

# CLASSIFICAÇÃO MULTIVARIADA DE COMUNIDADES DE PLANTAS INVASORAS EM ECOSISTEMAS DE PASTAGENS CULTIVADAS NA REGIÃO NORDESTE PARAENSE<sup>1</sup>

Saturnino DUTRA<sup>2</sup>

Waldenei Travassos de QUEIROZ<sup>3</sup>

Manoela Ferreira Fernandes da SILVA<sup>4</sup>

Ima Célia Guimarães VIEIRA<sup>4</sup>

**RESUMO:** O trabalho teve como objetivo classificar as espécies componentes das comunidades de invasoras em grupos homogêneos visando estabelecer estratégias de manejo e controle dessas espécies em ecossistemas de pastagens cultivadas regionais. Foram realizadas 36 amostragens sistemáticas em ecossistemas de pastagens de *Brachiaria humidicola* e *Brachiaria brizantha* durante o ano de 1999, períodos chuvoso e seco, em fazendas representativas das regiões de Castanhal, Terra Alta e Paragominas. Foram avaliadas a composição florística e estimados os parâmetros fitossociológicos das comunidades de invasoras. Utilizaram-se metodologias multivariadas de ordenamento-análise de agrupamento-análise discriminante, em forma seqüencial, para a classificação multivariadas das comunidades estudadas. Os procedimentos de análise multivariada foram efetuados utilizando-se o sistema SAS. Os resultados encontrados permitem formular os seguintes padrões de arranjo fitossociológicos de espécies invasoras: **grupo I**, constituído por espécies de alta importância fitossociológica, com altas freqüências, dominâncias e densidades, padrão de distribuição espacial agrupado, em geral de ciclo perene, hábito de crescimento arbustivo e subarbustivo, consistência lenhosa, reprodução por sementes e brotações de tocos e raízes, apresentando elevada importância em termos de manejo e controle; **grupo II**, formado por espécies de média importância fitossociológica, em geral de ciclo anual e perene, hábito de crescimento subarbustivo, consistência herbácea e lenhosa, reprodução por sementes e brotações de tocos e raízes, apresentando média importância em termos de manejo e controle; e **grupo III**, constituído por espécies classificadas em outros grupos homogêneos, apresentando respostas fitossociológicas menos significativas, padrão de distribuição espacial aleatório e uniforme, em geral com menor importância em termos de manejo e controle nos ecossistemas estudados.

**TERMOS PARA INDEXAÇÃO:** Análise Fitossociológica, Comunidades de Invasoras, Técnicas de Análise Multivariada.

<sup>1</sup> Aprovado para publicação em 12.05.05

Extraído da Tese apresentada pelo primeiro autor ao curso de Doutorado em Ciências Biológicas da UFPA em 2001.

<sup>2</sup> Engenheiro Agrônomo, D.Sc., Pesquisador da Embrapa Amazônia Oriental. E-mail: sdutra@cpatu.embrapa.br

<sup>3</sup> Engenheiro Florestal, D.Sc., Professor Adjunto da UFRA. E-mail: waldenei@ufra.edu.br

<sup>4</sup> Engenheira Agrônoma, D.Sc., Pesquisadora do Museu Paraense Emílio Goeldi MPEG. E-mail: manoela@museu-goeldi.br; ima@museu-goeldi.br

## MULTIVARIATE CLASSIFICATION OF WEED PLANTS COMMUNITIES IN CULTIVATED PASTURES AT NORTHEASTERN REGION OF PARA, BRAZIL

**ABSTRACT:** The objective of this research was to classify the species of weeds communities in regional cultivated pasture ecosystems. Thirty-six systematic surveys were carried out in cultivated pasture ecosystems of *Brachiaria humidicola* and *Brachiaria brizantha* during the rainy and dry periods of 1999 in representative farms on the pastoral regions of Castanhal, Terra Alta and Paragominas. In each sample unit, data of frequencies, dominances and densities of weed species were obtained. The methodology of multivariate classification analysis was made with the SAS software using statistical multivariate methods of principal components, cluster analysis and discriminant analysis. The results indicated that it is possible to formulate the following phytosociological pattern of weed communities: a) **group I** - species that have the highest phytosociological responses with high frequencies, dominances and densities, pattern of spatial distribution as grouped, in general these species have a perennial cycle, growth habit as shrub and sub-shrub, plant consistency as herbaceous and woody, reproduction by seeds and sprouts of stumps and roots, and showing high importance for weed management and control; b) **group II** - species with medium phytosociological importance, in general with perennial cycle, growth habit as shrub and sub-shrub, plant consistency as herbaceous and wood, reproduction by seeds and sprouts of stumps and roots, and showing medium importance for weed management and control; and c) **group III** - remaining species classified in other homogeneous groups, showing less significant phytosociological responses, pattern of spatial distribution as aleatory and uniform, in general these species have an annual cycle, growth habit as sub-shrub, plant consistency as herbaceous, reproduction by seeds, and showing less importance for weed management and control in the studied ecosystems:

**INDEX TERMS:** Phytosociological analysis, Weed communities, Techniques of multivariate analysis.

### 1 INTRODUÇÃO

As pastagens cultivadas são importantes componentes dos sistemas pecuários regionais, sendo, geralmente, estabelecidas em solos de baixa fertilidade natural, altos teores de alumínio e altas taxas de fixação de fósforo. Após os processos de desmatamento e queima, os níveis de nutrientes do solo são aumentados e os teores de alumínio são reduzidos, minimizando as condições de fixação do nutriente fósforo. Nessas condições, as pastagens apresentam produtividade inicial elevada, entretanto,

passados alguns anos, entram em processo de declínio de produtividade, associado à ocorrência de grande diversidade de plantas invasoras, tendo como consequência a diminuição considerável da lotação animal, aumentando cada vez mais os investimentos na limpeza de plantas invasoras, finalizando com a degradação irreversível da pastagem.

Hetch (1979) e Dantas e Rodrigues (1980) estimam que os custos com a roçagem de plantas invasoras na região de Paragominas consomem cerca de 10% a 20% dos custos operacionais das fazendas,

sem calcular os gastos com a presença de plantas tóxicas que resultam em doenças e mortes dos animais.

Pitelli (1989) indica que as comunidades de plantas invasoras interferem nos ecossistemas de pastagens cultivadas regionais sob as mais variadas formas: a) competição por água, luz, nutrientes e espaço; b) interferências alelopáticas; c) toxidade aos animais; d) redução na qualidade da forragem; e) redução na qualidade do produto pecuário; e f) hospedar pragas e doenças.

Essas limitações impostas pela comunidade de plantas invasoras aos ecossistemas de pastagens cultivadas vêm sendo apontadas por produtores regionais como o mais importante problema de ordem biológica, limitando o desenvolvimento de sistemas pecuários regionais.

Dutra et al. (1997), Dutra, Souza Filho e Teixeira Neto (1998) e Souza Filho, Dutra e Mascarenhas (1997) indicam resultados de pesquisas utilizando métodos integrados de controle em que as espécies componentes das comunidades de invasoras têm apresentado respostas diferentes às estratégias de controle, não sendo eficientes para todas as comunidades de invasoras, o que significa a necessidade de, inicialmente, classificar as espécies componentes das comunidades de invasoras em dendrogramas de similaridades, permitindo estabelecer grupos homogêneos de espécies, sob diferentes locais/ecossistemas de pastagens/períodos na região nordeste

paraense, possibilitando estabelecer estratégias de manejo e controle dessas espécies, refletindo positivamente na sustentabilidade dos ecossistemas.

O objetivo deste trabalho é classificar as espécies componentes das comunidades de plantas invasoras em grupos homogêneos de espécies que possam servir de base para estabelecer estratégias de manejo e controle dessas espécies nos ecossistemas de pastagens cultivadas na região nordeste paraense.

## 2 MATERIAL E MÉTODOS

O clima na região nordeste paraense, de acordo com a classificação de Köppen, é do tipo Afi, Ami, ou Awi. O clima Afi apresenta precipitações abundantes durante o ano todo, sendo o total anual geralmente superior a 2 000 mm. O clima Ami apresenta um regime pluviométrico anual com uma curta estação seca, de 2 a 3 meses, com total pluviométrico anual em torno de 2 000 mm. O clima Awi caracteriza-se por apresentar uma nítida estação seca, de 5 a 6 meses, com índice pluviométrico anual inferior a 2 000 mm (NASCIMENTO; HOMMA, 1984).

Os solos dos ecossistemas regionais são principalmente do tipo Oxisols e Ultisols, profundos, bem drenados, ácidos e de baixa fertilidade natural. Os oxisols são solos distróficos (baixa saturação de bases), quimicamente pobres, sendo representados pelas seguintes classes: Latossolo Amarelo, Latossolo Vermelho-Amarelo, Areia

Quartzosa, Plintossolos e Cambissolos. Os ultisols são solos eutróficos (alta saturação de bases), com fertilidade média a alta, encontrados em pequenas extensões na região, sendo representados pelas seguintes classes: Podzólico Vermelho-Amarelo, Terra Roxa Estruturada, Brunizem Avermelhado, Latossolo Roxo e Cambiossolo (NASCIMENTO; HOMMA, 1984; FALESI, 1986).

A cobertura vegetal na região é do tipo floresta densa e aberta. A floresta densa primária caracteriza-se por apresentar vegetação heterogênea, fechada, constituída de indivíduos entre 30 e 40 m de altura, tendo grande importância econômica, por sua alta diversidade florística. A floresta aberta, secundária, apresenta menor densidade de indivíduos por unidade de área, com menor valor econômico, quando comparada à floresta densa (NASCIMENTO; HOMMA, 1984).

## 2.1 AMOSTRAGENS

Utilizou-se o delineamento de amostragem sistemática, com aleatorização do primeiro ponto de amostragem e os restantes tomados em intervalos sistemáticos, visando amostragens tomadas em três locais (Castanhal, Terra Alta e Paragominas), três fazendas por local (Castanhal: Ideal, Progresso e Tachiro; Terra Alta: Belém, Macunaíma e Samauma; e Paragominas: Água Parada, Beira-Rio e Joaima), dois tipos de pastagens cultivadas (*Brachiaria humidicola* e *Brachiaria brizantha*) em dois períodos climáticos

(chuvoso e seco), totalizando 36 amostragens.

As amostragens constaram de medições de dados de frequências (1=presente, 0=ausente), dominâncias (% cobertura) e densidades (número de indivíduos).

## 2.2 PARÂMETROS FITOSSOCIO-LÓGICOS

Nos ecossistemas amostrados, foram estimados em parcelas de 2m x 2m os seguintes parâmetros fitossociológicos de estrutura horizontal: frequências, dominâncias e densidades absolutas e relativas; índices de valor de cobertura (IVC) e índices de valor de importância (IVI).

## 2.3 CLASSIFICAÇÃO MULTIVARIADA DE ESPÉCIES

Em ciências biológicas, a matriz de dados obtida de procedimentos amostrais é naturalmente multivariada, contendo estruturas de correlação entre as variáveis, portanto, necessitando ser analisada por métodos multivariados para se obter resultados mais próximos à realidade.

Os métodos multivariados de análise de vegetação têm sido utilizados através do tempo por muitos autores, tais como: Lambert e Dale (1964), Sokal e Sneath (1963), Williams e Dale (1965), Goodall (1970), Andenberg (1973), Orloci (1978), Afif e Pazen (1979), Mardia, Kent e Bibby (1979), Morrison (1981), Barros (1986),

Kent e Coker (1996) e Johnson e Wichern (1998).

A classificação numérica de espécies invasoras em classes homogêneas tendo por base variáveis fitossociológicas pode ser efetuada com base nas metodologias multivariadas de ordenamento-análise de agrupamento-análise discriminante, utilizadas em forma sequencial (MORRISON, 1981; KENT; COKER, 1996; JOHNSON; WICHERN, 1998).

#### 2.4 ORDENAMENTO DE ESPÉCIES

Em ecologia de plantas, os métodos de ordenamento referem-se à redução da dimensão de uma matriz multivariada de composição de espécies em outra matriz de menor dimensão, em escala contínua. As principais técnicas multivariadas de ordenação encontradas na literatura são: análise de componentes principais, análise de coordenadas principais, análise de fatores e análise canônica discriminante (JAMES; McCULLOCH, 1990).

Segundo Orloci (1978), a análise de componentes principais (ACP) utilizando a matriz de covariância é uma eficiente técnica de sumariação da matriz de dados com estrutura linear e contínua.

**Método de Análise de Componentes Principais, ACP** (JOHNSON; WICHERN, 1998):

Dado um conjunto de variáveis aleatórias, a ACP consiste em obter por transformação linear um número igual de

novas variáveis não-correlacionadas (componentes principais), onde a soma das variâncias seja invariante.

Seja a matriz de dados abaixo, onde  $X_1, X_2, \dots, X_p$  são variáveis aleatórias medidas em  $n$  espécies, e  $Y_1, Y_2, \dots, Y_p$  os componentes principais correspondentes

Espécies	$X_1$	$X_2$	...	$X_p$	$Y_1$	$Y_2$	...	$Y_p$
1	$x_{11}$	$x_{12}$	...	$x_{1p}$	$y_{11}$	$y_{12}$	...	$y_{1p}$
2	$x_{21}$	$x_{22}$	...	$x_{2p}$	$y_{21}$	$y_{22}$	...	$y_{2p}$
.	.	.	.	.	.	.	.	.
.	.	.	.	.	.	.	.	.
.	.	.	.	.	.	.	.	.
n	$x_{n1}$	$x_{n2}$	...	$x_{np}$	$y_{n1}$	$y_{n2}$	...	$y_{np}$

Os componentes principais  $Y_1, Y_2, \dots, Y_p$  são expressos como combinações lineares das variáveis respostas originais  $X_1, X_2, \dots, X_p$ .

$$y_{11} = a_{11} x_{11} + a_{12} x_{12} + \dots + a_{1p} x_{1p}$$

$$y_{21} = a_{11} x_{21} + a_{12} x_{22} + \dots + a_{1p} x_{2p}$$

.

.

.

$$y_{n1} = a_{11} x_{n1} + a_{12} x_{n2} + \dots + a_{1p} x_{np}$$

$$y_{12} = a_{21} x_{12} + a_{22} x_{22} + \dots + a_{2p} x_{2p}$$

$$y_{22} = a_{21} x_{22} + a_{22} x_{22} + \dots + a_{2p} x_{2p}$$

.

.

.

$$y_{n2} = a_{21} x_{n1} + a_{22} x_{n2} + \dots + a_{2p} x_{np}$$

$$y_{1p} = a_{p1} x_{1p} + a_{p2} x_{2p} + \dots + a_{pp} x_{np}$$

$$y_{2p} = a_{p1} x_{2p} + a_{p2} x_{22} + \dots + a_{pp} x_{np}$$

.

.

.

$$y_{np} = a_{p1} x_{np} + a_{p2} x_{np} + \dots + a_{pp} x_{np}$$

Em notação matricial, esses sistemas lineares podem ser escritos como:

$$\tilde{y}_1 = A_1 \cdot X$$

$$\tilde{y}_2 = A_2 \cdot X$$

.

.

.

$$\tilde{y}_p = A_p \cdot X$$

onde:  $\tilde{y}_1, \tilde{y}_2, \dots, \tilde{y}_p$  são vetores dos valores "score" associados aos componentes  $Y_1, Y_2, \dots, Y_p$ ;  $A_1, A_2, \dots, A_p$  são matrizes de coeficientes lineares a serem preditos;  $X$  é a matriz de variáveis aleatórias originais.

A solução para os componentes  $Y_1, Y_2, \dots, Y_p$ , obtida pela matriz de variância, é dada por:

$$\text{Var}(Y_1) = \tilde{a}'_1 S \tilde{a}_1$$

$$\text{Var}(Y_2) = \tilde{a}'_2 S \tilde{a}_2$$

.

.

.

$$\text{Var}(Y_p) = \tilde{a}'_p S \tilde{a}_p$$

onde:  $\tilde{a}'_1, \tilde{a}'_2, \dots, \tilde{a}'_p$  são vetores transpostos de coeficientes lineares associados às variáveis respostas originais  $X_1, X_2, \dots, X_p$ ; e  $S$  é a matriz amostral de covariância das variáveis respostas originais  $X_1, X_2, \dots, X_p$ .

Para obter o primeiro componente principal calcula-se  $\tilde{a}'_1 = [a_{11}, a_{21}, \dots, a_{p1}]$ , tal que  $\text{Var}(Y_1) = \tilde{a}'_1 S \tilde{a}_1$  atinja o máximo

valor, dada a condição  $\tilde{a}'_1 \tilde{a}_1 = 1$ .

Aplicando-se o método de Lagrange e tomando-se a derivada parcial em relação ao vetor  $\tilde{a}_1$ , tem-se:

$$F_1 = [\tilde{a}'_1 S \tilde{a}_1 + \lambda_1 (1 - \tilde{a}'_1 \tilde{a}_1)]$$

$$\delta F_1 / \delta \tilde{a}_1 = (S - \lambda_1 I) \tilde{a}_1$$

O segundo componente principal calcula-se  $\tilde{a}'_2 = [a_{12}, a_{22}, \dots, a_{p2}]$ , tal que

$\text{Var}(Y_2) = \tilde{a}'_2 S \tilde{a}_2$  atinja o máximo valor,

dada a condição  $\tilde{a}'_2 \tilde{a}_2 = 1$ . Aplicando-se o método de Lagrange e tomando-se a derivada parcial em relação ao vetor  $\tilde{a}_2$ , tem-se:

$$F_2 = [\tilde{a}'_2 S \tilde{a}_2 + \lambda_2 (1 - \tilde{a}'_2 \tilde{a}_2)]$$

$$\delta F_2 / \delta \tilde{a}_2 = (S - \lambda_2 I) \tilde{a}_2$$

Assim, o  $j$ -ésimo componente principal de uma amostra  $p$ -dimensional satisfaz a seguinte relação:

$$(S - \lambda_j I) \tilde{a}_j = 0$$

onde:  $\lambda_1, \lambda_2, \dots, \lambda_p$  são denominados autovalores ou raízes características da matriz amostral  $S$  de covariâncias;  $\tilde{a}_1, \tilde{a}_2,$

$\dots, \tilde{a}_p$  são denominados autovetores associados às raízes características  $\lambda_1, \lambda_2, \dots, \lambda_p$ ;  $I$  é a matriz de identidade.

A solução generalizada desses sistemas de equações lineares é dada pela seguinte relação:

$$\det(S - \lambda I) = 0$$

denominada equação determinantal da matriz  $S$ , de posto completo, ou seja,  $\det(S) \neq 0$ , e com características polinomial de ordem  $p$ .

Os valores referentes aos autovalores ou raízes características  $\lambda_1, \lambda_2, \dots, \lambda_p$  representam a variância associada de cada componente principal  $Y_1, Y_2, \dots, Y_p$ . A importância da cada componente principal é dada pela sua respectiva variância associada ( $\lambda_i$ ) em relação à variação total ( $\lambda_1 + \lambda_2 + \dots + \lambda_p$ ). As raízes características apresentam as seguintes propriedades: a)  $\text{tr}(S) = \lambda_1 + \lambda_2 + \dots + \lambda_p$ ; e b)  $\det(S) = \lambda_1 \cdot \lambda_2 \cdot \dots \cdot \lambda_p$ .

Os valores e o sinal algebraico dos autovetores  $\tilde{a}_1, \tilde{a}_2, \dots, \tilde{a}_p$  indicam a importância e a direção da contribuição das variáveis amostrais originais  $X_1, X_2, \dots, X_p$  sobre os componentes principais  $Y_1, Y_2, \dots, Y_p$ .

## 2.5 ANÁLISE DE AGRUPAMENTO

O método de agrupamento consiste em formar grupos de espécies em classes homogêneas, de acordo com medidas de similaridades (SNEATH; SOKAL, 1973; THOMPSON, 1991). Seja a matriz de dados contendo as variáveis  $Y_1, Y_2, \dots, Y_p$ , ordenadas na etapa anterior pela análise de componentes principais.

Espécies	$Y_1$	$Y_2$	...	$Y_p$
1	$y_{11}$	$y_{12}$	..	$y_{1p}$
2	$y_{21}$	$y_{22}$	...	$y_{2p}$
.	.	.	.	.
.	.	.	.	.
.	.	.	.	.
n	$y_{n1}$	$y_{n2}$	...	$y_{np}$

Os métodos de agrupamento estimam inicialmente uma matriz de similaridade com base em distâncias numéricas entre as espécies. A partir da matriz de similaridade, o agrupamento em classes homogêneas pode ser feito por vários métodos.

Kent e Coker (1996) enumeram que os métodos de agrupamento de uso mais comum em análise de vegetação são: 1) ligação simples ou método do vizinho mais próximo, agrupa as espécies segundo a menor distância; 2) ligações completas ou método do vizinho mais distante, agrupa as espécies segundo a maior distância; 3) ligações médias, agrupa as espécies segundo médias aritméticas não-ponderadas; 4) método centróide, agrupa as espécies segundo as menores distâncias entre seus centróides; e 5) variância mínima de Ward, agrupa as espécies segundo a menor soma de quadrados.

De acordo com o SAS Institute (1988), os métodos de agrupamento entre espécies podem ser obtidos por onze algoritmos: a) ligações médias não ponderadas; b) método centróide; c) ligações completas; d) ligações de densidade; e) máxima verossimilhança; f) método beta-flexível; g) ligações médias ponderadas (McQuitty); h) método da

mediana; i) ligações simples; j) ligações de densidade em dois estágios; e k) método da variância mínima de Ward. Os métodos de ligações médias, centróide, e ligações de densidade têm sido indicados como menos sensíveis à presença de *outliers*.

Kent e Coker (1996) estabelecem que o melhor método deve fazer sentido em termos ecológicos, indicando o método da variância mínima de Ward como, provavelmente, o mais eficiente para usos específicos na classificação de espécies vegetais.

**Método de Ward** (WARD, 1963; KENT; COKER, 1996; JOHNSON; WICHERN, 1998):

O método de agrupamento hierárquico de Ward consiste em construir uma seqüência de partições dos elementos  $y_{ij}$  ( $i=1,2, \dots, n$ ;  $j=1,2, \dots, p$ ) em  $n$  classes,  $n-1$  classes,  $n-2$  classes,  $\dots$ , com base na soma de quadrados entre pares de espécies, dado por:

$$SQ = \sum_{i=1}^m y_i^2 - (\sum_{i=1}^m y_i)^2/m$$

sendo  $m$  o número de espécies consideradas na obtenção da soma de quadrados. Estimada a matriz da soma de quadrados entre as espécies, inicialmente considera-se o grupo formado pelo par que apresenta a menor soma de quadrados, e assim sucessivamente.

A análise de agrupamento é resumida por uma seqüência de partições, representadas sob a forma de uma árvore de classificação denominada dendrograma, onde o eixo horizontal representa as espécies e o eixo vertical as distâncias numéricas em que

são realizados os agrupamentos. Os dendrogramas obtidos representam uma síntese gráfica das variáveis fitossociológicas do espaço multidimensional a um plano bidimensional. A classificação de espécies é feita então em grupos homogêneos de espécies, formuladas em ordem de importância: grupo 1, grupo2, grupo3, etc.,

## 2.6 ANÁLISE DISCRIMINANTE

A análise discriminante é uma técnica multivariada referente a classificação de grupos de espécies, servindo para complementar ou validar outras técnicas multivariadas, como o agrupamento de espécies em classes homogêneas.

Dada a matriz de dados abaixo contendo variáveis amostrais  $X_1, X_2, \dots, X_p$ , medidas simultaneamente em  $n$  espécies e classificadas em  $k$  grupos homogêneos.

Grupo	Espécie	$X_1$	$X_2$	$\dots$	$X_p$
$G_1$	1	$X_{111}$	$X_{121}$	$\dots$	$X_{1p1}$
$G_1$	2	$X_{112}$	$X_{122}$	$\dots$	$X_{1p2}$
.	.	.	.	.	.
.	.	.	.	.	.
$G_1$	$n_1$	$X_{11n1}$	$X_{12n1}$	$\dots$	$X_{1pn1}$
$G_2$	1	$X_{211}$	$X_{221}$	$\dots$	$X_{2p1}$
$G_2$	2	$X_{212}$	$X_{222}$	$\dots$	$X_{2p2}$
.	.	.	.	.	.
.	.	.	.	.	.
$G_2$	$n_2$	$X_{21n1}$	$X_{22n1}$	$\dots$	$X_{2pn1}$
$G_k$	1	$X_{k11}$	$X_{k21}$	$\dots$	$X_{kp1}$
$G_k$	2	$X_{k12}$	$X_{k22}$	$\dots$	$X_{kp2}$
.	.	.	.	.	.
.	.	.	.	.	.
$G_k$	$n_k$	$X_{k1nk}$	$X_{k2nk}$	$\dots$	$X_{kpnk}$



A análise discriminante classifica uma nova espécie representada pelo vetor de observações das variáveis originais  $X_1, X_2, \dots, X_p$  em um e somente um, dos grupos  $G_1, G_2, \dots, G_k$  com chances mínimas de erro.

Seja  $f_{1(x)}$  e  $f_{2(x)}$  as funções de densidade de probabilidade associadas ao vetor aleatório  $\underline{x}$  para os grupos  $G_1$  e  $G_2$ , respectivamente. Uma determinada espécie representada pelo vetor  $\underline{x}$  deve ser classificada no Grupo  $G_1$  ou grupo  $G_2$ . Seja  $\Omega$  o espaço amostral de todas as possíveis observações dos valores de  $\underline{x}$ , e seja  $R_1$  o conjunto dos valores de  $\underline{x}$  para o qual as espécies são classificadas no grupo  $G_1$ , então  $R_2 = \Omega - R_1$  corresponde aos restantes dos valores de  $\underline{x}$  para o qual as espécies são classificadas no  $G_2$ . Como cada variável deve ser assignada a um e somente um grupo, os conjuntos  $R_1$  e  $R_2$  são mutuamente exclusivos, ou seja,  $\Omega = R_1 \cup R_2$ . Para  $p=2$ , a probabilidade condicional  $P(X_2|X_1)$  de classificação de espécies no grupo  $G_2$  quando, de fato, pertencem ao grupo  $G_1$ , e a probabilidade condicional  $P(X_1|X_2)$  de classificação de espécies no grupo  $G_1$  quando, de fato, pertencem ao grupo  $G_2$ , são respectivamente (JOHNSON; WICHERN, 1998):

$$P(X_2|X_1) = P(X \in R_2 | G_1) = \int_{R_2} f_1(x) dx$$

$$P(X_1|X_2) = P(X \in R_1 | G_2) = \int_{R_1} f_2(x) dx$$

onde, o símbolo integral representa a área formada pelas funções de densidade  $f_{1(x)}$  e  $f_{2(x)}$  sobre as regiões  $R_2$  e  $R_1$ , respectivamente. As regiões  $R_1$  e  $R_2$  são construídas de modo a maximizar a probabilidade de classificação correta.

**Método Normal** (SAS INSTITUTE, 1988; JOHNSON; WICHERN, 1998)

Os procedimentos de classificação baseados na distribuição normal são mais comuns devido maior simplicidade e eficiência. Seja  $f_{1(x)}$  e  $f_{2(x)}$  funções de densidades normais,  $\underline{\mu}_1$  e  $\underline{\mu}_2$  os vetores de médias,  $\Sigma_1$  e  $\Sigma_2$  as matrizes de covariâncias associadas a  $f_{1(x)}$  e  $f_{2(x)}$ , respectivamente. A função de densidade normal multivariada tem a forma:

$$f_{i(x)} = \frac{1}{(2\pi)^p |\Sigma|^{1/2}} \text{Exp} \left[ -\frac{1}{2} (\underline{x} - \underline{\mu}_i)' \Sigma^{-1} (\underline{x} - \underline{\mu}_i) \right]$$

onde:  $\Pi=3,14159$ ;  $p$ =número de variáveis;  $\Sigma$ = matriz de covariância;  $\underline{x}$ =vetor associado às variáveis originais  $X_1, X_2, \dots, X_p$ ;  $\underline{\mu}_i$ =vetor de médias associados a  $f_{i(x)}$ .

Tomando-se o quociente entre as funções de densidade normais  $f_{1(x)}$  e  $f_{2(x)}$  para os grupos  $G_1$  e  $G_2$  e desenvolvendo-se de forma algebraica obtém-se a seguinte equação:

$$G_1 = G_2 = \{ \underline{x} \in R_p : (\underline{\mu}_1 - \underline{\mu}_2)' \Sigma^{-1} \underline{x} \geq 1/2 (\underline{\mu}_1 - \underline{\mu}_2)' \Sigma^{-1} (\underline{\mu}_1 + \underline{\mu}_2) \}$$

a qual é usada como regra de classificação para o caso de probabilidades a priori de  $\underline{x}$  pertencerem ao grupo  $G_1$  ou  $G_2$  serem iguais, e as variâncias  $\Sigma = \Sigma_1 = \Sigma_2$ .

### 3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

#### 3.1 ANÁLISE DE ORDENAMENTO-AGRUPAMENTO

Como resultado das análises de ordenamento-agrupamento obteve-se dendrogramas de similaridade de espécies em cada amostragem realizada. Em função de análise nos dendrogramas obtidos, pode-se formular os seguintes padrões de arranjo fitossociológico das espécies invasoras regionais: I, II e III. O grupo I está constituído pelas espécies: a) no período chuvoso: *Davilla rugosa* (cipó-de-fogo), *Borreria verticillata* (vassourinha-de-botão), *Vismia guianensis* (lacre), *Casearia grandiflora* (ponta-fina), *Panicum maritimum* (capim-gengibre), *Imperata brasiliensis* (capim-sapé), *Myrciaria tenella* (vassoura), *Rolandra argentea* (barba-de-paca), *Desmodium barbatum* (carrapicho), *Mimosa pudica* (malícia), *Eupatorium squalidum* (casadinha), *Calopogonium mucunoides* (calopogônio) e *Stachytarpheta cayennensis* (rinchão); e b) no período seco: *V. guianensis* (lacre), *B. verticillata* (vassourinha-de-botão), *M. tenella* (vassoura), *S. cayennensis* (rinchão), *D. rugosa* (cipó-de-fogo), *E. squalidum* (casadinha), *R. argentea* (barba-de-paca), *C. grandiflora* (ponta-fina) e *Desmodium canum* (carrapicho). São espécies de grande importância fitossociológica, com altas frequências, dominâncias e densidades, padrão de distribuição espacial agrupado, em geral de ciclo perene, hábito de crescimento arbustivo

e subarbustivo, consistência lenhosa, reprodução por sementes e brotações de tocos e raízes, com elevada importância em termos de manejo e controle (Quadro 1).

O grupo II está constituído pelas espécies: a) no período chuvoso: *Tetracera willdenowiana* (cipó-de-fogo), *Ipomoea bahiensis* (salsinha), *D. barbatum* (carrapicho), *Cyperus diffusus* (tiririca-branca), *Sida acuta* (malva-vassoura), *Solanum crinitum* (jurubebão) e *Hyptis mutabilis* (cidreira-braba); e b) no período seco: *T. willdenowiana* (cipó-de-fogo), *Heliconia bihai* (banana-brava), *Myrcia bracteata* (murta), *Solanum caavurana* (jurubeba), *Borreria latifolia* (vassourinha), *Desmodium barbatum* (carrapicho), *Vernonia scabra* (assa-peixe) e *Mimosa pudica* (malícia). São espécies de média importância fitossociológica, com frequências, dominâncias e densidades inferiores em relação ao grupo I, em geral de ciclo anual e perene, hábito de crescimento subarbustivo, consistência herbácea e lenhosa, reprodução por sementes e brotações de tocos e raízes, apresentando média importância em termos de manejo e controle (Quadro 2).

O grupo III, constituído pelas demais espécies, apresenta respostas fitossociológicas menos significativas, padrão de distribuição espacial aleatório e uniforme, em geral de ciclo anual, hábito de crescimento cespitoso e subarbustivo, consistência herbácea, apresentando menor importância em termos de manejo e controle.

Quadro 1 - Resumo dos grupos homogêneos de espécies invasoras de grande importância fitossociológica (grupo 1), obtidos da análise dos dendrogramas de similaridade em ecossistemas de pastagens cultivadas, períodos chuvoso e seco, região nordeste paraense.

Espécie	Castanhal-PA						Terra Alta-PA						Paragominas-PA					
	B. humidicola			B. brizantha			B. humidicola			B. brizantha			B. humidicola			B. brizantha		
	Faz Ideal	Faz Progresso	Faz Pachiro	Faz Ideal	Faz Progresso	Faz Pachiro	Faz Macunaíma	Faz Samauma	Faz Belém	Faz Macunaíma	Faz Samauma	Faz B. Rio	Faz A. Parada	Faz B. Rio	Faz A. Parada	Faz B. Rio	Faz Joaíma	
<i>D. rugosa</i>	x	x				x												
<i>I. brasiliensis</i>		x																
<i>C. grandiflora</i>			x															
<i>B. verticillata</i>			x														x	
<i>M. tenella</i>				x														
<i>P. maritimum</i>								x										
<i>R. argentea</i>									x									
<i>V. guianensis</i>										x							x	
<i>D. barbatum</i>											x							
<i>M. púdica</i>												x						
<i>E. squalicum</i>														x				
<i>C. mucunoides</i>															x			
<i>S. cayennensis</i>																x		
-----Período = Chuvoso-----																		
-----Período = Seco-----																		
<i>V. guianensis</i>	x					x												
<i>M. tenella</i>		x																
<i>C. grandiflora</i>			x															
<i>D. canum</i>								x										
<i>R. argentea</i>									x									
<i>B. verticillata</i>										x							x	
<i>S. cayennensis</i>																	x	
<i>E. squalicum</i>															x			
<i>D. rugosa</i>																x		

Quadro 2 - Resumo dos grupos homogêneos de espécies invasoras de média importância fitossociológica (grupo 2), obtidos da análise dos dendrogramas de similaridade em ecossistemas de pastagens cultivadas, períodos chuvoso e seco, região nordeste paraense.

Espécie	Castanhal-PA						Terra Alta-PA						Paragominas-PA					
	B. humidicola			B. brizantha			B. humidicola			B. brizantha			B. humidicola			B. brizantha		
	Faz Ideal	Faz Progresso	Faz Fachirol	Faz Ideal	Faz Progresso	Faz Fachirol	Faz Macunaima	Faz Samauma	Faz Belém	Faz Macunaima	Faz Samauma	Faz Belém	Faz A. Parada	Faz B. Rio	Faz Joalim	Faz A. Farada	Faz B. Rio	Faz Joalim
<i>V. guianensis</i>	X			X														
<i>C. grandiflora</i>	X								X									
<i>M. tenella</i>		X																
<i>T. willdenowiana</i>			X															
<i>I. brasiliensis</i>				X														
<i>D. canum</i>					X													
<i>B. verticillata</i>							X											
<i>R. argentea</i>										X								
<i>D. rugosa</i>											X							
<i>I. bahiensis</i>												X						
<i>D. barbatum</i>													X					
<i>C. difusus</i>														X				
<i>S. acuta</i>															X			
<i>S. crinitum</i>																X		
<i>H. mutabilis</i>																	X	
-----Período = Seco-----																		
<i>T. willdenowiana</i>	X																	
<i>M. tenella</i>	X																	
<i>I. brasiliensis</i>		X						X										
<i>D. rugosa</i>		X																
<i>H. bihal</i>		X																
<i>V. guianensis</i>		X							X									
<i>M. bracteata</i>		X								X								
<i>D. rugosa</i>			X								X							
<i>C. grandiflora</i>			X															
<i>B. verticillata</i>				X													X	
<i>S. caavurana</i>					X													
<i>D. canum</i>												X						
<i>B. latifolia</i>												X						
<i>R. argentea</i>													X					
<i>D. barbatum</i>														X				
<i>V. scabra</i>																	X	
<i>M. pudica</i>																		X

Vieira (1996), em estudos de classificação multivariada de sucessões florestais, ordena e classifica as espécies em quatro padrões de sucessão vegetal, de acordo com características ecológicas das espécies.

A definição de espécies prioritárias nos ecossistemas em associação ao conhecimento de suas principais características biológicas de sobrevivência, reprodução e sociabilidade, permite o estabelecimento de estratégias de manejo e controle, refletindo positivamente na sustentabilidade dos ecossistemas estudados. De acordo com os autores Doll (1977), Dias Filho (1990), Dutra et al. (1997), Dutra Mascarenhas e Teixeira (2000) e Mascarenhas et al. (1999), o método de controle das espécies invasoras regionais deve ser estabelecido em função da população das espécies mais frequentes, mais dominantes e de maiores densidades, seguidos por métodos corretos de manejo dos ecossistemas de pastagens.

### 3.2 ANÁLISE DISCRIMINANTE

As classes homogêneas de espécies invasoras classificadas na fase anterior de ordenamento-agrupamento foram submetidas à uma análise discriminante visando validar os grupos homogêneos de espécies obtidos.

Com a análise discriminante, verificou-se se as espécies invasoras assignadas nos grupos homogêneos são verdadeiros, com

base em procedimentos de classificação de distribuição normal e probabilidades a priori iguais entre os grupos, utilizando-se funções lineares discriminantes para cada classe de grupo de espécies, estimadas tendo por base os valores observados de frequências ( $Fr_{01}$ ,  $Fr_{02}$ , ...,  $Fr_{25}$ ), dominâncias ( $Do_{01}$ ,  $Do_{02}$ , ...,  $Do_{25}$ ) e densidades ( $De_{01}$ ,  $De_{02}$ , ...,  $De_{25}$ ), medidos nas unidades amostrais durante as amostragens de campo.

A função linear discriminante estimada pelo sistema SAS e utilizada para classificar as espécies em classes de grupos homogêneos apresentou a seguinte forma:

$$F_i = K + A_1 Fr_{01} + A_2 Fr_{02} + \dots + A_{25} Fr_{25} + B_1 Do_{01} + B_2 Do_{02} + \dots + B_{25} Do_{25} + C_1 De_{01} + C_2 De_{02} + \dots + C_{25} De_{25}$$

onde:  $F_i$  = função discriminante para cada classe de grupo homogêneo  $i$ ;  $K$  = constante;  $A_1, A_2, \dots, A_{25}$  são coeficientes lineares associados às variáveis de frequências;  $B_1, B_2, \dots, B_{25}$  são coeficientes lineares associados às variáveis de dominâncias;  $C_1, C_2, \dots, C_{25}$  são coeficientes lineares associados às variáveis de densidades.

Os resultados das análises discriminantes mostraram que as estimativas para as funções lineares discriminantes apresentaram classificações dentro de cada grupo de espécies invasoras correspondente a 100 por cento e taxas de erro igual a zero em todas as análises efetuadas, indicando que os grupos homogêneos obtidos foram bem feitos, podendo esses agrupamentos serem considerados validados.

#### 4 CONCLUSÃO

A classificação multivariada de comunidades de espécies invasoras em classes homogêneas permite formular os seguintes padrões de arranjo fitossociológicos nas condições estudadas: **grupo I**, constituído por espécies de alta importância fitossociológica, com altas frequências, dominâncias e densidades, padrão de distribuição espacial agrupado, em geral de ciclo perene, hábito de crescimento arbustivo e subarbustivo, consistência lenhosa, reprodução por sementes e brotações de tocos e raízes, apresentando elevada importância em termos de manejo e controle, como as espécies: *D. rugosa* (cipó-de-fogo), *B. verticillata* (vassourinha-de-botão), *V. guianensis* (lacre), *C. grandiflora* (ponta-fina), *P. maritimum* (capim-gengibre), *I. brasiliensis* (capim-sapé), *M. tenella* (vassoura), *R. argentea* (barba-de-paca), *D. barbatum* (carrapicho), *M. pudica* (malícia), *E. squalidum* (casadinha), *C. mucunoides* (calopogônio), *S. cayennensis* (rinchão), *S. cayennensis* (rinchão) e *D. canum* (carrapicho); **grupo II**, formado por espécies de média importância fitossociológica, em geral de ciclo anual e perene, hábito de crescimento subarbustivo, consistência herbácea e lenhosa, reprodução por sementes e brotações de tocos e raízes, apresentando média importância em termos de manejo e controle, como as espécies: *T. willdenowiana* (cipó-de-fogo), *I. bahiensis* (salsinha), *C. diffusus* (tiririca-branca), *S. acuta* (malva-vassoura), *S. crinitum*

(jurubebão), *H. mutabilis* (cidreira-braba), *H. bihai* (banana-brava), *M. bracteata* (murta), *S. caavurana* (jurubeba), *B. latifolia* (vassourinha), *V. scabra* (assa-peixe) e *M. pudica* (malícia); e **grupo III**, constituído pelas demais espécies classificadas em outros grupos homogêneos, apresentando respostas fitossociológicas menos significativas, padrão de distribuição espacial aleatório e uniforme, em geral com menor importância em termos de manejo e controle nos ecossistemas estudados.

#### REFERÊNCIAS

- AFIF, A. A.; PAZEN, S. *Statistical analysis: a computer orientated approach*. New York: Academic Press, 1979. 442 p.
- ANDENBERG, M. R. *Cluster analysis for applications*. London: Academic Press, 1973. 361 p.
- BARROS, P. L. C. *Estudo fitossociológico de uma floresta tropical úmida no planalto de Curuá-Una, Amazônia Brasileira*. 1986. 147 p. Tese (Doutorado) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 1986.
- DANTAS, M.; RODRIGUES, I.A. *Plantas invasoras de pastagens cultivadas na Amazônia*. Belém: EMBRAPA-CPATU, 1980. 23p. (EMBRAPA-CPATU. Boletim de Pesquisa, 1)
- DIAS FILHO, M.B. *Plantas invasoras em pastagens cultivadas da Amazônia: estratégia de manejo e controle*. Belém: EMBRAPA-CPATU, 1990. 103p. (EMBRAPA-CPATU. Documentos, 52).

- DOLL, J. *Manejo y control de malezas en el trópico*. Cali: CIAT, 1977. 114p. (CIAT. GS-18).
- DUTRA, S.; SOUZA FILHO, A. P. S.; TEIXEIRA NETO, J.F. *Métodos integrados de controle de plantas invasoras em pastagem cultivada de quicuío da Amazônia (Brachiaria humidicola) na Região de Paragominas*. Belém: EMBRAPA-CPATU, 1998. 35p. (EMBRAPA-CPATU. Boletim de Pesquisa, 183).
- DUTRA, S.; MASCARENHAS, E. B.; TEIXEIRA, L. B. Controle de plantas invasoras em pastagens cultivadas. In: COSTA, N. A.; MOURA CARVALHO, L. O. D.; TEIXEIRA, L. B.; SIMÃO NETO, M. (Ed.) *Pastagens cultivadas na Amazônia*. Belém: Embrapa Amazônia Oriental, 2000. p. 72-98.
- DUTRA, S.; SOUZA FILHO, A. P. S.; MASCARENHAS, R. E. B.; RODRIGUES, S. T. *Controle de plantas invasoras de pastagens cultivadas na Amazônia*. Belém: Embrapa Amazônia Oriental, 1997. 24 p. (EMBRAPA. Programa 06-Produção Animal. Subprojeto 06.0.94.690.03). Relatório Final.
- FALESI, I. C. Estado atual de conhecimento de solos da Amazônia brasileira. In: SIMPÓSIO DO TRÓPICO ÚMIDO, 1., 1984, Belém. *Anais...* Belém: EMBRAPA-CPATU, 1986. v.1, p. 168-191. (EMBRAPA-CPATU. Documentos, 36).
- GOODALL, D. W. Statistical plant ecology. *Annual Review of Ecology and Systematics*, v.1, p. 99-124, 1970.
- HETCH, S.B. Spontaneous legumes on developed pastures in the amazon and their forage potential. In: SANCHEZ, P.A.; TERGAS, L.E. (Ed). *Pasture production in acid soils of the tropics*. Cali: CIAT, 1979. p. 65-79.
- JAMES, F.C.; McCULLOCH, C.E. Multivariate analysis in ecology and systematics: panacea or pandora's box? *Annual Review of Ecology and Systematics*, v. 21, p. 129-166, 1990.
- JOHNSON, R. A.; WICHERN. D. W. *Applied multivariate statistical analysis*. New Jersey: Prentice Hall, 1998. 816 p.
- KENT, M.; COKER, P. *Vegetation description and analysis*. New York: J. Wiley, 1996. 363 p.
- LAMBERT, J. M.; DALE, M. B. The use of statistics in phytosociology. *Advances in Ecological Research*, v. 2, p. 59-95, 1964.
- MARDIA, K. V.; KENT, J. T.; BIBBY, J. M. *Multivariate analysis*. London: Academic Press, 1979. 521 p.
- MASCARENHAS, R.B.B.; MODESTO JÚNIOR, M. de S.; SILVEIRA FILHO, A.; SOUZA FILHO, A.P. da S.; DUTRA, S.; TEIXEIRA NETO, J.F. *Controle de plantas daninhas em pastagens cultivadas na Amazônia Oriental*. Belém: Embrapa Amazônia Oriental, 1999. 29p. (Embrapa Amazônia Oriental. Documentos, 6)
- MORRISON, D. F. *Multivariate statistical methods*. 2nd ed. Tokyo: McGraw-Hill, 1981. 415 p.

- NASCIMENTO, C.N.B.; HOMMA, A.K.O. *Amazônia: meio ambiente e tecnologia agrícola*. Belém: EMBRAPA-CPATU, 1984. 282 p. (EMBRAPA-CPATU. Documentos, 27).
- ORLOCI, L. *Multivariate analysis in vegetation research*. Boston: Junk BV, 1978. 451 p.
- PITELLI, R.A. Ecologia de plantas invasoras em pastagens. In: SIMPÓSIO SOBRE ECOSSITEMAS DE PASTAGENS, 1., 1989. *Anais...* Jaboticabal: FUNEP, 1989. p. 69-86.
- SAS Institute. *SAS/STAT user's guide*. Cary, 1988. 1028 p.
- SNEATH, P.H.A.; SOKAL, R.R. *Numerical taxonomy*. San Francisco: W.H. Freeman, 1973. 573 p.
- SOKAL, R. R.; SNEATH, P. H. A. *Principles of numerical taxonomy*. San Francisco: Freeman and Company, 1963. 150 p.
- SOUZA FILHO, A P.S.; DUTRA, S.; MASCARENHAS, R.E.B. Controle integrado de plantas invasoras em pastagem cultivada de *Brachiaria brizantha*. In: CONGRESSO BRASILEIRO DA CIÊNCIA DAS PLANTAS DANINHAS, 21., 1997, Caxambu. *Anais...* Caxambu, 1997. p. 307.
- THOMPSON, J.M. Visual representation of data including graphical exploratory data analysis. In: HEWITT, C.N. *Methods of environmental data analysis*. London: Elsevier Applied Sciences, 1991. p. 213-258.
- VIEIRA, I. C. G. *Forest succession after shifting cultivation in Eastern Amazonia*. 1996. 205 p. Tese (Doutorado) – University of Stirling, 1996.
- WARD, J. H. Hierarchical grouping to optimize an objective function. *American Statistical Association Journal*, v. 58, p. 81-95, 1963.
- WILLIAMS, W. T.; DALE, M. B. Fundamental problems in numerical taxonomy. *Advance Botanical Research*, v.2, p. 35-68, 1965.