

ANÁLISE DE CRESCIMENTO EM PLANTAS FORRAGEIRAS APLICADA AO MANEJO DE PASTAGENS*

Leandro Martins Barbero¹, Tatiane Faria Prado², Kelen Cristina Basso³, Lucas Alves Lima⁴, Kelly Mendes Motta⁴, Bárbara Cristina Krüger², Laerte Ribeiro Martins Neto⁵, Guilherme Amorim Soares da Silva⁴

RESUMO

A análise de crescimento em plantas forrageiras é um método que descreve as condições morfofisiológicas da planta em diferentes intervalos de tempo, entre amostragens sucessivas, e se propõe acompanhar a dinâmica da produção fotossintética, avaliada por meio do acúmulo de matéria seca e cálculos de áreas foliares. É o meio mais acessível para avaliar o crescimento e inferir sobre a contribuição de diferentes processos fisiológicos no comportamento vegetal, isso permite avaliar o crescimento final da planta como um todo e a contribuição dos diferentes órgãos no crescimento total. E ainda, fornece subsídio para avaliar a produtividade e as respostas das plantas às variações no ambiente e no manejo do pastejo, potencial de crescimento de cultivares, além de ser possível conhecer diferenças funcionais e estruturais entre cultivares de uma mesma espécie, o que favorece a seleção de materiais superiores dentro de um programa de melhoramento genético. E é utilizada com sucesso em pesquisas de plantas forrageiras. As principais características de crescimento são: taxa de crescimento da cultura (TCC); taxa de crescimento relativo (TCR); taxa de assimilação líquida (TAL); razão de área foliar (RAF), que se decompõe em área foliar específica (AFE) e razão de peso foliar (RPF); índice de área foliar (IAF); e duração da área foliar (D). Face às considerações feitas, o escopo desta revisão é resumir e discutir os dados referentes à análise de

crescimento em plantas forrageiras, tais como metodologias, modelagem, variáveis que afetam a análise, resultados de experimentos, limitações e uso dos índices e práticas de manejo.

Palavras-chave: Fisiologia vegetal. Forragicultura. Gramíneas.

INTRODUÇÃO

A análise de crescimento é um método que descreve as condições morfofisiológicas da planta em diferentes intervalos de tempo, entre duas amostragens sucessivas, e se propõe acompanhar a dinâmica da produção fotossintética, avaliada por meio do acúmulo de matéria seca. O fundamento da análise de crescimento é a medida sequencial do acúmulo de matéria orgânica e a sua determinação é feita, normalmente, considerando o peso seco da planta. Além das determinações de peso seco, as áreas foliares são também calculadas (MAGALHÃES, 1985; BENINCASA, 1988). O método também pode ser usado para a investigação do efeito de fenômenos ecológicos sobre o crescimento, como adaptabilidade de espécies em ecossistemas diversos, efeito de competição, diferenças genotípicas da capacidade produtiva e influência de práticas agronômicas sobre o crescimento (GOMIDE, 1997).

* Artigo recebido em: 06/09/2013

Aceito para publicação em: 24/02/2014

¹ Zootecnista, Doutor em Ciência Animal e Pastagem, Professor adjunto, Universidade Federal de Uberlândia, Faculdade de Medicina Veterinária – FAMEV. Campus Umuarama - Bloco 2T. Av. Pará, 1720 - Bairro Umuarama. Uberlândia - MG - CEP 38400-902. Email: leandrobarbero@famev.ufu.br

² Graduandas em Medicina Veterinária, Universidade Federal de Uberlândia

³ Zootecnista, Doutora, Professora Adjunta da Universidade Federal de Santa Catarina, Campus Curitibanos

⁴ Graduandos em Zootecnia Universidade Federal de Uberlândia

⁵ Engenheiro Agrônomo, Mestrando do Programa de Pós Graduação em Ciências Veterinárias da Universidade Federal de Uberlândia

No início do século XX alguns autores já demonstravam que várias estimativas de parâmetros de crescimento podiam ser derivadas de dados simples de medidas realizadas a campo (BLACKMAN, 1919; BRIGGS et al., 1920a,b; FISHER, 1920; WEST et al., 1920). Talvez o melhor método estudado tenha sido (e ainda é) o método de análise clássica de crescimento descrito por Gregory (1918), Blackman (1919), e Briggs et al. (1920a,b). Trabalhos posteriores foram desenvolvidos, onde a abordagem dos dados coletados e a serem coletados foram mais minuciosas (WILLIAMS, 1946; WATSON, 1952; HUGHES & FREEMAN, 1967; WARREN WILSON, 1981). Estes autores ainda propuseram que a análise clássica de crescimento de plantas proporciona uma aproximação para o estudo de crescimento e produtividade de plantas.

Segundo Radford (1967), as principais características de crescimento são as seguintes: taxa de crescimento da cultura (TCC); taxa de crescimento relativo (TCR); taxa de assimilação líquida (TAL); razão de área foliar (RAF), que se decompõe em área foliar específica (AFE) e razão de peso foliar (RPF); índice de área foliar (IAF); e duração da área foliar (D). Essas variáveis estimam por meio de medidas simples resultados de processos fisiológicos que envolvem efeitos de fotossíntese, respiração, alocação e partição de fotoassimilados, entre outros, a partir da estimativa dos índices fisiológicos TCC, TCR, TAL, RAF e RPF, que indicam diferenças de potencial de crescimento entre plantas, épocas do ano e práticas de manejo (GOMIDE, 1997).

A partir dos dados de crescimento pode-se estimar de forma bastante precisa, as causas de variação em padrões de crescimento de plantas geneticamente diferentes ou crescendo em ambientes diferentes. Do ponto de vista agrônomo, a análise de crescimento serve para conhecer diferenças funcionais e estruturais entre cultivares de uma mesma espécie, favorecendo a seleção de materiais superiores dentro de um programa de melhoramento genético (BENINCASA, 1988). Portanto, o propósito da presente revisão é resumir e discutir os dados

referente a análise de crescimento em plantas forrageiras, tais como metodologias, modelagem, variáveis que afetam a análise, resultados de experimentos, limitações e uso dos índices e práticas de manejo

REVISÃO

VARIÁVEIS QUE AFETAM A ANÁLISE DE CRESCIMENTO

Observando uma curva hipotética do crescimento vegetal, expresso em termos de peso seco, observa-se que existe um período inicial em que o crescimento é lento, seguido de uma fase de rápido aumento de tamanho e, finalmente, um decréscimo no acúmulo de matéria seca. A análise de crescimento se norteia pelo período onde há incrementos crescentes de matéria seca, ou seja, quando a curva segue uma função linear, denominado de fase logarítmica ou exponencial. Durante essa fase são determinadas equações que associam a velocidade de crescimento em função do tempo, e desta forma a curva representada pela fase exponencial recebe tratamentos matemáticos (logarítmicos, derivação e integralização).

As fórmulas apresentadas nessa revisão foram baseadas na análise clássica de crescimento descrita por Radford (1967).

Taxa de Crescimento da Cultura

A taxa de crescimento da cultura (TCC) é definida como o aumento em matéria seca da planta por unidade de tempo, que corresponde a um indicador de produtividade. Normalmente é dada em $\text{g m}^{-2}\text{dia}^{-1}$.

$$\text{TCC} = (P_2 - P_1)/(t_2 - t_1)$$

onde P_2 e P_1 corresponde ao peso seco da planta no período t_2 e t_1 , respectivamente.

A TCC é derivada das variáveis taxa de assimilação líquida (TAL) dada em $\text{g m}^{-2}\text{dia}^{-1}$ e índice de área foliar (IAF) que representam a eficiência fotossintética das

folhas e o tamanho da superfície fotossintetizadora, respectivamente.

$$TCC = TAL \times IAF$$

Em ecossistemas, a taxa de produção vegetal pode ser definida como o acúmulo de produto de fotossíntese (matéria orgânica), por unidade de área de terreno, por unidade de tempo, e é chamada de produtividade primária. A quantidade de tecido metabolicamente ativo que compões uma comunidade vegetal é chamado de biomassa. No caso das gramíneas tropicais essa biomassa se resume em sua maioria nas folhas que realizam a maior parte da fotossíntese e uma pequena contribuição das bainhas.

Taxa de crescimento relativo

A taxa de crescimento relativo (TCR) é dependente do material que está sendo acumulado, sendo a acumulação de matéria orgânica descrita segundo Magalhães (1985) por:

$$P_1 = P_0 e^{\alpha t}$$

onde, P_1 é o crescimento final; P_0 crescimento inicial; α é a taxa de produção vegetal durante um período de tempo (t).

A expressão indica que o tamanho final da planta (P_1) depende da quantidade de matéria seca existente inicialmente (P_0) e da eficiência da planta na produção de matéria orgânica (α). A TCR é dada por $g \text{ } g^{-1} \text{ dia}^{-1}$ e expressa em forma de material vegetal (matéria seca) existente durante um intervalo de tempo prefixado.

$$TCR = (\log P_2 - \log P_1) / (t_2 - t_1)$$

onde P_2 e P_1 corresponde ao peso seco da planta no período t_2 e t_1 , respectivamente.

O princípio básico para cálculo dessa variável é que o crescimento deve seguir um padrão exponencial, por isso os dados devem ser testados antes para confirmar essa pressuposição. Esse dado pode ser usado para estimar a partição dos compostos assimilados durante o crescimento pela determinação das taxas de crescimento de cada parte da planta.

O valor da TCR resulta da contribuição de dois componentes denominados taxa de assimilação líquida

(TAL) e razão de área foliar (RAF) abordados a seguir.

$$TCR = TAL \times RAF$$

Taxa de assimilação líquida ou aparente

A taxa de assimilação líquida (TAL) é a taxa de aumento em matéria seca, por unidade de tempo e por unidade de área foliar. A TAL reflete a dimensão do sistema assimilador que é envolvido na produção de matéria seca, ou seja, é uma estimativa de fotossíntese líquida (MAGALHÃES, 1985).

$$TAL = \left\{ \left[\frac{(P_2 - P_1)}{(A_2 - A_1)} \right] * \left[\frac{(\log A_2 - \log A_1)}{(t_2 - t_1)} \right] \right\}$$

onde, P_2 e P_1 corresponde ao peso seco da planta, A_2 e A_1 ao índice de área foliar no período t_2 e t_1 , respectivamente.

O resultado é expresso em unidades de crescimento (peso) por superfície foliar presente (área), por unidade de tempo: $g \text{ } dm^{-2} \text{ dia}^{-1}$.

Vale ressaltar a necessidade dos dados seguirem um padrão exponencial de crescimento e de se conhecer a relação entre P e A e entre P e t , A e t . Se não ocorrer correlação linear entre A e P pode ser aplicada uma equação de regressão que represente a correlação entre esses dois atributos (BENINCASA, 1988).

A TAL depende de fatores ambientais, principalmente radiação solar (HUXLEY, 1967). Devido ao efeito de auto-sombreamento, a TAL diminui com o aumento da área foliar e, conseqüentemente, durante o crescimento da comunidade vegetal.

Para essa variável pode-se ao invés de utilizar área foliar ou peso seco, empregar o conteúdo em proteína da folha como uma alternativa para minimizar o efeito da idade da planta no decréscimo da TAL (MAGALHÃES, 1985).

Razão de área foliar

A razão de área foliar (RAF) ($m^2 \text{ } g^{-1}$) representa a área foliar útil para crescimento e fotossíntese, sendo considerada um componente

morfofisiológico, pois corresponde à razão entre a área foliar (responsável pela captação de energia luminosa e CO₂) e a massa seca total de forragem, e reflete, de certo modo, a partição dos carboidratos assimilados. A RAF, por sua vez, pode ser desmembrada em dois componentes: a área foliar específica (AFE) (m² g⁻¹), que relaciona a superfície com a massa seca de folhas; e a razão de peso foliar (RPF) (g g⁻¹), que é a razão entre a massa seca de folhas e a massa seca total da planta.

$$RAF = AFE \times RPF$$

$$RPF = P_f / P$$

$$AFE = A / P$$

onde, P_f é o peso seco foliar, P é o peso seco total e A é área foliar em um determinado período.

Assim a RAF é dada por

$$RAF = \frac{1}{2} [(A_2 / P_1) + (A_1 / P_2)]$$

onde, P₂ e P₁ corresponde ao peso seco da planta e A₂ e A₁ ao índice de área foliar no período final e inicial respectivamente.

A taxa de crescimento de uma comunidade vegetal pode ser alterada por fatores que afetem a eficiência ou a dimensão do sistema assimilador, ou ambos.

As causas de variações da RAF podem ser devido à distribuição diferencial de fotoassimilados para as folhas e outros componentes da planta e diferenças na densidade foliar (área/unidade de peso foliar) (RADFORD, 1967).

Índice de área foliar

Conceitualmente, o índice de área foliar (IAF) é a relação entre a área foliar total e a área de solo sombreada pelas folhas. Porém, se considerarmos que a projeção da folhagem varia ao longo do dia em função do movimento relativo Terra-Sol, este índice é praticamente impossível de ser determinado. Geralmente o IAF é determinado a partir da relação da área foliar total e a área de solo disponível para a planta (BENINCASA, 1988).

O IAF é um atributo estreitamente relacionado com o manejo da pastagem e

com a capacidade potencial de rebrotação da forrageira. Trata-se de um dos principais fatores que determinam produtividade. Valores baixos de IAF indicam um relvado pouco denso enquanto que, alto indicam um relvado denso.

Para cada espécie forrageira e condições de crescimento existe um IAF que promove um nível ótimo de crescimento, pois este possibilita uma máxima interceptação da luz e uma melhor taxa de fotossíntese. O IAF "crítico" ocorre quando 95% da luz incidente é interceptada. No IAF "teto", a taxa de formação de folhas novas é igual à de morte das folhas inferiores (GOMIDE, 1994).

O progressivo aumento de folhas por perfilho e de perfilhos por planta determina o aumento do IAF do relvado e, então, o rendimento forrageiro, via crescente percentual de interceptação e captura de energia luminosa (BROUGHAM, 1955).

Duração da área foliar

O crescimento vegetal é decisivamente influenciado pelo tempo em que a planta mantém ativa sua superfície foliar (MAGALHÃES, 1985). Esta característica é definida pela duração da área foliar (D). Segundo este mesmo autor, a solução mais simples para se determinar D é utilizar o método gráfico, através da medida da área sob a curva representativa das variações da área foliar com o tempo.

$$D = \frac{1}{2} (A_2 + A_1) * (t_2 - t_1)$$

onde, A₂ e A₁ ao índice de área foliar no período t₂ e t₁, respectivamente.

ANÁLISE DE CRESCIMENTO E O AMBIENTE

Fatores ambientais afetam as plantas diretamente, por meio de alterações físicas e químicas do metabolismo. A redução de recursos produtivos (energia, CO₂, água e minerais), a presença de toxinas ou temperaturas extremas faz com que a planta responda com alterações em suas

taxas ou padrões de crescimento, pois o crescimento é reflexo dos processos metabólicos afetados, e nessa abordagem, o estudo da fisiologia ambiental é o estudo do crescimento de plantas (FITTER, 1987).

O crescimento de plantas é mais flexível do que de animais porque para as primeiras não há um ponto final de crescimento, estando muito mais aberto às mudanças ambientais. Mesmo assim, o crescimento em plantas segue certas regras. Em ambientes favoráveis, com poucos distúrbios as espécies que podem crescer mais, sombreando as demais, se essas espécies possuem sistemas radiculares pivotantes, podem se tornar dominantes e ocupar maior parte do ambiente. Porém, em ambientes onde há distúrbios grandes e/ou contínuos (naturais ou antrópicos) o ciclo de vida das espécies dominantes não é concluído, por ser muito longo, e, portanto, a manutenção das espécies na área é comprometida. Nestas situações a vegetação herbácea aparece, caracterizando-se por priorizar o crescimento rápido em detrimento de tamanho elevado. No decorrer da história, para descrever crescimento de plantas anuais, foi usada a taxa de crescimento relativo (TCR), que assume que novos crescimentos são apenas relacionados à biomassa existente, ou seja, quanto maior a planta, maior será seu incremento em crescimento. No entanto, em plantas perenes muitas vezes o tronco ou colmo contribui para a dominância da planta no ambiente ao suportar o aparato foliar acima dos demais indivíduos, o que pode reduzir a TCR, mas ser muito importante para a sobrevivência da planta no ambiente tornando-se importante sua inserção em parâmetros de análises.

Na maior parte dos ambientes há um fator ambiental específico que limita o crescimento e, superado o efeito desse fator, pode haver um aumento no crescimento gerando a limitação por outro fator. Devido a essas interações as respostas adaptativas das plantas ao ambiente são muito complexas (FITTER, 1987). Normalmente as relações entre diferentes fatores ambientais e reações das plantas não são lineares, sendo mais comuns gráficos com pontos de inflexão, como os sigmoides. Relações lineares

podem ser encontradas, no entanto, em faixas específicas como, por exemplo, entre produção de massa seca por planta por folha e radiação visível diária total (EVANS, 1972).

O crescimento de capins tropicais em regiões de baixas altitudes é pequeno por causa da semelhança entre as faixas de irradiância entre as estações e da pequena inclinação da curva de resposta à luz que chega ao ponto assintótico em níveis de saturação de luz, desta forma a irradiância não é a maior fonte de variação da fotossíntese, e conseqüentemente, do crescimento de capins tropicais em baixas latitudes, como da Costa Rica (10° 01 N) (HERRERO et al., 2000a).

A temperatura é o determinante principal do crescimento das culturas e um fator significativo nos modelos de mudança climática. Seus impactos na produção de matéria seca e desenvolvimento da área foliar podem ser estudados na forma de curvas de respostas das plantas à temperatura, como comparativo de plantas C₃ e C₄ (BEADLE, 1993). Em capim-milheto (*Pennisetum clandestinum*) com o aumento da temperatura houve um aparecimento mais rápido de folhas (menor intervalo entre aparecimentos de folhas), evidenciando que em temperaturas médias de 17° C intervalos de mais de 25 dias causaram aumento na senescência e perdas por respiração, reduzindo a TAL do capim (HERRERO et al., 2000a).

Potter & Jones (1977) indicaram que as alterações de crescimento devido às mudanças na temperatura são causadas principalmente pelas mudanças na partição de assimilados na área foliar ou alterações nas taxas relativas de expansão de área foliar do que em relação a TAL (que teria menor influência). Porque as mudanças nas primeiras têm efeito na TCR. Neste experimento, onde 9 espécies foram avaliadas, as temperaturas intermediárias (32/21° C em dia/noite) apresentaram maiores taxas de crescimento relativo, taxas de expansão relativas de folhas, taxas de crescimento relativo de peso de folhas e as menores taxas foram encontradas nas temperaturas mais baixas (21/10 °C dia/noite) enquanto nas maiores

temperaturas o crescimento foi intermediário (38/27° C em dia/noite).

ANÁLISE DE CRESCIMENTO E GENÉTICA

A análise de crescimento pode auxiliar na detecção de potencial de crescimento de plantas e comparações entre espécies e dentro de espécies. Além disso, pode ser usada para a separação de componentes fotossintéticos e respiratórios da taxa de assimilação líquida (TAL) (GOMIDE, 1997). As técnicas de análise de crescimento e troca de gases com uso do método de Watson & Hayashi (1965) (onde as plantas ficam no escuro por número de dias variável para separação da taxa de assimilação líquida e componentes de fotossíntese e respiração) foram usadas para verificar a validade do uso da análise de crescimento em uma gramínea (*Panicum maximum*) e uma leguminosa (*Macroptilium acropurpureum*) (LUDLOW & WILSON, 1968; HESLERHURST & WILSON, 1974) e entre 20 espécies de gramíneas e leguminosas (LUDLOW & WILSON, 1970) em ambientes quentes (30 °C) e úmidos (70% de umidade relativa). As gramíneas tiveram maior taxa de crescimento relativo (TCR) devido à maior taxa de assimilação líquida (TAL) causada pela maior taxa de fotossíntese e menor taxa de respiração. O uso da análise de crescimento foi adequado para estimar o potencial de crescimento das espécies e entre elas. Evidenciando que as taxas de crescimento de gramíneas tropicais são muito superiores às de leguminosas o que pode ser considerada uma vantagem adaptativa em ambientes tropicais.

ANÁLISE DE CRESCIMENTO CLÁSSICA X FUNCIONAL

A denominação de análise de crescimento clássica é utilizada para designar as descrições quantitativas de crescimento realizadas por meio de colheitas periódicas uniformemente espaçadas no tempo. Normalmente as funções são derivadas de médias de valores no período entre duas colheitas consecutivas (HUNT & PARSONS, 1974)

com relativamente poucas colheitas (HUNT, 1982). Com os novos programas e computadores os pesquisadores têm vantagens em elevar a velocidade de análises ajustando facilmente curvas de dados experimentais e então derivando os valores ajustados para funções de crescimento que podem ser colocadas no gráfico de forma contínua, denominada de análise de crescimento funcional (HUNT & PARSONS, 1974). A análise de crescimento funcional é estimada por funções matemáticas ajustadas a partir dos dados de colheitas periódicas, mas essas colheitas não precisam atender à premissa de serem uniformemente espaçadas (BRAND et al., 1987; BEADLE, 1993). Essas funções matemáticas são ajustadas para os dados brutos e depois descrevem as relações entre esses dados e o tempo, gerando “curvas de crescimento”, onde valores ajustados dos dados podem ser extraídos e usados para obtenção de valores instantâneos de várias quantidades derivadas (HUNT, 1982).

Apenas valores instantâneos podem ser apropriadamente apresentados em pontos individuais em progressões marcadas contra o tempo, enquanto valores médios devem ser colocados em histogramas, como os apresentados por Giacomini (2007), com o intervalo de classe igual ao intervalo de colheita, o que frequentemente é ignorado em trabalhos apresentados (HUNT, 1982).

A abordagem funcional é feita por meio de colheitas mais frequentes (1-3 dias) e menores o que fornece uma maior quantidade de dados necessários para descrever adequadamente relações entre P e t (tempo). O agrupamento e pareamento de plantas podem ser dispensados nas análises de crescimento funcionais. Muitas funções podem ser usadas para estabelecer as relações nas análises de crescimento. As funções mais simples são polinomiais com ordem apropriada para obter o melhor ajuste usando os procedimentos de quadrados. Por exemplo, a derivada de segunda ordem pode ter a forma:

$\text{Log}_e W = a + b_1 t - b_2 w t^2$ onde a, b_1 e b_2 são os coeficientes.

Enquanto as duas abordagens dividem várias considerações práticas, a

análise funcional não apresenta as limitações da análise clássica (BEADLE, 1993). A maior vantagem da funcional em relação à clássica é a informação de todo o período de interesse está contido em duas equações e funções podem ser desenvolvidas para calcular valores instantâneos de TCR, TAL e RAF para o mesmo período (BEADLE, 1993).

PLANEJAMENTO E RESULTADOS DE EXPERIMENTOS DE ANÁLISE DE CRESCIMENTO

Os experimentos devem ser planejados para atender às necessidades da abordagem clássica ou funcional (HUNT, 1982; BEADLE, 1993).

O planejamento é essencial para o sucesso das análises de crescimento. Os primeiros objetivos durante a fase experimental são as medidas de crescimento como massa seca e tamanho do aparelho assimilatório (área foliar) por uma série de colheitas. As variações indesejadas são minimizadas na análise clássica por meio da seleção de parcelas homogêneas de plantas, vasos ou parcelas no início do experimento (BEADLE, 1993).

Para a análise de crescimento clássica, plantas são pareadas ou agrupadas de forma que cada linha colhida contenha indivíduos com morfologia e taxa de crescimentos semelhantes (BEADLE, 1993). Após a colheita de uma das plantas a outra continua crescendo e sendo avaliada para ser colhida posteriormente, por isso as plantas devem ser semelhantes para a realização de análise de crescimento individual, o que pode ser difícil de conseguir na prática. Em situações onde não é possível a obtenção de plantas "iguais" só devem ser realizadas medidas individuais na planta sem colheita da mesma (EVANS, 1972).

O uso de colheitas em ambientes controlados para a análise de crescimentos tem inúmeras vantagens em relação às mensurações na planta crescendo sob condições naturais, pois assim é sempre necessário fazer inferências em relação à planta ou ao ambiente, como por exemplo, método adequado para mensuração de

assimilação de carbono em campo sem manipulação do ambiente (EVANS, 1972).

Em culturas no campo as parcelas experimentais devem ser selecionadas com uniformidade similar e esse critério deve ser aplicado à vegetação natural também (BEADLE, 1993). A necessidade de se trabalhar com avaliações na população de plantas aumenta o trabalho envolvido e traz complicações para retirar a variabilidade natural dos ambientes. Quanto menor as diferenças entre colheitas mais estas devem ser espaçadas. Em experimento conduzido com girassol foram relatados aumentos da massa seca de 30% em apenas um dia o que poderia viabilizar colheitas diárias caso houvesse infraestrutura e mão-de-obra para realizá-las (EVANS, 1972). Na prática o intervalo deve ser determinado pelas mudanças em A (Área foliar), sendo A2 a área foliar na segunda colheita e A1 na primeira colheita (consecutivas) e $A2/A1=2$ para medidas satisfatórias de TAL (BEADLE, 1993). É desejável que entre duas colheitas o tamanho das plantas aumente duas vezes (EVANS, 1972).

Para análises clássicas há necessidade de grandes quantidades de forragem nas colheitas, com intervalos menos frequentes e maior número de repetições em relação à análise funcional. Por isso, com análise funcional não há necessidade de agrupar plantas no início do experimento e ter várias repetições na mesma colheita (BEADLE, 1993).

ANÁLISE DE CRESCIMENTO E MODELAGEM

A abordagem funcional da análise de crescimento de plantas é uma ramificação da modelagem matemática, onde uma expressão matemática ou um grupo de expressões deve de alguma forma se comportar como um sistema real. Os modelos podem ser divididos em mecanicistas e empíricos. Os primeiros usam dados e conhecimentos existentes para deduzir prováveis respostas antes da realização de experimentos e os empíricos os dados são descritos novamente e os modelos são construídos sem uso de informações que não estão contidas nos dados originais, sendo usado

para trabalhar os dados e interpretar os resultados após a realização do experimento (HUNT, 1982). Uma vantagem da análise de crescimento apontada por Brand et al. (1987) é que ela pode ser uma ligação entre as abordagens empíricas e mecanicistas para modelar crescimento e desenvolvimento. Para esses autores a análise de crescimento preenche uma lacuna entre os estudos estritamente mecanicistas de fisiologia de plantas e estritamente empíricos de crescimento e produção.

Os modelos de crescimento das culturas e utilizados para pastagens, baseados em análises de crescimento, partem da premissa de que a forragem será colhida a intervalos constantes e pré-determinados. Por esta razão, o simples uso de modelos de crescimento em sistemas de pastejo é inadequado e sujeito a severos erros. Modelos de crescimento de gramíneas sob pastejo devem ser construídos combinando modelos de crescimento de plantas previamente descritos com funções de consumo animal (JOHNSON & PARSONS, 1985).

Herrero et al. (2000a, b) avaliaram um modelo mecanicista (Tropical Pasture Simulator – TPS) desenvolvido para estimar o crescimento vegetativo de pastos tropicais sob lotação rotativa e contínua e responde à variações em fertilizantes nitrogenados, temperatura e irradiância, podendo auxiliar no planejamento de sistemas de pastejo mais sustentáveis. Este modelo foi adaptado de Johnson & Thornley (1983) já incorporando o modelo de pastejo de Johnson & Parsons (1985) que usa o índice de área foliar. No TPS os principais substratos que controlam o crescimento (carbono fixado pela fotossíntese e índice de área foliar) foram modelados e o modelo mostrou-se adequado para planejamento de sistemas de pastejo.

Outro problema apontado por Parsons et al. (2001) é que nos modelos normalmente utilizados assume-se que o pasto é estável e homogêneo, o que se sabe não ser verdade. Por essa razão há necessidade de estudos do crescimento das plantas em sistemas de pastejo em uma faixa de escalas espaciais e

temporais. Há uma pressão para que as equações sejam o mais simples possível, o que facilita seu uso, porém as deixam “muito gerais”. Por exemplo, a curva de crescimento logística convencional (aumento de massa: área foliar, altura, densidade) tem sido representada por uma curva simples que foi empiricamente derivada de pastos em rebrotação saindo de uma baixa área foliar residual (THORNLEY & JOHNSON, 1990). Nessas situações, sua previsão de biomassa é adequada, porém o mesmo não ocorre quando a rebrotação é iniciada de elevada área foliar (pastejos mais lenientes). Isso mostra a importância do estado residual do pasto após a desfolhação e indica que esse fator deva ser incorporado à equações de crescimento de plantas. Shwinning & Parsons (1999) incorporaram a área foliar residual à equação, de forma que se esse valor tender a zero a equação fica indistinguível à logística convencional e conforme vai havendo aumento da área foliar residual a taxa de rebrotação vai diminuindo por um fator proporcional à diferença relativa ao pasto totalmente crescido e o pasto após a desfolhação.

A análise de crescimento também provê informação empírica essencial para propor o funcionamento de modelos de processos-bases que têm sido desenvolvidos para prever mudanças nos ciclos de carbono e nitrogênio devido ao estímulo em crescimento das plantas C3 proporcionado pelos incrementos em CO₂ na atmosfera. Além disso, temperatura e precipitação (como água disponível nos solos) são afetadas pelas alterações climáticas e afetam o armazenamento de carbono pelas plantas. O impacto dessas variáveis e suas interações com produção de massa seca e sua partição são estudadas pelas análises de crescimento (BEADLE, 1993).

USO DOS ÍNDICES PARA COMPARAÇÃO DE POTENCIAL DE CRESCIMENTO ENTRE PLANTAS, ÉPOCAS DO ANO E PRÁTICAS DE MANEJO

Existem muitos fatores que podem influenciar os valores de TCR, como espécie ou variedade (GARNIER, 1992), estágio de crescimento (PINTO, 1993),

além de variações nas condições climáticas (BENINCASA, 1988).

No início do crescimento, a área foliar da planta é constituída de folhas jovens, com alta capacidade fotossintética, ou seja, alta eficiência de fixação do CO₂ atmosférico. À medida que a planta se desenvolve, intensifica-se o processo de senescência foliar, reduzindo a eficiência fotossintética das folhas, além de aumentar as perdas respiratórias da planta, comprometendo a TAL e a RAF e, conseqüentemente, a TCR (WARREN WILSON, 1981).

Da mesma forma a taxa de crescimento da cultura (TCC) é uma função do índice de área foliar (IAF) e da taxa assimilatória líquida (TAL). Com o aumento desse índice pela idade da planta resultará maior capacidade de interceptação da luz incidente. Entretanto, se o índice de área foliar aumentar muito, a produção de massa seca não acompanhará esse aumento, porque haverá grande quantidade de folhas basais sombreadas bem como de folhas velhas, que serão menos eficientes fotossinteticamente (CORSI & NASCIMENTO JR. 1994).

A TAL representa o balanço entre a fotossíntese e respiração (LAMBERS, 1987), ou seja, ela representa a diferença entre a matéria seca produzida pela fotossíntese e a consumida pela respiração (WATSON, 1952) e pode ser positiva ou negativa, conforme as condições de meio e manejo a que a planta é submetida. Representa ainda a eficiência do aparelho fotossintético, pois reflete o acréscimo em massa por unidade de área foliar por dia. Gomide e Gomide (1996) observaram redução com o avanço da idade, enquanto Paciullo (1997) mostrou efeito da altura do corte na TAL.

No início da rebrotação, a área foliar da planta é constituída de folhas jovens, com alta capacidade fotossintética. À medida que a planta se desenvolve, cai a eficiência fotossintética das folhas e crescem as perdas respiratórias da planta, comprometendo a TAL. Além disso, com a intensificação do processo de senescência foliar, cai a RAF, afetando a TCR (OLIVEIRA et al., 2000).

A TAL se reduz com o aumento da idade da planta. Essa queda nos valores de TAL, com o avanço do

desenvolvimento das plantas, provavelmente ocorre devido ao aumento da idade média das folhas, aliado ao auto-sombreamento das folhas inferiores da planta, reduzindo, assim, a sua eficiência fotossintética (ANDRADE et al., 2005), bem como ao aumento da carga respiratória da planta (ALEXANDRINO et al., 2005). Além disso, com o avanço da maturidade da planta, ocorre maior aporte de assimilados para o desenvolvimento do colmo e, posteriormente, para o desenvolvimento de inflorescências, aumentando ainda mais as perdas respiratórias da planta e, conseqüentemente, reduzindo a TAL (OLIVEIRA et al. 2000).

Desta forma fica claro que se houver a interrupção da rebrota de uma gramínea tardiamente, além de estar fornecendo aos animais alimento de baixa qualidade, não haverá aproveitamento do potencial fotossintético máximo da planta, pois a TAL já está comprometida.

No entanto, segundo Watson et al. (1966), a redução na TAL, com o avanço do desenvolvimento da planta, ocorre, principalmente, devido à redução na taxa fotossintética e não ao aumento das perdas respiratórias das plantas. Entretanto, é importante ressaltar que a TAL não é determinada somente pela taxa fotossintética, mas também pela dimensão da área foliar, duração do período vegetativo, arquitetura do dossel, translocação e partição de assimilados (BERNARDES, 1987).

Assim como a TCR, variações na TAL também podem ser decorrentes das diferenças genéticas entre espécies e variedades, do estágio de desenvolvimento da planta e, também, das condições climáticas. Essas diferenças se tornam mais marcantes, quando se comparam plantas dos grupos C₃ e C₄ em um mesmo ambiente (LUDLOW E WILSON, 1970).

Segundo Santos Junior (2004) os resultados referentes a TAL obtidos em várias espécies são contraditórios e devem ser cuidadosamente analisados. A taxa fotossintética da cultura não é necessariamente uma função direta de sua área foliar, visto a contribuição desigual de folhas de diversas idades e os atributos morfológicos, como ângulo de disposição de folhas, que interferem na

interceptação luminosa. Desse modo, duas plantas com a mesma área de folhas podem interceptar mais ou menos luz, variando sua TAL, em função do ângulo de inserção das folhas.

Gomide & Gomide (1996) trabalhando com diferentes cultivares de *Panicum* observaram que o maior perfilhamento destes cultivares ocorreu entre as idades de 7 e 21 dias, porém, houve uma progressiva redução da TAL nas idades subseqüentes, que poderia ser explicada, em função de redução na capacidade fotossintética das folhas em expansão, em razão do progressivo sombreamento mútuo, bem como da redução da eficiência fotossintética do dossel, em decorrência da avançada idade média de suas folhas, além do progressivo aumento da carga respiratória de manutenção.

Com relação a RAF, podemos dizer que ela é reduzida com o avanço da idade devido às variações na relação fonte/dreno. Essa queda nos valores de RAF com a maturidade da planta está relacionada com variações na razão de peso foliar (RPF) e área foliar específica (AFE). Redução na RAF durante o desenvolvimento reflete maior alocação de assimilados para o desenvolvimento de colmos, raízes e partes reprodutivas, em detrimento da produção de folhas durante a fase linear de crescimento.

Queda na RAF, tanto com baixo suprimento de nitrogênio no sistema, bem como em idade mais avançada da planta, reflete a diminuição da capacidade fotossintética em relação ao aumento da massa total da planta, o que representa maior custo de respiração e a redistribuição de fotoassimilados para o crescimento da planta (colmo, raízes, perfilhos), em detrimento da produção de folhas, durante o estabelecimento e crescimento do vegetal (SANTOS JUNIOR et al. 2004).

Variações em RAF podem ser explicadas por possíveis alterações de seus componentes – área foliar específica (AFE) e razão de massa foliar (RMF) –, visto que a RAF é o produto da AFE pela RMF. Enquanto a variação na RMF tem efeito direto na produção de massa seca, a variação na AFE contribui indiretamente,

via interceptação de luz, para o crescimento da planta (GOMIDE, 1997).

Apesar de alguns estudos demonstrarem queda da RAF durante todo o período de rebrotação, indicando translocação preferencial para as hastes, a prioridade da planta é a reconstituição da área foliar e, portanto, a RAF se eleva após a desfolhação até um ponto de máxima e, posteriormente, reduz no decorrer da rebrotação (GOMIDE et al., 2003). Assim, a área foliar residual define o comportamento da RAF durante a desfolhação.

Esta RAF pode ser influenciada por um de seus fatores que a determinam, a RPF e a AFE. Altos valores de AFE podem ocorrer em plantas sob baixa intensidade luminosa e/ou cultivadas em solos férteis. Em solos de baixa fertilidade, a cultura desenvolve pouca área foliar e, portanto, menos biomassa, e, graças à alocação preferencial de carbono para o sistema radicular, resulta em valores mais baixos de RPF (GOMIDE, 1997).

À medida que avança a maturidade da planta, aumenta a proporção dos tecidos condutores e mecânicos nas folhas, provocando redução na AFE. Pinto (1993) observou que, de maneira geral, a AFE diminuiu com o desenvolvimento dos perfilhos de capim-guiné, setária e andropogon, sendo observados os valores mais altos em capim-setária, o que justifica suas folhas mais delgadas.

Cultivares de uma mesma espécie podem apresentar comportamentos diferenciados com relação aos índices de crescimento. Trabalhando com cultivares de *Cynodon*, Gomide (1996) verificou menores valores médios de AFE para os capins Tifton 85 ($0,167 \text{ m}^2 \text{ g}^{-1}$) e Florico ($0,178 \text{ m}^2 \text{ g}^{-1}$). Os maiores valores médios de AFE para os dois cultivares foram obtidos aos 21 ($0,219 \text{ m}^2 \text{ g}^{-1}$) e 28 dias ($0,241 \text{ m}^2 \text{ g}^{-1}$), observando-se tendência de diminuição até 84 dias ($0,147 \text{ m}^2 \text{ g}^{-1}$).

Considerando-se que as folhas são os órgãos responsáveis pela produção de massa seca a partir da fotossíntese e que as demais partes da planta dependem da exportação de fotoassimilados produzidos nas folhas, a RPF expressa a fração de massa seca não exportada das folhas para essas outras partes da planta (BENINCASA, 1988).

Em gramíneas, com o aumento das doses de N, pode ser observado um comportamento linear decrescente da RPF que pode ser atribuído à diminuição na razão folha:colmo. Assim, quanto mais a planta cresce, maior é a fração de material fotossintetizado exportada para outros órgãos que não as folhas (RODRIGUES et al., 2008).

Em trabalho desenvolvido por Santos Junior (2004) foi detectado que o incremento nas doses de N (28, 112, 210,294 e 378 mg L⁻¹ nas soluções nutritivas) proporcionou retenção do material fotossintetizado nas folhas, as quais constituem a fração mais importante para a alimentação animal, contribuindo para a RPF. Por outro lado, em condições de deficiência de N, as folhas exportam mais fotossintetatos às raízes que aquelas supridas adequadamente com N.

LIMITAÇÕES

As técnicas de análise de crescimento são mais apropriadas para seguir os efeitos de tratamentos mais extremos. As limitações em precisão que a técnica oferece restringem seu uso na investigação de mudanças sutis no clima em experimentos de campo porque a variação atribuída à amostragem irá sempre exceder o fator investigado. As taxas TAL e TCR podem mudar sistematicamente de forma a tornar obscuras as correlações entre luz e fatores ambientais, exceto durante a fase inicial de crescimento (BEADLE, 1993).

Análises de crescimento clássicas e funcionais dependem de amostragens destrutivas, apesar de amostragens não destrutivas poderem ser utilizadas como refletância do dossel (660:720 nm). As dimensões lineares de folhas e colmos também podem ser medidas e relatadas pelo incremento em matéria seca através de regressões (relações alométricas) derivadas de calibrações de colheitas (BEADLE, 1993). Algumas colheitas destrutivas, porém, são inevitáveis mesmo sob abordagens indiretas, se as medidas serão analisadas por descrições quantitativas de análise de crescimento. Medidas de biomassa de raiz e partição de matéria seca são essenciais para os

métodos não destrutivos de mensuração de matéria seca.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

A análise de crescimento fornece subsídio para avaliar o potencial de crescimento de cultivares, as respostas de plantas às variações no ambiente e no manejo do pastejo e pode ser utilizada com sucesso em pesquisas de plantas forrageiras. A análise de crescimento permite avaliar o desenvolvimento das plantas e inferir sobre os processos fisiológicos envolvidos nas respostas das plantas a estímulos diversos.

Essa técnica tem a vantagem de exigir o uso de poucos equipamentos, porém pode demandar quantidades variáveis de mão-de-obra, tornando-se interessante para pesquisas em locais com poucos recursos e disponibilidade de pessoas para o trabalho.

A análise de crescimento clássica vem se desenvolvendo e abriu caminho para a contribuição da análise de crescimento funcional, possibilidade gerada com o avanço das técnicas computacionais, sendo que ambas podem ser utilizadas com eficácia, cada qual em uma situação específica. A modelagem é uma ferramenta em desenvolvimento para entendimento de resultados e previsões relacionadas com a análise de crescimento.

Vários experimentos com plantas forrageiras já realizados avaliaram parâmetros (massa seca de forragem, área foliar) para avaliação do crescimento, porém não exploraram os dados nesse sentido. Devido ao montante de recursos necessários para tais experimentos seria interessante que variáveis de crescimento dos cultivares avaliados fossem calculadas e analisadas fornecendo maior banco de dados e subsídios para evolução neste conhecimento.

GROWTH ANALYSIS IN FORAGE PLANTS APPLIED TO THE PASTURES MANAGEMENT

ABSTRACT

Growth analysis in forages is a method that describes the morphological and

physiological conditions of the plant at different time intervals, between successive samplings, and proposes to follow the dynamics of photosynthetic production, measured by the accumulation of dry matter and leaf area calculations. It is the most accessible way to evaluate the growth and infer the contribution of different physiological processes for the plant behavior, allowing evaluating the final growth of the plant as a whole and the contribution of different organs in the total growth. Provides grant to assess the productivity of plants, plant responses to changes in the environment and grazing management, growth potential of cultivars and allows to know functional and structural differences between cultivars of the same species, favoring the selection of superior materials within a program of genetic improvement. It is successfully used in research on forage plants. The main characteristics of growth are: growth rate of the culture (GRC), relative growth rate (RGR), net assimilation rate (NAR), leaf area ratio (LAR), which decomposes in specific leaf area (SLA) and leaf weight ratio (LWR), leaf area index (LAI) and leaf area duration (D). Given the considerations, the scope of this review is to summarize and discuss data relating to growth analysis in forages such as methodologies, modeling, variables that affect the analysis of experiments results, limitations, use of indexes and management practices.

Keywords: Forage Crops, Grasses, Plant Physiology,

REFERÊNCIAS

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

ANDRADE, A.C.; FONSECA, D.M.; LOPES, R.S. et al. Análise de crescimento do capim-elefante "Napier" adubado e irrigado. **Ciência Agrotecnológica**, v. 29, n. 2, p. 415-423, 2005.

BEADLE, C.L. Growth analysis. In: HALL, D.O.; SCURLOCK, J.M.O.; BOLHAR-NORDENKAMPF, H.R.; LEEGOOD, C.; LONG, S.P. **Photosynthesis and production in a changing environment: a field and laboratory manual**. Chapman & Hall, London, 1993. p.36-45.

BENINCASA, M. M. P. **Análise de crescimento de plantas: noções básicas**. Jaboticabal: FUNEP, 1988. 41 p.

BERNARDES, M. S. Fotossíntese no dossel das plantas cultivadas. In: CASTRO, P. R. S. et al. (Eds.). **Ecofisiologia da produção agrícola**. Piracicaba: Associação Brasileira para Pesquisa da Potassa e do Fosfato, 1987. p. 12-48.

BLACKMAN, V.H. The compound interest law and plant growth. **Annals of Botany**, v.33, p. 353-360. 1919.

BRAND, D.G.; WEETMAN, G.F.; REHSLER, P. Growth analysis of perennial plants: the relative production rate and its yield components. **Annals of Botany**, v.59, p.45-53. 1987.

BRIGGS, G.E.; KIDD, R.; WEST, C. A quantitative analysis of plant growth. Part I. **Annals of Applied Biology**, v. 7, p.103-123. 1920a.

BRIGGS, G.E.; KIDD, R.; WEST, C. A quantitative analysis of plant growth. Part II. **Annals of Applied Biology**, v.7, p.202-223. 1920b.

BROUGHAM, R. W. A study in rate of pasture growth. **Australian Journal of Agricultural Research**, v.6, p. 804-812. 1955

CORSI, M.; NASCIMENTO JR., D. Princípios de fisiologia e morfologia de plantas forrageiras aplicados no manejo de pastagens. In: PEIXOTO, A. M.; MOURA, J. C.; FARIA, V. P. (Ed.). **Pastagens: fundamentos da exploração racional**. Piracicaba: FEALQ, 1994. p. 15-48.

EVANS, G.C. **The quantitative analysis of plant growth**. Studies in ecology.

Volume 1. University of California Press, Berkeley and Los Angeles, 1972, 734p.

FISHER, R. A. Some remarks on the methods formulated in a recent article on The quantitative analysis of plant growth. **Annals applied Biology**, v.7, p.367. 1920.

FITTER, A. **Environmental Physiology of Plants**. 2. ed. London, San Diego, Academic Press, 1987, 423p.

GARNIER, E. Growth analyses of congeneric annual and perennial grass species. **Journal of Ecology**, v. 80, n. 5, p. 665-675, 1992.

GIACOMINI, A. A. **Demografia do perfilhamento e produção de forragem em pastos de capim-marandu submetidos a regimes de lotação intermitente por bovinos de corte**. 2007. 175 p. Tese (Doutorado em Agronomia) – Universidade de São Paulo – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Piracicaba, 2007.

GOMIDE, J.A. Fisiologia do Crescimento Livre de Plantas Forrageiras. In: **Pastagens – Fundamentos da Exploração Racional**. FEALQ, p. 1-14, 1994

GOMIDE, C.A.M., GOMIDE, J.A. Morfogênese e análise de crescimento de cultivares de *Panicum maximum*. In: REUNIÃO ANUAL DA SOCIEDADE BRASILEIRA DE ZOOTECNIA, 33, 1996, Fortaleza. **Anais...** Fortaleza: SBZ, 1996, p.403-405.

GOMIDE, C.A.M. **Morfogênese e análise de crescimento de cultivares de *Panicum maximum* (Jacq.)**. Viçosa: UFV, 1997. 53 p. Dissertação (Mestrado em Zootecnia) –Universidade Federal de Viçosa, 1997.

GOMIDE, C.A.M.; GOMIDE, J.A.; ALEXANDRINO, E. Índices morfogênicos e de crescimento durante o estabelecimento e rebrotação do capim Mombaça (*Panicum maximum* Jacq). **Revista Brasileira de Zootecnia**, v.32, n.4, p.795-803, 2003.

GREGORY, F. G. Physiological conditions in cucumber houses. **Annual Report**, Experimental Research Station, Cheshunt, p. 19-28, 1918.

HERRERO, M.; FAWCET, R.H.; DENT, J.B. Modelling the growth and utilization of kikuyu grass (*Pennisetum clandestinum*) under grazing. 2. Model validation and analysis of management practices. **Agricultural Systems**, v. 65, p.99-111. 2000a.

HERRERO, M.; FAWCET, R.H.; SILVEIRA, J.; BUSQUÉ, J.; BERNUES, A.; DENT, J.B. Modelling the growth and utilization of kikuyu grass (*Pennisetum clandestinum*) under grazing. 2. Model definition and parametrisation. **Agricultural Systems**, v. 65, p.73-97. 2000b.

HESLERHURST, M.R.; WILSON, G.L. Studies on the productivity of tropical pasture plants. IV- Separation of photosynthetic and respiratory components of net assimilation rate by growth analysis and gas exchange techniques under natural lighting. **Australian Journal of Agricultural Research**, v.25, p.415-424. 1974.

HUGHES, A.P. & FREEMAN, P.R. Growth analysis using frequent small harvests. **Journal of Applied Ecology**, v.4, p. 553-560. 1967.

HUNT, R. & PARSONS, I.T. A Computer Program for Deriving Growth-Functions in Plant Growth-Analysis. **Journal of Applied Ecology**, v. 11, n.1, p. 297-307. 1974.

HUNT, R. **Plant Growth Curves: A functional approach to plant growth analysis**. East Kilbride: Scotland, Great Britain. Thomson Litho Ltd. 1982, 248p.

HUXLEY, P. A. The effects of artificial shading on some growth characteristics of arabica and robusta coffee seedlings. I. The effects of shading on dry weight, leaf area and derived growth data. **Journal of Applied Ecology**, London, n. 4, p. 291-308. 1967.

JOHNSON, I.R.; THORNELEY, J.H.M. Vegetative crop growth model incorporating leaf area expansion and senescence, and applied to grass. *Plant, Cell and Environment*, v. 6, n.9, p.721-729, 1983.

JOHNSON, I.R.; PARSONS, J. A theoretical analysis of grass growth under grazing. *Journal of Theoretical Biology*, v.112, n.2. p.345-367.1985.

LAMBERS, H. Does variation in photosynthetic rate explain variation in growth rate and yield ? *Netherlands Journal of Agricultural Science*, v.35, n.4, p.505-519, 1987.

LUDLOW, M.M.; WILSON, G.L. Studies on the productivity of tropical pasture plants. I. Growth analysis, photosynthesis and respiration of hamil grass and siratro in a controlled environment. *Australian Journal of Agricultural Research*, v.19, n.1. p.35-45. 1968.

LUDLOW, M.M.; WILSON, G.L. Studies on the productivity of tropical pasture plants. I. Growth analysis, photosynthesis and respiration of 20 species of grasses and legumes in a controlled environment. *Australian Journal of Agricultural Research*, v.21, p.183-194. 1970.

MAGALHÃES, A.C.N. Análise quantitativa do crescimento. In: FERRI, M.G. (Ed.). **Fisiologia vegetal**. São Paulo: Universidade de São Paulo, v.1, p.332-349. 1985.

OLIVEIRA, M.A.; PEREIRA, O.G.; GOMIDE, J. A. et al. Análise de Crescimento do Capim-Bermuda "Tifton 85" (*Cynodon* spp.). *Revista Brasileira Zootecnia* v. 29(6). p.1930-1938, 2000.

PACIULLO, D.S.C. **Produtividade e valor nutritivo do capim-elefante anão (*Pennisetum purpureum* Schum. cv. Mott) ao atingir 80 e 120 cm de altura sob diferentes doses de nitrogênio**. Viçosa, MG: UFV, 1997. 60p. Dissertação (Mestrado em Zootecnia) - Universidade Federal de Viçosa, 1997.

PARSONS, A.J.; SHWINNING, S.; CARRÈRE, P. Plant growth functions and possible spatial and temporal scaling errors in models of herbivory. *Grass and Forage Science*, v.56, p.21-34. 2001.

PINTO, J. C. **Crescimento e desenvolvimento de *Andropogon gayanus* Kunth, *Panicum maximum* Jack. e *Setaria anceps* Stapf ex Massey cultivadas em vasos, sob diferentes doses de nitrogênio**. 1993. 149 f. Tese (Doutorado em Zootecnia) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 1993.

POTTER, J.R.; JONES, J.W. Leaf area partitioning as an important factor in growth. *Plant Physiology*, v.59, p.10-14. 1977.

RADFORD, P.J. Growth analysis formulae – their use and abuse. *Crop Science*, Madison, v. 7, n. 3, p. 171-175, 1967.

RODRIGUES, R.C.; MOURÃO, G.B.; BRENNECK, K. et al. Produção de massa seca, relação folha/colmo e alguns índices de crescimento do *Brachiaria brizantha* cv. Xaraés cultivado com a combinação de doses de nitrogênio e potássio. *Revista Brasileira de Zootecnia*, v.37, n.3, p.394-400, 2008.

SANTOS JUNIOR, J.D.G.; MONTEIRO, F.A.; LAVRES JUNIOR, J. R. Análise de Crescimento do Capim-Marandu Submetido a Doses de Nitrogênio. *Revista Brasileira de Zootecnia*, v.33, n.6, p.1985-1991, 2004.

SHWINNING, S.; PARSONS, A.J. The stability of grazing systems revisited: spatial and the role of heterogeneity. *Functional Ecology*, v.13, p.737-747. 1999.

THORNLEY, J.G.M.; JOHNSONS, I.R. *Plant and Crop Modelling*. Oxford: Clarendon Press.1990.669p.

WARREN WILSON, J. Analysis of growth, photosynthesis and light interception for single plants and stands. *Annals of Botany*, v.48. p.41-72. 1981.

WATSON, D.J. The physiological basis of variation in yield. **Advances in Agronomy**, v.4, p.101-145. 1952.

WATSON, D.J.; HAYASHI, K. Photosynthetic and respiratory components of the net assimilation of sugar beet and barley. **New Phytol**, v. 64 p. 38-47, 1965.

WATSON, D. J.; WILSON, J. H.; FORD, M. A. Changes with age in the photosynthetic and respiratory components of the net assimilation rates

of sugar beet and wheat. **New Phytology**, v. 65, n. 4, p. 500- 508, 1966.

WEST C, BRIGGS GE, KIDD F. Methods and significant relations in the quantitative analysis of plant growth. **New Phytologist**. v. 19, n.7/8, p.200-207. 1920.

WILLIAMS, R.F. The physiology of plant growth with special reference to the concept of net assimilation rate. **Annals of Botany**, v.10, p.41. 1946.