes e obedecer às premissas básicas da análise de variância. Na variável Tmax foi utilizada a técnica dos mínimos quadrados

ponderados no ajuste dos parâmetros, em virtude de problemas com as premissas estatísticas (CARROLL; RUPPERT, 1988).

Após as análises preliminares foram realizadas regressões linear simples ($y = a + bx$) e linear múltipla entre as variáveis climáticas (variável independente) e a TAMS (variável dependente). Para os procedimentos de regressão linear simples foi utilizado o PROC REG do SAS, e para regressão linear múltipla foi utilizado o PROC STEPWISE (passo a passo), que indicou as variáveis independentes com melhor ajuste. A seleção dos modelos baseou-se no coeficiente de determinação (r^2), na raiz do quadrado médio do resíduo (RQMR) e no critério de informação de Akaike (CIA) (AKAIKE, 1974). O CIA (equação 9) foi obtido com o auxílio do PROC MIXED do SAS.

O CIA é determinado de forma geral pela seguinte expressão (equação 9):

$$CIA = 2K - 2 \ln(L) \quad (9)$$

onde: K é o número de parâmetros e L é o valor de máxima verossimilhança da função.

Para o teste dos modelos foram utilizados 35 períodos distintos de produção de forragem entres os anos de 2005/2006 (BERTOLOTE, 2009) e 2009/2010 (dados de acúmulo de forragem referentes ao experimento descrito no Capítulo 3) em São Carlos, e 2005/2006 em Piracicaba (LARA, 2007). Todos os experimentos utilizados na validação foram conduzidos sem restrição hídrica e nutricional.

Na etapa de teste dos modelos, o desempenho dos modelos escolhidos foi avaliado pelo índice “d” de Willmott (WILLMOTT et al., 1985) (equação 10), pelo índice de confiança (c) (CAMARGO; SENTELHAS, 1997) e pelo quadrado médio do erro de predição (EQMP). O índice “c” (equação 11) permite uma interpretação objetiva para os testes de acurácia, representado pelo índice “d”, e precisão, representado pelo coeficiente de correlação, variando de “Ótimo” ($c > 0,85$), “Muito bom” ($c \ 0,76-0,85$), “Bom” ($0,66-0,75$), “Mediano” ($0,61-0,65$), “Sofrível” ($0,51-0,60$), “Mau” ($0,41-0,50$), “Péssimo” ($c \leq 0,40$) a depender do resultado da razão entre os mesmos.

O índice “d” foi obtido pela equação 10:

$$\text{Índice "d"} = 1 - \left[\frac{\sum (P_i - O_i)^2}{\sum (|P_i - O| + |O_i - O|)^2} \right] \quad (10)$$

onde: P_i é o predito; O_i é o valor observado; O é média dos valores observados.

O índice “c” foi obtido pela razão entre o índice “d” e o coeficiente de correlação (r) (equação 11).

$$\text{Índice "c"} = r \times d \quad (11)$$

O EQMP foi calculado pela equação 12:

$$\text{EQMP} = \frac{\sum_{i=1}^n (O_i - f(P_1, \dots, P_p))^2}{n} \quad (12)$$

onde: O_i são os valores observados; P são os valores preditos pelo modelo; n é o número de observações.

4.3 Resultados e Discussão

As análises de regressão lineares univariada e multivariada entre a TAMS de *Brachiaria brizantha* cv. Marandu e as ocorrências climáticas nos períodos de crescimento são apresentadas na Tabela 1.

A variável UF foi que apresentou o menor desempenho dentre as variáveis avaliadas, mesmo quando introduzido o fator hídrico (UFcorr). Um dos motivos para o modelo UF apresentar baixo r^2 pode ser os longos períodos de descanso utilizados na geração do modelo, principalmente no inverno, superestimando as UF. Na literatura encontram-se diferentes resultados de correlações entre TAMS e UF. Lara (2007) encontrou baixa correlação entre a TAMS e as UF acumuladas em cultivares de *Brachiaria* spp., sendo que no capim-marandu a correlação entre a TAMS e as UF não foi significativa. Nesse trabalho o período de descanso no inverno foi 42 dias. Já Tonato (2003) observou alta correlação entre as UF e a TAMS em *Cynodon* spp. com 28 e 42 dias de descanso independente da estação do ano.

Tabela 1 – Equações de regressão relacionando a taxa média de acúmulo de matéria seca (TAMS) e as variáveis climáticas, coeficiente de determinação (r^2), raiz do quadrado médio do resíduo (RQMR), critério de informação de “Akaike” (CIA) e probabilidade (P)

Variável ¹	Modelos	r^2	RQMR	CIA	P
Tmax ²	TAMS=14,30Tmax-330,68	0,44	26,36	263,0	<0,0001
Tmin	TAMS=11,93Tmin-134,95	0,73	18,45	244,5	<0,0001
Tmed	TAMS=14,08Tmed-242,47	0,64	21,24	251,7	<0,0001
Rg	TAMS=6,21Rg-52,92	0,36	28,37	268,4	0,0006
GD	TAMS=13,86GD-6,92	0,64	21,24	251,7	<0,0001
ETR	TAMS=25,46ETR-2,69	0,73	18,48	243,1	<0,0001
ICC	TAMS=233,54ICC+7,99	0,74	17,85	236,9	<0,0001
UF	TAMS=0,003UF+40,42	0,17	32,17	290,1	0,025
Tmaxcorr	TAMS=4,11Tmaxcorr+29,61	0,69	19,77	250,4	<0,0001
Tmincorr	TAMS=5,78Tmincorr-17,24	0,75	17,82	244,1	<0,0001
Tmedcorr	TAMS=4,83Tmedcorr-24,83	0,71	18,89	247,6	<0,0001
Rgcorr	TAMS=4,44Rgcorr-6,36	0,59	22,5	257,0	<0,0001
GDcorr	TAMS=12,9GDcorr+6,52	0,75	17,84	242,6	<0,0001
UFcorr	TAMS=0,004UFcorr+33,45	0,35	28,37	281,1	0,0006
MRE ³	TAMS=8,3Tmin-5,2Rg+21,9ETR-36,3	0,84	14,72	222,5	<0,0001

¹Tmax, Tmin, Tmed são as temperaturas máxima, mínima e média em °C; Rg é a radiação em MJ.m⁻²; GD é o grau-dia em °C; ETR é a evapotranspiração real em mm; ICC é o índice climático de crescimento; UF são as unidades fototérmicas; MRE é a regressão linear múltipla; Corr é o fator de correção que representa a relação ETR/ETP.

²utilizou-se o método dos mínimos quadrados ponderados.

³Stepwise

Os melhores resultados foram observados para a regressão linear multivariada (MRE), com as variáveis Tmin, Rg e ETR, apresentando os melhores valores de r^2 , RQMR e CIA (0,84, 14,72 e 222,5, respectivamente; Tabela 1).

Nas equações de regressão linear univariada destacaram-se as variáveis preditoras GDcorr ($r^2=0,75$, RQMR=17,84 e CIA=242,6), Tmincorr ($r^2=0,75$, RQMR=17,82 e CIA=244,1) e ICC ($r^2=0,74$, RQMR=17,85 e CIA=236,9) com os maiores valores de r^2 e menores RQMR e CIA.

De maneira geral todas as variáveis climáticas avaliadas melhoraram seus resultados quando inserido o fator de disponibilidade hídrica. Isso demonstra a importância da água como um fator determinante na produção de forragem. A variável que compõem o balanço hídrico é a

razão ETR/ETP, constituindo-se de uma variável capaz de medir o suprimento hídrico para a planta em relação a sua necessidade. A ETP é a quantidade de água utilizada por uma área vegetada em crescimento, sob condições ótimas de umidade do solo, e a ETR é a quantidade de água que nas condições reais é transpirada pelas plantas e evaporada pelo solo (THORNTHWAITE, 1948). Assim, a ETR esta diretamente relacionada com a disponibilidade hídrica do solo, e a ETP com a demanda hídrica atmosférica.

Figura 3 – Relação entre a taxa média de acúmulo de matéria seca (TAMS) e o índice climático de crescimento médio (ICC) em 29 períodos de crescimento de sequeiro no município de São Carlos – SP

O ICC demonstrou ser um interessante parâmetro climático quando correlacionado com a produção de forragem (Figura 3). No Brasil, existem bons resultados relacionando ICC como variável climática preditora de produção de forragem, desde pastagens nativas como demonstrado por Mota, Berny e Mota (1981) e Mota (1991), a diferentes forrageiras tropicais (PEDRO JÚNIOR, 1995; SANTOS et al., 2008). Uma das dificuldades encontradas ao trabalhar com o ICC como variável climática é a obtenção de dados de radiação global, deficiente em muitas estações meteorológicas no Brasil.

Figura 4 – Relação entre a taxa média de acúmulo de matéria seca (TAMS) e os graus-dias médios acumulados corrigidos pela relação ETR/ETP (GDcorr) em 29 períodos de crescimento de sequeiro no município de São Carlos – SP

Figura 5 – Relação entre a taxa média de acúmulo de matéria seca (TAMS) e a temperatura mínima corrigida pela relação ETR/ETP (Tmincorr) em 29 períodos de crescimento de sequeiro no município de São Carlos – SP

As variáveis GDcorr e Tmincorr também apresentaram excelentes correlações com a TAMS, apesar de envolverem apenas dois fatores climáticos (temperatura e déficit hídrico) (Figuras 4 e 5). Diversos estudos apresentaram boas correlações entre a temperatura e a produção

no capim-marandu (PEDRO JÚNIOR et al., 1990; RODRIGUES, 2004; LARA, 2007; TONATO, 2009). Rolim (1994) observou que o efeito da temperatura é bem mais significativo na produção de forragem do que o fotoperíodo, quando sumarizou os reflexos do ambiente na estacionalidade de produção de plantas forrageiras. Costa et al. (2005) observaram que, para a região Centro –Oeste brasileira, onde se encontra a maior área plantada de capim-marandu, os principais efeitos do clima na produção foram decorrentes das baixas temperaturas e precipitações no período de inverno.

Uma das limitações para a utilização das variáveis GDcorr e ICC está relacionada à determinação das temperaturas basais. Cooper e Tainton (1968) generalizam entre 10 a 15 °C as temperaturas bases inferior (T_{bi}) para forrageiras tropicais. Entretanto, em estudos com capim-marandu, Rodrigues (2004) e Lara (2007) encontraram valores de T_{bi} de 18,6 e 16,3 °C, respectivamente. A média desses valores (17,5 °C) esta próxima aos observados e utilizados na geração dos modelos preditores (17,2 °C; Figura 1). A preferência pela variável climática de temperatura tem ocorrido principalmente em função de sua boa capacidade de estimação de produção e pela sua facilidade em obtenção quando comparada com outras variáveis climáticas, como por exemplo, a radiação.

Mcdowell (1972) afirma que em regiões tropicais e subtropicais, situadas entre as latitudes 30° Norte e Sul, a temperatura e a deficiência hídrica e/ou sua associação, são os principais fatores limitantes da produção de forragem. Diferentemente do que ocorre em regiões temperadas, onde a luz passa a ter grande relevância seguida da temperatura e da oferta hídrica (VAN SOEST, 1994).

Os modelos univariados com as variáveis climáticas de GDcorr, T_{min}corr, e ICC e multivariado com T_{min}, R_g e ETR, prosseguiram nos testes.

4.3.1 Teste dos modelos agroclimáticos

Na Tabela 2 encontra-se o desempenho da comparação dos valores preditos pelos modelos, com os dados observados em experimentos nas cidades de São Carlos e Piracicaba – SP.

Tabela 2 – Valores do índice de Willmott (d), coeficiente de determinação (r^2), coeficiente de correlação (r), índice de confiança (c) e o quadrado médio do erro de predição (QMEP) dos modelos agroclimáticos nas cidades de São Carlos e Piracicaba, no estado de São Paulo

Variável	Índice d	r^2	r	Índice c	QMEP	Desempenho
São Carlos – SP						
GDcorr ¹	0,88	0,66	0,81	0,71	352	Bom
ICC ²	0,85	0,57	0,76	0,65	361	Mediano
Tmincorr ³	0,67	0,76	0,87	0,58	671	Sofrível
MRE ⁴	0,75	0,35	0,59	0,45	879	Mau
Piracicaba – SP						
GDcorr	0,56	0,59	0,77	0,43	1.761	Mau
ICC	0,48	0,60	0,77	0,37	2.029	Péssimo
Tmincorr	0,48	0,58	0,76	0,37	1.684	Péssimo
MRE	0,71	0,82	0,90	0,64	1.335	Mediano

¹Graus-dia corrigido pela relação ETR/ETP – TAMS=12,9GDcorr+6,52

²Índice climático de crescimento – TAMS=233,54ICC+7,99

³Temperatura mínima corrigida pela relação ETR/ETP – TAMS=5,78Tmincorr-17,24

⁴Regressão múltipla com temperatura mínima, radiação global e evapotranspiração real – TAMS=8,3Tmin-5,2Rg+21,9ETR-36,3

Os modelos apresentaram resultados distintos na capacidade de predição da TAMS. Em Piracicaba-SP, os modelos apresentaram índice “c” variando de 0,37 a 0,64, diferentemente do observado em São Carlos-SP, onde os resultados variaram de 0,45 a 0,71. Altas correlações (r) foram observadas entre as variáveis climáticas preditoras e a TAMS (r acima de 0,75), com exceção do modelo multivariado na cidade de São Carlos-SP. O modelo que apresentou os melhores índices na estimativa de TAMS em São Carlos-SP foi o que relacionou os GDcorr (índice “d” = 0,88 e índice “c” = 0,71), e em Piracicaba-SP o modelo multivariado com três variáveis climáticas (Tmin, Rg e ETR) (índice “d” = 0,71 e índice “c” = 0,64).

Figura 6 – Relação entre a taxa média de acúmulo de matéria seca (TAMS; kg MS.ha⁻¹.dia) predita e observada para as variáveis climáticas graus-dia corrigido (A), índice climático de crescimento (B), temperatura mínima corrigida (C) e multivariada com temperatura mínima, radiação e evapotranspiração real (D), em 35 períodos de crescimento nos municípios de São Carlos (■) e Piracicaba (○) – SP. Etapa de teste dos modelos

A Figura 6 demonstra a TAMS predita e observada nos diferentes períodos de crescimento em São Carlos-SP e Piracicaba-SP. Nos dados observados em Piracicaba, houve uma

superestimativa da TAMS predita pelos modelos. Isso está relacionado ao fato da média das TAMS observadas no experimento em Piracicaba para o inverno e verão serem de 14,4 e 49,7 kg MS.ha⁻¹.dia, respectivamente, contra 42,6 e 81,9 kg MS.ha⁻¹.dia para o inverno e verão em São Carlos.

As limitações observadas na estimativa da TAMS a partir das variáveis climáticas em Piracicaba, possivelmente, estão ligadas às características intrínsecas ao conjunto de dados utilizados no teste. Um deles pode estar relacionado ao fato dos dados terem sido gerados em um único experimento manejado de forma distinta aos utilizados na geração dos modelos, principalmente em relação à altura e frequência de corte. A altura do resíduo nos dados utilizados para gerar os modelos foi de 25 cm com frequências de cortes que chegaram a 90 dias no inverno, diferente dos 15 cm de resíduo e 42 dias de frequência no inverno avaliados em Piracicaba.

Outros fatores não controlados podem ter contribuído para menores TAMS. Nesses dados, Lara (2007) afirma que mesmo com adubações nitrogenadas e irrigação os acúmulos totais medidos foram inferiores àqueles observados na literatura para a *Brachiaria brizantha*, chegando apenas a 40 % da produção potencial.

Apesar da baixa acurácia observada nas estimativas de TAMS em Piracicaba (índice variando de 0,48 a 0,71), altos valores de correlação foram observados entre as variáveis climáticas e a estimativa de produção (0,76 a 0,90; Tabela 2). Isso evidencia a importância do efeito climático na produção de forragem, mesmo com baixa acurácia observada (Figura 6).

Uma possível solução para melhorar a acurácia dos dados é apresentada por Tonato et al. (2010), assumindo o valor de T_{bi} como uma constante. Nesse trabalho o autor realizou uma calibração na *B. decumbens* cv. Basilisk com dados de produção de forragem em uma propriedade rural, elevando assim, a acurácia das estimativas de produção. Fica evidente a importância da calibração dos modelos com dados locais, para promover os ajustes dos parâmetros do modelo de forma a fazer com que os resultados simulados tenham um comportamento semelhante aos resultados reais (TONATO et al., 2010).

Uma das limitações associadas ao conjunto de dados utilizado na geração dos modelos é a pequena abrangência geográfica, já que foram gerados apenas com dados referentes à São Carlos. Modelos empíricos envolvendo variáveis climáticas fornecem boas estimativas de produção, mas são restritos às condições de meio e ao cultivar com os quais foram gerados (GOUDRIAAN; VAN LAAR, 1994).

4.3.2 Curva de estacionalidade de produção

As pastagens tropicais apresentam um padrão de crescimento estacional que esta diretamente relacionada aos fatores do clima determinantes da produção tais como luminosidade, temperatura e disponibilidade hídrica. Como destacado por Rolim (1994), a estacionalidade de produção não é um privilégio apenas dos países tropicais e esta presente em todos os sistemas de produção no mundo que dependem do ambiente para a produção de forragem.

Utilizando os GDcorr como variável climática preditora foi estimada TAMS do cultivar Marandu na cidade de São Carlos (Figura 7). A TAMS acompanhou a diminuição da temperatura média nos meses correspondentes ao outono/inverno (abril a setembro) onde o pico de menor produção correspondeu ao mês de julho (13,7 kg MS.ha⁻¹.dia; Figura 7). A TAMS nos períodos de outono/inverno (abril a setembro) e primavera/verão (outubro a março) foram de 35 e 65% em relação ao total, respectivamente. Esses resultados estão em acordo com outros trabalhos com *B. brizantha* (LARA, 2007; RODRIGUES, 2004; RASSINI, 2004; COSTA et al., 2005).

Figura 7 – Estimativa da taxa média de acúmulo de matéria seca (TAMS) em São Carlos – SP. Dados obtidos a partir da média da TAMS no período de 1999 a 2009. A linha vermelha representa a produção média (56,6 kg MS.ha⁻¹.dia)

O uso de modelos agroclimáticos é uma alternativa de fácil entendimento e utilização. A sua aplicabilidade em grandes escalas tornam-se simples em virtude do menor número de dados

requeridos em sua predição. Entretanto, vale ressaltar o cuidado nas extrapolações em condições diferentes daquelas sobre as quais o modelo foi gerado. Isso reforça a necessidade de uma maior amplitude dos dados utilizados na geração dos modelos em diferentes regiões, caso seja necessário seu uso de forma generalizada.

4.4 Conclusão

A abordagem de modelos empíricos mostra-se uma alternativa prática e viável capaz de estimar a variação da produção de forragem. O modelo que utilizou a variável climática de graus-dias corrigido pela relação ETR/ETP apresenta a melhor predição da taxa média de acúmulo de matéria seca para a cidade de São Carlos.

A consideração da disponibilidade hídrica mostra-se um fator de eficiência na melhoria das variáveis climáticas preditoras, enfatizando a importância da água como um fator determinante na produção de forragem.

As baixas temperaturas e precipitações observadas no outono/inverno são responsáveis pela produção estacional de forragem da *Brachiaria brizantha* cv. Marandu em São Carlos-SP.

Referências

AKAIKE, H. A new look at the statistical model identification. **IEEE Transactions on Automatic Control**, Notre Dame, v. 9, n. 6, p. 716-723, 1974.

BERLATO, M.A. **Modelo de relação entre o rendimento de grãos de soja no Rio Grande do Sul e disponibilidade hídrica**. 1987. 94 p. Tese (Doutorado em Meteorologia) - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos, 1987.

BOOTE, K.J.; JONES, J.W.; PICKERING, N.B. Potential uses and limitations of crop models. **Agronomy Journal**, Madison, v. 88, n. 5, p. 704-716, 1996.

CAMARGO, A.P.; SENTELHAS, P.C. Avaliação do desempenho de diferentes métodos de estimativa da evapotranspiração potencial no Estado de São Paulo, Brasil. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Santa Maria, v. 5, n. 1, p. 89-97, 1997.

CARROLL, R.J.; RUPPERT, D. **Transformation and weighting in regression**. New York: Chapman and Hall, 1988. 249 p.

COOPER, J.P.; TAINTON, N.M. Light and temperature requirements for growth of tropical and temperate grasses. **Herbage Abstracts**, Farnham Royal, v. 38, n. 1, p. 167-176, 1968.

- COSTA, K.A.P.; ROSA, B.; OLIVEIRA, I.P.; CUSTÓDIO, D.P.; SILVA, D.C. Efeito da estacionalidade de produção de matéria seca e composição bromatológica da *Brachiaria brizantha* cv. Marandu. **Ciência Animal Brasileira**, Goiânia, v. 6, n.3, p. 187-193, 2005.
- FITZPATRICK, E.A; NIX, H.A. The climatic factor in Australian grassland ecology. In: MOORE, R.M. **Australian grasslands**. Canberra: Australian National University Press, 1970.
- FONSECA, E.L.; PONZONI, F.G.; FORMAGGIO, A.R. Modelo agrometeorológicos-espectral para estimativa da disponibilidade de forragem no bioma “campos sulinos”. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Piracicaba, v. 15, n. 3, p. 241-249, 2007.
- GOUDRIAAN, J.; VAN LAAR, H.H. **Modeling potential crop growth processes: textbook with exercises**. Dordrecht: Kluwer Academic, 1994. 238 p.
- HOUGHTON, J.T.; DING, Y.; GRIGGS, D.J.; NOGUER, M.; VAN DER LINDEN, P.J.; XIAOSU, D. (Ed.). **Climate change 2001: the scientific basis**. Contribution of Working Group I to the Third Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge University Press, United Kingdom, 2001. 944 p.
- LARA, M.A.S. **Respostas morfofisiológicas de cinco cultivares de *Brachiaria* spp. às variações estacionais da temperatura do ar e do fotoperíodo**. 2007. 91 p. Dissertação (Mestrado em Ciência Animal e Pastagens) – Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2007.
- LEMAIRE, G.; CHAPMAN, D.F. Tissue flows in grazed plants communities. In: HODGSON, J.; ILLUS, A.W. **The ecology and management of grazing systems**. London: CAB International, 1996. chap. 1, p. 3-36.
- MCDOWELL, R.G. **Improvement of livestock production in war climates**. San Francisco: W. H. Freeman, 1972. 771 p.
- MOTA, F.S.; BERNY, Z. B.; MOTA, J.F.A.S. Índice climático de crescimento de pastagens naturais no Rio Grande do Sul. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 16, n. 4, p. 453-472, 1981.
- MOTA, J.F.A.S. Clima, lotação animal e suplementação de feno em pastagem nativa em Pelotas, Rio Grande do Sul. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE AGROMETEOROLOGIA, 7., 1991, Viçosa. **Anais...** Viçosa: Sociedade Brasileira de Agrometeorologia, 1991. p. 208-209.
- NABINGER, C. Aspectos ecofisiológicos de manejo de pastagens e utilização de modelos como ferramenta de diagnóstico e indicação de necessidades de pesquisa. In: REUNIÃO DO GRUPO TÉCNICO EM MELHORAMENTO E UTILIZAÇÃO DE RECURSOS FORRAGEIROS DAS ÁREAS TROPICAL E SUBTROPICAL DO CONE SUL, 16., 1996, Porto Alegre. **Anais...** Porto Alegre: FAO, 1996. p. 17 – 62.
- OMETTO, J.C. **Bioclimatologia vegetal**. São Paulo: Agronômica Ceres, 1981. 440 p.

PASSIOURA, J.B. Simulation models: science, snake oil, education, or engineering? **Agronomy Journal**, Madison, v. 88, n. 5, p. 690-694, 1996.

PEDRO JÚNIOR, M.J.; ALCÂNTRA, P.B.; ROCHA, G.L.; ALFONSI, R.R.; DONZELI, P.L. **Aptidão climática para plantas forrageiras no Estado de São Paulo**. Campinas: Instituto Agrônomo, 1990. 13 p. (Boletim Técnico).

PEDRO JÚNIOR, M.J. Índice climático de crescimento para gramíneas forrageiras no Estado de São Paulo. **Bragantia**, Campinas, v. 54, n. 2, p. 427-435, 1995.

RASSINI, J.B. Período de estacionalidade de produção de pastagens irrigadas. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 39, n. 8, p. 821-825, 2004.

RODRIGUES, D.C. **Produção de forragem de cultivares de *Brachiaria brizantha* (Hochst. ex. a. Rich.) stapf e modelagem de respostas produtivas em função de variáveis climáticas**. 2004. 94 p. Dissertação (Mestrado em Ciência Animal e Pastagens) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2004.

ROLIM, F.A. Estacionalidade de produção de forrageiras. In: PEIXOTO, A.M; MOURA, J.C.; FARIA, V.P. **Pastagens: fundamentos da exploração racional**. 2. ed. Piracicaba: FEALQ, 1994. p. 533-565.

ROLIM, G.S.; SENTELHAS, P.C.; BARBIERI, V. Planilhas no ambiente EXCELTM para os cálculos de balanços hídricos: normal, seqüencial, de cultura e de produtividade real e potencial. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Santa Maria, v. 6, n. 1, p. 133-137, 1998.

SANTOS, F.G.; CHAVES, M.A.; SILVA, M.W.R.; SOARES, R.D.; FRANCO, I.L.; PINHO, B.D. Índice climático de crescimento para os capins *Brachiaria brizantha* cv. Marandu, *Cynodon dactylon* cv. Tifton 85 e *Panicum maximum* cv. Tanzânia e relação com a produção de massa seca. **Ciência Animal Brasileira**, Goiânia, v. 9, n. 3, p. 627-637, 2008.

THORNLEY, J.H.M. **Grassland dynamics: an ecosystem simulation model**. Cambridge: CAB Internacional, 1998. 241 p.

THORNTHWAITE, C.W. Na approach toward a rational classification of climate. **Geographical Review**, New York, v. 38, n. 1, p. 55-94, 1948.

THORNTHWAITE, C.W.; MATHER, J.R. **The water balance**. Centerton: Drexel Institute of Technology, Laboratory of Climatology, 1955. 104 p.

TONATO, F. **Determinação de parâmetros produtivos e qualitativos de *Cynodon* spp. em função de variáveis climáticas**. 2003. 85 p. Dissertação (Mestrado em Ciência Animal e Pastagens) – Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2003.

_____. **Desenvolvimento e avaliação de modelos preditores de acúmulo de forragem em pastagens tropicais para o apoio à tomada de decisão.** 2009. 110 p. Tese (Doutorado em Ciência Animal e Pastagens) – Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2009.

VAN SOEST, P.J. **Nutritional ecology of the ruminant.** 2nd ed. Ithaca: Cornell University Press, 1994. 476 p.

VILLA NOVA, N.A.; CARRETEIRO, M.V.; SCARDUA, E. Um modelo de avaliação de crescimento em cana-de-açúcar (*Saccharum* sp.) em termos de ação combinada de fotoperíodo e temperatura média do ar. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE AGROMETEOROLOGIA, 2., 1983, Campinas. **Anais...** Campinas: SBA, 1983. p. 31-48.

VOLPATO, M.M.L.; ALVES, H.M.R.; VIEIRA, T.G.C. Geotecnologias aplicadas à agrometeorologia. **Informe Agropecuário**, Belo Horizonte, v. 29, n. 246, p. 1-10, 2008.

WILLMOTT, C.J.; ACKLESON, S.G.; DAVIS, R.E.; FEDDMA, J.J.; KLINK, K.M.; LEGATES, D. R.; O'DONNELL, J.; ROWE, C. M. Statistics for the evaluation and comparison of models. **Journal of Geography Research**, Tokyo, v. 90, n. 5, p. 8995-9005, 1985.

ZHU, X.G.; LONG, S.P.; ORT, D.R. What is the maximum efficiency with which photosynthesis can convert solar energy into biomass? **Current Opinion in Biotechnology**, Philadelphia, v. 19, p. 153-159, 2008.

5 ADAPTAÇÃO E COMPARAÇÃO DOS MODELOS CROPGRO E GRAZPLAN PARA ESTIMATIVA DE PRODUÇÃO DE MATÉRIA SECA DA *Brachiaria brizantha* CV. MARANDU

Resumo

Os primeiros modelos de simulação de sistemas pastoris surgiram na década de 60 com o intuito de sintetizar os conhecimentos sobre os processos fisiológicos da planta e de explicar o funcionamento da cultura como um todo. A introdução de modelos como ferramenta de ajuda à tomada de decisão teve como agentes facilitadores a disponibilidade de informações e a necessidade de sistematizar o conhecimento acumulado. No modelo DSSAT existem adaptações para o gênero *Brachiaria* spp., mas no GRAZPLAN, apesar de existirem algumas forrageiras tropicais, o gênero *Brachiaria* spp., que representa as maiores áreas de produção a pasto no Brasil, não possui parametrização. Nesse contexto, a adaptação destas ferramentas para a realidade tropical do Brasil possibilitará grandes avanços tecnológicos nos processos de tomada de decisão, necessários em uma nova pecuária que surge a cada dia no País. O objetivo do presente estudo foi parametrizar e comparar os modelos CROPGRO e GRAZPLAN, presentes nas ferramentas computacionais de simulação DSSAT e AUSFARM, na estimativa de produção de matéria seca da *Brachiaria brizantha* cv. Marandu em São Carlos – SP. Dados independentes, coletados em São Carlos – SP, foram utilizados para a parametrização e teste dos modelos. Os modelos CROPGRO e GRAZPLAN apresentaram resultados similares nas parametrizações da estimativa de produção de biomassa, mas os mesmos desempenharam-se de forma distinta quando testados com os dados de sequeiro. O CROPGRO apresentou, subestimativas na produção de matéria seca nos diferentes anos, principalmente no período de primavera/verão, responsável pelas maiores produções. Já o GRAZPLAN simulou satisfatoriamente as produções, apresentando resultados de índice “d” e r de 0,93 e 0,87, respectivamente, classificados como “Muito bom” (Tabela 5). Isso demonstra que o GRAZPLAN estimou valores bem próximos aos valores reais de produção, tanto no período de menor produção (outono/inverno) quanto no período de maior produção (primavera/verão).

Palavras-chaves: Modelos de simulação; Processos fisiológicos; Parametrização

Abstract

The first simulation models of pastoral systems emerged in the 60s in order to synthesize the knowledge of plant physiological processes and explain the workings of culture as a whole. The introduction of models as a helping tool to decision making as facilitating agents had the availability of information and the need to systematize the accumulated knowledge. In the model there are adjustments to the DSSAT *Brachiaria* spp. GRAZPLAN but, although there are some tropical forage *Brachiaria* spp., representing the largest areas of grass production in Brazil, there is no parameter. In this context, to adapt these tools to the reality of Brazil's tropical enable major technological advances in the processes of decision making required in a new livestock that arrives every day in the country The aim of this study was to parameterize and compare models

CROPGRO and GRAZPLAN present computational tools in simulation DSSAT and AUSFARM to estimate the dry matter yield of *Brachiaria brizantha* cv. Marandu in São Carlos - SP. Independent data collected in São Carlos - SP were used for parameterization and testing of models. The models CROPGRO and GRAZPLAN showed similar results in the parameterization of the estimated biomass production, but they are played differently when tested with data from irrigated land. The CROPGRO presented underestimates in dry matter production in different years, especially during the spring/summer, responsible for higher yields. Since the simulated satisfactorily GRAZPLAN productions presenting results from index “d” and r of 0,93 and 0,87, respectively, classified as “very good” (Table 5). This demonstrates that the GRAZPLAN estimated values very close to the real values of production, both in periods of low production (fall/winter) and in the period of peak production (spring/summer).

Keywords: Simulation models; Physiological processes; Parameterization

5.1 Introdução

O desenvolvimento de modelos integrando os diferentes elementos de cadeias produtivas teve início após a “Revolução Verde”, no início de 1950, com a necessidade de otimizar a eficiência econômica e produtiva dos sistemas de produção, que se tornaram mais intensivos em relação ao uso de insumos e recursos financeiros. Os primeiros modelos de simulação de sistemas pastoris surgiram na década de 60 com o intuito de sintetizar os conhecimentos sobre os processos fisiológicos da planta e de explicar o funcionamento da cultura como um todo (SMITH; WILLIAMS, 1973; LOVATTO, 2003).

Na década de 80 a ferramenta computacional DSSAT (**Decision Support System for Agrotechnology Transfer**) foi desenvolvida por uma rede internacional, o *International Benchmark Sites Network for Agrotechnology Transfer* (IBSNAT). O DSSAT é composto de seis modelos para simular o crescimento de 27 culturas de importância econômica e tem demonstrado alta confiabilidade sob diferentes condições de clima, solo e manejo (RYMPH, 2004; ICASA, 2010). Com este modelo é possível organizar e arquivar bases de dados sobre o clima, o solo, as culturas e os experimentos; simular a produção agrícola em uma determinada época do ano ou em várias épocas; analisar resultados, representar graficamente as simulações e avaliar diferentes práticas específicas de manejo (JONES, 1993).

Já na década de 90, surgiu o GRAZPLAN, uma ferramenta que é baseada em modelos de produção forrageira e animal tendo aplicação ampla na simulação dos processos biofísicos dos sistemas a pasto da Austrália, auxiliando no manejo e na utilização de recursos agrícolas visando o lucro e a sustentabilidade ambiental (DONNELLY; MOORE; FREER, 1997; FREER;

MOORE; DONNELLY, 1997; MOORE; DONNELLY; FREER, 1997). Este modelo recorre a uma extensa pesquisa de bases de dados sobre os processos biofísicos que controlam a biologia de produção em sistemas de pastagens.

O modelo GRAZPLAN foi projetado para ser de âmbito genérico, com um conjunto de equações que descrevem os processos básicos da biologia dos sistemas de pastejo (modelo vegetal e animal), juntamente com um conjunto de parâmetros para essas equações. Esta abordagem de modelagem tem permitido um alto nível de realismo com uma gama de condições ambientais, sem a necessidade de alterar a base dos modelos. As ferramentas GRAZPLAN vão desde ferramentas relativamente simples como o *LambAlive* e *MetAccess*, até o *GrassGro*, o qual visa avaliar as combinações de pastejo e opções de manejo que têm um grande impacto sobre a rentabilidade e sustentabilidade (DONNELLY et al., 2002).

A introdução de modelos como ferramenta de ajuda à tomada de decisão teve como agentes facilitadores a disponibilidade de informações e a necessidade de sistematizar o conhecimento acumulado (BARIONI et al., 2003). Entretanto, o uso dessas ferramentas para forrageiras tropicais ainda é pouco difundido. No DSSAT existem adaptações para o gênero *Brachiaria* spp. (GIRALDO et al., 1998; PEDREIRA, 2009), mas no GRAZPLAN, apesar de existirem algumas forrageiras tropicais, não há parametrização para o gênero *Brachiaria* spp., que representa as maiores áreas de produção a pasto no Brasil. Nesse contexto, a adaptação destas ferramentas para a realidade tropical do Brasil possibilitará grandes avanços tecnológicos nos processos de tomada de decisão, necessários em uma nova pecuária que surge a cada dia no País.

O objetivo do presente estudo foi parametrizar e comparar os modelos CROPGRO e GRAZPLAN, presentes nas ferramentas computacionais de simulação DSSAT e AUSFARM, na estimativa de produção de matéria seca da *Brachiaria brizantha* cv. Marandu em São Carlos – SP.

5.2 Material e métodos

O experimento utilizado na parametrização dos modelos foi conduzido no campo experimental da Embrapa Pecuária Sudeste, localizada no município de São Carlos – SP (21°57' de latitude sul 47°51' de longitude oeste), no período de junho de 2009 a março de 2010. O solo é classificado como Latossolo Vermelho-Amarelo com textura argilosa, e o clima como tropical de

altitude (Koeppen – Cwa). Maiores informações sobre a condução do experimento estão descritas no Capítulo 3 item 3.2.

Para a parametrização dos modelos utilizou-se apenas os dados referentes ao cultivar Marandu com corte a cada 35 dias. Devido às diferentes formas de modelar o crescimento em cada modelo, foram fornecidos dados para caracterização do ambiente a ser simulado. Esses dados foram referentes à localização geográfica, clima, solo e manejo do experimento, conforme a necessidade.

5.2.1 Modelos CROPGRO e GRAZPLAN

No DSSAT/CROPGRO os parâmetros que correspondem ao vegetal encontram-se basicamente nos arquivos de espécie, cultivar e ecótipo, que correspondem às extensões “.SPE”, “.CUL” e “.ECO”, respectivamente. Devido às modificações já existentes (GIRALDO et al., 2002; PEDREIRA, 2009), a adaptação do modelo CROPGRO para a *Brachiaria brizantha* foi focado apenas nos parâmetros que envolviam as temperaturas no arquivo de espécie (.SPE). Os parâmetros foram determinados a partir de dados experimentais e comparados com a literatura, pois em análise preliminares, nas condições experimentais, o modelo foi incapaz de determinar a estacionalidade de produção de forragem no período de inverno.

Da mesma forma, para a parametrização do AUSFARM/GRAZPLAN, foram realizadas compilações a partir de fontes na literatura sobre forrageiras tropicais para os parâmetros relacionados aos processos de dinâmica de assimilação e alocação. A parametrização foi conduzida de forma a minimizar o erro entre os valores de taxa de acúmulo de forragem observados e preditos pelo modelo. No AUSFARM as alterações nos parâmetros ocorrem de forma diferente ao DSSAT/CROPGRO. Estas foram inseridas via arquivo de parâmetros com extensão “.TXT”, em uma opção dentro da ferramenta AUSFARM.

Para o parâmetro do fator limitante de temperatura foi utilizado o procedimento NLIN do SAS para a determinação dos valores dos parâmetros das equações não lineares. O índice “d” de Willmott (WILLMOTT et al., 1985) e o coeficiente de determinação (r^2) foram utilizados como parâmetros de satisfação do ajuste para os dois modelos.

5.2.2 Teste dos modelos mecanicistas

Para o teste das ferramentas de simulação foram utilizados dados de produção de forragem de 29 períodos de crescimento entre os anos de 1998, 2000, 2001 e 2002, em condições de sequeiro, no sistema intensivo de produção a pasto na Embrapa Pecuária Sudeste em São Carlos – SP. Foram realizadas análises exploratórias nos dados de produção a fim de eliminar períodos com produção de forragem discrepantes e/ou com sobreposição nos períodos de crescimento.

O desempenho na capacidade de predição dos modelos foi avaliado pelo índice “d” (equação 1), o índice “c” (equação 2) (CAMARGO; SENTELHAS, 1997), e o quadrado médio do erro de predição (EQMP) (equação 3). O índice “c” permite uma interpretação objetiva para os testes de acurácia, representado pelo índice “d”, e precisão, representado pelo coeficiente de correlação, variando de “Ótimo” a “Péssimo” a depender do resultado da razão entre os mesmos (Tabela 1).

$$\text{Índice "d"} = 1 - \left[\frac{\sum (P_i - O_i)^2}{\sum (|P_i - O| + |O_i - O|)^2} \right] \quad (1)$$

onde: P_i é o predito; O_i é o valor observado; O é média dos valores observados.

$$\text{Índice "c"} = r \times d \quad (2)$$

onde: r é o coeficiente de correlação; d é o índice de Willmott.

$$\text{EQMP} = \frac{\sum_{i=1}^n (O_i - f(P_1, \dots, P_P))^2}{n} \quad (3)$$

onde: O_i são os valores observados; P são os valores preditos pelo modelo; n é o número de observações.

Tabela 1 – Interpretação do índice de confiança (c)

Índice “c”	Avaliação
>0,85	Ótimo
0,76 a 0,85	Muito bom
0,66 a 0,75	Bom
0,61 a 0,65	Mediano
0,51 a 0,60	Sofrível
0,41 a 0,50	Mau
≤0,40	Péssimo

5.3 Resultados e Discussão

5.3.1 Parametrização do modelo CROPGRO

No CROPGRO/DSSAT existem parametrizações realizadas para as espécies de *Brachiaria brizantha* cv. Xaraés (PEDREIRA, 2009) e para a *Brachiaria decumbens* (GIRALDO et al., 1998). Com isso, foram realizados testes iniciais no modelo CROPGRO para escolher a base a ser utilizada na adaptação. Nos testes, a parametrização realizada por Giraldo et al. (1998) apresentou simulações mais próximas aos dados experimentais.

Os valores preditos a partir da simulação com o CROPGRO parametrizado para *B. decumbens* (GIRALDO et al., 1998) superestimaram o acúmulo de biomassa seca observado, principalmente para o período de inverno (índice “d” de 0,45 e r^2 de 0,47; Figura 1A). Como os dados de acúmulo de biomassa foram obtidos a partir de experimento sem restrição hídrica e nutricional e as maiores diferenças entre os valores preditos e observados ocorreram no inverno, atribuiu-se a superestimativa aos parâmetros relacionados à temperatura. Assim, foram alterados os parâmetros relacionados com a temperatura base (TB), a primeira ótima (TO1), a segunda ótima (TO2) e a máxima (TM) no arquivo de “espécie” (extensão .SPE) (Tabela 2). As modificações foram realizadas a partir dos dados coletados no experimento, estando de acordo com outros valores observados na literatura para o capim-marandu (RODRIGUES, 2004; LARA, 2007)

Tabela 2 – Descrição das temperaturas críticas base (TB), primeira ótima (TO1), segunda ótima (TO2) e máxima (TM) para o crescimento da *Brachiaria brizantha* cv. Marandu utilizados no modelo CROPGRO¹

Processo	Temperatura (°C)			
	TB	TO1	TO2	TM
Fotossíntese	16,8	30,5	32,5	34,0
Desenvolvimento vegetativo	17,2	30,0	33,0	35,0

¹Valores a partir de dados experimentais estando de acordo com a literatura (RODRIGUES, 2004; LARA, 2007)

As modificações realizadas nos parâmetros, alterando os valores de temperaturas para o crescimento da *Brachiaria brizantha*, melhoram as predições de acúmulo de matéria seca, com os valores do índice “d” e r^2 de 0,92 e 0,74, respectivamente (Figura 1B).

O CROPGRO assume que a taxa de desenvolvimento vegetativo aumenta linearmente com a temperatura a partir de um valor mínimo (17,2; estágio vegetativo) até um valor ótimo (TO1). O platô da curva na qual a taxa de desenvolvimento é máxima é formado pelas TO1 e TO2 (30,0 e 33,0 °C), declinando até uma temperatura máxima limitante (TM; 35,0) o qual a taxa de desenvolvimento volta a ser 0.

Figura 1 – Relação entre a produção de matéria seca predita pelo CROPGRO e observado em kg MS.ha⁻¹ antes (A) e depois (B) da parametrização. Etapa de parametrização

5.3.2 Parametrização do modelo AUSFARM

A Tabela 3 apresenta os parâmetros otimizados a partir de dados de literatura com forrageiras tropicais (GOMIDE; GOMIDE, 1999; PAGOTTO, 2001; SANTOS, 1997; MELLO; PEDREIRA, 2004; SARMENTO et al., 2008; ALEXANDRINO; GOMIDE; GOMIDE, 2005) e utilizados para simulações com o capim-marandu (maiores detalhes sobre os parâmetros MOORE; DONNELLY; FREER, 1997).

Tabela 3 – Parâmetros ajustados a partir de dados da literatura e utilizados para simulação de produção de *Brachiaria brizantha* cv. Marandu¹

Processos	Descrição	Parâmetro	Valores
Parâmetros relacionados a Assimilação e Alocação	Fenologia	Kv (4)	50,0; 25,0; 0,25; 5,0
	Disponibilidade hídrica	Kw (1)	0,3
	Alocação	Ka (4)	0,5; 0,3; 0,6; 0,6
	Declínio da digestibilidade no liter	Kl (2)	0,4; 0,02
	Raiz	Kr (4)	1200; 2,0; 115,0; 0,00016
	Declínio da digestibilidade de tecidos vivos e senescentes	Km (1)	1,0
	Senescência	Kd (4)	600,0; 0,003; 0,03; -5,0
Parâmetros relacionados com a dinâmica de tecidos	Taxa específica de declínio do estande de material morto para o liter	Kf (2)	0,0025; 0,001
		Kq (6) folha	0,75; 0,55; 0,55; 100; 0,008; 4,0
		Kq (5) colmo	0,7; 0,4; 0,35; 0,004; 4,0
	Concentração de nitrogênio	Kn (4) folha	0,04; 0,02; 0,015; 0,01
		Kn (4) colmo	0,03; 0,015; 0,01; 0,005
		Kn (2) raiz	0,01; 0,007

¹Parâmetros determinados a partir de Gomide e Gomide (1999), Pagotto (2001), Santos (1997), Mello e Pedreira (2004), Sarmiento et al. (2008), Alexandrino, Gomide e Gomide (2005)

O ajuste nos parâmetros dos fatores limitantes de crescimento da produtividade primária líquida (Equação 4) foi feito utilizando-se dados experimentais coletados em São Carlos - SP.

A primeira parte da equação esta relacionada à eficiência de uso da radiação em uma baixa intensidade luminosa. A segunda parte é a quantidade de luz interceptada pelo dossel (IL). Por ultimo, os fatores limitantes de crescimento (Z) variando de 0 a 1 para limitante a não limitante, respectivamente (Tabela 4).

$$PPL = \left(Kl_1 \frac{IF + Kl_2}{N + Kl_2} \right) (IL R_g) \min (Z_T, Z_U, Z_E) \quad (4)$$

onde: PPL é a produção primária líquida; K_1 é a eficiência de uso da radiação em g.MJ^{-1} ; IF é a intensidade de fluxo luminoso em $\text{MJ.m}^{-2}.\text{h}^{-1}$; K_2 é o efeito da intensidade da radiação na eficiência de uso da radiação em $\text{MJ.m}^{-2}.\text{h}^{-1}$; I é a radiação solar em $\text{MJ.m}^{-2}.\text{dia}^{-1}$; N é o fotoperíodo em horas; IL é a interceptação de luz e Z_T , Z_U , Z_E são os fatores limitantes do crescimento para temperatura, umidade do solo e encharcamento, respectivamente.

O valor de intensidade de fluxo luminoso de $1,67 \text{ MJ.m}^{-2}.\text{h}^{-1}$ é típico de dias claros na primavera da Austrália (MOORE; DONNELLY; FREER, 1997). Esse valor está próximo ao registrado na primavera em São Carlos – SP, que foi de $1,68 \text{ MJ.m}^{-2}.\text{h}^{-1}$. De maneira geral, o outono e primavera são estações transicionais apresentando valores médios de radiação solar em relação ao inverno e verão (HERNANDES; PEDRO JÚNIOR; BARDIM, 2004).

Tabela 4 – Parâmetros utilizados na equação que descreve a produtividade primária líquida (MOORE; DONNELLY; FREER, 1997)

Parâmetro	Descrição	Unidade	<i>Brachiaria brizantha</i>
K_1	Eficiência de uso da radiação em uma intensidade de radiação solar de $1,67 \text{ MJ.m}^{-2}.\text{h}^{-1}$ de referência	g.MJ^{-1}	8,0
K_2	Efeito da intensidade de radiação na eficiência de uso da radiação	$\text{MJ.m}^{-2}.\text{h}^{-1}$	0,8
IF	Intensidade de fluxo luminoso	$\text{MJ.m}^{-2}.\text{h}^{-1}$	1,67

Para realizar o ajuste no fator limitante de temperatura (Z_T) foi utilizado como base o desenvolvimento relativo de forragem, variando de 1 para a maior produção observada e 0 quando a produção for nula. O Z_T (Equação 5) foi obtido relacionando a temperatura média “defasada” (Equação 7) com o desenvolvimento relativo de forragem (MOORE; DONNELLY; FREER, 1997).

$$Z_T = \min(\text{SIG}(T_{\text{def}}, K_{T1}, K_{T2}), \text{SIG}(T_{\text{def}}, K_{T4}, K_{T3})) \quad (5)$$

onde: Z_T é o fator limitante de temperatura; SIG é o modelo (equação 6).

$$\text{SIG}(x, a, b) = \left(1 + \exp\left(-\frac{2(\ln(0,95) - \ln(0,05))}{b-a} \left(x - \frac{a+b}{2} \right) \right) \right)^{-1} \quad (6)$$

onde: a e b são os parâmetros do modelo.

$$T_{def} \leftarrow 0,9T_{def} + 0,1T_{dia} \quad (7)$$

onde: T_{def} é a temperatura média defasada (termo em Inglês *lagged temperature*); T_{dia} é a temperatura média durante as horas de luz (equação 8).

$$T_{dia} = T_{min} + (T_{max} - T_{min}) \frac{N+3,52}{N} \frac{\cos\left(\frac{0,47\pi}{N+3,52}\right) - \cos\left(\frac{(N-0,47)\pi}{N+3,52}\right)}{\pi} \quad (8)$$

onde: T_{min} é a temperatura mínima; T_{max} é a temperatura máxima; N é o fotoperíodo (equação 9).

$$N = \frac{24}{\pi} \cos^{-1} \left(\frac{\cos\left(\frac{109}{365}\pi\right) - \sin(\lambda)\sin(\varnothing)}{\cos(\lambda)\cos(\varnothing)} \right) \quad (9)$$

onde: λ é a latitude; $\varnothing$ é a declinação solar (equação 10).

$$\varnothing = \frac{23,5\pi}{180} \cos\left(\frac{2\pi}{365} (\text{DOY} - 173)\right) \quad (10)$$

onde: DOY é o dia juliano.

Na Figura 2 está representado o ajuste realizado no fator limitante de temperatura (Z_T) para o crescimento relativo de forragem. O Z_T considera quatro temperaturas, onde o K_{T1} e K_{T2} representam as menores temperaturas para atingir 5 e 95% do crescimento máximo, e os parâmetros K_{T3} e K_{T4} representam a maior temperatura para 95 e 5% do crescimento máximo. Após o ajuste, os valores para K_{T1} , K_{T2} , K_{T3} e K_{T4} foram de 16, 27, 35 e 45 °C, respectivamente (Tabela 5). O ajuste do K_T permitiu melhorar o índice “d” na predição de forragem do capim-marandu em cerca de 8%. O tradicional conceito de temperatura base inferior e superior (COOPER; TAINTON, 1968) possui uma interpretação semelhante aos parâmetros do Z_T . A temperatura base é definida como a temperatura que limita o acúmulo de matéria seca de uma espécie de forma que este se torne nulo ou desprezível (McWILLIAM, 1978). Os valores observados na literatura para o capim-marandu encontram-se em torno de 16 a 18 °C

(RODRIGUES, 2004; LARA, 2007), próximos ao observado para o K_{T1} , que poderia ser interpretado como um valor de temperatura base inferior. Já os limites superiores de temperatura base passam a ter menor importância em gramíneas forrageiras de clima tropical, onde o valor dificilmente seria encontrado em ambientes de pastagens cultivadas (MENDONÇA; RASSINI, 2006).

Figura 2 – Fator limitante do crescimento para a temperatura média “defasada” (termo em inglês *lagged temperature*), obtido a partir dos valores de produção relativa. Ajuste realizado com o procedimento NLIN do SAS

Tabela 5 – Descrição dos parâmetros relacionados ao fator limitante do crescimento para temperatura (K_T) ($^{\circ}\text{C}$)

Parâmetro	Descrição	<i>B. brizantha</i> cv. Marandu
K_{T1}	Menor temperatura para atingir 5% do crescimento	16
K_{T2}	Menor temperatura para atingir 95% do crescimento	27
K_{T3}	Maior temperatura para atingir 5% do crescimento	35
K_{T4}	Maior temperatura para atingir 95% do crescimento	45

Determinado a partir de dados experimentais

Outro parâmetro alterado, que está diretamente relacionado à interceptação luminosa (IL), é a área foliar específica (AFE) (K_{I3}). A área foliar específica é a razão entre a área foliar e o peso seco de folhas ($\text{m}^2.\text{g}^{-1}$). Na alteração, foi utilizada a média dos nove períodos de crescimento observados no campo, apresentando valores de AFE de $0,017 \text{ m}^2.\text{g}^{-1}$. O parâmetro K_{I3} interfere no índice de área verde (IAV), que por sua vez é determinante da IL. No GRAZPLAN o IAV é modelado de forma diferente para gramínea e leguminosa (maiores detalhes em MOORE; DONNELLY; FREER, 1997). A AFE é uma medida que caracteriza a interceptação luminosa e o potencial de produção de plantas em diferentes ambientes (HIKOSAKA, 2005), considerada uma importante avaliação do ponto de vista fisiológico por descrever a alocação da biomassa (POOTER; GARNIER, 1999). A AFE não é um valor estático, sendo que diversos fatores podem influenciar em sua variação, tais como época do ano e manejo adotados (GIACOMIMI et al., 2009), nível de sombreamento e concentrações de nutrientes (DIAS-FILHO, 2000; KANNO; MACEDO; BONO, 1999) e relações hídricas (GUENNI; MARÍN; BARUCH, 2002; DIAS-FILHO; CARVALHO, 2000).

Os parâmetros dos fatores limitantes de disponibilidade hídrica (Zu e Ze), umidade do solo e encharcamento, não foram alterados por já terem valores compatíveis com gramíneas tropicais.

Figura 3 – Relação entre a produção de matéria seca predita pelo modelo GRAZPLAN e observado em kg MS.ha⁻¹ antes (A) e depois (B) da parametrização. Etapa de parametrização

Como pode ser observado na Figura 3, após a parametrização, os dados preditos pelo modelo aproximaram-se de forma satisfatória dos dados observados de produção. Ao final, os valores de índice “d” e r^2 foram de 0,98 e 0,95, respectivamente. A maior amplitude da diferença foi de 567 kg MS.ha⁻¹ e a menor de -11 kg MS.ha⁻¹, ambas no período de verão. A maior

diferença ocorrida foi no período de crescimento correspondente aos meses de novembro a dezembro de 2009. A superestimativa de 567 kg MS.ha⁻¹, ocorrida nesse período, pode ser explicada pela nebulosidade excessiva devido aos altos índices de precipitação pluviométrica registrados. A nebulosidade diminui a quantidade de radiação fotossinteticamente ativa que atinge as folhas de um dossel, diminuindo a disponibilidade energética para o crescimento (LARCHER, 2000).

5.3.3 Teste dos modelos

Apesar dos modelos CROPGRO e GRAZPLAN apresentarem resultados similares nas parametrizações da estimativa de produção de biomassa com dados em condições controladas (Figura 2 e Figura 3), os mesmos desempenharam-se de forma distinta quando testados com os dados de sequeiro em sistema de produção na Embrapa Pecuária Sudeste (Figura 4).

O CROPGRO apresentou, de maneira geral, subestimativas na produção de matéria seca nos diferentes anos, principalmente no período de primavera/verão, responsável pelas maiores produções. Isso pode ser constatado na Figura 4 onde os valores estimados foram menores dos que os valores observados, distanciando da reta 1:1. O CROPGRO apresentou índice “d”, r^2 e r de 0,65, 0,32 e 0,57, respectivamente (Tabela 6). Esses resultados classificaram o modelo como “Ruim” na predição de produção de biomassa do capim-marandu. De forma contrária, o GRAZPLAN simulou satisfatoriamente as produções, apresentando resultados de índice “d” e r (acurácia e precisão) de 0,93 e 0,87, respectivamente, classificados como “Muito bom” (Tabela 5). Isso demonstra que o GRAZPLAN estimou valores bem próximos aos valores reais de produção, tanto no período de menor produção (outono/inverno) quanto no período de maior produção (primavera/verão).

Figura 4 – Relação entre a produção de matéria seca predita pelo CROPGRO (■) e GRAZPLAN (◆) e observada em 29 períodos de crescimento entre os anos de 1998, 2000, 2001 e 2002, em São Carlos – SP (kg MS.ha^{-1}). Etapa de validação do modelo

O quadrado médio do erro de predição, o qual também é uma avaliação de acurácia do modelo (TEDESCHI, 2006), apresentou valores de 3.972.341 e 1.124.728 kg MS².ha⁻¹ para o CROPGRO e GRAZPLAN, respectivamente, confirmando o melhor resultado para o GRAZPLAN (Tabela 5).

Tabela 6 – Valores do índice de Willmott (d), coeficiente de determinação (r^2), coeficiente de correlação (r), índice de confiança (c) e o quadrado médio do erro de predição (QMEP) dos modelos GRAZPLAN e CROPGRO¹

Modelo	Índice d	r^2	r	Índice c	EQMP	Classificação
CROPGRO	0,65	0,32	0,57	0,37	3.972.341	Ruim
GRAZPLAN	0,93	0,76	0,87	0,81	1.124.728	Muito bom

¹valores de d, r^2 , r e c são adimensionais e o QMEP é dado em (kg MS.ha⁻¹)²

As subestimativas dos dados observados no CROPGRO para o capim-marandu se assemelham ao de Pedreira (2009), que trabalhando com a *Brachiaria brizantha* cv. Xaraés encontrou subestimativas na produção de matéria seca da parte aérea (produção média simulada 4.173 vs. 3715 kg.ha⁻¹ observada e índice “d” de 0,58). Uma das explicações para esse fato talvez seja a superestimativa do efeito do déficit hídrico e nutricional calculado pelo modelo, o que altera todo o padrão de crescimento. Vale ressaltar que o CROPGRO exige um grande número de parâmetros, e, quando estes não estão disponíveis para forrageiras tropicais, são utilizados os valores de plantas dicotiledôneas, como os determinados na cultura da soja (GIRALDO et al., 1998).

No CROPGRO, os parâmetros que condicionam os efeitos do estresse causados pelo déficit hídrico (“SWFAC”; “TURFAC”) e pelo déficit de nitrogênio (“NSTRES”; JONES et al., 2003) no desenvolvimento da planta são semelhantes aos que ocorrem com os fatores que limitam o crescimento no GRAZPLAN. A grande diferença é que no CROPGRO esses fatores estão presentes em diversas rotinas e sub-rotinas dentro do modelo tornando mais difícil sua modificação. Um melhor ajuste nesses fatores é imprescindível em futuras parametrizações do modelo, descrevendo de forma mais apropriada o processo de crescimento em forrageiras tropicais.

Um dos fatores que contribuíram para uma melhor predição do modelo GRAZPLAN, neste estudo, pode estar relacionado ao menor número de parâmetros exigidos em sua simulação,

quando comparados ao CROPGRO. Um fato relevante para obtenção deste resultado deve-se ao nível de aplicação do GRAZPLAN, que foi desenvolvido com objetivo principal de servir como uma ferramenta de tomada de decisão para ambientes pastoris da Austrália (DONNELLY et al., 2002). Com isso, a adaptação para ambientes tropicais torna-se mais simples, pois os esforços se concentram em um menor número de parâmetros.

Um grande potencial dessas ferramentas está ligado aos estudos envolvendo simulações de cenários sobre o impacto das mudanças climáticas globais nos sistemas de produção a pasto. Entretanto, existe a dificuldade na obtenção de dados referentes a clima e solo dos ambientes em que se deseja estudar, já que em muitos casos, não estão disponíveis de forma simples. Um exemplo é a necessidade de dados de radiação, que em muitas estações, não são coletadas e/ou não estão disponíveis com fácil acesso. No caso do solo, informações químicas e físicas mais detalhadas de todo o perfil muitas vezes são inexistentes.

Não existe um modelo melhor ou pior que outro, mas sim modelos com diferentes formas de aplicações. Os profissionais que trabalham com essas ferramentas devem, portanto definir claramente seus objetivos antes de pensar em construí-los, enquanto que os usuários devem escolher aqueles que melhor resolvam suas necessidades específicas (DETOMINI, 2004; DETOMINI et al., 2006; THORNLEY, 1998).

5.4 Conclusão

O modelo GRAZPLAN simulou satisfatoriamente a produção de matéria seca da *Brachiaria brizantha* cv. Marandu nas condições climáticas de São Carlos – SP. Outras parametrizações deverão ser realizadas nos modelos CROPGRO a fim de evoluir a capacidade de predição.

Referências

ALEXANDRINO, E.; GOMIDE, J.A.; GOMIDE, C.A.M. Crescimento e desenvolvimento do dossel de *Panicum maximum* cv. Mombaça. **Revista Brasileira de Zootecnia**, Viçosa, v. 34, n. 6, p. 2164-2173, 2005.

BARIONI, L.G.; MARTHA JÚNIOR, G.B.; RAMOS, A.K.B.; VELOSO, R.F.; RODRIGUES, D.C.; VILELA, L. Planejamento e gestão do uso de recursos forrageiros na produção de bovinos em pastejo. In: SIMPÓSIO SOBRE MANEJO DA PASTAGEM, 20., 2003, Piracicaba.

Produção animal em pastagens: situação atual e perspectivas; anais... Piracicaba: FEALQ, 2003. p. 105-153.

CAMARGO, A.P.; SENTELHAS, P.C. Avaliação do desempenho de diferentes métodos de estimativa da evapotranspiração potencial no Estado de São Paulo, Brasil. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Santa Maria, v. 5, n. 1, p. 89-97, 1997.

COOPER, J.P.; TANTON, N.M. Light and temperature requirements for the growth of tropical and temperate grasses. Review article. **Herbage Abstracts**, Farnham Royal, v. 38, n. 1, p.167-176, 1968.

DETOMINI, E.R. **Modelagem da produtividade potencial de *Brachiaria brizantha* (variedades cultivadas Marandu e Xaraés)**. 2004. 112 p. Dissertação (Mestrado em Fitotecnia) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2004.

DETOMINI, E.R.; DOURADO NETO, D.; BARIONI, L.G.; SAINZ, R.D. Fundamentos do programa computacional PPBB_MX para a simulação da produtividade potencial de *Brachiaria brizantha* (cultivares Marandu e Xaraés). **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Santa Maria, v. 14, n. 1, p. 129-133, 2006.

DIAS-FILHO, M.B. Growth and biomass allocation of the C_4 grasses *Brachiaria brizantha* and *B. humidicola* under shade. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 35, n. 12, p. 2335-2341, 2000.

DIAS-FILHO, M.B.; CARVALHO, C.J.R. Physiological and morphological responses of *Brachiaria* spp. to flooding. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 35, n. 10, p. 1959-1966 2000.

DONNELLY, J.R.; FREER, M.; SALMON, L.; MOORE, A.D.; SIMPSON, R.J.; DOVE, H.; BOLGER, T.P. Evolution of the GRAZPLAN decision support tools and adoption by the grazing industry in temperate Australia. **Agricultural Systems**, Barking, v. 74, n. 1, p. 115-139, 2002.

DONNELLY, J.R.; MOORE, A.D.; FREER, M. GRAZPLAN: decision support systems for Australian grazing enterprises. I. Overview of the GRAZPLAN Project, and a description of the MetAccess and LambAlive DSS. **Agricultural Systems**, Barking, v. 54, n. 1, p. 77-126, 1997.

FREER, M.; MOORE, A.D.; DONNELLY, J.R. GRAZPLAN: decision support systems for Australian grazing enterprises. II. The animal biology model for feed intake, production and reproduction and the GrazFeed DSS. **Agricultural Systems**, Barking, v. 54, n. 1, p. 77-126, 1997.

GIACOMIMI, A.A.; SILVA, S.C.; SARMENTO, D.O.L.; ZEFERINO, C.V.; TRINDADE, J.K.; SOUZA JÚNIOR, S.J.; GUARDA, V.D.; SBRISIA, A.F.; NASCIMNETO JÚNIOR, D. Components of the leaf area index of Marandu palisade grass swards subjected to strategies of intermittent stocking. **Scientia Agricola**, Piracicaba, v. 66, n. 6, p. 721-732, 2009.

GIRALDO, L.M.; LIZCANO, L.J.; GIJSMAN, A.J.; RIVERA, B.; FRANCOL, H. Adaptación del modelo DSSAT para simular la producción de *Brachiaria decumbens*. **Pasturas Tropicales**, Cali, v. 20, n. 2, p. 2-12, 1998.

GOMIDE, C.A.M.; GOMIDE, J.A. Análise de crescimento de cultivares de *Panicum maximum* Jacq.. **Revista Brasileira de Zootecnia**, Viçosa, v. 28, n. 4, p.675-680, 1999.

GUENNI, O.; MARÍN, D.; BARUCH, Z. Responses to drought of five *Brachiaria* species. I. Biomass production, leaf growth, root distribution, water use and forage quality. **Plant and Soil**, Dordrecht, v. 243, n. 2, p. 229-241, 2002.

HERNANDES, J.L.; PEDRO JÚNIOR, M.J.; BARDIM, L. Variação estacional da radiação solar em ambiente externo e no interior de floresta semidecídua. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 28, n. 2, p. 167-172, 2004.

HIKOSAKA, L.R. Leaf canopy as a dynamic system: ecophysiology and optimality in leaf turnover. **Annals of Botany**, Oxford, v. 95, n. 3, p. 521-533, 2005.

ICASA. **Decision Support System for Agrotechnology Transfer (DSSAT)**. Disponível em: <<http://www.icasa.net/dssat/index.html>>. Acesso em; 03 set. 2010.

JONES, J.W. Decision support systems for agricultural development. In: VRIES, F.P.; TENG, P.; METSELAAR, K. **Systems approaches for agricultural development**. Dordrecht: Kluwer Academic, 1993. p. 459-471.

JONES, J.W.; HOOGENBOOM, G.; WILKENS, P.W.; PORTER, C.H.; TSUJI, G.Y. **Decision Support System for Agrotechnology Transfer Version 4.0. DSSAT**: crop model documentation. Honolulu: University of Hawaii, 2003. v. 4, 60 p.

KANNO, T.; MACEDO, M.C.; BONO, J.A. Growth responses of *Brachiaria decumbens* cv. Basilisk and *Brachiaria brizantha* cv. Marandu to phosphorus supply. **Grassland Science**, Oxford, v. 45, n. 1, p. 1-8, 1999.

LACHER, W. **Ecofisiologia vegetal**. São Carlos: Rima, 2000. 531 p.

LARA, M.A.S. **Respostas morfofisiológicas de cinco cultivares de *Brachiaria* spp. às variações estacionais da temperatura do ar e do fotoperíodo**. 2007. 91 p. Dissertação (Mestrado em Ciência Animal e Pastagens) – Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2007.

LOVATTO, P.A. Princípios de modelagem e sua aplicação e sua aplicação no estudo de cadeias de produção agrícola. In: REUNIÃO ANUAL DA SOCIEDADE DE ZOOTECNIA, 40., 2003, Santa Maria. **Anais...** Santa Maria: SBZ, 2003. 1 CD-ROM.

McWILLIAM, J.R. Response of pasture plants to temperature. In: WILSON, J.R. (Ed.) **Plant relation in pastures**. East Melbourne: CSIRO, 1978. p. 17-34.

MELLO, A.C.L.; PEDREIRA, C.G.S. Respostas morfológicas do capim-tanzânia (*Panicum maximum* Jacq. cv. Tanzânia-1) irrigado à intensidade de desfolha sob lotação rotacionada. **Revista Brasileira de Zootecnia**, Viçosa, v. 33, n. 2, p. 282-289, 2004.

MOORE, A.D.; DONNELLY, J.R.; FREER, M. GRAZPLAN: decision support systems for Australian grazing enterprises. III. Pasture growth and soil moisture sub models, and the GrassGro DSS. **Agricultural Systems**, Barking, v. 55, n. 4, p. 535-582, 1997.

PAGOTTO, D.S. **Comportamento do sistema radicular do capim tanzânia (*Panicum maximum* jacq.) sob irrigação e submetido a diferentes intensidades de pastejo**. 2001. 86 p. Dissertação (Mestrado em Ciência Animal e Pastagens) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2001.

PEDREIRA, B. **Capim Xaraés sob pastejo: respostas agronômicas e morfofisiológicas, e adaptação do modelo CROPGRO para a predição de crescimento**. 2009. 111 p. Tese (Doutorado em Ciência Animal e Pastagens) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2009.

POORTER, H.; GARNIER, E. Ecological significance of inherent variation in relative growth rate and its components. In: PUGNAIRE, F.I.; VALLADARES, F. **Handbook of functional plant ecology**. New York: Marcel Dekker, 1999. p. 81-120.

RODRIGUES, D.C. **Produção de forragem de cultivares de *Brachiaria brizantha* (Hochst. ex A. Rich) Stapf e modelagem de respostas produtivas em função de variáveis climáticas**. 2004. 94 p. Dissertação (Mestrado em Ciência Animal e Pastagens) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2009.

RYMPH, S.J. **Modeling growth and composition of perennial tropical forage grass**. 2004. 316 p. Thesis (Ph.D. in Agronomy) – University of Florida, Gainesville, 2004.

SANTOS, P.M. **Estudo de algumas características agronômicas de *Panicum maximum* Jacq. cv. Tanzânia e Mombaça para estabelecer seu manejo**. 1997. 62 p. Dissertação (Mestrado em Ciência Animal e Pastagens) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 1997.

SARMENTO, P.; RODRIGUES, L.R.A.; LUGÃO, S.M.B.; CRUZ, M.C.P.; CAMPOS, F.P.; FERREIRA, M.E.; OLIVEIRA, R.F. Sistema radicular do *Panicum maximum* Jacq. cv. IPR-86 Milênio adubado com nitrogênio e submetido à lotação rotacionada. **Revista Brasileira de Zootecnia**, Viçosa, v. 37, n. 1, p. 27-34, 2008.

SMITH, R.C.G.; WILLIAMS, W. Model development for a deferred-grazing systems. **Journal of Range Management**, Baltimore, v. 26, n. 6, p. 454-460, 1973.

TEDESCHI, L.O. Assessment of the adequacy of mathematical models. **Agricultural Systems**, Barking, v. 89, n. 3, p. 225-247, 2006.

THORNLEY, J.H.M. **Grassland dynamics: an ecosystem simulation model**. Wallingford: CAB International, 1998. 241 p.

WILLMOTT, C.J.; ACKLESON, S.G.; DAVIS, R.E.; FEDDMA, J.J.; KLINK, K.M.; LEGATES, D.R.; O'DONNELL, J.; ROWE, C.M. Statistics for the evaluation and comparison of models. **Journal of Geography Research**, Tokyo, v. 90, n. 5, p. 8995-9005, 1985.