

## ANÁLISE MULTIVARIADA APLICADA À VARIAÇÃO SAZONAL DAS TROCAS GASOSAS DE GRAMA BATATAIS

Gustavo Bastos Lyra<sup>1</sup>, Rafael Vasconcelos Ribeiro<sup>2</sup>, Antonio Roberto Pereira<sup>1</sup>, Eduardo Caruso Machado<sup>2</sup>, Ricardo Ferraz de Oliveira<sup>3</sup>

**ABSTRACT** – The objectives of this work were (i) to apply the principal components analysis (PCA) in the selection of environmental variables that show seasonal variability similar to the leaf gas exchange of bahiagrass; and (ii) to determine periods (months) with similar trends of evaluated variables by using Cluster analysis (CA). In a monthly time scale from April 2003 to March 2004, maximum rates of CO<sub>2</sub> assimilation ( $A_{max}$ ) and transpiration ( $E_{max}$ ) were measured with an infrared gas analyzer. The environmental variables selected by PCA that showed similar seasonal trend to  $A_{max}$  and  $E_{max}$  were: maximum photosynthetic photon flux density ( $PPFD_{max}$ ), minimum daily leaf temperature ( $T_{L-min}$ ) and photoperiod ( $N$ ). The CA defined three groups according to  $A_{max}$ ,  $E_{max}$  and environmental variables: G1 – March, April and August; G2 - May, June and July; and G3 - September, October, December and January. The highest values of  $A_{max}$  and  $N$  were observed in G3 whereas the lowest ones were noticed in G2. The G1 group had intermediate values between G2 and G3. Since photosynthetic activity and transpiration are essential processes for growth and development of bahiagrass micrometeorological modeling studies should consider the seasonal dynamic of leaf gas exchange.

### INTRODUÇÃO

O crescimento vegetal em diferentes habitats é determinado pela variação sazonal das condições ambientais. A carência de estudos sobre a variação sazonal das trocas gasosas de grama batatais (*Paspalum notatum* Flugge) dificulta a análise detalhada das características fisiológicas que afetam os elementos micrometeorológicos e vice-versa, visto que esta espécie é utilizada como superfície padrão em estações meteorológicas, na medida da evapotranspiração de referência ( $ET_0$ ) por lisimetria, e em parametrizações de modelos para estimativa de  $ET_0$ .

A análise multivariada (AM) é aplicada nas mais diversas áreas como ferramenta para interpretação de base dados com elevado número de variáveis. Os métodos de AM, como análise por componentes principais (ACP) e análise de agrupamento (AA), permitem, respectivamente, a seleção de variáveis que representam um sistema e o agrupamento de variáveis similares. A ACP reduz o número de variáveis iniciais da série analisada em número menor de componentes principais ou fatores, sem comprometer as informações iniciais. Os fatores são ortogonais (não correlatos) e organizados em ordem decrescente de importância. Cada fator é composto pelas variáveis que possuem maior correlação (Johnson & Wichern, 1992). Em relação à AA, essa considera as variáveis como pontos no espaço multidimensional, tornando possível o cálculo da distância entre pontos e a definição de agrupamentos segundo a proximidade entre pontos (Moita Neto & Moita, 1998).

Os objetivos do trabalho foram aplicar a análise de componentes principais na definição das variáveis

ambientais que apresentam variabilidade sazonal análoga às trocas gasosas de grama batatais e utilizar a análise de agrupamento na determinação dos meses que apresentam similaridade quanto a essas variáveis.

### MATERIAL E MÉTODOS

O estudo foi conduzido em área vegetada com grama batatais (*Paspalum notatum* Flüggé), localizada na Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz” ESALQ/USP, Piracicaba, SP (22°42’S, 47°30’W, 576 m de altitude), de abril de 2003 a março de 2004. Em intervalos de aproximadamente um mês mediu-se ao longo de um dia, entre as 8:00 e 19:00h (horário local), os fluxos de vapor d’água e CO<sub>2</sub> em folhas jovens e completamente expandidas de grama batatais sob condições de campo. Utilizou-se um analisador de gases por infravermelho em sistema aberto (LI-6400, LICOR, Lincoln, EUA). Taxas de assimilação de CO<sub>2</sub> e de transpiração, e a condutância estomática foram calculadas pelo programa do LI-6400 de acordo com as equações gerais de trocas gasosas propostas por von Caemmerer & Farquhar (1981). Duas folhas foram dispostas em paralelo no interior da câmara de fotossíntese do LI-6400 (6 cm<sup>2</sup> de área amostrada). A cada hora foram realizadas seis medidas (repetições) em folhas distintas, sendo a média das repetições considerada representativa de cada hora.

As variáveis consideradas a cada dia na ACP foram: máxima taxa de assimilação de CO<sub>2</sub> ( $A_{máx}$ ,  $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ ) e de transpiração ( $E_{máx}$ ,  $\text{mmol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ ), máxima condutância estomática ( $g_{s-máx}$ ,  $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ ), máxima densidade de fluxo de fótons fotossintéticos ( $DFFF_{máx}$ ,  $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ ), temperatura foliar mínima e máxima ( $T_{L-min}$  e  $T_{L-máx}$ , °C), mínima e máxima diferença de pressão de vapor folha-ar ( $DPV_{L-min}$  e  $DPV_{L-máx}$ , kPa) e o fotoperíodo ( $N$ , h). Devido à diferença na ordem de grandeza das variáveis analisadas, realizou-se a padronização ( $N[0,1]$ ) da matriz dos dados. A finalidade deste procedimento foi equalizar a importância estatística de todas as variáveis utilizadas. Na ACP, realizou-se a rotação dos fatores, utilizando o critério de maximização *Varimax*, mantendo-se a ortogonalidade, resultando em fatores que são mais representativos das fontes individuais de variação. Após a seleção das variáveis pela ACP, aplicou-se a análise de agrupamento (*Cluster*) para determinar os meses com valores similares das variáveis selecionadas. Utilizou-se o método hierárquico aglomerativo de Ward, sendo a distância Euclidiana a medida de dissimilaridade.

### RESULTADOS E DISCUSSÃO

A análise de componentes principais permitiu extrair dois fatores explicando 79,9% da variância total da série (Tabela 1), em que, o fator 1 (F1) representou a maior proporção dessa variância (52,7%). As comunalidades para cada variável foram acima de 0,80 indicando que os fatores obtidos explicam a maior parte

<sup>1</sup>Departamento de Ciências Exatas, Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo. CP09, 13418-900, Piracicaba-SP; <sup>2</sup>Centro de Pesquisa e Desenvolvimento de Ecofisiologia e Biofísica, Instituto Agrônomo. CP28, 13001-970, Campinas-SP; <sup>3</sup>Departamento de Ciências Biológicas, Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo. CP09, 13418-900, Piracicaba, SP.

da variabilidade de cada variável. F1 apresentou autovalor de 5,33, ou seja, representou em torno de cinco variáveis, enquanto em F2 esse valor foi inferior a dois.

Tabela 1. Matriz dos autovetores rotacionados para a taxa máxima de assimilação de CO<sub>2</sub> (A<sub>máx</sub>), de transpiração (E<sub>máx</sub>), máxima condutância estomática (g<sub>s-máx</sub>) e densidade de fluxo de fótons fotossintéticos (DFFF<sub>máx</sub>), temperatura foliar mínima e máxima (T<sub>L-min</sub> e T<sub>L-máx</sub>), mínima e máxima diferença de pressão de vapor folhar (DPV<sub>L-min</sub> e DPV<sub>L-máx</sub>) e o fotoperíodo (N)

Variável	Fator 1	Fator 2	Comunalidades
A <sub>máx</sub>	0,88	0,38	0,97
g <sub>s-máx</sub>	0,49	-0,71	0,80
E <sub>máx</sub>	0,88	0,20	0,89
DFFF <sub>máx</sub>	0,86	0,08	0,95
T <sub>L-máx</sub>	0,53	0,74	0,97
T <sub>L-min</sub>	0,87	0,02	0,96
DPV <sub>L-máx</sub>	0,21	0,92	0,98
DPV <sub>L-min</sub>	0,57	0,58	0,97
N	0,90	0,14	0,92
Autovalor	5,33	1,87	
Variância (%)	52,7	27,2	79,9

A importância de determinada variável em cada fator pode ser analisada pelo seu autovetor. Os autovetores rotacionados variam de menos um a mais um, em que, quanto mais próximo de um, maior a associação da variável com o fator. Dessa forma, podem-se extrair as variáveis que possuem maior correlação em cada fator. No caso de F1 as variáveis extraídas foram A<sub>máx</sub>, E<sub>máx</sub>, DFFF<sub>máx</sub>, T<sub>L-min</sub> e N, todas apresentando elevados autovetores rotacionados (> 0,86). No presente caso, pode-se inferir que essas variáveis possuem variabilidade temporal similar, ou seja, que a variação sazonal de A<sub>máx</sub> e E<sub>máx</sub> foi influenciada principalmente pelas seguintes variáveis ambientais DFFF<sub>máx</sub>, T<sub>L-min</sub> e N.

Aplicou-se então a análise de agrupamento (AA) para avaliar os meses que apresentam analogia entre as variáveis extraídas de F1. A análise permitiu definir estatisticamente três grupos de meses com tendência similar de A<sub>máx</sub> e E<sub>máx</sub>, denominados de grupo 1 (G1), grupo 2 (G2) e grupo 3 (G3). Os grupos foram formados pelos seguintes meses: G1 – março, abril e agosto; G2 - maio, junho e julho e G3 - setembro, outubro, dezembro e janeiro (Figura 1). O corte no dendograma baseou-se na distância de ligação entre os grupos. O grupo 3 reuniu os meses com os maiores valores de A<sub>máx</sub>, apresentando taxa máxima de assimilação de CO<sub>2</sub> acima de 29,68 μmol m<sup>-2</sup> s<sup>-1</sup> (Tabela 2). Tendência similar foi observada para E<sub>máx</sub>, apresentando valores superiores em relação aos meses de G1 e G2, com exceção de janeiro que mostrou E<sub>máx</sub> inferior a agosto (G1). De forma geral, observou-se também nos meses de G3 valores superiores de fotoperíodo (acima de 12 horas), temperatura foliar mínima (T<sub>L-min</sub> > 27,92 °C) e DFFF<sub>máx</sub> (Tabela 2).

Os meses de G2 apresentaram os menores valores de A<sub>máx</sub> (< 22,30 μmol m<sup>-2</sup> s<sup>-1</sup>), seguido do extremo inferior de DFFF<sub>máx</sub> (< 1299,6 μmol m<sup>-2</sup> s<sup>-1</sup>) e N (< 10,88 h). Contudo, T<sub>L-min</sub> mostrou valor superior em maio quando comparado a agosto e taxa máxima de transpiração com tendência análoga a T<sub>L-min</sub> para maio e julho em relação a março (G1). Em G1 os valores de A<sub>máx</sub> e N foram superiores aos observados em G2 e inferiores aos de G3. Contudo, E<sub>máx</sub> não apresentou esse padrão em agosto e março, T<sub>L-min</sub> em agosto e DFFF<sub>máx</sub> em abril.

Tabela 2. Variação sazonal da taxa máxima de assimilação de CO<sub>2</sub> (A<sub>máx</sub>) e transpiração (E<sub>máx</sub>), máxima densidade de fluxo de fótons fotossintéticos (DFFF<sub>máx</sub>), temperatura foliar mínima (T<sub>L-min</sub>) e fotoperíodo (N)

Mês	A <sub>máx</sub> (μmol m <sup>-2</sup> s <sup>-1</sup> )	E <sub>máx</sub> (mmol m <sup>-2</sup> s <sup>-1</sup> )	DFFF <sub>máx</sub> (μmol m <sup>-2</sup> s <sup>-1</sup> )	T <sub>L-min</sub> (°C)	N (h)
Abril	26,50	6,14	1980,6	27,4	11,4
Maio	19,02	4,41	1299,0	27,3	10,7
Junho	22,30	3,00	1199,6	22,5	10,6
Julho	21,36	4,41	1299,6	24,0	10,9
Agosto	25,82	7,10	1459,8	23,0	11,4
Setembro	31,50	8,20	1721,6	30,3	12,0
Outubro	29,68	8,93	1829,5	29,4	12,8
Dezembro	32,73	8,53	1949,8	29,5	13,4
Janeiro	31,54	6,48	2090,6	27,9	13,0
Março	24,32	4,17	1649,8	27,4	11,8

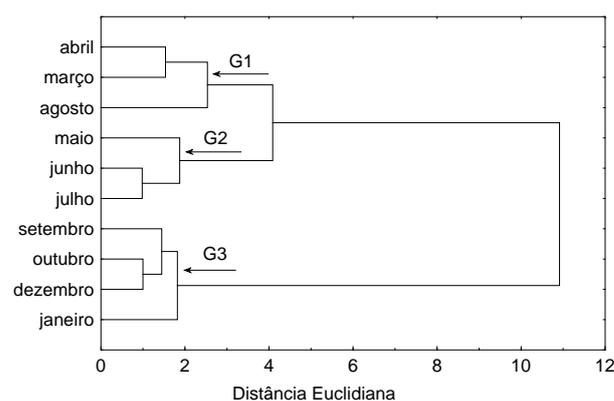


Figura 1. Dendrograma de similaridade dos meses formados pela análise de agrupamento baseada na variação sazonal da taxa máxima de assimilação de CO<sub>2</sub> (A<sub>máx</sub>), de transpiração (E<sub>máx</sub>) e de densidade de fluxo de fótons fotossintéticos (DFFF<sub>máx</sub>), temperatura foliar mínima (T<sub>L-min</sub>) e fotoperíodo (N).

Os resultados indicam três épocas distintas durante o ano quando consideradas as variáveis fisiológicas e os elementos meteorológicos, sugerindo que ao invés de quatro estações (outono-inverno-primavera-verão) poderíamos considerar três estações com as seguintes características: i) período com baixa disponibilidade energética, baixas temperaturas foliares e menor atividade fotossintética (G2); ii) período com alta disponibilidade energética, temperaturas foliares elevadas e alta atividade fotossintética (G3); iii) período de transição (G1), com características intermediárias em relação aos dois períodos já relatados. Desde que a atividade fotossintética e a transpiração são processos fundamentais no crescimento e desenvolvimento de grama batatais, estudos de modelagem em escala micrometeorológica devem considerar a dinâmica sazonal das trocas gasosas.

## REFERÊNCIAS

- Moita Neto, J.M.; Moita, G.C. Uma introdução à análise exploratória de dados multivariados. Química Nova, v.21, p.467-469, 1998.
- Johnson R.A.; Wichern, D. Applied multivariate statistical analysis. New Jersey: Prentice Hall. 1992.
- von Caemmerer, S.; Farquhar, G.D. Some relationships between the biochemistry of photosynthesis and the gas exchange of leaves. Planta, v.153, p.376-387, 1981.