

Ranqueamento de faxinais do Estado do Paraná através da análise fatorial

Emerson Marcos Furtado

Programa de Pós-Graduação em Métodos Numéricos em Engenharia - PpgMNE/UFPR
Universidade Federal do Paraná
efurtado@bsi.com.br

Anselmo Chaves Neto

Programa de Pós-Graduação em Métodos Numéricos em Engenharia - PpgMNE/UFPR
Departamento de Estatística - DEST
Universidade Federal do Paraná
anselmo@est.ufpr.br

Zilna Hoffmann Domingues e Roberto Tuyoshi Hosokawa

Programa de Pós-Graduação em Engenharia Florestal - PpgEngFlo/UFPR
Universidade Federal do Paraná

(Recebido: 25 de novembro de 2002)

Resumo: Os municípios do Paraná que possuem em seus territórios Áreas Especialmente Protegidas têm, através da Lei Complementar N.º 59/91, conhecida como Lei do ICMS Ecológico, direito a um percentual dos recursos do Imposto sobre Circulação de Mercadorias e Serviços - ICMS. A avaliação de cada área é feita pelo Instituto Ambiental do Paraná - IAP, que realiza anualmente uma avaliação da qualidade, determinando a cada uma delas um score. Este score determina o repasse financeiro ao município. Desta forma, é proposta no presente trabalho uma técnica estatística multivariada, denominada Análise Fatorial, que, através de um programa computacional automático, realiza a classificação (ranking) qualitativa de áreas de Faxinais no Estado. Os Faxinais constituem um tipo especial de área protegida. Um bom estudo sobre este tema pode ser encontrado em Chang [3] e [4]. Os dados brutos usados como entrada no programa foram obtidos de dois questionários: um deles aplicado às unidades familiares e, o outro, às lideranças locais. Foram analisadas 80

variáveis de 20 Fazinais observados, referentes ao ano agrícola de agosto de 1997 a julho de 1998. Utilizando a Análise Fatorial, conseguiu-se a redução das 80 variáveis para apenas 17 fatores. Os fatores considerados contribuíram para uma explicação de 97,7649% do total da variância amostral. O programa elaborado permite ao usuário a classificação (ranking) automática das áreas, com opções para armazenar escores de anos anteriores e observar a evolução da qualidade de vida de cada comunidade. Pode-se, assim, com maior eficiência, balizar as ações de impacto, procurando sempre melhorar a cada ano.

Palavras-chave: Análise Fatorial; classificação; fazinais

Abstract: The municipal districts of Paraná that possess in its territories Especially Protected Areas, they have, through the Complemental Law N.º 59/91, known as Law of Ecological ICMS, the right to a percentile of the resources of the Tax on Circulation of Goods and Services - ICMS. The evaluation of each area is made by the Instituto Ambiental do Paraná - IAP that accomplishes an evaluation of the quality annually, determining each one of them a score. This score determines the financial reviews to the municipal district. Therefore, it is proposed in the present work a multivariate statistical technique, denominated Factor Analysis, that, through a computational automatic program, accomplish the qualitative ranking of Faxinal's areas in the state. The Faxinals are constituted as special type of protected area. A good study about this theme can be found in Chang [03] and [04]. In this study have been analyzed 80 variables of 20 observed Faxinals, referring to agriculture year from August 1997 through July 1998. Using the Factor Analysis, the reduction of the 80 variables was gotten for just 17 factors. The considered factors contributed to an explanation of 97,7649% of the total of the sample variance. The program lives the customer gives the automatic ranking of the areas, with options to garner scores of past years and see the evolution of the life quality each community. So, with more efficiency, supervise the impact actions, seeking always to improve every year.

Key words: Factorial Analysis; classification; fazinais

1 Introdução

Segundo a Federação brasileira, cada estado pode definir um perfil de distribuição dos recursos do ICMS - Imposto sobre Circulação de Mercadorias e Serviços - a que os municípios têm direito. O Estado do Paraná, pioneiramente, definiu pela Lei Complementar N.º 59/91, conhecida como Lei do ICMS Ecológico, que 5% dos recursos devem ser distribuídos segundo um critério ambiental. Loureiro (1998) apresenta detalhes dessa lei. Por esta lei, metade dos 5% são distribuídos aos municípios que possuem em seus territórios mananciais e, a outra metade, aos municípios que possuem Áreas Especialmente Protegidas, caracterizadas pelas Unidades de Conservação. O Instituto Ambiental do Paraná - IAP realiza anualmente a avaliação do nível de qualidade de conservação das Áreas Especialmente Protegidas. A avaliação possibilita um repasse financeiro ao município.

O objetivo deste trabalho foi, a partir das variáveis sugeridas pelo IAP, em grande parte qualitativas, quantificá-las e, através de escores, estabelecer um ranking classificatório de todas as áreas avaliadas. Além disto, o procedimento de cálculo

foi automatizado por meio de um programa computacional a ser utilizado pelo IAP. Na solução para o problema de classificação das Áreas Especialmente Protegidas, foi utilizada a Análise Fatorial, técnica estatística multivariada. Este trabalho descreve o procedimento estatístico na seção II, bem como a coleta e compilação dos dados. Na seção III, são apresentados os resultados obtidos.

2 Desenvolvimento do tema

2.1 Análise fatorial

O processamento de dados até a década de 40 estava limitado a cálculos morosos e custos financeiros e operacionais inviáveis. Com o advento do computador eletrônico, as operações tornaram-se mais rápidas, a velocidade de processamento de dados aumentou e, conseqüentemente, ampliou-se o acervo de técnicas e métodos que poderiam ser utilizados com êxito. Na Estatística, grande parte das técnicas baseadas em métodos recursivos foi beneficiada com este aumento de velocidade de processamento. A Análise Fatorial, por exemplo, foi uma das técnicas estatísticas que na década de 30 já estavam teoricamente idealizadas, mas apenas na década de 50 foram aplicadas plenamente e com sucesso.

A Análise Fatorial é uma técnica estatística multivariada que trata do relacionamento entre conjuntos de variáveis. Inicialmente, foi desenvolvida por Spearman com os trabalhos intitulados “General intelligence objectively determined and measured”, de 1904, e “The Abilities of Man”, de 1926. Mais tarde, teve contribuições de outros psicólogos, tais como Thomson, Thurstone e Burt, que a desenvolveram como uma técnica pioneira, tratando de hipóteses sobre a organização da habilidade mental, sugerida pelo exame das matrizes de correlação ou covariância para conjuntos de testes de variáveis cognitivas.

A proposta essencial da Análise Fatorial é descrever, se possível, a estrutura de covariância do relacionamento entre várias variáveis em termos de um número menor de variáveis não observáveis, denominadas fatores. Com esses fatores, procura explicar a estrutura de covariância das variáveis observadas.

2.2 Modelo fatorial ortogonal

Sendo o vetor aleatório observável \underline{X} , com p componentes, média $\underline{\mu}$ e covariância Σ , o Modelo Fatorial postula que \underline{X} é linearmente dependente de algumas variáveis aleatórias não observáveis F_1, F_2, \dots, F_m , chamadas fatores comuns, e p fontes de variação $\varepsilon_1, \varepsilon_2, \dots, \varepsilon_p$, chamadas erros ou fatores específicos. De acordo com COOLEY (1971), em particular, o Modelo de Análise Fatorial é

$$\underline{X} = \begin{matrix} \underline{\mu} + & L \cdot & \underline{F} + & \underline{\varepsilon} \\ (px1) & (pxm) & (mx1) & (px1) \end{matrix}$$

com $m < p$ e, ainda é a média da variável μ_i , $i = 1, 2, 3, \dots, p$, ε_i é o i -ésimo fator específico, F_j é o j -ésimo fator comum, $j = 1, 2, 3, \dots, m$, el_{ij} é o carregamento

da i -ésima variável no j -ésimo fator. Os não observáveis vetores aleatórios \underline{F} e $\underline{\varepsilon}$ satisfazem as propriedades:

- \underline{F} e $\underline{\varepsilon}$ são independentes;
- $E(\underline{F}) = \underline{0}$, $\text{Cov}(\underline{F}) = I$ e
- $E(\underline{\varepsilon}) = \underline{0}$, $\text{Cov}(\underline{\varepsilon}) = \Psi$, onde Ψ é uma matriz diagonal com a variância específica ψ_i na diagonal principal.

As suposições do modelo fazem com que se tenha uma decomposição da matriz de covariância em duas parcelas, ou seja, $\Sigma = \text{Cov}(\underline{X}) = LL' + \Psi$ e $\text{Cov}(\underline{X}, \underline{F}) = L$, de forma que a porção da variância da variável aleatória X_i , advinda como contribuição dos m fatores comuns, é denominada comunalidade i e denotada por h_i^2 e a porção da variância desta variável atribuída ao fator específico ε_i é chamada de imparidade ou, mais freqüentemente, variância específica e é denotada por ψ_i . Em particular, para a variável i tem-se $\text{Var}(X_i) = (\text{comunalidade } i) + (\text{variância específica } i)$. Logo, $\sigma_i^2 = \sigma_{ii} = h_i^2 + \psi_i$, $i = 1, 2, \dots, p$. Maiores detalhes podem ser encontrados em ANDERSON (1958).

2.3 Número de fatores comuns

O número de fatores adotado é um quesito extremamente importante na análise. No presente estudo, dentre os vários critérios que poderiam ter sido adotados, o critério considerado foi o de que o número de fatores m é igual ao número de autovalores maiores que a média dos autovalores. Rencher (1995) expõe boa parte dos critérios que podem ser utilizados na determinação do número de fatores comuns. Uma vez que a análise foi efetuada a partir da matriz de correlação, a média dos autovalores para R é

$$\frac{\sum_{i=1}^p \lambda_i}{p} = 1$$

Assim, foram considerados apenas os autovalores maiores que 1. Este critério foi proposto pela primeira vez por Guttman, em 1954. Kayser (1958) apresentou boas razões para se confirmar a confiabilidade do critério, mostrando que funciona muito bem na prática.

2.4 Métodos de estimação

O Modelo Fatorial Ortogonal procura representar adequadamente os dados com um pequeno número de fatores não observáveis. A matriz de covariância S é um estimador da matriz populacional Σ desconhecida. Se Σ desvia significativamente de uma matriz diagonal, então o Modelo Fatorial pode ser utilizado e o problema inicial é uma estimação dos carregamentos fatoriais ℓ_{ij} e variâncias específicas ψ_I .

O método adotado na estimação dos parâmetros foi o Método das Componentes Principais.

Segundo JOHNSON (1998), a Análise de Componentes Principais de uma matriz de covariância amostral S é realizada em função de seus pares de autovalor-autovetor $(\hat{\lambda}_1, \hat{\underline{e}}_1), (\hat{\lambda}_2, \hat{\underline{e}}_2), \dots, (\hat{\lambda}_p, \hat{\underline{e}}_p)$, onde $\hat{\lambda}_1 \geq \hat{\lambda}_2 \geq \dots \geq \hat{\lambda}_p$. Sendo m o número de fatores comuns, a matriz dos carregamentos fatoriais estimados $\{\hat{\ell}_{ij}\}$ é dada por

$$L = \left[\sqrt{\hat{\lambda}_1} \cdot \hat{\underline{e}}_1 : \sqrt{\hat{\lambda}_2} \cdot \hat{\underline{e}}_2 : \dots : \sqrt{\hat{\lambda}_m} \cdot \hat{\underline{e}}_m \right]$$

As variâncias específicas estimadas são produzidas pelos elementos diagonais da matriz $S - \hat{L}\hat{L}'$, então

$$\hat{\Psi} = \begin{pmatrix} \psi_1 & 0 & \dots & 0 \\ 0 & \psi_2 & \dots & 0 \\ 0 & 0 & \ddots & \vdots \\ 0 & 0 & \dots & \psi_p \end{pmatrix} \quad \text{com} \quad \psi_1 = S_{ii} - \sum_{j=1}^m \hat{\ell}_{ij}^2$$

As comunalidades são estimadas através de $\hat{h}_i^2 = \hat{\ell}_{i1}^2 + \hat{\ell}_{i2}^2 + \dots + \hat{\ell}_{im}^2$.

2.5 Rotação de fatores

Os carregamentos fatoriais estão sujeitos a uma rotação de fatores sem alteração das comunalidades e variâncias específicas. O objetivo principal da rotação é uma melhor interpretação e, conseqüentemente, uma visão mais clara dos agrupamentos das variáveis nos fatores. Basicamente, os carregamentos serão multiplicados por uma matriz ortogonal T sem prejudicar a reprodução da matriz de covariância em $\Sigma = LL' + \Psi$.

As comunalidades h_i^2 , $i = 1, 2, \dots, p$, ficam inalteradas com a transformação $L^* = LT$. Denotando a i -ésima linha de L por ℓ'_i , a comunalidade é dada por $h_i^2 = \ell'_i \ell_i$. A i -ésima linha de $L^* = LT$ é $\ell_i^{*'} = \ell'_i T$ e, transpondo-se ambos os membros, tem-se $\ell_i^* = (\ell_i^{*'} T)' = T' \ell_i$. Em termos de ℓ_i^* , a comunalidade é $h_i^{2*} = \ell_i^{*'} \ell_i^* = \ell'_i T T' \ell_i = \ell'_i I \ell_i = \ell'_i \ell_i = h_i^2$. Neste trabalho, optou-se pelo método de rotação de Kayser (1958) (Método Varimax Normal). Lawley (1971) apresenta outros métodos de rotação de fatores.

2.6 Escores fatoriais

Escores fatoriais são estimativas dos valores para os vetores fatoriais aleatórios não observáveis F_j , $j = 1, 2, \dots, n$. Segundo BARTLETT (1954), a estimação é complicada pelo fato de que as quantidades f_j e ε_j não são observáveis como x_j . Como solução, na estimação usou-se o Método dos Mínimos Quadrados Ponderados. Tomando-se \hat{L} , $\hat{\Psi}$ e $\hat{\underline{\mu}} = \bar{\underline{x}}$, o j -ésimo caso fica

$$\hat{f}_i = \left(\hat{L}' \cdot \hat{\Psi}^{-1} \cdot \hat{L} \right)^{-1} \cdot \hat{L}' \cdot \hat{\Psi}^{-1} \cdot (\underline{x}_j - \bar{\underline{x}})$$

2.7 Coleta e preparação dos dados

Os métodos abordados foram aplicados a dados de Faxinais do Estado do Paraná, um tipo de Área Especialmente Protegida e própria da Região Sul do Brasil. Chang (1988) apresenta detalhes técnicos e históricos dos Faxinais. As informações foram obtidas por DOMINGUES (1999) coletadas em 20 Faxinais pertencentes a 4 municípios do Estado do Paraná. As 80 variáveis que foram pesquisadas nos dois questionários do trabalho são: (1) proprietários; (2) arrendatários, parceiros ou agregados; (3) arrenda ou parceria; (4) renda média; (5) renda da agricultura; (6) renda de outras fontes; (7) áreas de lavoura; (8) áreas de floresta nativa; (9) áreas de floresta plantada; (10) áreas em descanso; (11) áreas no criadouro comunitário; (12) consumo de leite; (13) consumo de derivados de leite; (14) consumo de ovos; (15) consumo de carne de frango; (16) consumo de carne de gado; (17) consumo de carne de porco; (18) consumo de batata/mandioca; (19) consumo de farinha de trigo; (20) consumo de milho e derivados; (21) consumo de hortaliças; (22) consumo de legumes; (23) consumo de frutas; (24) consumo de doces; (25) consumo de óleo; (26) produção de erva-mate; (27) produtor de erva mate; (28) produtor de bracinga; (29) consumo de lenha; (30) produtor de eucalipto para lenha; (31) plantadores de araucária; (32) mudas de araucária plantadas; (33) plantadores de erva mate; (34) mudas de erva mate plantadas; (35) plantam exóticas; (36) mudas de exóticas plantadas; (37) conservação de solos; (38) calagem de solo; (39) sementes selecionadas; (40) crédito agrícola; (41) assistência técnica; (42) renda de milho; (43) renda de feijão; (44) renda do fumo; (45) renda da erva mate; (46) número de bovinos; (47) número de animais de trabalho; (48) número de suínos; (49) número de galinhas; (50) filiados à associação; (51) participação em atividades comunitárias; (52) dias gastos em atividades comunitárias; (53) distância mínima da escola; (54) distância mínima do posto de saúde; (55) distância mínima do asfalto; (56) abastecimento de água com bomba elétrica; (57) rede pública comunitária de água; (58) luz de rede pública; (59) banheiro interno; (60) esgoto com fossa séptica; (61) sindicato para assistência médica; (62) rede pública para assistência médica; (63) tamanho da casa; (64) pessoas que sempre moraram na comunidade; (65) uso múltiplo; (66) desenvolver e proteger; (67) futuro dos filhos no campo; (68) pessoas que nunca pensaram em deixar de ser agricultor; (69) nunca pensaram em acabar com o Faxinal; (70) situação piora se o Faxinal acabar; (71) criação solta como condição para Faxinal; (72) produtores alfabetizados; (73) melhoramento genético da criação; (74) posse de criadouro comunitário; (75) conhecimento do ICMS Ecológico; (76) possui associação; (77) possui escola; (78) possui posto de saúde; (79) densidade; (80) posse de equipamentos comunitários.

O universo considerado foi o total de Faxinais de todos os municípios estudados. O grau de confiança estimado foi de 90% e a precisão da estimativa de 3%.

O número de famílias a serem entrevistadas em todo o universo considerado foi dimensionado partindo-se da estimação do parâmetro de uma variável aleatória

Bernoulli, definido por

$$n = \frac{0,25N}{0,25 + \frac{d}{Z}(N-1)}$$

onde

- n é o número de amostras a serem coletadas do universo;
- N é o tamanho da população;
- d é a precisão da estimativa e
- Z é o escore da curva normal padrão correspondendo ao nível de confiança.

O número de famílias a serem entrevistadas em cada Faxinal foi definido de forma proporcional, de acordo com a seguinte formulação

$$N_i = \frac{nN_i}{N}$$

onde

- n_i é o número de amostras a serem coletadas no Faxinal i ;
- n é o número de amostras a serem coletadas do universo;
- N_i é o tamanho da população do Faxinal i e
- N é o tamanho da população composta por todos os Faxinais (universo).

Os dados que foram coletados por meio de questionários em entrevistas com 316 famílias amostradas em um universo de 1947 famílias referem-se ao ano agrícola de agosto de 1997 a julho de 1998.

3 Discussões

A partir dos dados coletados, foi criada uma matriz de dados de ordem 20×80 , sendo 20 o número de Faxinais considerados e 80 o número de variáveis. Dessa matriz, calcularam-se as correlações existentes entre cada par de variáveis, criando-se a matriz de correlações. Em seguida, determinaram-se os pares de autovalor e autovetor dessa matriz de correlação através do Método de Householder e do Método QL, conjuntamente. Os autovalores que não foram considerados apresentaram pequena contribuição no percentual da variância explicada, sendo, portanto, descartados.

De acordo com o critério do número de fatores, foram considerados 17 fatores representando um grau de explicação de 97,7649%. A magnitude de cada um dos autovalores correspondentes aos fatores, bem como os autovalores acumulados e o total da variância explicada e acumulada, pode ser contemplada através da Tabela 1.

A escolha das variáveis para definir cada fator pode ser obtida de acordo com a matriz de carregamentos fatoriais. Assim, as variáveis que apresentam altos carregamentos num mesmo fator podem ser agrupadas, procurando sempre estabelecer

alguma relação técnica que justifique o agrupamento. A interpretação do agrupamento das variáveis nos fatores é subjetiva.

Fatores	Autovalores	Total da variância explicada(%)	Autovalores acumulados	Total da variância acumulada(%)
1	13,4429	16,8036	13,4429	16,8036
2	9,6624	12,0780	23,1053	28,8816
3	8,1436	10,1796	31,2489	39,0612
4	6,7664	8,4580	38,0153	47,5191
5	5,5861	6,9826	43,6014	54,5017
6	5,4038	6,7548	49,0052	61,2565
7	4,7228	5,9035	53,7280	67,1600
8	3,9624	4,9530	57,6904	72,1130
9	3,8497	4,8121	61,5401	76,9251
10	2,9851	3,7313	64,5251	80,6564
11	2,6997	3,3747	67,2249	84,0311
12	2,3245	2,9056	69,5463	86,9367
13	2,2376	2,7969	71,7869	89,7336
14	2,1382	2,6728	73,9251	92,4064
15	1,6651	2,0813	75,5902	94,4877
16	1,3706	1,7133	76,9608	96,2010
17	1,2511	1,5639	78,2119	97,7649

Tabela 1. Autovalores maiores do que 1 e variância explicada.

A matriz de carregamentos fatoriais foi formada e os fatores foram, então, sem alteração do grau de explicação, rotacionados pelo Método Varimax Normal, sendo obtida, assim, a matriz de carregamentos fatoriais rotacionados. A Rotação Varimax serve como ferramenta ao auxílio da interpretação, determinando os possíveis agrupamentos de acordo com a similaridade das variáveis em cada fator. Portanto, tal rotação não altera a classificação da qualidade dos Faxinais. Apenas permite observar com um grau maior de clareza os carregamentos fatoriais de cada Faxinal e, como consequência, pode-se observar em quais fatores determinado Faxinal apresenta-se bem ou mal situado.

Após a rotação, foram determinadas as comunalidades e as variâncias específicas de cada variável. A variância total pode ser dividida em duas partes: comunalidades (h_i^2) das variáveis e variâncias específicas (ψ_i) das variáveis. As comunalidades representam a porção da variância total que é atribuída aos fatores comuns. Já as variâncias específicas representam a porção da variância total atribuída à aleatoriedade (erro). A Tabela 2 apresenta as comunalidades e as variâncias específicas de cada variável.

Através da Tabela 2, pode-se observar que as comunalidades obtidas são relativamente altas. Assim, o percentual da variância total atribuído aos 17 fatores

comuns é grande e, conseqüentemente, o erro devido à aleatoriedade ou casualidade é pequeno. Isto é imprescindível para a verossimilhança da classificação.

X_i	h_i^2	ψ_i	X_i	h_i^2	ψ_i	X_i	h_i^2	ψ_i
1	0,9639	0,0361	28	0,9817	0,0183	55	0,9629	0,0371
2	0,9872	0,0128	29	0,9436	0,0564	56	0,9923	0,0077
3	0,9780	0,0220	30	0,9259	0,0741	57	0,9820	0,0180
4	0,9934	0,0066	31	0,9922	0,0078	58	0,9634	0,0366
5	0,9959	0,0041	32	0,9777	0,0223	59	0,9672	0,0328
6	0,9491	0,0509	33	0,9928	0,0072	60	0,9927	0,0073
7	0,9791	0,0209	34	0,9440	0,0560	61	0,9945	0,0055
8	0,9426	0,0574	35	0,9985	0,0015	62	0,9508	0,0492
9	0,9817	0,0183	36	0,9670	0,0330	63	0,9884	0,0116
10	0,9817	0,0183	37	0,9443	0,0557	64	0,9870	0,0130
11	0,9689	0,0311	38	0,9335	0,0665	65	0,9632	0,0368
12	0,9844	0,0156	39	0,9627	0,0373	66	0,9872	0,0128
13	0,9950	0,0050	40	0,9971	0,0029	67	0,9281	0,0719
14	0,9743	0,0257	41	0,9885	0,0115	68	0,9901	0,0099
15	0,9875	0,0125	42	0,9841	0,0159	69	0,9970	0,0030
16	0,9938	0,0062	43	0,9529	0,0471	70	0,9991	0,0009
17	0,9968	0,0032	44	0,9962	0,0038	71	0,9347	0,0653
18	0,9841	0,0159	45	0,9986	0,0014	72	0,9856	0,0144
19	0,9442	0,0558	46	0,9739	0,0261	73	0,9713	0,0287
20	0,9735	0,0265	47	0,9984	0,0016	74	0,9765	0,0235
21	0,9815	0,0185	48	0,9858	0,0142	75	0,9994	0,0006
22	0,9941	0,0059	49	0,9997	0,0003	76	1,0000	0,0000
23	0,9726	0,0274	50	0,9755	0,0245	77	0,9525	0,0475
24	0,9841	0,0159	51	0,9952	0,0048	78	0,9763	0,0237
25	0,9987	0,0013	52	0,9670	0,0330	79	0,9927	0,0073
26	0,9798	0,0202	53	0,9868	0,0132	80	0,9891	0,0109
27	0,9821	0,0179	54	0,9762	0,0238			

Tabela 2. Comunalidades e variâncias específicas das variáveis.

Os escores fatoriais f_j , $j = 1, 2, \dots, n = 20$, foram calculados pelo Método de Mínimos Quadrados Ponderados. A seguir, foram calculados os escores classificatórios brutos E_j para os 20 Faxinais, ponderando-se os escores fatoriais originais pela importância de cada fator, representada pelo autovalor. Convém ressaltar que o próprio método empregado na classificação determina os pesos para cada escore fatorial. Um autovalor de grande magnitude corresponde a um peso maior. Assim, Faxinais que apresentam escores fatoriais de grande valor correspondentes a grandes autovalores tendem a serem melhor classificados.

Faxinais	Fator 1	Fator 2	Fator 3	Fator 4	Fator 5
1	-0,3791	-0,1873	-0,1411	0,0268	-0,2904
2	-0,6394	-0,6164	0,0212	0,2713	-0,993
3	-0,5047	-0,1522	0,0072	0,1838	-0,1516
4	0,1082	-0,6896	-0,106	0,041	-1,2588
5	-0,6115	-0,012	-0,0442	0,1015	-0,1554
6	-0,2675	0,1132	0,0735	0,1418	0,1985
7	-0,0315	0,5493	0,1954	-0,0249	0,7121
8	-0,2606	-0,0234	-0,1222	-0,0045	-0,1347
9	0,0529	0,0859	0,0171	0,0428	0,5105
10	0,7934	-0,0942	0,074	-0,1785	-0,2237
11	0,3896	0,286	0,0771	-0,1473	0,5085
12	-0,2206	-0,2345	-0,0915	0,0725	-0,3735
13	-0,0477	0,3513	0,1529	0,0672	0,6918
14	-0,4176	0,2135	-0,1414	-0,0175	0,3626
15	0,0351	0,106	0,0879	0,028	0,3404
16	-0,7029	-0,6004	-0,1551	0,1793	-1,0983
17	2,3601	-0,01	0,2276	-0,3811	0,2874
18	-0,1382	-0,0204	0,0655	0,0558	0,0637
19	0,8176	0,5008	0,0298	-0,3248	0,753
20	-0,3357	0,4343	-0,2276	-0,1334	0,2509
Faxinais	Fator 6	Fator 7	Fator 8	Fator 9	Fator 10
1	-0,1532	0,1135	0,053	-0,2306	0,0608
2	-0,3145	0,2869	0,2756	-0,9006	-0,1342
3	-0,1262	0,0403	0,1724	-0,2593	0,0166
4	-0,2367	0,5274	-0,0205	-0,9146	-0,2213
5	-0,1129	0,1567	0,1722	-0,2432	-0,0341
6	0,0062	-0,0568	0,2186	-0,0276	-0,0133
7	0,0699	-0,251	-0,0932	1,0307	0,266
8	-0,0769	0,1699	0,0445	-0,1399	-0,034
9	0,158	-0,5636	-0,0194	0,4731	0,1799
10	0,1014	0,061	-0,1803	-0,0793	-0,1456
11	0,1425	-0,1109	-0,0834	0,2852	0,0778
12	-0,1624	0,1492	0,0592	-0,292	0,0324
13	0,1579	-0,2657	0,1151	0,3122	0,0495
14	-0,0313	-0,0921	0,0267	0,2489	0,1249
15	0,0853	-0,2384	0,0433	0,1808	0,0785
16	-0,3808	0,5374	0,2379	-0,9188	-0,1447
17	0,5504	-0,4705	-0,6536	0,5553	-0,1062
18	-0,0083	0,0432	0,1311	-0,1017	-0,0224
19	0,2588	-0,1558	-0,3265	0,6542	0,0554
20	0,0727	0,1192	-0,1721	0,3671	-0,086

Tabela 3. Matriz de escores fatoriais (1-10).

Faxinais	Fator 11	Fator 12	Fator 13	Fator 14	Fator 15	Fator 16	Fator 17
1	-0,2969	0,0112	0,1512	0,4311	-0,3441	0,423	0,1172
2	-0,3913	-0,0751	0,2201	0,3895	-1,1771	0,8627	0,9933
3	-0,0963	-0,1096	0,0984	0,1617	-0,1544	0,3324	0,2698
4	-0,581	0,16	0,2931	0,4257	-1,5271	0,6813	1,0367
5	-0,0859	-0,029	0,0526	0,1951	-0,1928	0,3955	-0,1738
6	0,2157	-0,663	-0,1522	-0,4079	0,2504	-0,1221	0,0693
7	0,1861	-0,1301	-0,0545	-0,2615	0,6688	-0,5657	-0,7563
8	-0,1462	-0,314	0,0702	0,2363	-0,2026	0,2485	-0,1521
9	0,1189	-0,0179	-0,0354	-0,1481	0,6175	-0,2231	-0,2696
10	0,0477	0,1437	0,0147	-0,1266	-0,21	-0,2964	0,3569
11	0,3568	-0,0095	-0,1683	-0,3117	0,5751	-0,5432	-0,0482
12	-0,2522	0,0074	0,1215	0,288	-0,4977	0,3413	0,333
13	0,4805	-0,0902	-0,2845	-0,6844	0,8096	-0,5181	-0,1951
14	-0,0624	-0,0866	0,0241	0,2894	0,4439	0,1278	-0,5942
15	0,235	-0,0589	-0,1129	-0,2395	0,4091	-0,179	0,0131
16	-0,4909	-0,0292	0,2748	0,6049	-1,2798	0,9671	0,7037
17	0,4045	0,331	-0,1775	-0,6995	0,3857	-1,3153	0,3628
18	0,0876	-0,0571	-0,0862	-0,161	0,0636	-0,0376	0,18
19	0,3481	0,0726	-0,2057	-0,2452	0,9675	-0,7984	-0,6293
20	-0,0779	0,0651	-0,0435	0,2638	0,3944	0,2191	-1,6173

Tabela 4. Matriz de escores fatoriais (11-17).

Faxinal	Escore bruto	Escore padronizado	Faxinal	Escore bruto	Escore padronizado
1º São Pedro	406,0385	1,8	11º Tijuco Preto	-11,4835	0,8526
2º Ivi- Anta Gorda	255,5732	1,4586	12º Paraná- Anta Gorda	-19,0331	0,8355
3º Ponte Nova	163,41987	1,2495	13º Guanabara	-71,2905	0,7169
4º Linha Brasília	150,4767	1,2201	14º Salto	-101,915	0,6474
5º Patos Velhos	116,3835	1,1427	15º Taboãozinho	-105,585	0,6391
6º Papanduva de Baixo	92,0459	1,0875	16º Dos Mellos	-113,344	0,6215
7º Queimada	71,1442	1,0401	17º Marmeleiro de Baixo	-123,331	0,5988
8º Cachoeira de Palmital	62,966	1,0315	18º Dos Krieger	-202,28	0,4197
9º Rio dos Couros de Cima	2,5779	0,8845	19º Marmeleiro de Cima	-264,043	0,2795
10º Rio do Meio	-9,2271	0,8577	20º Rio Bonito	-299,092	0,2

Tabela 5. Classificação final.

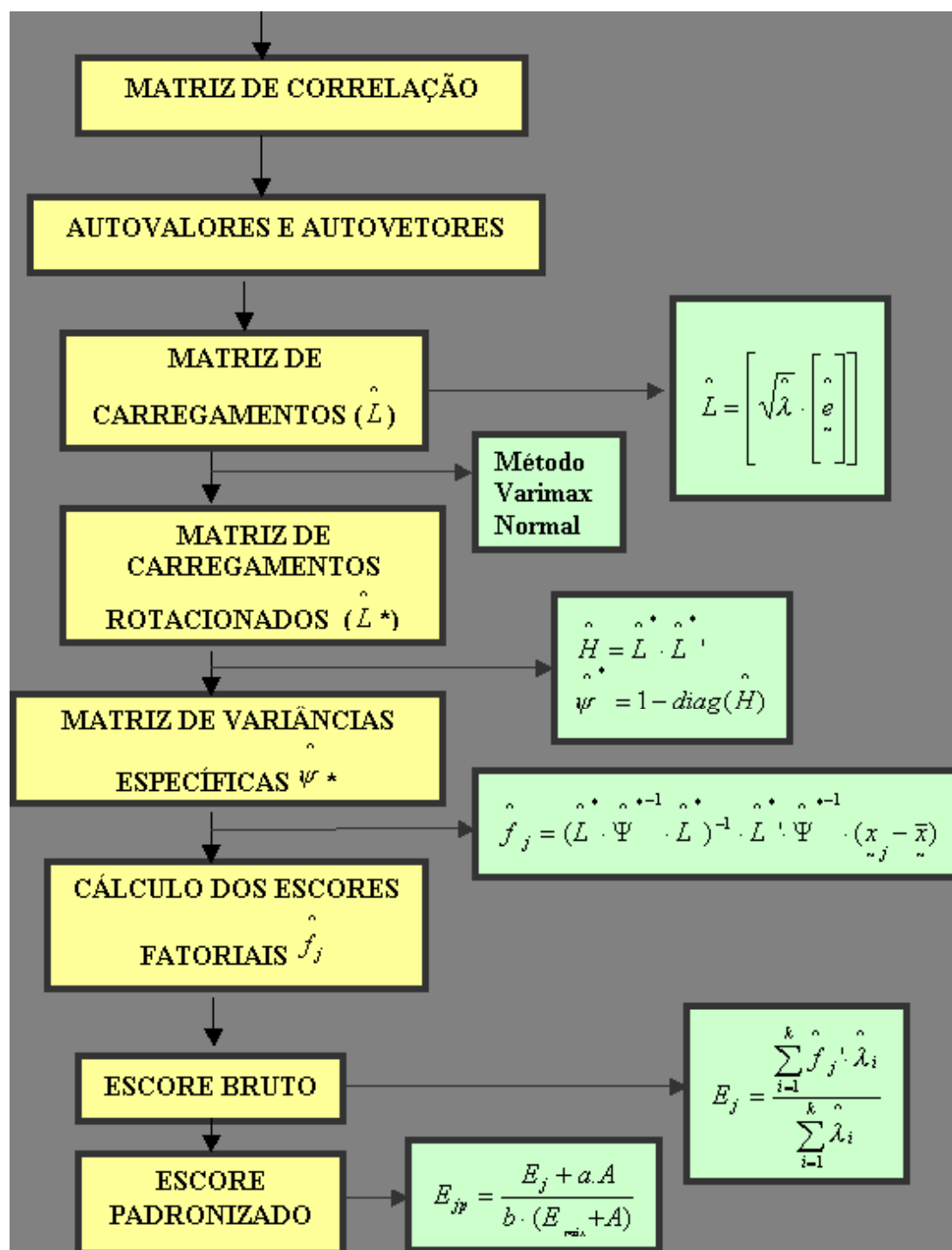


Figura 1. Fluxograma do cálculo do escore padronizado.

Desta forma, os dados originais da matriz 20×80 foram reduzidos, sem grande perda de informação, a uma matriz de escores fatoriais \hat{f}_{ij} de ordem 20×17 . Dispondo os fatores nas colunas e as observações (Faxinais) nas linhas, a matriz de escores fatoriais é apresentada nas Tabelas 3 e 4.

Os escores médios finais de cada Faxinal foram calculados através de médias dos escores fatoriais, ponderadas pelos autovalores da matriz de correlação. Quanto maior é o autovalor, maior é a porção da variância total explicada por ele.

Finalmente, a escala de escores classificatórios E_j foi alterada para atender às exigências do IAP, que determina, pela Portaria nº 263/98/IAP/GP de 1998, que a avaliação deve ter um mínimo de “0” e um máximo de “2”. Após esta padronização, foram encontrados os escores classificatórios finais. A Tabela 5 fornece a classificação (*ranking*) dos Faxinais analisados em função dos escores brutos e padronizados.

A compreensão de todos os passos da técnica, desde os dados brutos até os escores finais, pode ser observada através do Fluxograma caracterizado na Figura 1.

4 Conclusões

A classificação obtida correspondeu à expectativa dos especialistas do IAP. As impressões iniciais da qualidade de cada Faxinal foram comprovadas através da pesquisa. O Faxinal S. Pedro, considerado pelos técnicos do IAP como o de melhor nível de conservação, classificou-se em primeiro lugar na classificação automática. Analogamente e na outra face, os Faxinais de Rio Bonito e de Marmeleiro Grande, considerados de baixo nível de qualidade e com inúmeros problemas para seus moradores, foram os piores classificados.

A metodologia empregada no presente trabalho possibilita a classificação não apenas de áreas, mais também de organizações, pessoas, animais etc. Diferentemente da estatística univariada, que avalia as observações através de médias, desvios padrão e escores padronizados, a Análise Fatorial faz uma avaliação mais complexa estimando relacionamentos entre variáveis e estabelecendo os fatores (direções geométricas) mais importantes. Constitui-se em importante ferramenta de avaliação, principalmente nos casos em que há grande número de variáveis e observações, tendo, portanto o ordenamento clássico forte tendência à subjetividade.

O programa desenvolvido possibilita, mediante atualização dos dados, classificações periódicas confiáveis baseadas em critério científico, não político.

Considerando-se a revisão detalhada da Análise Fatorial, a importância cultural, social e ecológica dos Faxinais, e a construção do programa automático que efetuou a classificação das Áreas Especialmente Protegidas, pode-se concluir que:

- a amostra de dados brutos, obtida a partir dos questionários, foi suficiente para se efetuar a classificação, considerando a precisão da estimativa e o grau de confiança da estimativa;
- os resultados dos escores finais obtidos com o programa retratam com fidelidade, de acordo com o IAP, a qualidade de cada Faxinal;

- as variáveis apresentaram-se moderadamente correlacionadas, fato que justificou a utilização da Análise Fatorial;
- a Rotação Varimax, utilizada para uma melhor interpretação dos dados, mostrou-se necessária em função do grande número de variáveis correlacionadas;
- a Análise Fatorial utilizada na classificação (*ranking*) cumpriu com os objetivos propostos;
- as variáveis utilizadas atendem as exigências do Decreto Estadual N.º 3.446/97;
- o critério adotado em relação ao número de fatores mostrou-se adequado para a análise em função da alta porcentagem da variância explicada;
- os 17 fatores considerados explicaram 97,7649% do total da variância;
- os valores altos das comunalidades mostraram que a maior parte da variabilidade apresentada pelas variáveis é devida aos fatores comuns e
- quando se objetiva uma redução de um número grande de variáveis, em um número bem menor com pouca perda de informação, estando as variáveis relativamente correlacionadas, a Análise Fatorial mostra-se confiável.

Referências

- ANDERSON, T. W. *An introduction to multivariate statistical analysis*, New York: John Wiley & Sons INC., 1958. 374 p.
- BARTLETT, M. S. A note on multiplying factors for various chi squared approximations. *Journal of the Royal Statistical Society (B)*, 16, 1954. 296-298 p.
- CHANG, M. Y. *Faxinais no Paraná*. Londrina: IAPAR, 1988. 20 p. (Informe de Pesquisa, n. 80); e *Sistema Faxinal. Uma forma de organização camponesa em desagregação no Centro-Sul do Paraná*, Londrina: IAPAR, 1988, 123 p. (Boletim Técnico, n. 22).
- COOLEY, William W.; LOHNES, Raul R. *Multivariate data analysis*. New York: John Wiley & Sons INC. 1971. 364 p.
- DOMINGUES, Zilma H. *Hierarquização de faxinais inscritos no cadastro estadual de unidades de conservação e uso especial, visando o ICMS ecológico*. Curitiba, 1999, Dissertação (Mestrado) - Setor de Ciências Agrárias, Curso de Engenharia Florestal, Universidade Federal do Paraná, 143 p.
- JOHNSON, R. A.; WICHERN, D. W. *Applied multivariate statistical analysis*. 4 ed. New Jersey: Prentice Hall, Englewood cliffs, 1998, 816 p.
- KAYSER, Henry F. The varimax criterion for analytic rotation in factor analysis. *Psychometrika*, v. 23, n. 3, University of Illinois, 1958.

LAWLEY, D. N.; MAXWELL, A. E. *Factor analysis as a statistical method.*

New York: American Elsevier Publishing Company, 1971, 153 p.

LOUREIRO, Wilson. *ICMS Ecológico em perguntas e respostas.* Governo do Estado do Paraná, 1998, 34 p.

RENCHER, Alvin C. *Methods of Multivariate Analysis.* New York: John Wiley & Sons Interscience, 1995, 627 p.