

**ZONEAMENTO DA VEGETAÇÃO E SUA RELAÇÃO  
COM METAIS PESADOS NA MINA VOLTA GRANDE,  
LAVRAS DO SUL, RS.**

**Taís Cristine Ernst Frizzo**

Dissertação apresentada ao  
Programa de Pós-Graduação em Ecologia,  
no Instituto de Biociências da  
Universidade Federal do Rio Grande do  
Sul como parte dos requisitos para  
obtenção do título de Mestre em Ecologia.

Orientadora: Prof<sup>ª</sup> Dr<sup>a</sup> Maria Luiza Porto

Porto Alegre, agosto de 2002.

Às pessoas que amo, por compreenderem  
minha ausência nos momentos de maior concentração e  
dedicação a essa fase profissional.

## AGRADECIMENTOS

À Prof<sup>ª</sup> Dr<sup>ª</sup> Maria Luiza Porto, pela confiança e orientação.

À minha família, responsável pela minha formação, pelo apoio e incentivo incondicionais.

Ao Fernando S. Wilges, pelo incentivo e apoio, companheirismo, paciência e carinho em todos os momentos e pela revisão ortográfica e gramatical.

Ao Jairo J. Zocche e à Cibele Sippel, que acompanharam e contribuíram em todas as fases desse trabalho. Aos demais colegas do Laboratório de Ecologia de Paisagem da UFRGS que auxiliaram nos trabalhos de campo, em especial, Eduardo D. Forneck e Rogério Both.

À Comissão de Orientação, formada pela Prof<sup>ª</sup> Dr<sup>ª</sup> Maria Luiza Porto, pelo Prof. Dr. Valério De Patta Pillar e pelo Prof. Dr. Paulo Luiz de Oliveira, pelas sugestões e acompanhamentos teóricos.

Ao Programa de Pós-Graduação em Ecologia da UFRGS, pela oportunidade. Aos colegas e professores desse programa, pelas contribuições teóricas e, em muitos casos, pela amizade.

Ao Éverton M. Bongioiolo, pela revisão dos itens “Geologia” e “Geomorfologia”.

Àqueles que auxiliaram na identificação das espécies, em especial Marcos Sobral, Ilse Boldrini, Paulo Brack, Ana Cláudia Araújo e Maria Salete Marchioretto.

À Maria Lúcia Vidal de Souza, por permitir o acesso na área da mina Volta Grande, de propriedade de sua família.

À Companhia Riograndense de Mineração (CRM), por disponibilizar o mapa de localização das ocorrências minerais na mina Volta Grande.

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) e Fundação Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), pelo apoio financeiro.

À Universidade Federal do Rio Grande do Sul, pela persistência na manutenção da qualidade do ensino gratuito no Brasil.

## RESUMO

O conhecimento da vegetação em regiões de ocorrências minerais de cobre e ouro torna-se de grande importância para o desenvolvimento de tecnologias limpas na reabilitação de áreas degradadas pela mineração (fitorremediação) e na bioprospecção mineral no Estado. Buscou-se verificar a relação entre a organização espacial e fitossociológica das unidades e subunidades de vegetação na mina Volta Grande, Lavras do Sul, RS e a presença de cobre nas mineralizações. Com base em Ecologia de Paisagem, realizou-se investigações fitossociológicas, avaliação do conteúdo de cobre em raízes e folhas de *Axonopus affinis*, *Eugenia uniflora*, *Heterothalamus alienus*, *Saccharum angustifolium*, *Schizachyrium microstachyum* e *Schinus lentiscifolius* e o zoneamento da vegetação com sobreposição ao mapa de estruturas mineralizadas conhecidas. De acordo com os resultados obtidos, sugere-se que a distribuição das unidades e subunidades de vegetação (unidade de vegetação *Eugenia uniflora* – *Scutia buxifolia*, com subunidades *Eugenia uniflora* – *Cupania vernalis* e *Eugenia uniflora* – *Allophylus edulis*; unidade de vegetação *Schinus lentiscifolius* – *Heterothalamus alienus*; unidade de vegetação *Eryngium horridum* – *Saccharum angustifolium*, com subunidade *Eryngium horridum* – *Piptochaetium montevidense* e unidade de vegetação *Axonopus affinis* – *Paspalum pumilum*) pode estar relacionada à posição geomorfológica, à declividade, à umidade do solo e ao manejo para o uso do gado. A unidade de vegetação *Schinus lentiscifolius* – *Heterothalamus alienus* parece estar relacionada às ocorrências de mineralizações (filões) de cobre e ouro, sendo necessária uma comparação com outras áreas mineralizadas e não-mineralizadas no Estado para utilizar esse dado em prospecção mineral. A espécie *Axonopus affinis* possui em suas raízes um conteúdo de cobre muito maior do que o considerado normal em plantas, sendo indicada para estudos mais detalhados quanto a sua aplicabilidade na reabilitação de áreas degradadas pela mineração no Rio Grande do Sul.

Palavras-chave: fitossociologia, fitorremediação, bioprospecção mineral, zoneamento, ecologia de paisagem, mina Volta Grande, metais pesados, cobre, ouro.

## ABSTRACT

Familiarity with the vegetation is of great importance in regions where copper and gold ores occur for development of clean technologies for rehabilitation of areas degraded by mining (phytoremediation) and mineral prospecting. It was investigated the relationship between spatial phytosociological patterns of the vegetation and the presence of copper minerals at the Volta Grande mine, Lavras do Sul, RS. Applying the techniques of Landscape Ecology, it was carried out a phytosociological investigation, measured copper present in the leaves and roots of *Axonopus affinis*, *Eugenia uniflora*, *Heterothalamus alienus*, *Saccharum angustifolium*, *Schizachyrium microstachyum* and *Schinus lentiscifolius*, and studied vegetal units and subunits by zoning it in relation to an overlay map of well-known ores. According to the results, it is suggest that the distribution and vegetation units and subunits (vegetation unit *Eugenia uniflora* – *Scutia buxifolia*, with subunits *Eugenia uniflora* – *Cupania vernalis* and *Eugenia uniflora* – *Allophylus edulis*; vegetation unit *Schinus lentiscifolius* – *Heterothalamus alienus*; vegetation unit *Eryngium horridum* – *Saccharum angustifolium*, with subunit *Eryngium horridum* – *Piptochaetium montevidense* and vegetation unit *Axonopus affinis* – *Paspalum pumilum*) might be related to geomorphologic position, declivity, soil moisture and grazing. The vegetation unit *Schinus lentiscifolius* – *Heterothalamus alienus* appears to be related to the occurrence of minerals, but a comparison is necessary between areas with and without a similar mineral composition, so it will be possible to use this vegetation unit in mineral prospecting. The species *Axonopus affinis* has in its roots copper amounts well above the normal for plants, which indicates the need for further detailed studies, regarding its applicability for the rehabilitation of areas degraded by mining.

Key words: phytosociology, phytoremediation, mineral prospecting, zonation, Landscape Ecology, Volta Grande Mine, heavy metals, copper, gold.

## SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO.....	13
2. MATERIAL E MÉTODOS.....	20
2.1. HISTÓRICO DA MINERAÇÃO DE OURO E COBRE EM LAVRAS DO 23	
2.2. CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO.....	20
2.2.1. Localização geográfica.....	20
2.2.2. Clima.....	20
2.2.3. Geologia.....	20
2.2.3.1. Geologia econômica.....	25
2.2.4. Geomorfologia.....	27
2.2.5. Hidrografia.....	27
2.2.6. Pedologia.....	28
2.2.7. Fitogeografia.....	28
2.2.8. Fauna silvestre.....	30
2.2.9. Aspectos sócio-econômicos.....	31
2.3. PROCEDIMENTOS AMOSTRAIS E ANALÍTICOS.....	32
2.3.1. Estudo da vegetação.....	32
2.3.1.1. Composição florística.....	32
2.3.1.2. Abordagem fitogeográfica.....	32
2.3.1.3. Abordagem fitossociológica.....	32
Levantamento amostral.....	32
Parâmetros fitossociológicos.....	35
Estatística.....	36
2.3.2. Avaliação do conteúdo de cobre em plantas.....	38
2.3.2.1. Coleta e preparação de amostras.....	38
2.3.2.2. Determinação do conteúdo de cobre.....	39
2.3.2.3. Estatística.....	39
2.3.3. Elaboração de mapas temáticos e geoprocessamento.....	39
4. RESULTADOS.....	41
4.1. ESTUDO DA VEGETAÇÃO.....	41
4.1.1. Suficiência amostral.....	41
4.1.2. Composição florística.....	42

4.1.3. Fisionomia e estrutura.....	46
4.1.4. Parâmetros fitossociológicos.....	57
4.1.5. Análise multivariada.....	62
4.1.5.1. Análise de <i>outliers</i> .....	62
4.1.5.2. Análise de agrupamentos.....	62
4.1.5.3. Análise de concentração.....	64
4.1.5.4. Análise de componentes principais.....	68
4.2. CONTEÚDO DE COBRE EM PLANTAS.....	74
4.3. GEOPROCESSAMENTO.....	77
5. DISCUSSÃO.....	81
5.1. VEGETAÇÃO.....	81
5.1.1. Amostragem.....	81
5.1.2. Composição florística e considerações fitogeográficas.....	82
5.1.3. Delimitação e caracterização das unidades e subunidades de vegetação.....	87
5.2. CONTEÚDO DE COBRE EM PLANTAS.....	92
5.3. GEOPROCESSAMENTO.....	95
6. CONCLUSÕES.....	97
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	98
ANEXOS.....	112

## LISTA DE FIGURAS

- Figura 1: Mapa do Rio Grande do Sul com a localização do município de Lavras do Sul (I) e área de amostragem na mina Volta Grande (II), com base nos fotogramas preto e branco FX-073 n° 5124 e 5125 (1 a 8: manchas de vegetação amostradas; A= Fazenda Vista Alegre; B = Volta Grande). Fontes: I - IBGE; II - BRASIL (1996b; 1996c)..... p. 23
- Figura 2: Esboço geológico da área da Volta Grande..... p. 24
- Figura 3: Esquema de amostragem no Método dos Pontos com Agulha Isolada, mina Volta Grande, Lavras do Sul, RS..... p. 34
- Figura 4: Porcentagem de espécies por família em levantamentos fitossociológicos de 2000 e 2001 na mina Volta Grande, Lavras do Sul, RS..... p. 42
- Figura 5: Vista externa da mancha de vegetação herbácea baixa densa (HBD) e arbórea alta (AA), mina Volta Grande, Lavras do Sul, RS..... p. 48
- Figura 6: Vista interna da mancha de vegetação arbórea baixa (AB), mina Volta Grande, Lavras do Sul, RS..... p. 48
- Figura 7: Vista externa da mancha de vegetação herbácea baixa densa (HBD) e arbustiva-arbórea (AbA), mina Volta Grande, Lavras do Sul, RS. .... p. 49
- Figura 8: Vista da vegetação ao longo do arroio (sarandizal), mina Volta Grande, Lavras do Sul, RS..... p. 49
- Figura 9: Vista da mancha de vegetação arbustiva-herbácea alta (AbHA), mina Volta Grande, Lavras do Sul, RS. .... p. 50
- Figura 10: Vista externa da mancha de vegetação arbustiva-herbácea baixa (AbHB), mina Volta Grande, Lavras do Sul, RS. .... p. 51
- Figura 11: Vista interna da mancha de vegetação arbustiva-herbácea baixa (AbHB), mina Volta Grande, Lavras do Sul, RS. .... p. 51
- Figura 12: Vista interna da mancha de vegetação herbácea alta (HA), mina Volta Grande, Lavras do Sul, RS. Na esquerda, ao fundo, indivíduos de *Salix humboldtiana*..... p. 52
- Figura 13: Mancha de vegetação herbácea baixa aberta (HBA), mina Volta Grande, Lavras do Sul, RS. .... p. 53
- Figura 14: Número de indivíduos em cada intervalo de altura nas manchas de vegetação arbórea e arbustiva-arbórea (AA = arbórea alta, AB = arbórea baixa e AbA = arbustiva-

arbórea). Dados referentes aos levantamentos fitossociológicos de 2000 e 2001 na mina Volta Grande, Lavras do Sul, RS.....	p. 54
Figura 15: Número de indivíduos em cada intervalo de perímetro do fuste a 1,30 m da superfície do solo (PAP) nas manchas de vegetação arbórea e arbustiva-arbórea (AA = arbórea alta, AB = arbórea baixa e AbA = arbustiva-arbórea). Dados referentes aos levantamentos fitossociológicos de 2000 e 2001 na mina Volta Grande, Lavras do Sul, RS.....	p. 55
Figura 16: Número de indivíduos ou toques em cada intervalo de altura de interceptação da agulha nas manchas de vegetação arbustiva-herbácea (AbHA = arbustiva-herbácea alta e AbHB = arbustiva-herbácea baixa). Dados referentes aos levantamentos fitossociológicos de 2000 e 2001 na mina Volta Grande, Lavras do Sul, RS.....	p. 56
Figura 17: Número de indivíduos ou toques em cada intervalo de altura de interceptação da agulha nas manchas de vegetação herbácea (HBA = herbácea baixa aberta, HBD = herbácea baixa densa e HA = herbácea alta). Dados referentes aos levantamentos fitossociológicos de 2000 e 2001 na mina Volta Grande, Lavras do Sul, RS.....	p. 57
Figura 18: Dendrograma obtido a partir da análise de agrupamento de unidades amostrais (nos retângulos, a delimitação dos grupos 1 a 5). Dados coletados em 2000 e 2001 na mina Volta Grande, Lavras do Sul, RS.....	p. 63
Figura 19: Dendrograma obtido a partir da análise de agrupamento de espécies (nos retângulos, a delimitação dos grupos 1 a 5). Dados coletados em 2000 e 2001 na mina Volta Grande, Lavras do Sul, RS.....	p. 65
Figura 20: Tabela estruturada de grupos de unidades amostrais e grupos de espécies (em destaque, as espécies constantes e diferenciais de grupo). Dados coletados em 2000 e 2001 na mina Volta Grande, Lavras do Sul, RS.....	p. 66
Figura 21: Diagrama de dispersão de grupos de unidades amostrais (F) e grupos de espécies (S) obtido pela análise de concentração. Dados coletados em 2000 e 2001 na mina Volta Grande, Lavras do Sul, RS.....	p. 67
Figura 22: Diagrama de ordenação das unidades amostrais obtido pela análise de coordenadas principais (* = sobreposição de uma ou mais unidades amostrais). Estão sobrepostas ou não identificadas as seguintes unidades amostrais, nas respectivas linhas: 29 e 17 (linha 1); 40, 11, 2, 32 e 6 (linha 12); 87, 83, 76, 99, 90, 84, 82, 81, 94 e 93 (linha 13); 102, 98, 78, 105, 101, 100, 97, 89, 85, 80, 104, 95, 86, 77, 88, 103, 92, 49, 22, 4, 39, 3, 34 e 5 (linha 14); 55, 33, 41 e 36 (linha 15); 59 e 48 (linha 23); 69, 67 e 71 (linha 29); 65 e 63 (linha 34). Dados coletados em 2000 e 2001 na mina Volta Grande, Lavras do Sul, RS.....	p. 69

Figura 23: Diagrama de ordenação das variáveis (espécies) obtido pela análise de coordenadas principais (* = sobreposição de uma ou mais unidades amostrais). Estão sobrepostas ou não identificadas as seguintes espécies, nas respectivas linhas: 58 e 17 (linha 18); 47, 41, 35, 21, 53, 34, 33, 25, 11, 63, 38, 14, 50, 40, 18, 15, 13, 62, 61, 42, 39, 27, 1, 57, 19, 32, 20, 16 e 6 (linha 19); 30, 55, 24, 12, 59 e 3 (linha 20); 56 e 44 (linha 22). A numeração correspondente a cada espécie pode ser observada no quadro 1. Dados coletados em 2000 e 2001 na mina Volta Grande, Lavras do Sul, RS.....	p. 70
Figura 24: Quadro de ordenação das variáveis (espécies) e unidades amostrais obtido a partir da análise de componentes principais. Dados coletados em 2000 e 2001 na mina Volta Grande, Lavras do Sul, RS.....	p. 72
Figura 25: Diagrama de ordenação das diferentes manchas de vegetação obtido pela análise de coordenadas principais (1 = herbácea alta; 2 = arbustiva-arbórea; 3 = herbácea baixa aberta; 4 = arbórea baixa; 5 = arbórea alta; 6 = arbustiva-herbácea baixa; 7 = arbustiva-herbácea alta; 8 = herbácea baixa densa;). Dados coletados em 2000 e 2001 na mina Volta Grande, Lavras do Sul, RS.....	p. 73
Figura 26: Conteúdo de cobre ( $\mu\text{g.g}^{-1}$ ) nas folhas e raízes das espécies vegetais nas diferentes manchas de vegetação (AA = arbórea alta; AB = arbórea baixa; AbA = arbustiva-arbórea; AbHA = arbustiva-herbácea alta; AbHB = arbustiva-herbácea baixa; HA = herbácea alta; HBD = herbácea baixa densa; HBA = herbácea baixa aberta). Coletas de 2000 a 2002 na mina Volta Grande, Lavras do Sul, RS.....	p. 75
Figura 27: Conteúdo de cobre médio ( $\mu\text{g.g}^{-1}$ ) nas folhas e raízes das espécies vegetais nas diferentes manchas de vegetação (AA = arbórea alta; AB = arbórea baixa; AbA = arbustiva-arbórea; AbHA = arbustiva-herbácea alta; AbHB = arbustiva-herbácea baixa; HA = herbácea alta; HBD = herbácea baixa densa; HBA = herbácea baixa aberta). Coletas de 2000 a 2002 na mina Volta Grande, Lavras do Sul, RS.....	p. 76
Figura 28: Mapa de uso e cobertura do solo da mina Volta Grande, Lavras do Sul, RS.....	p. 78
Figura 29: Mapa das unidades e subunidades de vegetação e estruturas mineralizadas de cobre e ouro na mina Volta Grande, Lavras do Sul, RS.....	p. 79

## LISTA DE TABELAS

- Tabela 1: Famílias, nomes científicos e populares das espécies ocorrentes nos levantamentos fitossociológicos de 2000 e 2001 na mina Volta Grande, Lavras do Sul, RS..... p. 42
- Tabela 2: Parâmetros fitossociológicos calculados para as espécies ocorrentes nas manchas de vegetação arbórea e arbustiva-arbórea nos levantamentos fitossociológicos de 2000 e 2001 na mina Volta Grande, Lavras do Sul, RS. Espécies ordenadas por valores decrescentes de índice de valor de importância (IVI = índice de valor de importância, FA = frequência absoluta, FR = frequência relativa, DR = densidade relativa, AB = área basal e DoR = dominância relativa)..... p. 58
- Tabela 3: Parâmetros fitossociológicos calculados para as espécies ocorrentes nas manchas de vegetação arbustiva-herbácea nos levantamentos fitossociológicos de 2000 2001 na mina Volta Grande, Lavras do Sul, RS. Espécies ordenadas por valores decrescentes de índice de valor de importância (IVI = índice de valor de importância, FA = frequência absoluta, FR = frequência relativa, DR = densidade relativa)..... p. 60
- Tabela 4: Parâmetros fitossociológicos calculados para as espécies ocorrentes nas manchas de vegetação herbácea nos levantamentos fitossociológicos de 2000 e 2001 na mina Volta Grande, Lavras do Sul, RS. Espécies ordenadas por valores decrescentes de índice de valor de importância (IVI = índice de valor de importância, FA = frequência absoluta, FR = frequência relativa, DR = densidade relativa)..... p. 61
- Tabela 5: Área e perímetro totais de cada tipo de mancha de vegetação e demais categorias de classificação na mina Volta Grande, Lavras do Sul, RS. Em destaque, a mancha de maiores área e perímetro..... p. 80

## LISTA DE ANEXOS

Anexo A: Análise de concentração.....	p. 113
Anexo B: Análise de componentes principais.....	p. 118
Anexo C: Análise de variância.....	p. 122

## 1. INTRODUÇÃO

Áreas mineralizadas de cobre e ouro vêm sendo exploradas desde o final do século XVIII no Rio Grande do Sul. Algumas áreas, abandonadas pelas mineradoras desde meados da década de 80, possuem uma vegetação característica que ocorre naturalmente sobre os rejeitos das pretéritas atividades de mineração. O conhecimento dessa vegetação, em termos fitossociológicos, bioquímicos e biotecnológicos, torna-se de grande importância para o desenvolvimento de tecnologias limpas na reabilitação de áreas degradadas pela mineração (fitorremediação). Além disso, como o cobre constitui o principal bem mineral metálico ocorrente no Escudo Sul-rio-grandense (PORCHER; LOPES, 2000), estudos como esse poderão servir de base para outros referentes à prospecção mineral geobotânica e biogeoquímica nessa região.

Os metais pesados são constituintes normais de todos os compartimentos ambientais: solo, água, sedimento, ar e organismos vivos (PROCHNOW, 1995). São considerados metais pesados aqueles que possuem uma densidade maior do que  $4,5 \text{ g.cm}^{-3}$  (BUSTAMANTE, 1993). Alguns desses são importantes para as plantas, sendo utilizados em pequenas quantidades, como o Fe, Mn, Zn, Cu e Mo. Porém, quando em altas concentrações, podem se tornar tóxicos. De acordo com Allen *et al.* (1974), valores entre  $2,5$  e  $25 \text{ } \mu\text{g.g}^{-1}$  de cobre são normalmente encontrados em material vegetal (seco). Algumas plantas, no entanto, podem tolerar altos conteúdos de metais pesados no solo (PORTO, 1981). Além disso, são conhecidas muitas espécies que possuem a capacidade de acumular esse elemento em seus tecidos, em concentrações muito maiores do que as encontradas no solo. *Becium homblei*, que faz parte da “flora cuprífera” africana (*copper flowers*) pode crescer em locais contaminados com cobre e acumular altos níveis desse metal nas folhas, inclusive em solos que são relativamente pobres em cobre disponível (REILLY *et al.*, 1970; HOWARD-WILLIAMS, 1971; REILLY; REILLY, 1973; BROOKS *et al.*, 1992). Plantas que possuem um conteúdo de metal pesado acima de  $1000 \text{ } \mu\text{g.g}^{-1}$  nos seus tecidos (material seco) são consideradas hiperacumuladoras (BROOKS *et al.*, 1977; 1978; 1980).

O princípio da utilização de plantas na prospecção de depósitos minerais é baseado na habilidade destas em absorver e serem afetadas pelas altas concentrações de metais em mineralizações de certa profundidade (CANNON, 1960). Nesse sentido, espécies de plantas e também comunidades vegetais vêm sendo investigadas quanto à possibilidade de indicarem a ocorrência de mineralizações (MALYUGA, 1964; ERNST, 1974; PORTO, 1981; BROOKS,

1983; LIMA E CUNHA, 1983). As comunidades indicadoras ou floras características não indicam necessariamente uma mineralização, mas podem auxiliar na caracterização de áreas promissoras (MALYUGA, 1964). Segundo Cannon (1960), existem três maneiras de utilização de plantas em bioprospecção: pelo mapeamento da distribuição de espécies indicadoras, pelo reconhecimento de alterações morfológicas e fisiológicas em indivíduos que crescem em áreas mineralizadas e pela análise da sua composição química. De acordo com Lima e Cunha (1983), as duas primeiras alternativas definem o método geobotânico, enquanto a terceira compreende o método biogeoquímico. Para essa autora, esses métodos são técnicas potencialmente favoráveis, em especial em áreas sujeitas a enérgicos processos de alteração e erosão, como as de regiões tropicais e subtropicais.

O fato de que a profundidade da penetração das raízes pode permitir a amostragem de um horizonte profundo não acessível em uma coleta superficial de solo, sendo que plantas com sistemas radicais extensos podem acessar um grande volume do seu substrato, torna vantajosa a utilização dos métodos de bioprospecção. Além disso, a amostragem (coleta, preservação e transporte) de plantas é mais fácil e mais rápida do que a de solos e, quando são utilizadas plantas bioindicadoras, não é necessário nenhum trabalho analítico prévio e os mapas das estruturas mineralizadas podem ser confeccionados diretamente de acordo com a observação da distribuição da espécie (CANNON, 1960; BROOKS, 1983). Por outro lado, existem algumas desvantagens, principalmente porque esses métodos normalmente não são universais e às vezes são necessárias pesquisas anteriores em áreas novas (BROOKS, 1983). Isso se deve, em grande parte, ao pouco conhecimento das respostas de plantas em áreas mineralizadas. De acordo com Cannon (1960), a absorção de metais pelas plantas é um fenômeno muito complexo e dependente de muitos fatores do solo (pH, drenagem, *etc.*) e da própria planta (idade, presença de folhas ao longo de todo o ano), o que requer conhecimento e interpretação dos mesmos.

Malyuga (1964) relata que já na época medieval os exploradores conheciam plantas que indicavam a presença de cobre e outros minérios. Na metade do século passado iniciaram-se estudos mais sistemáticos sobre a afinidade geoquímica dessas plantas, que foram denominadas *Bodenanzeigende Pflanzen*, ou seja, plantas indicadoras das condições de solo (LISTOW, 1929 e VIKTOROV, 1947 *apud* MALYUGA, 1964).

Existem muitos trabalhos que utilizaram a análise química do conteúdo de metal em plantas associadas às áreas de mineralizações de cobre no mundo. Segundo Cannon (1960) e Brooks *et al.* (1980), a maioria das espécies indicadoras de cobre pertence às famílias Caryophyllaceae, Lamiaceae e Scrophulariaceae. Algumas espécies já foram descritas como

sendo indicadoras de mineralizações de cobre na China, Austrália e países europeus (CANNON, 1960; ERNST, 1974; BAKER; WALKER, 1989; entre outros).

Espécies hiperacumuladoras de cobre são muito estudadas na região do denominado *Copper Belt* no Zaire e Zâmbia (BROOKS *et al.*, 1977; MALAISSE *et al.*, 1978; BROOKS *et al.*, 1980; BROOKS; MALAISSE, 1989; BROOKS *et al.*, 1992;). Espécies do gênero *Haumaniastrum* foram reconhecidas como acumuladoras de cobre por análises feitas em plantas herborizadas (BROOKS, 1977). Mailasse (1994) faz uma revisão da vegetação cuprífera na Província Shaba, no Zaire.

Outros trabalhos têm associado a presença de mineralizações de cobre com as comunidades vegetais. Wild; Bradshaw (1977) analisaram a vegetação na Rhodesia, África Central, verificando a existência de uma zona graminosa central, onde estão os mais altos valores para cobre. Ao redor dessa, sobre um solo com menor conteúdo de cobre, ocorreram associações de geófitas e arbustos baixos, incluindo representantes anões de árvores que ocorrem naturalmente em solos não-tóxicos. Bustamante (1993) analisou o conteúdo de Cd, Pd, Cu e Zn em solos e plantas em uma mina de chumbo na Alemanha e em uma mina de cobre em Luxemburgo. Essa autora constatou uma correlação positiva entre o conteúdo de cobre em *Betula pendula*, *Quercus* spp e *Sorbus* spp e no solo. Babalonas *et al.* (1997) relacionaram a mudança na fisionomia e a diminuição na riqueza das diferentes comunidades vegetais aos fatores do solo, que tornavam o ambiente desfavorável, principalmente pela presença de cobre e chumbo em quantidades tóxicas. Valle; Rosell (2000) analisaram *Atriplex lampa* e *Prosopis alpataco* em seis locais diferentes. As diferenças no conteúdo de cobre das amostras foram explicadas, em primeiro lugar, pela diferença entre as duas espécies e, em segundo, pelas variações sazonais e diferentes locais das coletas.

Ernst (1974), ao revisar a literatura mundial a respeito de plantas e comunidades vegetais relacionadas aos depósitos minerais, verificou que não havia estudos a respeito da vegetação que ocorre sobre áreas mineralizadas na América do Sul, com exceção dos trabalhos de Penna Franca *et al.* (1963, 1965a e 1965b *apud* ERNST, 1974). Esses autores avaliaram os efeitos da radiação natural em áreas com altos conteúdos de urânio e tório no solo. Depois dessa data, poucos trabalhos foram desenvolvidos no Brasil.

Lewis (1966) *apud* Lima e Cunha (1983) verificou uma relação estreita entre as mineralizações e os altos conteúdos de cobre em plantas, principalmente leguminosas, no Estado da Bahia.

Nascimento; Chen (1976) e Nascimento *et al.* (1978) realizaram estudos visando a aplicação de sensores remotos na prospecção de minerais de zinco e chumbo no município de

Vazante, Minas Gerais. Os resultados demonstraram que fotogramas e transparências coloridas infravermelho foram ferramentas muito úteis no mapeamento das unidades litológicas e na identificação das zonas mineralizadas, respectivamente. A análise anatômica das plantas e análises químicas dessas e dos solos confirmaram que o nível de toxidez na zona mineralizada é um dos fatores que condiciona a distribuição da vegetação.

Porto; Silva (1989) verificaram a concentração de Cu, Pb, Ni, Cd, Cr, Co, Mn e Fe em plantas em áreas da Serra de Carajás (Pará) e na Cadeia do Espinhaço (Minas Gerais). Baseando-se na concentração de metais pesados nas plantas e aspectos fitofisionômicos concluíram que estas seriam duas áreas de vegetação metalófila, provavelmente pertencentes a uma mesma província biogeoquímica, rica em ferro e outros metais pesados.

No Estado do Rio Grande do Sul, por outro lado, vários trabalhos visando estudar a influência de metais pesados, em especial o cobre, sobre a vegetação foram realizados. Porto (1981, 1983, 1986), ao investigar áreas de mineração no Estado, verificou mecanismos de resistência e tolerância aos metais pesados em plantas, denominando essa vegetação de “savana metalófila”. A acumulação desses elementos, em especial em *Schinus lentiscifolius* (Anacardiaceae), levou essa autora a supor que aquelas plantas formariam ecótipos nessas áreas, servindo de bioindicadoras do conteúdo de metais pesados no solo. Porto (1981, 1989b) e Lima e Cunha (1980, 1982, 1988) realizaram análises químicas do conteúdo de cobre em *S. lentiscifolius*, constando valores maiores que no solo. Porto (1981) observou, ainda, alterações anatômicas e morfológicas nessa planta em áreas mineralizadas. Lima e Cunha (1982) considerou essa espécie adequada para prospecção biogeoquímica, sendo uma indicadora local de cobre na Fazenda Santa Ivone, Bagé. Lisboa (1976) *apud* Lima e Cunha (1983) também cita a ocorrência de anacardiáceas (“aroeiras”) em associação aos depósitos de cobre.

Na área da mina Volta Grande, Hofbauer (1979) analisou o conteúdo de metais pesados (Cu, Pb, Cd e Ag) em cinco espécies de líquens coletados diretamente sobre os afloramentos dos filões, constatando um valor para cobre acima do considerado normal para esses organismos.

Zocche (1989) realizou estudos florísticos e fitossociológicos e analisou a concentração de metais pesados (Co, Cu, Pb, Cr, Ni, Mn e Fe) no solo e em folhas e raízes de *Cynodon dactylon*, *Piptochaetium montevidense*, *Baccharis dracunculifolia* e *Mimosa bimucronata* em área de campo natural sobre banco de carvão e em áreas mineradas a céu aberto e revegetadas naturalmente. O autor constatou a presença das comunidades vegetais *Axonopus – Andropogon* e *Axonopus – Piptochaetium* na área controle e, nas áreas que foram mineradas, as comunidade *Piptochaetium – Axonopus purpusii* e *Piptochaetium – Cynodon*.

Verificou que *Piptochaetium montevidense* e *Mimosa bimucronata* continham valores mais altos de cobre e outros metais pesados nas áreas mineradas.

Zanardi Júnior (1990) e Zanardi Júnior; Porto (1991) analisaram metais pesados (Fe, Co, Cr, Hg e Pb) na água, substrato e raízes e folhas de *Eleocharis obtusetrigona*, procurando reconhecer as relações entre esses componentes em uma lagoa formada em área reencapada após processo de mineração e em um açude (reservatório) na mesma região, em área não-minerada. Na lagoa da mineração essa espécie apresentou maiores densidade e acumulação nas folhas, principalmente de Pb e Co, sendo considerada uma indicadora das condições da qualidade da água. Foi também realizado um estudo de comunidades vegetais que revelou o caráter pioneiro da vegetação marginal da lagoa da mineração.

Prochnow (1995) e Prochnow; Porto (2000) realizaram uma avaliação das condições ambientais de uma área com rejeitos de carvão, um campo banhado (*sic*) e uma mata nativa sem contaminação aparente, no município de Charqueadas. Verificaram o conteúdo de Fe, Mn, Pb e Cr na água, sedimento, substrato e plantas, constatando que *Ludwigia* sp. pode ser considerada bioindicadora de Fe e Mn e *Eucalyptus* sp. pode ser uma bioindicadora de Mn. Não verificaram nenhuma bioindicadora para Cr e Pb.

Girardi-Deiro (1999) estudou, em uma área de savana no município de Bagé, a influência do manejo por corte e queima de espécies lenhosas para a pecuária, da profundidade do solo, da inclinação do terreno e de metais pesados (cobre e chumbo) na vegetação herbácea. A autora constatou a presença de comunidades de *Paspalum notatum* nas áreas onde havia corte e, nas áreas queimadas, as comunidades mudaram ao longo dos anos, após cada distúrbio.

Santos (2000), comparando a morfo-anatomia e acumulação de Fe, Cu, Zn, Ni, Co, Pb, Cd e Hg em *Paspalum notatum* var. *notatum* em área de depósito de rejeitos de carvão e área sem rejeitos de carvão, considerou essa espécie tolerante aos níveis de metais pesados presentes nos solos analisados.

Alguns estudos vêm sendo realizados em nível de respostas moleculares (bioquímicas e genéticas) das plantas que vivem em ambientes ricos em metais pesados, buscando selecionar espécies que possam ser utilizadas na reabilitação de áreas degradadas pela mineração. De acordo com VERKLEIJ; SCHAT (1989), a tolerância ao cobre parece estar relacionada à capacidade de produção de metalotioninas (MTs). Agnes *et al.* (1998a, 1998b, 1999) caracterizaram os genes de MTs de plantas provenientes de locais com solos ricos em cobre na mina Volta Grande. Dal Piva (2001), ao investigar *Baccharis trimera*, identificou ecótipos dessa espécie na mina Volta Grande, a partir de respostas bioquímicas do

metabolismo secundário relacionadas aos mecanismos de tolerância aos metais pesados. Analisando essa mesma espécie, Weber *et al.* (2001) verificaram uma possível seleção *in vitro* de genótipos potencialmente mais tolerantes ao íon cobre.

O conhecimento de espécies vegetais e de genótipos potencialmente aptos a tolerarem níveis elevados de metais tóxicos, assim como das comunidades vegetais que ocorrem em áreas de mineralizações, é de grande importância na reabilitação dessas áreas. A fitorremediação, definida como a utilização de plantas para estabilizar, remediar, reduzir ou restaurar locais contaminados, surge como uma nova estratégia para a remoção de metais pesados do meio ambiente (MCINTYRE; LEWIS, 1997; SALT *et al.*, 1998). De acordo com Mcintyre; Lewis (1997), hoje são conhecidas cerca de 400 espécies de plantas hiperacumuladoras de metais, que podem ser avaliadas para a utilização nesse processo. A fitorremediação oferece um baixo custo para o saneamento dos solos e alguns metais extraídos ainda podem ser reciclados (CHANEY *et al.*, 1997). Além disso, trata-se de uma tecnologia *in situ*, passiva e limpa; é aplicável a uma larga gama de metais; pode ser utilizada em locais onde não se obteve sucesso com outras técnicas de remediação; sua aplicação é relativamente fácil e não provoca grandes alterações na camada superior do solo (MCINTYRE; LEWIS, 1997).

A idéia de utilizar plantas na reabilitação dos solos surgiu em 1983 e vem sendo amplamente examinada (CHANEY *et al.*, 1997). Ebbs; Kochian (1998) avaliaram 22 espécies de gramíneas, constatando que *Avena sativa* (aveia) e *Hordeum vulgare* (cevada) têm grande potencial fitorremediador, pois toleram e acumulam grandes concentrações de Cu, Cd e Zn. Tang *et al.* (1999) sugerem que *Elsholtzia haichowensis*, *Commelina communis* e *Rumex acetosa* sejam investigadas quanto aos seus mecanismos de tolerância, para serem utilizadas em fitorremediação e em prospecção biogeoquímica de cobre. Segundo Ma *et al.* (2001), *Pteris vittata* (Pteridaceae) vem sendo pesquisada com essa finalidade, pois pode acumular 126 vezes mais arsênio do que o conteúdo desse metal no solo.

Quando se pretende avaliar a vegetação e sua relação com o solo ou com ocorrências minerais em uma região, os Sistemas de Informações Geográficas (SIG) têm se mostrado de grande utilidade. Com a utilização de SIG é possível dividir áreas de habitats heterogêneos em subunidades biológicas claramente definidas (HASLETT, 1990), facilitando a compreensão dos diversos fatores ambientais que atuam na configuração da vegetação.

Zhang *et al.* (1999) verificaram que altas concentrações de chumbo em plantas estavam relacionadas principalmente à mineralização natural e não à poluição humana, utilizando SIG para a visualização espacial do problema e análise química de musgos

aquáticos e raízes de plantas aquáticas superiores coletados na área. Nascimento; Chen (1976), Nascimento *et al.* (1978) e Porto (1983) avaliaram técnicas de sensoriamento remoto aplicadas à prospecção mineral, considerando-as de grande utilidade, já que o padrão de distribuição da vegetação fornece informações geoquímicas concernentes à localização de depósitos, principalmente em áreas de difícil acesso. Os produtos de sensores remotos (imagens de satélite e fotogramas) são a base para as análises feitas com SIG, que proporcionam desde uma visualização espacial das informações até uma análise temporal baseada em modelos preditivos.

A vegetação pode fornecer informações da variação no meio e dos recursos potenciais em uma determinada área, pois reflete as características ambientais e a história do ecossistema (NELDNER; HOWITT, 1991 *apud* LANDAU, 1994). Nesse sentido, a Ecologia de Paisagem trata de avaliar as mudanças espaciais e temporais que ocorrem em uma determinada região, visando compreender a distribuição de ecossistemas, habitats ou comunidades, que tem uma implicação ecológica (TURNER, 1990). O'Neil *et al.* (1988) define a Ecologia de Paisagem como o estudo de padrões espaciais do ecossistema. Os indivíduos de cada espécie não estão distribuídos ao acaso, mas de maneira a formar um padrão na paisagem (DAUBENMIRE, 1968). A vegetação está distribuída em manchas homogêneas nas quais podem ser reconhecidas as comunidades, a partir de investigações fitossociológicas. Essas podem ser mapeadas, resumindo uma base importantíssima para o planejamento do uso do solo. Além disso, os mapas possuem um grande valor pedagógico em educação ambiental, ecoturismo e práticas de campo (BRAUN-BLANQUET, 1979).

Partindo dessas considerações, no presente trabalho, pressupunha-se que a organização espacial e fitossociológica das unidades e subunidades de vegetação estaria relacionada à influência de metais pesados, em especial o cobre, na mina Volta Grande, Lavras do Sul, RS. A partir dessa hipótese, objetivou-se: a) classificar, descrever e localizar espacialmente as unidades e subunidades de vegetação na mina Volta Grande, Lavras do Sul, RS; b) verificar o conteúdo de cobre em folhas e raízes nas espécies mais constantes e diagnóstico de grupo nas diferentes unidades e subunidades de vegetação; c) relacionar a distribuição das unidades e subunidades de vegetação à ocorrência das mineralizações (filões) e d) fornecer subsídios aos estudos de reabilitação de áreas degradadas pela mineração e de prospecção mineral no Estado.

## 2. MATERIAL E MÉTODOS

### 2.1. HISTÓRICO DA MINERAÇÃO DE OURO E COBRE EM LAVRAS DO SUL

Carvalho (1932), Leonardos (1942) e Kaul (1975) fazem um relato histórico da descoberta e exploração do ouro em Lavras do Sul. Aqui foram colocadas as principais passagens desses trabalhos.

A exploração no Estado teve início no final do século XVIII, por ocasião da intensa procura desse mineral no Brasil. Nessa época já havia grande atividade de exploração em Minas Gerais. Em Lavras do Sul, no início, o ouro era explorado nos aluviões do arroio Camaquã das Lavras e seus afluentes e, só em 1845, a empresa *The Rio Grande do Sul Gold Mining Company* começou as explorações dos filões auríferos.

Na segunda metade do século XIX e primeira do século XX, diferentes empresas estrangeiras implantaram atividades de mineração de ouro no município. Outras empresas atuaram nesse período, como a Companhia *Lape*, *Tahourne* Companhia Belga e *Gold Field Mining Company*. As atividades não prosperaram devido às quedas de teores e precariedade tecnológica das explorações (MINERAR, [19--]).

Nos anos 70, com técnicas mais avançadas, a Companhia Riograndense de Mineração (CRM) reiniciou os trabalhos no distrito aurífero de Lavras do Sul (MINERAR, [19--]). Essa iniciativa e a revalorização do ouro no mercado internacional na década de 80 fizeram com que novamente houvesse interesse de exploração desse minério na região (PORCHER; LOPES, 2000). Atuaram nesse período, além da CRM, várias empresas privadas, entre elas a Companhia de Mineração e Participações (CMP), na década de 80, e a Companhia Brasileira de Cobre, *Placer Dome* do Brasil e *Seahawk*, na década de 90 (Minerar, [19--]).

Com relação ao cobre, Oliveira (1943) relata a história de sua exploração no Rio Grande do Sul. O cobre no estado nativo já era utilizado pelos índios para a fabricação de instrumentos antes da colonização no Estado. Algumas ocorrências de veios cupríferos são conhecidas desde o início do século XIX, mais ou menos na época do início da exploração do ouro em Lavras do Sul. Em 1873, a Companhia das Minas de Ouro e Cobre do Sul do Brasil foi autorizada a lavrar jazidas auríferas e cupríferas em Lavras do Sul e Caçapava. Existiram trabalhos de prospecção mas, segundo relatórios técnicos posteriores, parece não ter havido extração. Apenas em 1888 os alemães Maximiliano Saenger, Ricardo Saenger e Emílio Kleinod iniciaram a prospecção da jazida Camaquã, que foi lavrada posteriormente, com

exportação do minério que dava, em média, 15 a 20% de cobre. A mineração durou até 1899, quando foi paralisada devido a deficiências técnicas e despesas não ressarcidas. Os trabalhos em Camaquã foram retomados posteriormente e prosseguiram até 1908, quando paralisaram em função da enorme baixa no preço do cobre e, segundo Campos *apud* Oliveira (1943), também devido à má orientação administrativa, à falta de metalurgia completa, à grande afluência d'água nos poços e ao encarecimento dos transportes. Houve, ainda, trabalhos nas jazidas Cerro dos Martins e Crespos (1906-1907), Seival (1901-1908), Bom Jesus (até 1908) e outras. Outros trabalhos interessantes ocorreram em 1937, quando o geólogo Takeji Inouye visitou as jazidas cupríferas sul-rio-grandenses e, a partir de 1942, com o plano de intensificação das pesquisas de minerais estratégicos traçado pelo Exército Brasileiro e incorporado no programa geral da Divisão de Fomento da Produção Mineral (DFPM). Esses estudos, realizados em nível nacional, concluíram que a região cuprífera da Companhia do Rio Grande do Sul era, realmente, a mais interessante do ponto de vista das reservas de cobre e que urgia, por conseguinte, o seu aproveitamento.

As mineralizações de cobre e ouro na mina Volta Grande, área de estudo nesse trabalho, são conhecidas desde o início do século passado e a exploração de ouro ocorre desde então. O ouro foi explorado até meados da década de 40. A partir daí, durante várias décadas, órgãos públicos e empresas privadas realizaram pesquisas e explorações na mina, destacando-se as atividades do Departamento Nacional de Produção Mineral (DNPM), da Companhia Riograndense de Mineração (CRM) e da Companhia Mineira Lavras do Sul. O primeiro atuou entre 1959 e 1963, calculando as reservas minerais (GAVRONSKI, 1964). A CRM conquistou o manifesto de mina 190/35 em 1981, unindo-se a Companhia de Mineração e Participações (CMP) para constituírem a Companhia Mineira de Lavras do Sul em 1989. Em 1991, a CMP classificou o empreendimento como inviável, requerendo a liquidação dos contratos em curso (MINERAR, [19--]).

## 2.2. CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

### 2.2.1. Localização geográfica

A mina\* Volta Grande está localizada a leste do município de Lavras do Sul, RS, entre as coordenadas UTM 228500 a 230500 m E e 6588000 a 6584000 m N (figura 1). A área de estudo é de 598 hectares.

Lavras do Sul está situado na porção centro-meridional do Estado do Rio Grande do Sul, estando limitado pelos municípios de São Gabriel e São Sepé ao norte, Bagé e Dom Pedrito ao sul, Caçapava do Sul a leste e Dom Pedrito, Rosário do Sul e São Gabriel a oeste.

### 2.2.2. Clima

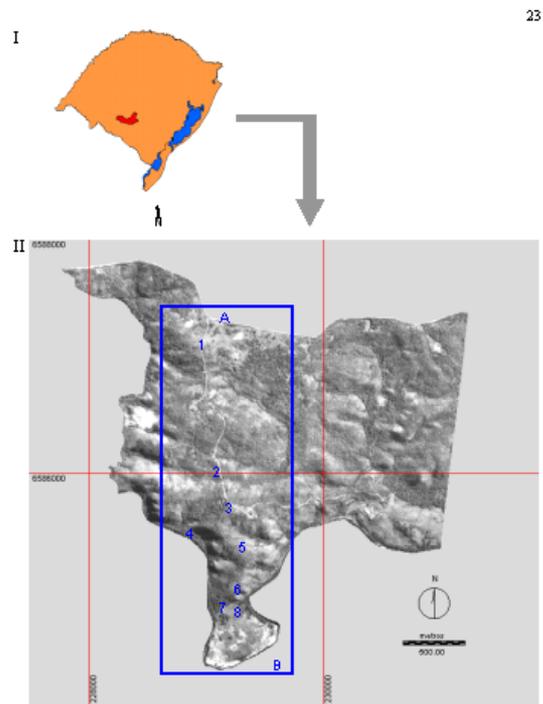
O clima na região, segundo a classificação climática de *Köppen*, é mesotérmico tipo subtropical, da classe Cfa. Esse tipo é caracterizado como chuvoso, de inverno frio e verão quente. As chuvas são, em geral, bem distribuídas durante todo o ano e os valores da média anual de precipitações variam entre 1300 e 1600 mm. A temperatura média anual varia entre 16 e 19°C, com médias mínimas entre 12 e 13°C no mês de julho e médias máximas de 29 a 31°C em dezembro. As temperaturas extremas são mínimas de até -4°C e máximas de até 41°C (MACEDO, 1984; PORCHER; LOPES, 2000).

### 2.2.3. Geologia

Menegat *et al.* (1998) descrevem quatro grandes domínios morfoestruturais para o Rio Grande do Sul, reconhecidos a partir de características geológicas e estruturais das rochas e modelados da superfície. De acordo com esse mesmo trabalho, o domínio morfoestrutural do Escudo Sul-rio-grandense, onde está localizado o município de Lavras do

---

\* Foi utilizado o termo “mina”, que significa “jazida em lavra, ainda que suspensa” (RAMGRAB *et al.*, 2000), apesar de não estarem ocorrendo atividades de exploração no momento, pois essa corresponde à área de estudo.





Sul, é formado por rochas ígneas, metamórficas e sedimentares de idades que vão desde o Arqueano (2,2 Ga., a mais antiga do Estado) ao Cambriano (500 Ma.).

Na mina Volta Grande encontram-se, predominantemente, lavas e rochas piroclásticas andesíticas (figura 2): tufos a cristal, líticos, aglomerados e brechas (NARDI; LIMA, 1985).

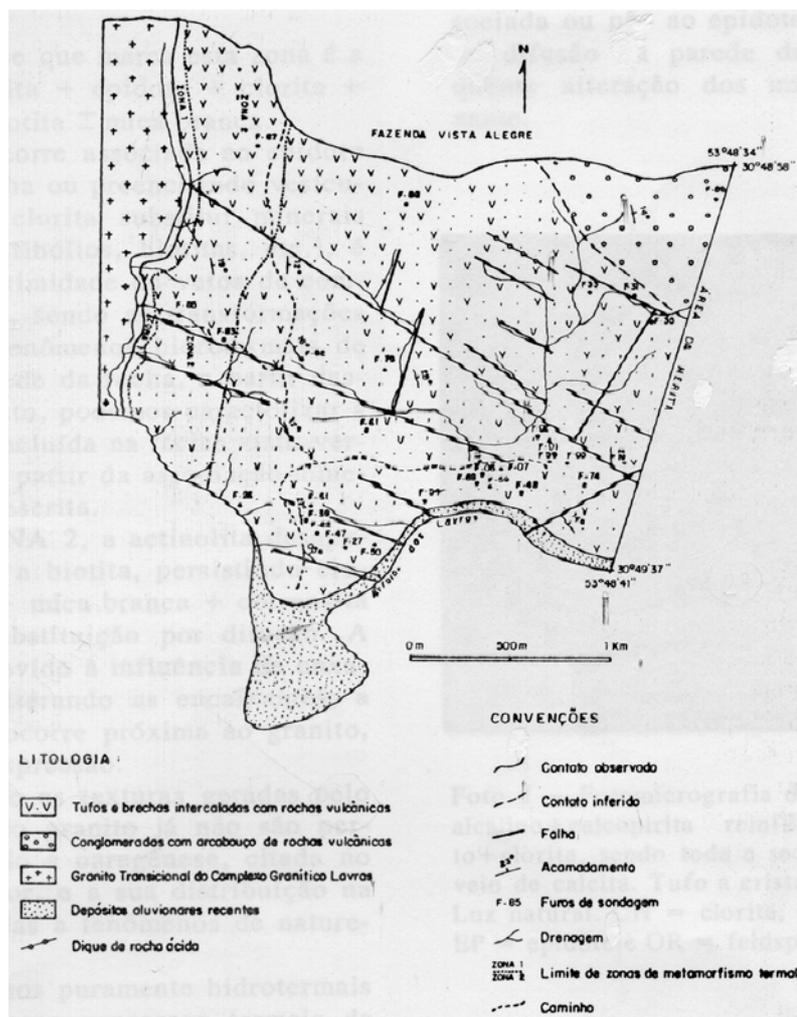


Figura 2: Esboço geológico da área da Volta Grande. Fonte: Mexias (1990).

Existem várias propostas para a coluna estratigráfica na bacia do Camaquã, que são comparadas por Paim *et al.* (2000), que optaram por adotar o “Alogrupo Bom Jardim” para a área que inclui a Volta Grande. Ribeiro; Fantinel (1978) *apud* Paim *et al.* (2000) utilizaram a denominação “Formação Hilário”, que pertence à porção inferior do Grupo Bom Jardim. O Grupo Bom Jardim que, em parte, corresponde ao Alogrupo Bom Jardim, é composto por uma associação ou seqüência vulcano-sedimentar formada por rochas sedimentares dos Membros Mangueirão e Vargas da Formação Arroio dos Nobres e, nessa porção mais antiga,

pelas rochas vulcânicas da Formação Hilário. As rochas vulcânicas e piroclásticas na região da Volta Grande encontram-se intrudidas pelo Granito Transicional do Complexo Granítico Lavras (NARDI, 1984).

Quanto à idade, o Alogruppo Bom Jardim, de acordo com Paim *et al.* (2000), ter-se-ia depositado entre *ca* 592 e 573 Ma. Dados pela metodologia U/Pb em zircões obtidos por Remus *et al.* (1997) sugerem a idade de  $592 \pm 5$  Ma para o evento vulcânico na região.

As mineralizações na região são de morfologia filoniana, onde os filões quartzosos de orientação E-W, com forte inclinação tanto para SW como para NE, se encontram encaixados nos granitos e rochas vulcânicas, ou na forma de disseminações na rocha (HORBACH *et al.*, 1986; KAUL, 1990; PORCHER; LOPES, 2000; RAMGRAB *et al.*, 2000).

#### 2.2.3.1. Geologia econômica

Os jazimentos de Lavras do Sul são constituídos por mineralizações auríferas e auro-cupríferas primárias, relacionadas ao Complexo Granítico Lavras do Sul e às rochas vulcânicas da Formação Hilário, respectivamente (KAUL, 1990; PORCHER; LOPES, 2000). Ocorrem, também, mineralizações secundárias em coluviões, bem como em aluviões dos cursos d'água que percorrem as regiões portadoras das mineralizações primárias (Kaul, 1990). O cobre é encontrado nos minerais calcopirita ( $\text{CuFeS}_2$ ), calcosina ( $\text{Cu}_2\text{S}$ ) e azurita ( $\text{Cu}_3(\text{OH})\text{CO}_3$ ) e, o ouro, na pirita ( $\text{FeS}_2$ ).

As mineralizações encaixadas nas rochas graníticas têm mineralogia à base de pirita aurífera predominante e as encaixadas em rochas andesíticas e sedimentares da Formação Hilário apresentam mineralogia cuprífera dominante (HORBACH *et al.*, 1986). Das inúmeras ocorrências desse tipo, merecem destaque as vizinhas mina Aurora e a jazida de Volta Grande, ambas encaixadas em falhas de direção próxima a leste-oeste. Pode-se aí, em uma mesma estrutura mineralizada, acompanhar, a partir do granito e em direção a leste, a variação da mineralogia dos filões que, quartzo-auríferos nessa, tornam-se mais cupríferos e depois mais ricos em chumbo à medida que a respectiva estrutura se afasta do contato do granito, sugerindo, assim, uma zonalidade mineral induzida pela intromissão dessa rocha nos andesitos (HORBACH *et al.*, 1986).

Na mina Volta Grande ocorrem dezenas de estruturas mineralizadas de ouro e cobre associadas às rochas vulcânicas, além de um jazimento aurífero de natureza aluvionar (PORCHER; LOPES, 2000).

Com relação às quantificações dos teores e reservas na Volta Grande, Gavronski (1964) realizou pesquisas entre 1959 e 1963, indicando uma reserva de 60.000 toneladas de minério, com teor de 1,6% Cu e apreciáveis teores de ouro e prata. Azevedo (1981) *apud* Horbach *et al.* (1986) determinou para essa mesma jazida teores médios de 5,96g/t Au em filões primários e variáveis entre 2,71 e 10,56g/t Au em corpos oxidados - a reserva da jazida primária perfaz um total de 6.525Kg de ouro aos quais se associam cerca de 47.000 t de cobre metálico. Mello (1995), de acordo com a divisão da mina em quatro áreas, coloca, como reserva total inferida, 1.428.485t a 1,2% Cu e 1,0g/t Au na área 1; 167.600t a 1,5% Cu e 1,0g/t Au na área 2 e 537.300t a 1,1% Cu e 7,0g/t Au na área 4. Na área 3 ou autor obteve resultados negativos nas sondagens. Segundo Porcher; Lopes (2000), o minério primário possui um teor de 5,96 g/t Au, com uma reserva determinada de  $1,0 \times 10^5$ t e 1,11% Cu com reserva de  $4,2 \times 10^6$ t; o minério secundário tem teor de 4,39g/t Au e 0,82% Cu com reservas de  $0,2 \times 10^5$ t e  $4,6 \times 10^4$ t, respectivamente. No aluvião da “grande volta” do arroio, foi reconhecido um volume lavrável de  $5,3 \times 10^5 \text{m}^3$ , com teor médio de  $0,33 \text{g/m}^3$  (AZEVEDO, 1980), mas a sua exploração levou ao esgotamento da reserva (RAMGRAB *et al.*, 2000).

Kaul; Rheinheimer (1974), no "Projeto Ouro no Rio Grande do Sul e Santa Catarina", indicam as regiões das minas Volta Grande, Cerro Rico, Bloco do Butiá e Valdo Teixeira como as mais promissoras do distrito aurífero de Lavras do Sul.

Porcher; Lopes (2000) catalogaram, só no município de Lavras do Sul, 14 jazimentos de ouro, além de 59 jazimentos em que o cobre é a substância principal na região de abrangência da Folha Cachoeira do Sul.

Além do ouro e cobre, de acordo com Gavronski *et al.* (1969) *apud* Horbach *et al.* (1986), na mina Volta Grande ocorre chumbo na forma de galena, associada aos filões com sulfetos de cobre.

Porcher; Lopes (2000) encontraram na área que envolve o Complexo Granítico Lavras do Sul, no município de Lavras do Sul, indícios de molibdênio, cobre e urânio e uma pedreira em granito.

São também citados por Horbach *et al.* (1986) como ocorrentes em Lavras do Sul os seguintes minerais: molibdênio, barita (também na mina Volta Grande, associada aos filões cupríferos) e asbestos.

#### 2.2.4. Geomorfologia

De acordo com Menegat *et al.* (1998), quanto à superfície, o domínio morfoestrutural do Escudo Sul-rio-grandense é constituído por um planalto cujas formas de relevo variam desde coxilhas, morros, pontões e cristas até chapadas e possuem altitudes de até 599 m.

Segundo a classificação de Justus *et al.* (1986), o município de Lavras do Sul está localizado na unidade geomorfológica Planaltos Residuais Canguçu-Caçapava do Sul, que pertence à região geomorfológica Planalto Sul-rio-grandense, sendo que essa última geograficamente corresponde ao Escudo Sul-rio-grandense. Essa unidade corresponde aos relevos mais elevados, em torno de 400 metros. Genericamente o relevo se apresenta dissecado em formas de colinas, ocorrendo também áreas de topo plano ou incipientemente dissecado, remanescente de antiga superfície de aplanamento. Pode-se considerar a unidade em três setores, onde Lavras do Sul está localizada no setor aproximadamente a norte do rio Camaquã, o qual constitui um divisor de água entre a drenagem dos rios Jacuí a norte e Camaquã a sul. Os topos de modo geral são convexos, ocorrendo isoladamente topos aguçados configurando cristas. As vertentes são íngremes, com manto de alteração pouco espesso ocorrendo muitas vertentes com afloramento rochoso (JUSTUS *et al.*, 1986).

As altitudes na área da Volta Grande são entre 180 e 353 metros.

#### 2.2.5. Hidrografia

Na região, o rio Camaquã constitui o principal eixo de drenagem e, juntamente com seus afluentes, mostra um padrão de drenagem subdendrítico (JUSTUS *et al.*, 1986). Esse e o rio Piratini apresentam-se superimpostos às estruturas do Planalto Sul-rio-grandense, alternando, principalmente o Camaquã, corredeiras e quedas-d'água com amplas faixas de acumulação fluvial, as quais no baixo curso tornam-se contínuas, finalizando-se em deltas (JUSTUS, 1990).

A área de estudo está limitada a sul pelo arroio Camaquã das Lavras, que é um contribuinte do rio Camaquã.

### 2.2.6. Pedologia

Ocorrem, na região, solos litólicos distróficos e eutróficos e solos podzólicos, além de planossolos eutróficos associados às várzeas (PORCHER; LOPES, 2000).

### 2.2.7. Fitogeografia

A região na qual está inserida a área de estudo, segundo a classificação de Teixeira *et al.* (1986), é a da Savana (Campos), que é a mais extensa do Estado. De acordo com o sistema de classificação fitogeográfico adotado nesse trabalho, essa região apresenta-se dividida em três formações, determinadas por parâmetros fitofisionômicos: Savana Arbórea Aberta, Savana Parque e Savana Gramíneo-lenhosa. A Savana Arbórea Aberta possui um estrato herbáceo de gramíneas cespitosas e inúmeras rizomatosas, além de *Eryngium horridum* e *Eupatorium* sp. O estrato arbóreo é caracterizado por árvores de pequeno porte e arbustos (*Scutia buxifolia*, *Celtis tala*, *Sebastiania klotzschiana*, *Podocarpus lambertii*, *Lithraea brasiliensis*, *Schinus lentiscifolius*, *Allophylus edulis* e *Eugenia uniflora*). Os subarbustos mais comuns são *Heterothalamus alienus* e espécies de *Baccharis*. A Savana Parque também possui um estrato de herbáceas, com gramíneas cespitosas e rizomatozas (principalmente espécies do gênero *Paspalum*), além de várias espécies de *Baccharis*, *Senecio brasiliensis*, *Eryngium horridum* e *Vernonia nudiflora*. As espécies arbustiva-arbóreas aparecem isoladas ou pouco agrupadas, sendo *Schinus molle*, *Scutia buxifolia*, *Celtis tala* e *Schinus polygamus* as mais comuns. Já a Savana Gramíneo-lenhosa, a formação mais extensa da região da Savana, possui um tapete herbáceo com predomínio de gramíneas e arbóreas isoladas ou em forma de capões. A composição florística dessa última é semelhante à da Savana Parque.

Rizzini (1997) classifica essa área como Campos da Planície Rio-grandense ou Campos Sul-riograndenses, pertencentes aos grupamentos especiais campestres.

No sistema proposto por Fernandes (1998), a região central e sudoeste do Rio Grande do Sul é denominada Província Sulina ou dos Campos, compreendendo o Setor da Campanha ou dos Pampas, o Setor da Depressão Central e o Setor do Escudo ou das Serras do Sudeste. Nessa província as grandes extensões planas são cobertas por pradarias, em geral com espécies de pequeno porte, principalmente gramíneas (*Paspalum*, *Andropogon*, *Aristida*, *Briza*), além de fabáceas (*Desmodium*, *Arachis*, *Aeschynomene*, *Centrosema*), asteráceas (*Baccharis*, *Senecio*, *Vernonia*, *Pterocaulon*), amarantáceas (*Alternanthera*, *Gomphrena*),

umbelíferas (*Eryngium*), polipodiáceas (*Pteridium*), malváceas (*Sida*) e esterculiáceas (*Waltheria*). Ocorrem árvores dispersas e grupos isolados de arbustos. Nas coxilhas que se seguem a essa área plana, predominam as gramíneas (*Aristida*, *Andropogon*) na cobertura vegetal.

O Setor do Escudo ou das Serras do Sudeste de Fernandes (1998) corresponde à unidade fisionômica Serra do Sudeste de Rambo (1994), para a qual esse último autor descreve onze formações vegetais diferentes, entre campos herbáceos, campos herbáceo-arbustivos e florestas. O Campo limpo tem uma vegetação que não passa de meio metro de altura, composta de gramíneas, verbenáceas e compostas; já o Campo sujo é coberto de espécies de *Baccharis* (carquejas) e gramíneas cespitosas. As formações florestais descritas por esse autor são as Matinhas arbustivas ou subarborescentes de mirtáceas e trepadeiras, os Capões, que são matos menores mais ou menos redondos, os Matos de galeria que acompanham os cursos d'água, a Mata virgem, os Matos de parque e o Mato arborescente ou alto. O último contém espécies de *Zanthoxylum*, *Erythroxylum*, *Nectandra*, *Tecoma* e também *Allophylus edulis*, *Luehea divaricata*, *Maytenus cassineformis*, *Salix humboldtiana*, *Ficus subtriplinervia*, *Cedrela fissilis* e *Cabrlea oblongifoliola*, além das lianas. Os Matos de parque são formados por espécies de *Lithraea*, *Schinus* e *Myrsine*. São citados também os Vassourais de *Dodonaea viscosa*, Capoeiras e Palmares com espécies de *Butia*.

Lindman (1906) identificou os seguintes tipos fisionômicos de campos no Estado: Campos Subarbustivos ou Sujos, Campos Paleáceos, Gramados (Potreiros) e Campos Brejosos. Os primeiros possuem uma cobertura vegetativa pouco espessa de gramíneas rasteiras ou ascendentes, ervas e subarbustos baixos. Os Campos Paleáceos têm uma vegetação de gramíneas eretas e robustas, ervas e subarbustos rígidos. O Gramado constitui-se num tapete denso e baixo de gramíneas, principalmente espécies de *Paspalum*, *Cyperus*, *Kyllingia* e leguminosas de folhas pequenas. Associados às várzeas, encontram-se os Campos Brejosos, também denominados campos úmidos ou campos inundados, os quais são alagadiços ou sempre úmidos e densamente povoados por gramíneas, ciperáceas, xiridáceas e eriocauláceas.

No esquema da vegetação do Rio Grande do Sul proposto por Porto (inédito), as formações florestais da Serra do Sudeste e Encosta do Sudoeste são classificadas como florestas pluviais subtropicais e as formações campestres da Serra do Sudeste, Campanha e Depressão Central são os campos rupestres arbustivos e a savana metalófila. A savana metalófila aparece nas áreas de ocorrência das mineralizações e possui um estrato arbustivo-arbóreo com espécies que possuem alto conteúdo de metais nos seus tecidos (PORTO, 1981).

### 2.2.8. Fauna silvestre

A fauna de invertebrados na região não é muito conhecida. Konrad; Paloski (2000) realizaram um levantamento da fauna da região da sub-bacia do arroio João Dias, que também faz parte da bacia do rio Camaquã, no qual citaram apenas alguns grupos de invertebrados aquáticos (insetos, crustáceos e moluscos). Quanto aos vertebrados, nesse trabalho foram registradas 36 espécies de peixes, 112 espécies de aves e 30 espécies de mamíferos. Brau; Braun (1980) *apud* Konrad; Paloski (2000) citam, para a Serra do Sudeste, um total de 18 espécies de anfíbios.

Durante os trabalhos na área, foi possível observar vários animais do grupo das aves e do grupo dos mamíferos.

Segundo um morador, ocorrem na área, do grupo dos répteis, as espécies *Teius oculatus* (lagarto-verde), *Tupinambis teguixim* (lagarto-do-papo-amarelo), *Bothrops jararaca* (jararaca), *Bothrops alternatus* (cruzeira), *Micrurus corallinus* (coral-verdadeira), *Bothrops jararacussu* (jararacuçu) e *Crotalus durissus* (cascavel). Essas mesmas espécies foram citadas por Konrad; Paloski (2000).

Zocche (inédito) registrou as seguintes espécies de aves: *Heliornis fulica* (seriema), *Rhynchotus rufescens* (perdigão), *Cathartes aura* (urubu-da-cabeça-vermelha), *Buteo magnirostris* (gavião-carijó), *Milvago chimachima* (carrapateiro), *Falco sparverius* (quiriquiri), *Ortalis guttata* (aracuã), *Pipile jacutinga* (jacutinga), *Aramides saracura* (saracura-do-brejo), *Vanellus chilensis* (quero-quero), *Columbina picui* (rolinha-picuí), *Leptotila verreauxi* (juriti-pupu), *Myiopsitta monachus* (caturrita), *Speotyto cunicularia* (coruja-do-campo), *Nyctidromus albicollis* (bacurau), andorinhão (não identificado), *Picumnus cirratus* (pica-pau-anão-barrado), *Colaptes campestris* (pica-pau-do-campo) e os Passeriformes *Furnarius rufus* (joão-de-barro), *Synallaxis spixi* (joão-teneném), *Mackenziaena leachii* (brujarara-assobiador), *Thamnophilus caerulescens* (choca-da-mata), *Conopophaga lineata* (chupa-dente), *Myiarchus swainsoni* (irrê), *Xolmis irupero* (noivinha), *Machetornis rixosus* (suiriri-cavaleiro), *Pitangus sulphuratus* (bem-te-vi), *Mimus saturninus* (sabiá-do-campo), *Turdus rufiventris* (sabiá-laranjeira), *Turdus amaurochalinus* (sabiá-poca), *Zonotrichia capensis* (tico-tico), *Poospiza nigrorufa* (quem-te-vestiu), *Poospiza lateralis* (quete), *Sicalis flaveola* (canário-da-terra-verdadeiro), *Tachyphonus coronatus* (tiê-preto), *Thraupis sayaca* (sanhaçu-cinzeno), *Thraupis cyanoptera* (sanhaçu-encontro-azul), *Pipraeidea melanonota* (saíra-viúva), *Tangara seledon* (saíra-sete-cores), *Coereba flaveola*

(cambacica), *Parula pitiayumi* (mariquita), *Basileuterus leucoblepharus* (pula-pula-assobiador), *Cyclarhis gujanensis* (pitiguari), *Molothrus bonariensis* (vira-bosta), *Cyanocompsa cyanea* (azulão), *Carduelis megallanica* (pintassilgo) e *Passer domesticus* (pardal). O levantamento de Forneck (inédito) detectou, além dessas espécies, a presença de *Columba picazuro* (pombão), *Leptotila rufaxilla* (juriti-gemedeira), *Synallaxis ruficapilla* (pichororé), *Knipolegus cyanirostris* (maria-preta-bico-azulado), *Todirostrum plumbeiceps* (tororó), *Tyrannus savana* (tesourinha), *Phylloscartes ventralis* (borboletinha-do-mato), *Troglodytes musculus* (corruíra), (*Stephanophorus diadematus* (sanhaçu-frade), *Geothlylis aequinoctialis* (pia-cobra) e *Pseudoleistes virescens* (dragão).

Foi possível observar as seguintes espécies do grupo dos mamíferos: *Ozotocerus bezoarticus* (veado-campeiro), *Cavia apere* (preá) e a exótica *Lepus capensis* (lebre-européia). Além dessas, segundo um morador da região, também podemos encontrar: *Didelphis albiventris* (gambá-de-orelha-branca), *Tamandua tetradactyla* (tamanduá-mirim), *Dasypus hybridus* (tatu-mulita), *Dasypus novemcinctus* (tatu-galinha), *Euphractus sexcinctus* (tatu-peludo), *Dusicyon gymnocercus* (graxaim-do-campo), *Procyon cancrivorus* (mão-pelada), *Conepatus chinga* (zorrilho), *Galictis cuja* (furão), *Lutra longicaudis* (lontra), *Hydrochaeris hydrochaeris* (capivara), *Agouti paca* (paca) e *Ctenomys torquatus* (tuco-tuco).

### 2.2.9. Aspectos sócio-econômicos

O município de Lavras do Sul foi criado em 1882, tendo seu processo de formação associado ao aproveitamento econômico de jazimentos auríferos aluvionares, principalmente no arroio Camaquã das Lavras.

A mineração de ouro e, posteriormente, de cobre, foi a atividade econômica precursora do município (ver item “Histórico da mineração de ouro e cobre em Lavras do Sul”), deslocando-se a seguir para a agricultura e a pecuária. Segundo a Federação das Associações de Municípios do Rio Grande do Sul (FAMURS), 53,6% do Produto Interno Bruto (PIB) corresponde à atividade agropecuária, sendo que as maiores produções são de arroz e milho, e de gado ovino e bovino.

De acordo com o censo realizado em 2000 pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), a população humana no município é de 8105 habitantes, com densidade demográfica de 3,11 habitantes/km<sup>2</sup>.

## 2.3. PROCEDIMENTOS AMOSTRAIS E ANALÍTICOS

### 2.3.1. Estudo da vegetação

#### 2.3.1.1. Composição florística

Foram coletadas diferentes espécies na abrangência da área de estudo, identificadas com o auxílio de literatura especializada, além de consultas aos herbários Instituto de Ciências Naturais (ICN), na Universidade Federal do Rio Grande do Sul e Anchieta (PACA), na Universidade do Vale do Rio dos Sinos e auxílio de especialistas, conforme o item “Agradecimentos”. Foi utilizada a nomenclatura de acordo com o *International Plant Names Index* (IPNI). Na tabela 1 estão listadas as espécies identificadas.

#### 2.3.1.2. Abordagem fitogeográfica

Para a análise fitogeográfica foi realizada uma revisão da literatura especializada geral e relativa às formações vegetais e espécies ocorrentes na área de estudo.

#### 2.3.1.3. Abordagem fitossociológica

### **Levantamento amostral**

Os levantamentos foram realizados em outubro de 2000 e janeiro, abril e setembro de 2001.

A área de amostragem foi delimitada com base na carta topográfica do Ministério do Exército Brasileiro, escala 1:50.000, Folha SH-22-Y-A-IV-3 MI-2995/3 - Lavras do Sul, nos fotogramas preto e branco FX-073 nº 5124 e 5125, escala 1:60.000, de 23-05-96 e no reconhecimento a campo.

Para esse levantamento foi utilizada uma amostragem estratificada sistemática, que se aplica a zonas extensas e heterogêneas (MATTEUCCI; COLMA, 1982). Foi delineada uma área retangular entre a fazenda Vista Alegre e a Volta Grande (figura 1), na qual foram

amostrados todos os tipos de manchas de vegetação homogêneas consideradas fisionomicamente diferentes.

Foram amostradas, ao todo, oito tipos de manchas homogêneas de vegetação, sendo três de vegetação arbórea e arbustiva-arbórea (arbórea alta - AA, arbórea baixa - AB e arbustiva-arbórea - AbA), duas de vegetação arbustiva-herbácea (arbustiva-herbácea alta - AbHA e arbustiva-herbácea baixa - AbHB) e três de vegetação herbácea (herbácea alta - HA, herbácea baixa densa - HBD e herbácea baixa aberta - HBA). Essas denominações referem-se aos diferentes tipos fisionômicos de manchas de vegetação, as quais são descritas no item “Fisionomia e estrutura”. As manchas de vegetação arbórea e arbustiva-arbórea, arbustiva-herbácea e herbácea representam, respectivamente, as formações florestais, a savana (VELOSO; GÓES-FILHO, 1982; TEIXEIRA *et al.*, 1986) e as formações campestres na área de estudo.

Foi realizado um levantamento fitossociológico em cada tipo de mancha, a partir de transecções no centro de cada uma dessas. As transecções seguiram o sentido N-S, com exceção da mancha de floresta ripária, que seguiu o sentido paralelo ao arroio, ou seja, SE-NW. O tamanho das transecções variou de acordo com o tipo vegetacional.

Nas manchas com vegetação herbácea e arbustiva-herbácea foi utilizado o Método de Pontos com Agulha Isolada (adaptado de EDEN; BOND, 1945 *apud* MANTOVANI; MARTINS, 1990). Nas manchas de vegetação herbácea foi definida uma transecção de 30 m por mancha e, nas de vegetação arbustiva-herbácea, cinco transecções de 30 m por mancha. Foi utilizada uma agulha de aço de 2,5 m de altura e 0,005 m de diâmetro, que era largada sobre a vegetação em intervalos de 0,1 m em manchas de vegetação herbácea e intervalos de 1 m em manchas de vegetação arbustiva-herbácea. Foi amostrado o primeiro indivíduo tocado pela agulha, de cima para baixo. Nas manchas de vegetação arbustiva-herbácea foi amostrado o estrato superior (de arbustos e arvoretas), onde foi considerado o primeiro indivíduo tocado pela agulha acima de 1 m de altura e o estrato inferior (de herbáceas), onde foi considerado o primeiro indivíduo tocado pela agulha imediatamente abaixo de 1 m (figura 3). Foi anotada a altura em que o indivíduo era tocado pela agulha.

Nas manchas de vegetação arbórea e arbustiva-arbórea foi utilizado o Método de Parcelas Contíguas (MUELLER-DOMBOIS; ELLENBERG, 1974). Foi delimitada uma transecção no centro de cada mancha, onde foram distribuídas 10 parcelas com 10x10 m.

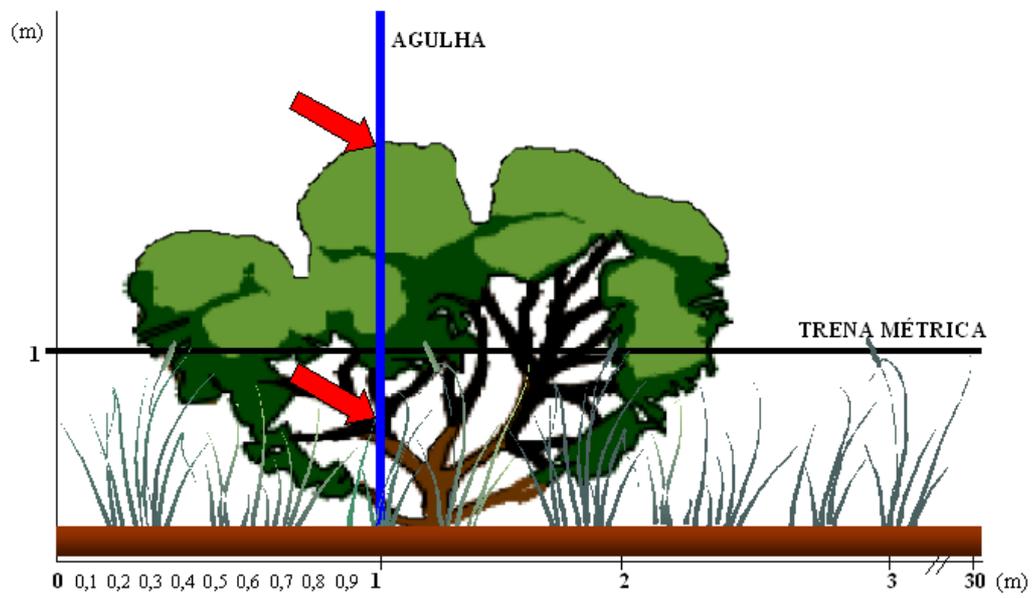


Figura 3: Esquema de amostragem no Método dos Pontos com Agulha Isolada, mina Volta Grande, Lavras do Sul, RS.

Apenas na mancha 3 (figura 1), devido às dimensões da mesma, foram delineadas duas transecções com 5 parcelas de 5x20 m cada. A área total amostrada em cada mancha foi de 100 m<sup>2</sup>. Foram amostrados todos os indivíduos que possuíam um diâmetro de no mínimo 0,05 m em uma altura de 1,30 m da superfície do solo (DAP).

Para estimar a suficiência amostral foram calculadas curvas de incremento de espécies (y) pelo incremento de unidades amostrais (x), adaptadas da “curva de espécies-área” (CAIN, 1938).

### Parâmetros fitossociológicos

Para fins de análise, foi considerada como unidade amostral: nas manchas de vegetação herbácea, os dados levantados em intervalos de 1 m da transecção (10 toques); nas manchas de vegetação arbustiva-herbácea, os dados levantados em 2 m de cada transecção (4 toques) e, nas manchas de vegetação arbórea e arbustiva-arbórea, cada parcela de 100 m<sup>2</sup>.

Foram calculados os parâmetros fitossociológicos frequência absoluta (FA), frequência relativa (FR), densidade relativa (DR) e índice de valor de importância (IVI) para todas as espécies. Para as espécies de manchas de vegetação arbórea e arbustiva-arbórea foram também calculados a área basal (AB) e dominância relativa (DoR). Foram utilizadas as seguintes fórmulas, citadas em Martins (1993) e Landau (1994):

$$FA_i = (U_{Ai}/U_{At}) \times 100$$

$$FR_i = (FA_i/\Sigma FA) \times 100$$

$$DR_i = (n_i/N) \times 100$$

$$AB_i = \Sigma (PAP^2/4\pi)$$

$$DoR_i = (AB_i/AB_t) \times 100$$

$IVI = DR_i + FR_i + DoR_i$  (para espécies de manchas de vegetação arbórea e arbustiva-arbórea)

$IVI = DR_i + FR_i$  (para espécies de manchas de vegetação herbácea e arbustiva-herbácea),

onde :

i = espécie i

t = total

n = número de indivíduos ou toques

N = número total de indivíduos ou toques

UA = número de unidades amostrais

PAP = perímetro do fuste a 1,30 m da superfície do solo

### Estadística

A partir dos dados coletados em campo, foi calculada a densidade relativa para cada espécie, em cada unidade amostral. Foi construída uma tabela única de classes de densidade relativa (adaptado de DAUBENMIRE, 1968 e de OLIVEIRA, 1998) para todas as espécies e unidades amostrais, conforme os seguintes intervalos:

Código da classe	Intervalo de densidade relativa (%)
1	1 - 4
2	5 - 24
3	25 - 49
4	50 - 74
5	75 - 94
6	95 - 100

Não foram consideradas as espécies que ocorriam em menos do que 10% das unidades amostrais em cada mancha homogênea, de acordo Mueller-Dombois; Ellenberg (1974). Por outro lado, não foram retiradas as espécies que ocorriam em mais do que 60% das unidades amostrais, conforme sugerido por esses autores, pois essas são importantes por terem uma maior probabilidade de dar nome ao agrupamento, no caso de mapeamento da vegetação (LANDAU, 1994).

Os dados de classes de densidade relativa foram submetidos a uma análise multivariada com o auxílio do *software* MULVA versão 5L (WILDI; ORLÓCI, 1996).

Para a entrada de dados foram utilizadas as rotinas OPEN e IMPORT. Foi realizada uma análise de *outliers*, através da rotina IDENTIF, que busca identificar pontos isolados a

partir da similaridade com o vizinho mais próximo e DATA, que cria novos arquivos onde são separadas as unidades amostrais consideradas *outliers*. Dessa maneira, foram consideradas isoladas e, portanto, eliminadas as unidades amostrais que tinham similaridade menor do que 0,4, segundo sugestão de Wildi; Orlóci (1996).

A partir desse novo conjunto de dados, foi construída uma matriz de semelhança baseada no cálculo do coeficiente de correlação, através da rotina RESEMB. A matriz de similaridade foi utilizada para a análise de agrupamentos das variáveis (espécies) e das unidades amostrais (rotina CLUSTER).

A análise de agrupamentos é muito utilizada para dados ambientais, buscando classificar unidades amostrais, espécies e variáveis. Os resultados dessa análise podem ser visualizados na forma de um dendrograma, no qual podem ser verificados os grupos formados. Foi utilizado o método de ligação completa, que inicia com a verificação dos pontos mais similares para formar um agrupamento inicial no qual novos pontos vão se unindo, tendo a vantagem de formar grupos de igual tamanho (PIELOU, 1984; WILDI; ORLÓCI, 1996).

Para avaliar a nitidez da estrutura dos grupos de espécies e de unidades amostrais foi realizada uma análise de concentração, utilizando-se a rotina CONCENT, que constrói uma tabela de contingência baseada nos resultados da análise de agrupamentos.

Ordenação é um termo que agrega as técnicas multivariadas que buscam arranjar as unidades amostrais em eixos, a partir da composição de espécies (JONGMAN *et al.*, 1987). A ordenação busca simplificar, condensar e representar sinteticamente vastos conjuntos de dados, na esperança que as inter-relações ecológicas se tornem mais claras e a interpretação dos dados seja facilitada (VALENTIN, 1995).

Para a ordenação das variáveis (espécies) e das unidades amostrais foi utilizado o mesmo conjunto de dados da análise de agrupamentos. Além dessa análise, foi realizada uma ordenação dos dados levantados em cada mancha de vegetação, na qual todo o conjunto de dados (inclusive as unidades amostrais e espécies consideradas *outliers*) foi utilizado. Nas duas análises os dados foram utilizados para a construção de matrizes de similaridade a partir do cálculo da covariância. Essa serviu de base para a análise de componentes principais (PCA), que foi realizada através da rotina COMPORD. A PCA estabelece, a partir da matriz de semelhança, um conjunto de eixos (componentes) perpendiculares. Cada eixo (componente) corresponde a um autovetor dessa matriz, sendo que o primeiro deles, sobre o qual serão ordenadas as amostras, representa a maior parte da variação dos dados (VALENTIN, 1995).

As rotinas TABLES e ORDINA foram utilizadas para a visualização dos dados na forma de tabelas estruturadas e gráficos bidimensionais, respectivamente.

A identificação das unidades e subunidades de vegetação foi baseada nos resultados da análise multivariada e do cálculo dos parâmetros fitossociológicos.

### 2.3.2. Avaliação do conteúdo de cobre em plantas

#### 2.3.2.1. Coleta e preparação de amostras

Foram analisadas quanto ao conteúdo de cobre nas folhas e raízes as espécies constantes (que apresentaram distribuição uniforme nas unidades de vegetação, de acordo com as diferentes formações vegetais) e *Schizachyrium microstachyum*, que ocorreu em manchas de vegetação herbácea e também na arbustiva-herbácea. As espécies constantes analisadas foram: *Axonopus affinis*, *Eugenia uniflora*, *Heterothalamus alienus*, *Saccharum angustifolium* e *Schinus lentiscifolius*. Foram coletadas folhas e raízes de cinco indivíduos de cada espécie em cada mancha de vegetação amostrada, em intervalos regulares, ao longo das transecções do levantamento fitossociológico. As coletas foram realizadas em outubro de 2000, janeiro, abril, setembro e outubro de 2001 e janeiro de 2002.

As folhas e raízes foram, separadamente, lavadas em água de torneira e após em banho de ultra-som, no aparelho *Branson Ultrasonic Cleaner*, duas vezes com água deionizada e duas vezes com água tridestilada, durante 15 min cada, para eliminar quaisquer partículas que pudessem contaminá-las. Essas foram acondicionadas em sacos de papel pardo e secas em estufa a 60°C por 48 h. Após a desidratação, as amostras foram homogeneizadas e foi retirada uma alíquota representativa para trituração em cadinho de porcelana. As amostras de todos os indivíduos foram misturadas, compondo uma amostra composta de folhas e uma amostra composta de raízes para cada espécie coletada em cada mancha. Foram analisadas três réplicas de cada amostra composta.

Para a preparação das amostras para a leitura foi utilizado o método de digestão total (adaptado de KOTZ *et al.*, 1972 *apud* PORTO, 1981). Foram pesados 0,5 g do material triturado em balança analítica, junto aos quais foi acrescentado 4% (2 ml) de ácido nítrico (HNO<sub>3</sub>) concentrado, 1% (1 ml) de ácido fluorídrico (HF) concentrado e 8% (4 ml) de água. O vaso digestor contendo a amostra e a solução ácida foi colocado em forno de microondas modelo CEM – MDS 2000 por 30 min. Após um tempo de espera de 15 min a solução foi

retirada e, ao esfriar, a mesma foi filtrada e seu volume elevado a 50 ml. Essa foi armazenada em frascos adequados para a leitura.

### 2.3.2.2 Determinação do conteúdo de cobre

A metodologia empregada para a determinação do conteúdo de cobre nas plantas foi a espectrofotometria de absorção atômica em chama. A leitura foi realizada em espectrofotômetro de absorção atômica modelo *Perkin Elmer* 3300. O limite de detecção desse aparelho para cobre é de 1,00 µg/g.

### 2.3.2.3. Estatística

Em relação a cada espécie, foram analisados separadamente os dados de folhas e raízes, para a verificação das diferenças significativas de valores de cobre em todos os locais de coleta. Para tanto, foi realizada uma análise da variância (teste de aleatorização), com o auxílio do *software* MULTIV versão 2.0.3 (PILLAR, 1997; PILLAR, 2001a). O teste de aleatorização é um tipo de teste de hipótese onde a probabilidade é gerada a partir da reamostragem dos próprios dados, considerando as condições estabelecidas na hipótese nula (MANLY, 1991). A medida de semelhança utilizada foi distância euclidiana.

### 2.3.3. Elaboração de mapas temáticos e geoprocessamento

Foram elaborados os mapas temáticos de uso e cobertura do solo e das unidades e subunidades de vegetação, em escala 1:25.000. Para a elaboração desses foram utilizados a carta topográfica do Ministério do Exército Brasileiro, escala 1:50.000, Folha SH-22-Y-A-IV-3 MI-2995/3 - Lavras do Sul (BRASIL, 1996a) e os fotogramas preto e branco FX-073 nº 5124 e 5125, escala 1:60.000, de 23-05-96 (BRASIL, 1996b; 1996c). O zoneamento foi baseado nos resultados da fotointerpretação com auxílio de estereoscopia e no reconhecimento em campo. Para o mapa das unidades e subunidades de vegetação foram considerados, também, os resultados da análise fitossociológica.

Os dados da fotointerpretação foram digitalizados com a utilização do *software* Carta Linx versão 1.2 (CLARK LABS, 1999). Esse mesmo *software* foi utilizado para calcular a

área e o perímetro de cada mancha. Foram também digitalizadas as ocorrências de 22 estruturas mineralizadas (filões) de cobre, ouro, cobre-ouro, sem reservas avaliadas ou não identificadas, com base no mapa do Manifesto de Mina nº 190/35 em escala 1:10.000 da Companhia Riograndense de Mineração (CRM). Esses dados foram sobrepostos ao mapa das unidades e subunidades de vegetação, para a verificação das relações entre a ocorrência dessas e dos filões. Os dados vetoriais digitalizados foram exportados para o *software* Arc View versão 3.2 (APPLEGATE, 1999) para a edição dos mapas temáticos e sobreposição de temas.

## 4. RESULTADOS

### 4.1. ESTUDO DA VEGETAÇÃO

#### 4.1.1. Suficiência amostral

Os gráficos de incremento de espécies pelo incremento de unidades amostrais das manchas de vegetação arbórea alta, arbustiva-herbácea alta, arbustiva-herbácea baixa e herbácea baixa aberta mostraram uma inflexão e estabilização da curva. Nas manchas de vegetação arbórea baixa, arbustiva-arbórea, herbácea alta e herbácea baixa densa a inflexão ocorreu, mas não houve uma estabilização tão clara com o incremento de unidades amostrais. Isso pode ser devido, no caso das duas primeiras, ao tamanho pequeno das manchas de vegetação amostradas. As manchas florestais na área são muito reduzidas, devendo assim ser considerada uma influência do efeito de borda das mesmas no levantamento dos dados. Para a avaliação da suficiência amostral nas manchas de vegetação herbácea, esses dados foram comparados com outros trabalhos já realizados. Vários autores citados em Mantovani; Martins (1990) empregaram 300 pontos (toques) na amostragem da vegetação.

O número total de toques\* para cada mancha de campo e de savana foi de 300, sendo que desses, ocorreram 299 toques na mancha HBA, 297 toques na mancha HA e 284 toques na mancha HBD. Na mancha AbHA ocorreram 219 toques e, na mancha AbHB, 158 toques. Assim, dos 1500 toques realizados, foram interceptados pela agulha 1257 indivíduos (ou “toques”) nas manchas de vegetação herbácea e herbácea-arbustiva. A diferença de toques se deu em função do solo descoberto (rocha, rejeito da mineração, fezes de animais, *etc.*).

Na manchas florestais ocorreram 249 indivíduos na AbA, 127 indivíduos na AA e 100 indivíduos na AB. Foram amostrados, ao todo, 476 indivíduos nas manchas de vegetação arbórea e arbustiva-arbórea.

---

\* No caso das manchas amostradas com o Método dos Pontos, considerou-se o número de toques e não necessariamente o número de indivíduos, já que, de acordo com o tamanho de determinados indivíduos e o tamanho das unidades amostrais e da distância entre os toques, um mesmo indivíduo poderia ser amostrado mais de uma vez.

#### 4.1.2. Composição florística

No levantamento fitossociológico ocorreram 106 espécies, distribuídas em 79 gêneros e 31 famílias. Os gêneros mais frequentes foram *Baccharis* L., com cinco espécies, *Celtis* L. e *Paspalum* Linn., com quatro espécies cada e *Axonopus* P. Beauv., *Eugenia* L., *Schinus* L. e *Xylosma* G. Forst., com três espécies cada. As famílias mais frequentes foram Poaceae (21 espécies), Asteraceae (18 espécies) e Myrtaceae (10 espécies). A figura 4 mostra a porcentagem de espécies por família que ocorreu na amostragem. As espécies encontradas estão listadas na tabela 1.

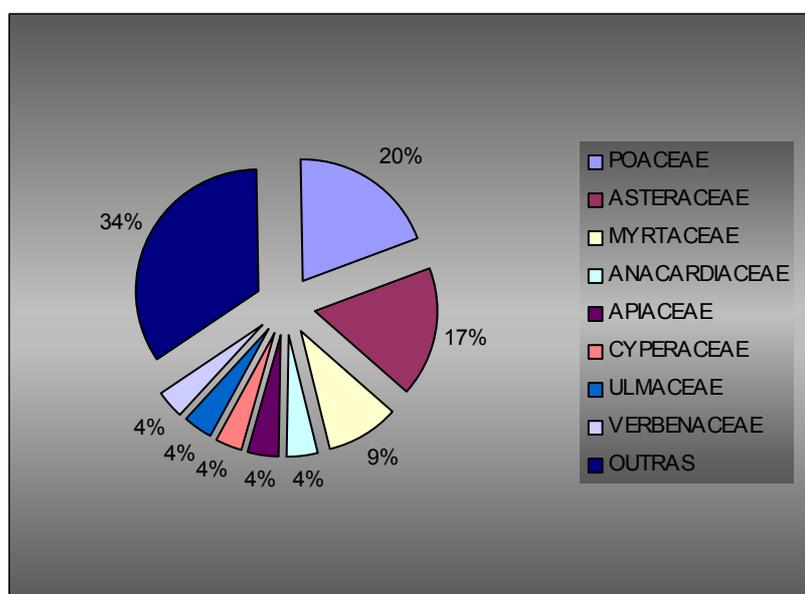


Figura 4: Porcentagem de espécies por família em levantamentos fitossociológicos de 2000 e 2001 na mina Volta Grande, Lavras do Sul, RS.

Tabela 1: Famílias, nomes científicos e populares das espécies ocorrentes nos levantamentos fitossociológicos de 2000 e 2001 na mina Volta Grande, Lavras do Sul, RS.

Família / Espécie	Nome Popular
<b>ANACARDIACEAE</b>	
<i>Lithraea brasiliensis</i> March.	aroeira-brava
<i>Schinus lentiscifolius</i> March.	aroeira-do-campo
<i>Schinus molle</i> Linn.	aroeira-salso
<i>Schinus polygamus</i> (Cav.) Cabrera	assobiadeira

Tabela 1: Famílias, nomes científicos e populares das espécies ocorrentes nos levantamentos fitossociológicos de 2000 e 2001 na mina Volta Grande, Lavras do Sul, RS (continuação).

<b>APIACEAE</b>	
<i>Apium leptophyllum</i> (Pers.) F. Muell. ex Benth.	aipo-chimarrão
<i>Centella asiatica</i> (L.) Urb.	cairuçu-asiático
<i>Eryngium horridum</i> Malme	caraguatá-hórrido
<i>Eryngium pristis</i> Cham. & Schlecht.	língua-de-tucano
<b>ASTERACEAE</b>	
<i>Achyrocline satureioides</i> DC.	macela
<i>Aspilia montevidensis</i> Kuntze	margaridinha-do-campo
<i>Baccharis articulata</i> Pers.	carquejinha
<i>Baccharis coridifolia</i> DC.	mio-mio
<i>Baccharis dracunculifolia</i> DC.	vassoura
<i>Baccharis ochracea</i> Spreng.	-
<i>Baccharis trimera</i> (Less.) DC.	carqueja
<i>Chevreulia sarmentosa</i> (Pers.) S.F. Blake	-
<i>Conyza blackei</i> Cabrera (Cabrera)	-
<i>Elephantopus mollis</i> H. B. & K.	suçaiá
<i>Gamochoaeta spicata</i> (Lam.) Cabrera	-
<i>Gochnatia polymorpha</i> (Less.) Cabrera	cambará
<i>Heterothalamus alienus</i> Kuntze	-
<i>Mikania cynanchifolia</i> (Baker) Hook., Arn.ex Baker & Malme	-
<i>Podocoma hieracifolia</i> Cass.	-
<i>Senecio brasiliensis</i> Less.	maria-mole
<i>Senecio heterotrichus</i> DC.	catião-melado
<i>Soliva pterosperma</i> (Juss.) Less.	roseta
<b>CARYOPHYLLACEAE</b>	
<i>Cerastium glomeratum</i> Thuill.	-
<b>CONVOLVULACEAE</b>	
<i>Dichondra sericea</i> Sw.	-
<b>CYPERACEAE</b>	
<i>Carex sororia</i> Kunth	-
<i>Eleocharis</i> cf. <i>sellowiana</i> Kunth	-
<i>Eleocharis</i> cf. <i>montevidensis</i> Kunth	-
<i>Rhynchospora luzuliformis</i> Boeck.	-
<b>ERYTHROXYLACEAE</b>	
<i>Erythroxylum deciduum</i> A. St. Hil.	cocão

Tabela 1: Famílias, nomes científicos e populares das espécies ocorrentes nos levantamentos fitossociológicos de 2000 e 2001 na mina Volta Grande, Lavras do Sul, RS (continuação).

EUPHORBIACEAE	
<i>Acalypha communis</i> Muell. Arg.	-
<i>Sebastiania</i> cf. <i>brasiliensis</i> Spreng.	leiterinho
<i>Sebastiania commersoniana</i> (Baillon) L. B. Smith & R. J. Downs	branquilha
FABACEAE	
<i>Centrosema virginianum</i> (L.) Benth.	-
<i>Desmodium incanum</i> DC.	pega-pega
<i>Trifolium polymorphum</i> Poir.	trevo
FLACOURTIACEAE	
<i>Xylosma</i> cf. <i>pseudosalzmanni</i> Sleum.	sucará
<i>Xylosma</i> cf. <i>schroederi</i>	-
<i>Xylosma prockia</i> (Turcz.) Turcz.	sapicuxava
HYPOXIDACEAE	
<i>Hypoxis decumbens</i> L.	-
IRIDACEAE	
<i>Alophia lahue</i> (Mol.) Espinosa	-
<i>Sisyrinchium minutiflorum</i> Klatt	-
JUNCACEAE	
<i>Juncus capillaceus</i> Lam.	cabelo-de-porco
<i>Juncus</i> cf. <i>microcephalus</i> H. B. & K.	junco-do-banhado
LAMIACEAE	
<i>Hyptis mutabilis</i> Briq.	sambacuité
LAURACEAE	
<i>Ocotea puberula</i> Nees	canela-guaicá
MIMOSACEAE	
<i>Mimosa ramulosa</i> Benth.	-
<i>Parapiptadenia rigida</i> (Benth.) Brenan	angico-branco
MYRSINACEAE	
<i>Myrsine coriacea</i> R. Br.	capororoquinha

Tabela 1: Famílias, nomes científicos e populares das espécies ocorrentes nos levantamentos fitossociológicos de 2000 e 2001 na mina Volta Grande, Lavras do Sul, RS (continuação).

<b>MYRTACEAE</b>	
<i>Acca sellowiana</i> (Berg) Burret	goiabeira-da-serra
<i>Blepharocalix salicifolius</i> (H. B. K.) Berg.	guamirim-murta
<i>Eugenia schuechiana</i> Berg.	guamirm-uvá
<i>Eugenia uniflora</i> Linn.	pitangueira
<i>Eugenia uruguayensis</i> Cambess.	guamirim
<i>Gomidesia palustris</i> (DC.) Kausel	guamirim
<i>Myrcia selloi</i> (Spreng.) N. J. E. Silveira	-
<i>Myrcianthes cisplatensis</i> Berg	murta
<i>Myrcianthes gigantea</i> (D. Legrand) D. Legrand	guamirim-araçá
<i>Myrrhinium artropurpureum</i> Schott	guamirim-pau-ferro
<b>POACEAE</b>	
<i>Aristida filifolia</i> (Arech.) Herter	barba-de-bode
<i>Aristida jubata</i> (Arech.) Herter	barba-de-bode
<i>Axonopus affinis</i> Chase	grama-tapete
<i>Axonopus compressus</i> Beauv.	-
<i>Axonopus siccus</i> Kuhl.	-
<i>Briza subaristata</i> Lam.	-
<i>Coelorhachis selloana</i> (Hackel) A. Camus	capim-rabo-de-lagarto
<i>Danthonia montevidensis</i> Hack. & Arechav.	-
<i>Paspalum notatum</i> Fluegge	grama-forquilha
<i>Paspalum paniculatum</i> Linn.	-
<i>Paspalum polyphyllum</i> Nees ex Trin	-
<i>Paspalum pumilum</i> Nees	-
<i>Piptochaetium stipoides</i> Hackel ex Arech.	flechilha
<i>Piptochaetium montevidense</i> Parodi	cabelo-de-porco
<i>Saccharum angustifolium</i> Trin.	macega-estaladeira
<i>Schizachyrium microstachyum</i> (Desv.) Roseng., B. R. Arril. & Izag.	rabo-de-burro
<i>Setaria parviflora</i> (Poir.) Kerguélen [ <i>Setaria geniculata</i> (Lam.) P. Beauv.]	capim-rabo-de-raposa
<i>Sporobolus indicus</i> R. Br.	capim-touceirinha
<i>Steinchisma hians</i> Nash [ <i>Panicum hians</i> Elliott]	pastinho-tenro
<i>Stipa filifolia</i> Nees	flechilha
<i>Stipa nutans</i> Hack	flechilha
<b>POLYGONACEAE</b>	
<i>Ruprechtia laxiflora</i> Meissn.	marmeleiro-do-mato
<b>RHAMNACEAE</b>	
<i>Discaria americana</i> Gill. & Hook.	brusca
<i>Scutia buxifolia</i> Reiss.	coronilha

Tabela 1: Famílias, nomes científicos e populares das espécies ocorrentes nos levantamentos fitossociológicos de 2000 e 2001 na mina Volta Grande, Lavras do Sul, RS (continuação).

ROSACEAE	
<i>Quillaja brasiliensis</i> Mart.	sabão-de-soldado
RUBIACEAE	
<i>Borreria fastigiata</i> K. Schum.	sauquito
<i>Guettarda uruguensis</i> Cham. et Schltl.	veludo
RUTACEAE	
<i>Zanthoxylum rhoifolium</i> Lam.	mamica-de-cadela
SANTALACEAE	
<i>Acanthosyris spinescens</i> Griseb.	sombra-de-touro
<i>Iodina rhombifolia</i> Hook. & Arn. ex Reissek	espinheira-santa
SAPINDACEAE	
<i>Allophylus edulis</i> Radlk. ex Warm.	chal-chal
<i>Cupania vernalis</i> Cambess.	camboatá-vermelho
<i>Matayba elaeagnoides</i> Radlk.	camboatá-branco
SAPOTACEAE	
<i>Pouteria salicifolia</i> Radlk.	sarandi-mata-olho
SMILACACEAE	
<i>Smilax campestris</i> Griseb.	salsaparilha
TILIACEAE	
<i>Luehea divaricata</i> Mart.	açoita-cavalo
ULMACEAE	
<i>Celtis iguanaeus</i> Sarg.	-
<i>Celtis selloviana</i> Miq.	-
<i>Celtis spinosa</i> Spreng.	-
<i>Celtis tala</i> Gil. ex Planch.	taleira
VERBENACEAE	
<i>Aloysia gratissima</i> (Gillies & Hook.) Tronc.	cidrô-silvestre
<i>Citharexylum montevidense</i> (Spreng.) Moldenke	tarumã-de-espinho
<i>Verbena thymoides</i> Cham.	-
<i>Vitex megapotamica</i> (Spreng.) Moldenke	tarumã-preto

#### 4.1.3. Fisionomia e estrutura

As manchas de vegetação arbórea e arbustiva-arbórea, em geral, são abertas, com muitas clareiras e trilhas. As florestas junto aos cursos d'água (arbórea alta – AA, figura 5)

são as mais altas, com indivíduos chegando a 20 metros ou mais (figura 14). Nessa mancha, porém, a maioria dos indivíduos possui uma altura de cerca de 10 metros. Também ocorre um estrato inferior de cerca de 0,2 metros, com muita serapilheira e algumas gramíneas. Ocorre um sub-bosque denso, com alturas entre 2,6 e 5 metros e um estrato superior de alturas entre 7,6 e 12,5 metros. As manchas AB (figura 6) e AbA (figura 7) apresentam um estrato inferior de até 0,2 metros e um estrato de cerca de 1 metro no qual predomina *Daphnopsis racemosa*. Na primeira, o maior número de indivíduos concentra-se em dois intervalos de altura: entre 2,6 e 5 metros e entre 7,6 e 10 metros, caracterizando dois estratos superiores distintos. Na mancha AbA o maior número de indivíduos possui alturas entre 2,6 a 5 metros, seguidos por um número razoável de indivíduos nos intervalos entre 5,1 e 7,5 e entre 7,6 e 10 metros. Nos estratos com alturas entre 2,6 a 5 metros ocorrem, principalmente, indivíduos de *Eugenia uniflora*, os quais freqüentemente apresentam hábito arbustivo. As espécies com indivíduos mais altos são, em geral, *Cupania vernalis*, *Luehea divaricata*, *Sebastiania commersoniana* e *Quillaja brasiliensis* na mancha AA, *Quillaja brasiliensis*, *Lithraea brasiliensis* e *Zanthoxylum rhoifolium* na mancha AB e *Celtis tala* e *Scutia buxifolia* na AbA. Junto às florestas ao longo dos cursos d'água ocorrem os “sarandizais” (figura 8), em faixas entre 5 e 10 metros entre estas e os arroios ou em “ilhas” no meio dos arroios. As espécies dominantes nessas formações são: *Pouteria salicifolia*, *Chusquea* sp., *Mimosa incana* e espécies de mirtáceas no estrato superior e espécies de gramíneas e ciperáceas no estrato inferior. Ocorre também, isoladamente ou em grupos, *Salix humboldtiana*. As manchas AB, denominadas de “capões” por Rambo (1994), ocorrem nos topos das coxilhas, isoladamente, em áreas muito pequenas. Nas encostas das coxilhas ocorrem as manchas AbA, que se diferenciam das anteriores por apresentarem um maior número de indivíduos jovens. A figura 22 mostra o número de indivíduos registrados em cada intervalo de altura nas manchas de vegetação arbórea e arbustiva-arbórea. Quanto ao perímetro do tronco na altura de 1,3 metros do solo (figura 15), é possível observar que o maior número de indivíduos com perímetros menores (entre 0,1 e 0,5 metros) ocorreu na mancha de vegetação arbustiva-arbórea (AbA).



Figura 5: Vista externa da mancha de vegetação herbácea baixa densa (HBD) e arbórea alta (AA), mina Volta Grande, Lavras do Sul, RS.



Figura 6: Vista interna da mancha de vegetação arbórea baixa (AB), mina Volta Grande, Lavras do Sul, RS.



Figura 7: Vista externa da mancha de vegetação herbácea baixa densa (HBD) e arbustiva-arbórea (AbA), mina Volta Grande, Lavras do Sul, RS.



Figura 8: Vista da vegetação ao longo do arroio (sarandizal), mina Volta Grande, Lavras do Sul, RS.

As manchas de vegetação arbustiva-herbácea ocorrem principalmente nos topos e encostas das coxilhas e apresentam dois estratos bem distintos. O estrato inferior (de até 1 metro de altura) é formado por gramíneas (*Axonopus affinis*, *Saccharum angustifolium*, *Schizachyrium microstachyum* e espécies de *Aristida*, *Briza*, *Paspalum*, *Piptochaetium* e *Stipa*), além de *Eryngium horridum*, asteráceas (*Senecio brasiliensis*, *Achyrocline satureioides* e espécies de *Baccharis*), fabáceas (*Trifolium polymorphum*, *Desmodium incanum*) e oxalidáceas (espécies de *Oxalis*). No estrato arbustivo encontramos, marcadamente, a presença de três espécies: *Schinus lentiscifolius*, *Heterothalamus alienus* e *Mimosa ramulosa*, com altura de até 3 metros. Os dois tipos de manchas de vegetação arbustiva-herbácea identificadas (arbustiva-herbácea alta – AbHA e arbustiva-herbácea baixa – AbHB) diferem principalmente quanto à densidade e altura dos indivíduos do estrato superior. A mancha AbHA (figura 9) mostra uma maior densidade e altura dos indivíduos arbustivos e a AbHB (figuras 10 e 11) os indivíduos arbustivos encontram-se muito mais afastados e com menores alturas. Na primeira, a maioria dos indivíduos do estrato superior possui até 3 metros e nas manchas AbHB o estrato superior fica em torno de 2 metros. A figura 16 mostra as médias de alturas em que os indivíduos foram interceptados pela agulha nas manchas de vegetação arbustiva-herbácea.



Figura 9: Vista da mancha de vegetação arbustiva-herbácea alta (AbHA), mina Volta Grande, Lavras do Sul, RS.



Figura 10: Vista externa da mancha de vegetação arbustiva-herbácea baixa (AbHB), mina Volta Grande, Lavras do Sul, RS.



Figura 11: Vista interna da mancha de vegetação arbustiva-herbácea baixa (AbHB), mina Volta Grande, Lavras do Sul, RS.

As manchas de vegetação herbácea alta (HA) ocorrem nas baixadas, em um ambiente muito úmido, sendo caracterizadas pela presença de gramíneas cespitosas (*Saccharum angustifolium*, *Schizachyrium microstachyum*), além de *Eryngium horridum*, *Baccharis trimera*, ciperáceas e juncáceas (figura 12). Existe uma alta densidade de indivíduos sendo que a maioria desses possui cerca de 1 metro de altura. Os mais altos chegam a 1,2 metros.

As manchas de vegetação herbácea baixa densa (HBD) estão localizadas nas encostas e nos topos das coxilhas (figuras 5 e 7). As mesmas apresentam um estrato formado principalmente por gramíneas cespitosas, com altura de cerca de 0,5 metros e cobertura menor em relação aos outros tipos de manchas de vegetação herbácea, já que se trata de um campo pedregoso, devido à presença da rocha aflorante. Por outro lado, as manchas de vegetação herbácea baixa aberta (HBA) possuem um alto grau de cobertura pela presença de um tapete de gramíneas, principalmente *Axonopus affinis* e *Paspalum* spp, além de algumas ciperáceas (figura 13). Sobre esse tapete, indivíduos de *Eryngium horridum*, *Baccharis trimera* e *B. coridifolia* formam conjuntos muito espaçados, com uma altura de cerca de 0,5 metros. Esses campos são encontrados em locais úmidos, nos topos das coxilhas e nas baixadas. A figura 17 mostra as médias de alturas em que os indivíduos foram interceptados pela agulha nas manchas de vegetação herbácea.



Figura 12: Vista interna da mancha de vegetação herbácea alta (HA), mina Volta Grande, Lavras do Sul, RS. Na esquerda, ao fundo, indivíduos de *Salix humboldtiana*.



Figura 13: Mancha de vegetação herbácea baixa aberta (HBA), mina Volta Grande, Lavras do Sul, RS.

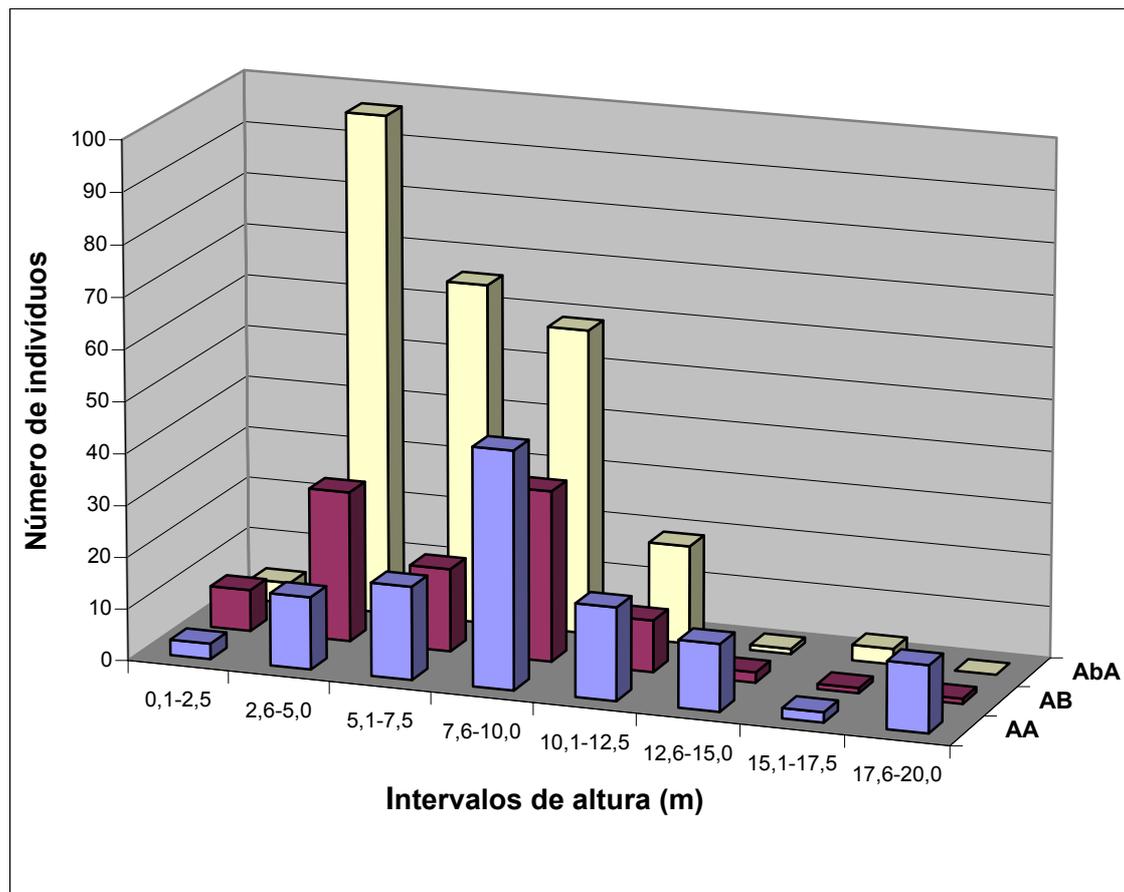


Figura 14: Número de indivíduos em cada intervalo de altura nas manchas de vegetação arbórea e arbustiva-arbórea (AA = arborea alta, AB = arborea baixa e AbA = arbustiva-arborea). Dados referentes aos levantamentos fitossociológicos de 2000 e 2001 na mina Volta Grande, Lavras do Sul, RS.

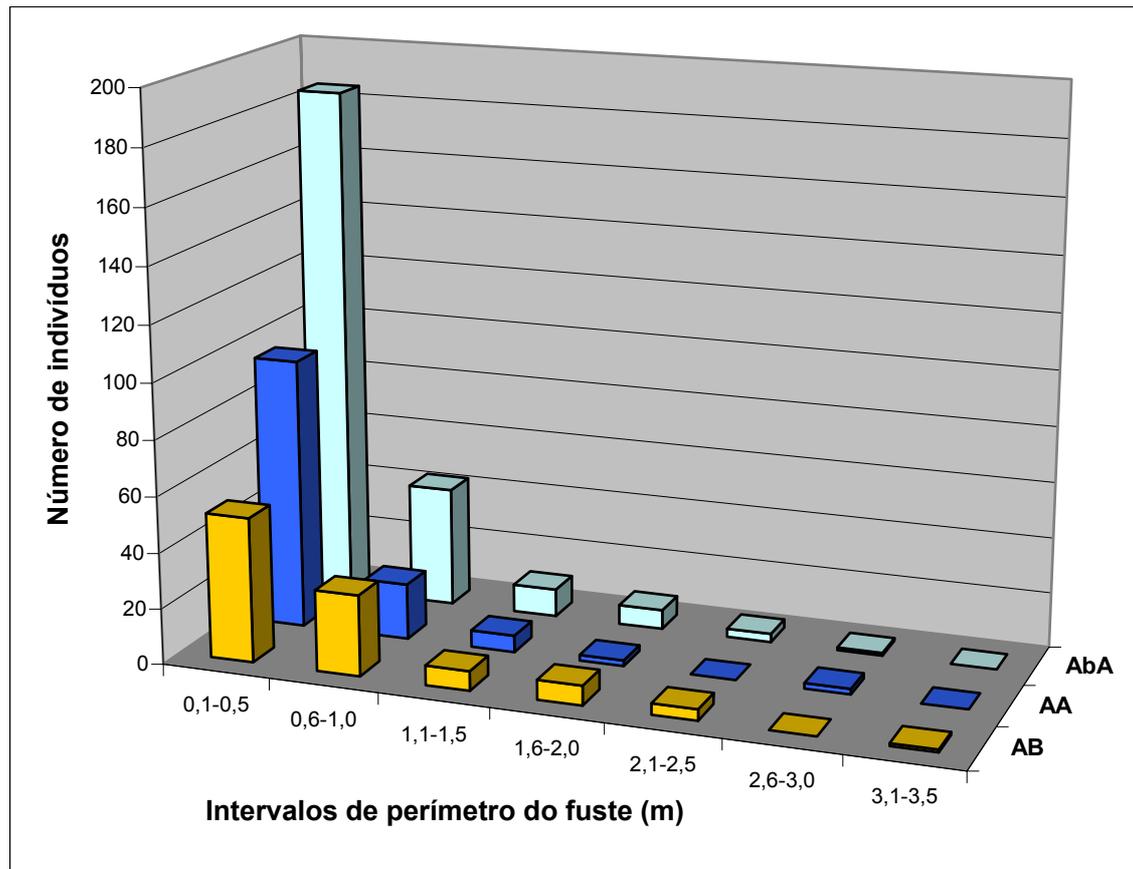


Figura 15: Número de indivíduos em cada intervalo de perímetro do fuste a 1,30 m da superfície do solo (PAP) nas manchas de vegetação arbórea e arbustiva-arbórea (AA = arbórea alta, AB = arbórea baixa e AbA = arbustiva-arbórea). Dados referentes aos levantamentos fitossociológicos de 2000 e 2001 na mina Volta Grande, Lavras do Sul, RS.

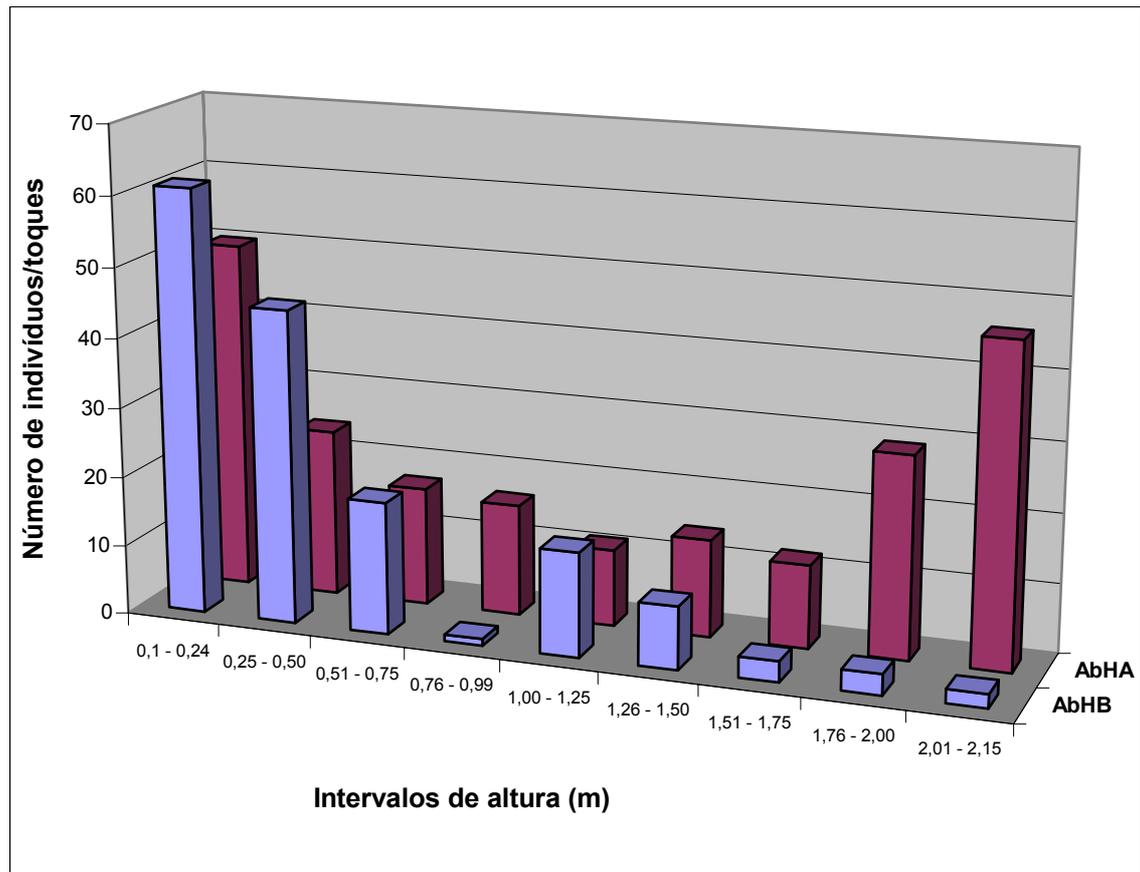


Figura 16: Número de indivíduos ou toques em cada intervalo de altura de interceptação da agulha nas manchas de vegetação arbustiva-herbácea (AbHA = arbustiva-herbácea alta e AbHB = arbustiva-herbácea baixa). Dados referentes aos levantamentos fitossociológicos de 2000 e 2001 na mina Volta Grande, Lavras do Sul, RS.

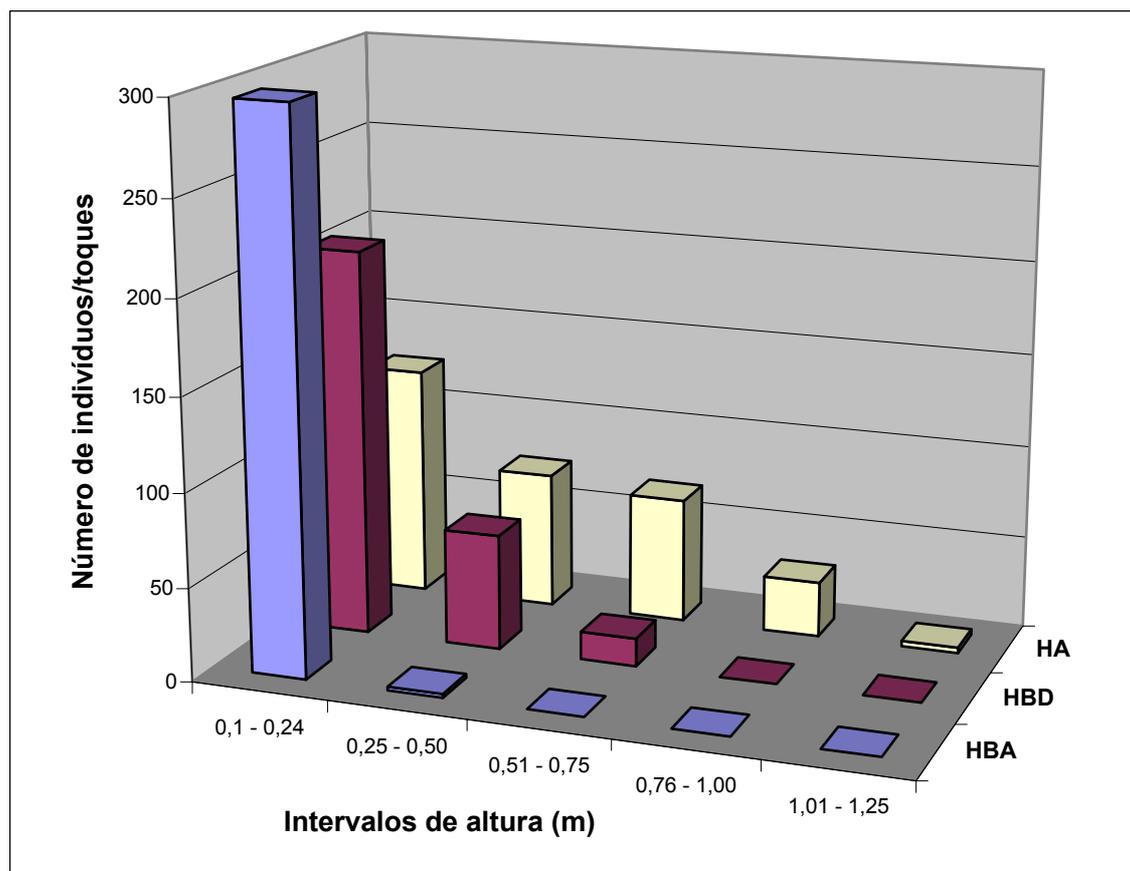


Figura 17: Número de indivíduos ou toques em cada intervalo de altura de interceptação da agulha nas manchas de vegetação herbácea (HBA = herbácea baixa aberta, HBD = herbácea baixa densa e HA = herbácea alta). Dados referentes aos levantamentos fitossociológicos de 2000 e 2001 na mina Volta Grande, Lavras do Sul, RS.

#### 4.1.4. Parâmetros fitossociológicos

Os parâmetros fitossociológicos calculados estão resumidos nas tabelas 2, 3 e 4. Na tabela 2 estão as espécies das manchas de vegetação arbórea e arbustiva-arbórea, listadas em ordem decrescente de índice de valor de importância (IVI). As espécies com os maiores índices de valor de importância, frequência relativa (FR) e densidade relativa (DR) foram *Eugenia uniflora* (17,97% do IVI total), *Scutia buxifolia* (17,35% do IVI total) e *Allophylus edulis* (6,60% do IVI total). Os maiores valores de dominância relativa (DoR) foram de *Eugenia uniflora*, *Scutia buxifolia* e *Lithraea brasiliensis*. As tabelas 3 e 4 mostram as espécies das manchas de vegetação arbustiva-herbácea e herbácea, respectivamente, ordenadas por valores decrescentes de índice de valor de importância (IVI). Nas manchas de vegetação arbustiva-herbácea, as espécies com os maiores valores de índice de valor de

importância, densidade relativa (DR) e frequência relativa (FR) foram *Schinus lentiscifolius* (14,38% do IVI total), *Heterothalamus alienus* (12,25% do IVI total) e *Baccharis trimera* (9,86% do IVI total). As espécies com os maiores valores de índice de valor de importância (IVI) e frequência relativa (FR) nas manchas de vegetação herbácea foram obtidos por *Eryngium horridum* (21,91% do IVI total), *Saccharum angustifolium* (16% do IVI total) e *Juncus capillaceus* (7,04% do IVI total). Os maiores valores de densidade relativa (DR) nas manchas de vegetação herbácea foram *Eryngium horridum* (28,41%), *Saccharum angustifolium* (21,25%) e *Axonopus affinis* (7,39%).

Tabela 2: Parâmetros fitossociológicos calculados para as espécies ocorrentes nas manchas de vegetação arbórea e arbustiva-arbórea nos levantamentos fitossociológicos de 2000 e 2001 na mina Volta Grande, Lavras do Sul, RS. Espécies ordenadas por valores decrescentes de índice de valor de importância (IVI = índice de valor de importância, FA = frequência absoluta, FR = frequência relativa, DR = densidade relativa, AB = área basal e DoR = dominância relativa).

ESPÉCIE	IVI	FAi (%)	FRi (%)	DRi (%)	ABi (m <sup>2</sup> )	DoRi (%)
<i>Eugenia uniflora</i>	53,93	80,00	<b>11,27</b>	<b>19,54</b>	4,77	<b>23,12</b>
<i>Scutia buxifolia</i>	52,04	86,67	<b>12,21</b>	<b>15,76</b>	4,96	<b>24,07</b>
<i>Allophylus edulis</i>	19,80	50,00	<b>7,04</b>	<b>9,24</b>	0,73	3,52
<i>Lithraea brasiliensis</i>	15,56	23,33	3,29	5,46	1,40	<b>6,81</b>
<i>Quillaia brasiliensis</i>	15,41	36,67	5,16	3,78	1,33	6,47
<i>Blepharocalix salicifolius</i>	13,22	30,00	4,23	4,83	0,86	4,16
<i>Ocotea puberula</i>	13,16	36,67	5,16	3,15	0,99	4,84
<i>Cupania vernalis</i>	12,56	33,33	4,69	6,09	0,37	1,78
<i>Luehea divaricata</i>	12,28	23,33	3,29	2,52	1,33	6,47
<i>Matayba elaeagnoides</i>	9,36	30,00	4,23	3,99	0,24	1,14
<i>Eugenia schuechiana</i>	8,43	23,33	3,29	2,94	0,45	2,20
<i>Sebastiania commersoniana</i>	7,63	26,67	3,76	2,94	0,19	0,93
<i>Celtis tala</i>	5,98	13,33	1,88	1,47	0,54	2,63
<i>Citharexylum montevidense</i>	5,93	13,33	1,88	1,05	0,62	3,004
<i>Zanthoxylum rhoifolium</i>	5,74	23,33	3,29	2,10	0,07	0,35
<i>Celtis spinosa</i>	5,03	16,67	2,35	1,05	0,34	1,63
<i>Myrsine coriacea</i>	4,50	16,67	2,35	1,26	0,18	0,89
<i>Celtis sellowiana</i>	4,23	10,00	1,41	1,89	0,19	0,93
<i>Myrrhinium artropurpureum</i>	2,96	13,33	1,88	0,84	0,05	0,24
<i>Schinus polygamus</i>	2,94	13,33	1,88	0,84	0,04	0,22
<i>Iodina rhombifolia</i>	2,88	10,00	1,41	1,05	0,09	0,42
<i>Myrcianthes gigantha</i>	2,73	13,33	1,88	0,84	0,003	0,01

Tabela 2: Parâmetros fitossociológicos calculados para as espécies ocorrentes nas manchas de vegetação arbórea e arbustiva-arbórea nos levantamentos fitossociológicos de 2000 e 2001 na mina Volta Grande, Lavras do Sul, RS. Espécies ordenadas por valores decrescentes de índice de valor de importância (IVI = índice de valor de importância, FA = frequência absoluta, FR = frequência relativa, DR = densidade relativa, AB = área basal e DoR = dominância relativa), (continuação).

<i>Gochnatia polymorpha</i>	2,58	10,00	1,41	0,84	0,07	0,33
<i>Gomidesia palustris</i>	2,55	3,33	0,47	0,84	0,25	1,24
<i>Xylosma prockia</i>	1,72	6,67	0,94	0,63	0,03	0,15
<i>Parapiptadenia rigida</i>	1,69	6,67	0,94	0,63	0,02	0,12
<i>Myrcianthes cisplatensis</i>	1,58	3,33	0,47	0,63	0,01	0,48
<i>Vitex megapotamica</i>	1,42	6,67	0,94	0,42	0,01	0,06
<i>Acanthosyris spinescens</i>	1,40	6,67	0,94	0,42	0,007	0,04
<i>Guettarda uruguayensis</i>	1,20	3,33	0,47	0,21	0,11	0,52
<i>Xylosma cf. pseudosalmani</i>	1,10	3,33	0,47	0,42	0,04	0,21
<i>Aloysia gratissima</i>	1,10	3,33	0,47	0,21	0,09	0,42
<i>Sebastiania cf. brasiliensis</i>	0,89	3,33	0,47	0,21	0,04	0,21
<i>Erithroxylum decidum</i>	0,78	3,33	0,47	0,21	0,02	0,10
<i>Pouteria salicifolia</i>	0,75	3,33	0,47	0,21	0,01	0,07
<i>Ruprechtia laxiflora</i>	0,74	3,33	0,47	0,21	0,01	0,06
<i>Schinus molle</i>	0,72	3,33	0,47	0,21	0,009	0,04
<i>Acca sellowiana</i>	0,71	3,33	0,47	0,21	0,005	0,03
<i>Myrcia selloi</i>	0,70	3,33	0,47	0,21	0,004	0,02
<i>Celtis iguanea</i>	0,69	3,33	0,47	0,21	0,003	0,01
<i>Eugenia uruguayensis</i>	0,69	3,33	0,47	0,21	0,003	0,01
<i>Xylosma cf. schroederi</i>	0,69	3,33	0,47	0,21	0,002	0,01

Tabela 3: Parâmetros fitossociológicos calculados para as espécies ocorrentes nas manchas de vegetação arbustiva-herbácea nos levantamentos fitossociológicos de 2000 e 2001 na mina Volta Grande, Lavras do Sul, RS. Espécies ordenadas por valores decrescentes de índice de valor de importância (IVI = índice de valor de importância, FA = frequência absoluta, FR = frequência relativa, DR = densidade relativa).

ESPÉCIE	IVI	DRi (%)	FAi (%)	FRi (%)
<i>Schinus lentiscifolius</i>	28,74	<b>18,04</b>	66,67	<b>10,70</b>
<i>Heterothalamus alienus</i>	24,48	<b>14,85</b>	60,00	<b>9,63</b>
<i>Baccharis trimera</i>	19,71	<b>9,55</b>	63,33	<b>10,16</b>
<i>Saccharum angustifolium</i>	18,11	9,02	56,67	9,09
<i>Hyptis mutabilis</i>	12,51	7,16	33,33	5,35
<i>Eryngium horridum</i>	11,72	5,30	40,00	6,42
<i>Piptochaetium montevidense</i>	10,39	5,04	33,33	5,35
<i>Mimosa ramulosa</i>	6,65	4,51	13,33	2,14
<i>Baccharis coridifolia</i>	11,19	4,24	43,33	6,95
<i>Schizachyrium microstachyum</i>	8,52	3,71	30,00	4,81
<i>Paspalum notatum</i>	6,66	2,92	23,33	3,74
<i>Baccharis articulata</i>	6,39	2,65	23,33	3,74
<i>Paspalum paniculatum</i>	3,73	1,59	13,33	2,14
<i>Ocotea puberula</i>	1,86	1,33	3,33	0,53
<i>Briza subaristata</i>	3,20	1,06	13,33	2,14
<i>Senecio brasiliensis</i>	3,20	1,06	13,33	2,14
<i>Smilax campestris</i>	3,20	1,06	13,33	2,14
<i>Aristida filifolia</i>	2,40	0,80	10,00	1,60
<i>Baccharis dracunculifolia</i>	2,40	0,80	10,00	1,60
<i>Piptochaetium stipoides</i>	1,87	0,80	6,67	1,07
<i>Axonopus compressus</i>	1,06	0,53	3,33	0,53
<i>Conyza blackei</i>	1,60	0,53	6,67	1,07
<i>Mikania cynanchifolia</i>	1,60	0,53	6,67	1,07
<i>Stipa filifolia</i>	1,60	0,53	6,67	1,07
<i>Acalypha communis</i>	0,79	0,26	3,33	0,53
<i>Aspilia montevidensis</i>	0,79	0,26	3,33	0,53
<i>Borreria fastigiata</i>	0,79	0,26	3,33	0,53
<i>Carex sororia</i>	0,79	0,26	3,33	0,53
<i>Desmodium incanum</i>	0,79	0,26	3,33	0,53
<i>Discaria americana</i>	0,79	0,26	3,33	0,53
<i>Elephantopus mollis</i>	0,79	0,26	3,33	0,53
<i>Gomidesia palustris</i>	0,79	0,26	3,33	0,53
<i>Stipa nutans</i>	0,79	0,26	3,33	0,53

Tabela 4: Parâmetros fitossociológicos calculados para as espécies ocorrentes nas manchas de vegetação herbácea nos levantamentos fitossociológicos de 2000 e 2001 na mina Volta Grande, Lavras do Sul, RS. Espécies ordenadas por valores decrescentes de índice de valor de importância (IVI = índice de valor de importância, FA = frequência absoluta, FR = frequência relativa, DR = densidade relativa)

ESPÉCIE	IVI	DRi (%)	FAi (%)	FRi (%)
<i>Eryngium horridum</i>	43,82	<b>28,41</b>	95,55	<b>15,41</b>
<i>Saccharum angustifolium</i>	32,00	<b>21,25</b>	66,67	<b>10,75</b>
<i>Juncus capillaceus</i>	14,08	7,27	42,22	<b>6,81</b>
<i>Axonopus affinis</i>	12,77	<b>7,39</b>	33,33	5,38
<i>Schizachyrium microstachyum</i>	11,52	5,79	35,55	5,73
<i>Rhynchospora luzuliformis</i>	10,04	4,66	33,33	5,38
<i>Baccharis coridifolia</i>	8,52	3,86	28,89	4,66
<i>Paspalum notatum</i>	7,65	2,27	33,33	5,38
<i>Baccharis trimera</i>	5,97	2,39	22,22	3,58
<i>Paspalum pumilum</i>	4,46	1,59	17,78	2,87
<i>Aristida filifolia</i>	3,76	1,25	15,55	2,51
<i>Senecio brasiliensis</i>	3,36	1,93	8,89	1,43
<i>Axonopus compressus</i>	2,94	0,79	13,33	2,15
<i>Trifolium polymorphum</i>	2,83	0,68	13,33	2,15
<i>Hyptis mutabilis</i>	2,57	1,14	8,89	1,43
<i>Piptochaetium montevidense</i>	2,47	0,68	11,11	1,79
<i>Steinchisma hians</i>	2,36	0,57	11,11	1,79
<i>Baccharis articulata</i>	2,00	0,57	8,89	1,43
<i>Stipa filifolia</i>	2,00	0,57	8,89	1,43
<i>Eryngium pritis</i>	1,99	0,91	6,67	1,08
<i>Axonopus siccus</i>	1,53	0,45	6,67	1,08
<i>Setaria parviflora</i>	1,53	0,45	6,67	1,08
<i>Centrosema virginianum</i>	1,42	0,34	6,67	1,08
<i>Chevreulia sarmentosa</i>	1,42	0,34	6,67	1,08
<i>Juncus cf. microcephalus</i>	1,42	0,34	6,67	1,08
<i>Coelorhachis selloana</i>	1,06	0,34	4,44	0,72
<i>Alophia lahue</i>	0,95	0,23	4,44	0,72
<i>Briza subaristata</i>	0,95	0,23	4,44	0,72
<i>Centella asiatica</i>	0,95	0,23	4,44	0,72
<i>Conyza blakei</i>	0,95	0,23	4,44	0,72
<i>Dichondra sericea</i>	0,95	0,23	4,44	0,72
<i>Sporobolus indicus</i>	0,95	0,23	4,44	0,72
<i>Paspalum polyphyllum</i>	0,70	0,34	2,22	0,36
<i>Desmodium incanum</i>	0,59	0,23	2,22	0,36
<i>Achyrocline satureoides</i>	0,47	0,11	2,22	0,36
<i>Apium leptophyllum</i>	0,47	0,11	2,22	0,36

Tabela 4: Parâmetros fitossociológicos calculados para as espécies ocorrentes nas manchas de vegetação herbácea nos levantamentos fitossociológicos de 2000 e 2001 na mina Volta Grande, Lavras do Sul, RS. Espécies ordenadas por valores decrescentes de índice de valor de importância (IVI = índice de valor de importância, FA = frequência absoluta, FR = frequência relativa, DR = densidade relativa), (continuação).

<i>Baccharis dracunculifolia</i>	0,47	0,11	2,22	0,36
<i>Baccharis ochracea</i>	0,47	0,11	2,22	0,36
<i>Cerastium glomeratum</i>	0,47	0,11	2,22	0,36
<i>Danthonia montevidensis</i>	0,47	0,11	2,22	0,36
<i>Discaria americana</i>	0,47	0,11	2,22	0,36
<i>Eleocharis cf. sellowiana</i>	0,47	0,11	2,22	0,36
<i>Eleocharis cf. montevidensis</i>	0,47	0,11	2,22	0,36
<i>Gamochaeta spicata</i>	0,47	0,11	2,22	0,36
<i>Hypoxis decumbens</i>	0,47	0,11	2,22	0,36
<i>Podocoma hieracifolia</i>	0,47	0,11	2,22	0,36
<i>Senecio heterotrichus</i>	0,47	0,11	2,22	0,36
<i>Sisyrinchium minutiflorum</i>	0,47	0,11	2,22	0,36
<i>Soliva pterosperma</i>	0,47	0,11	2,22	0,36
<i>Verbena thymoides</i>	0,47	0,11	2,22	0,36

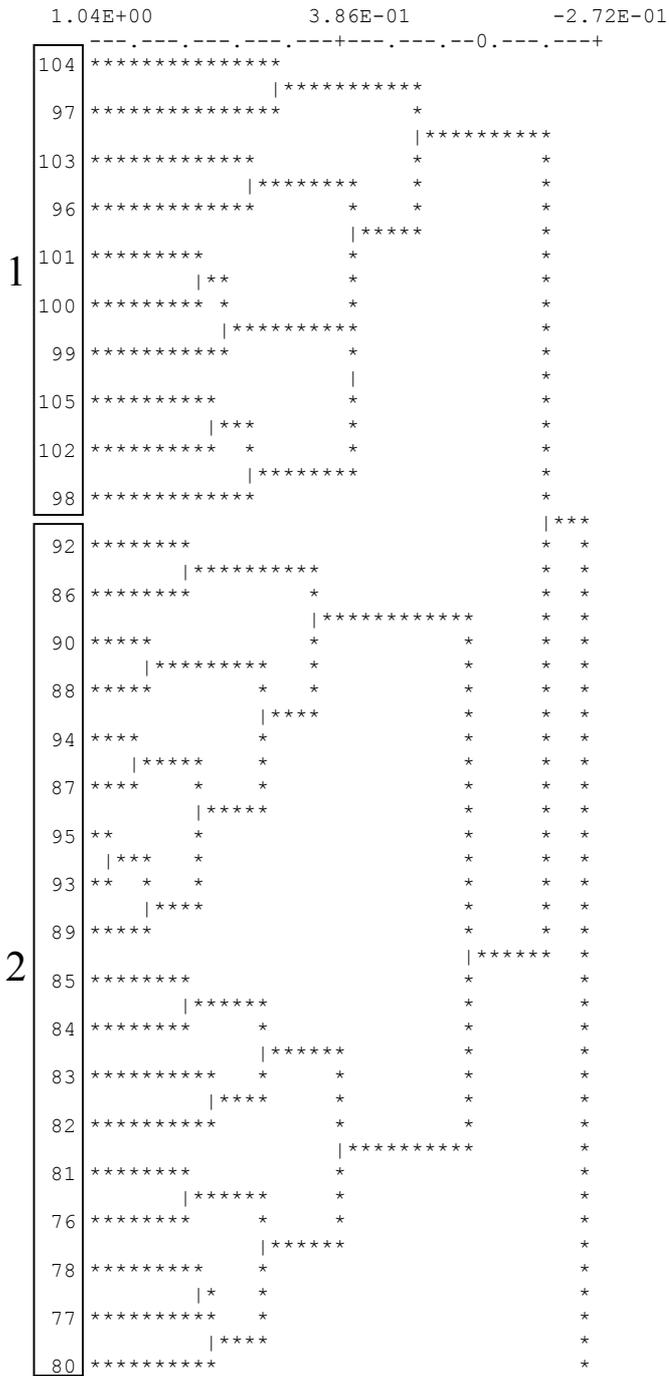
#### 4.1.5. Análise multivariada

##### 4.1.5.1. Análise de *outliers*

A partir dos resultados da análise de *outliers*, foram retiradas as unidades amostrais 79 (mancha de vegetação HBD) e 91 (mancha de vegetação AbHB), pois apresentaram uma similaridade menor do que 0,4.

##### 4.1.5.2. Análise de agrupamentos

Os resultados da análise de agrupamentos (*Cluster Analysis*) indicaram a presença de cinco grupos de unidades amostrais (figura 18). Os grupos 1 e 2 reuniram as unidades amostrais das manchas de vegetação arbórea e arbustiva-arbórea, o grupo 3 reuniu unidades amostrais das manchas de vegetação arbustiva-herbácea, o grupo 4 reuniu unidades amostrais



```

59 ***** |*
      |***** *
52 ***** * *
      |***** *
67 ***** * * *
      |***** * *
56 ***** * * *
      |***** * *
71 ***** * * *
      |***** * *
70 ***** * * *
      |***** * *
73 ***** * *
      |***** *
69 ***** * * *
      |***** * * *
60 ***** * * *
      |***** * * *
54 ***** * * *
      |***** * * *
74 ***** * * *
      |***** * * *
68 ***** * * *
      |***** * * *
64 ***** * * *
      |***** * * *
65 ***** * * *
      |*** * *
63 ***** * * *
      |***** * *
66 ***** * * *
      |** * *
75 ***** * * *
      |***** * *
72 ***** * * *
      |***** * *
62 ***** * *
      |* * *
61 ***** * *
      |***
30 ***** *
      |***** *
23 ***** * *
      |***** *
25 ***** * * *
      |** * *
21 ***** * *
      |*****
19 ***** *

```

3

4

5

```

7 *** |
  |**
4 *** *
  |*
6 *****
  |*****
3 ***** *
  |*****
57 ***** *
  |**
55 *****
  |**
33 ***** *
  |*****
31 ***** *
  |*****
47 ***** *
  |*****
34 *****
  |*****
13 **** *
  |*****
9 **** *
  |*****
14 ***** *
  |** *
1 ***** *
  |***
12 *****
  |****
32 **** *
  |***
2 **** *
  |**
8 ***** *
  |****
11 ***** *
  |*****
15 ***** *
  |***
5 *****
  |**
43 *****
  |*****
35 ***** *
  |**
45 ***** *
  |*
42 ***** *
  |*****
44 ***** *
  |****
41 *****
  |****
39 *****
  |*****
37 ***** *
  |**
38 ***** *
  |*****
36 ***** *
  |****
40 *****
  |****
58 *****
  |*****
53 ***** *
  |*****
48 ***** *
  |****
46 ***** *
  |*****
51 ***** *
  |*****
50 *****
  |*

```

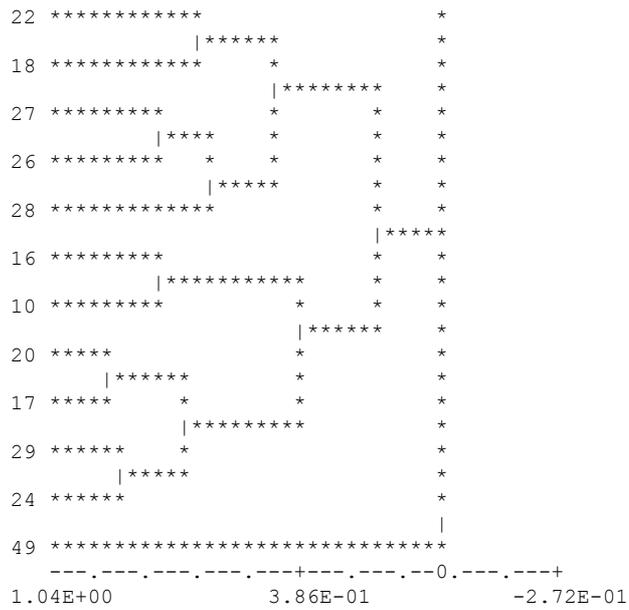


Figura 18: Dendrograma obtido a partir da análise de agrupamento de unidades amostrais (nos retângulos, a delimitação dos grupos 1 a 5). Dados coletados em 2000 e 2001 na mina Volta Grande, Lavras do Sul, RS.

apenas da mancha de vegetação herbácea baixa aberta. O grupo 5 reuniu unidades amostrais das manchas AbHB, HA, HBD e HBA, provavelmente pela similaridade florística entre as manchas de vegetação herbácea e o estrato inferior das manchas de vegetação arbustiva-herbácea.

A análise de agrupamento de espécies resultou no dendrograma da figura 19, no qual foram reconhecidos cinco grupos. No grupo 1 foram reunidas as espécies arbóreas e no grupo 4 foram reunidas as espécies mais representativas das manchas de vegetação arbustiva-herbácea. No 3 foram agrupadas as espécies da mancha HBA e nos grupos 2 e 5 foram agrupadas as espécies das demais manchas de vegetação herbácea.

Os grupos de unidades amostrais e os grupos de espécies foram rearranjados de forma a compor uma tabela (quadro) estruturada dos dados (figura 20), para facilitar o reconhecimento das unidades e subunidades de vegetação. As espécies constantes e as espécies diferenciais (diagnóstico) de grupo são as seguintes: *Allophylus edulis*, *Cupania vernalis*, *Scutia buxifolia*, *Eugenia uniflora*, *Eryngium horridum*, *Saccharum angustifolium*, *Paspalum pumilum*, *Axonopus affinis*, *Heterothalamus alienus*, *Schinus lentiscifolius* e *Piptochaetium montevidense*.

#### 4.1.5.3. Análise de concentração

A análise de concentração serviu para verificar as associações entre os grupos de unidades amostrais e os grupos de espécies. O qui-quadrado calculado ( $\chi^2 = 1012,165$ ) foi bem maior que o qui-quadrado tabelado ( $\chi^2_{0,05;16} = 26,3$ ), revelando uma forte estrutura de grupo ( $p = 0,05$ ). O valor do coeficiente de contingência baseado no quadrado médio obtido (C) foi de 0,417; o que indica a existência de uma boa estrutura de grupo (Wildi; Orlóci, 1996).

Foram geradas na análise três variáveis canônicas, que explicaram, respectivamente, 59,97%; 29,28% e 10,75% da variação total da informação. Foram utilizadas as duas primeiras variáveis canônicas como eixos de ordenação para a construção do diagrama de dispersão dos grupos de unidades amostrais e grupos de espécies (figura 21). No eixo I (horizontal), os grupos foram ordenados de acordo com sua similaridade florística, isolando, na direita, os grupos relacionados às manchas de vegetação arbórea e arbustiva-arbórea (florestas). No lado oposto, estão representados os grupos relacionados às manchas de vegetação arbustiva-herbácea (savanas) e herbácea (campos), que possuem grande

		8.98E-01	1.58E-01	-5.82E-01
		-----0-----		
1	63	Zant rhoi	*****	
			*****	
	50	Schi poly	*****	*
			*****	
	47	Quil bras	*****	*
			*****	*
	2	Allo edul	*****	*
			*****	*
	40	Myrs cori	*****	*
			*****	*
	13	Celt sell	*****	*
			**	
	27	Goch poly	*****	**
			*****	**
	11	Blep sali	*****	**
			*****	*
	62	Xylo proc	*****	*
			*****	*
	39	Myrr artr	*****	*
		*****	*	
30	Iodi rhom	*****	*	
		*****		
35	Mata elae	*****	*	
		*****	*	
33	Lith bras	*****	*	
		*****	*	
61	Vite mega	*****	*	
		*****	*	
14	Celt spin	*****	*	
			*	
42	Para rigi	*****	*	
		*****	*	
38	Myrc giga	*****	*	
		*****	*	
34	Lueh diva	*****	**	
		*****	**	
21	Cupa vern	*****	**	
		*****	**	
53	Seba comm	*****	**	
		*****	**	
25	Euge schu	*****	**	
		***	**	
41	Ocot pube	*****	**	
		*	*	
18	Cith mont	*****	*	
		*****	*	
15	Celt tala	*****	*	
		*****	*	
52	Scut buxi	**	*	
		*****	*	
26	Euge unif	**	*	
		*****	*	
1	Acan spin	*****	*	
		*	*	
2	29	Hypt muta	*****	*
			*****	*
	12	Briz suba	*****	*
			*****	*
	23	Eryn horr	*****	*
			*****	*
	22	Sacc angu	*****	*
			*	*
	51	Schi micr	*****	**
			*****	*
3	Aris fili	*****	*	
		*****	*	
16	Cent virg	*****	*	

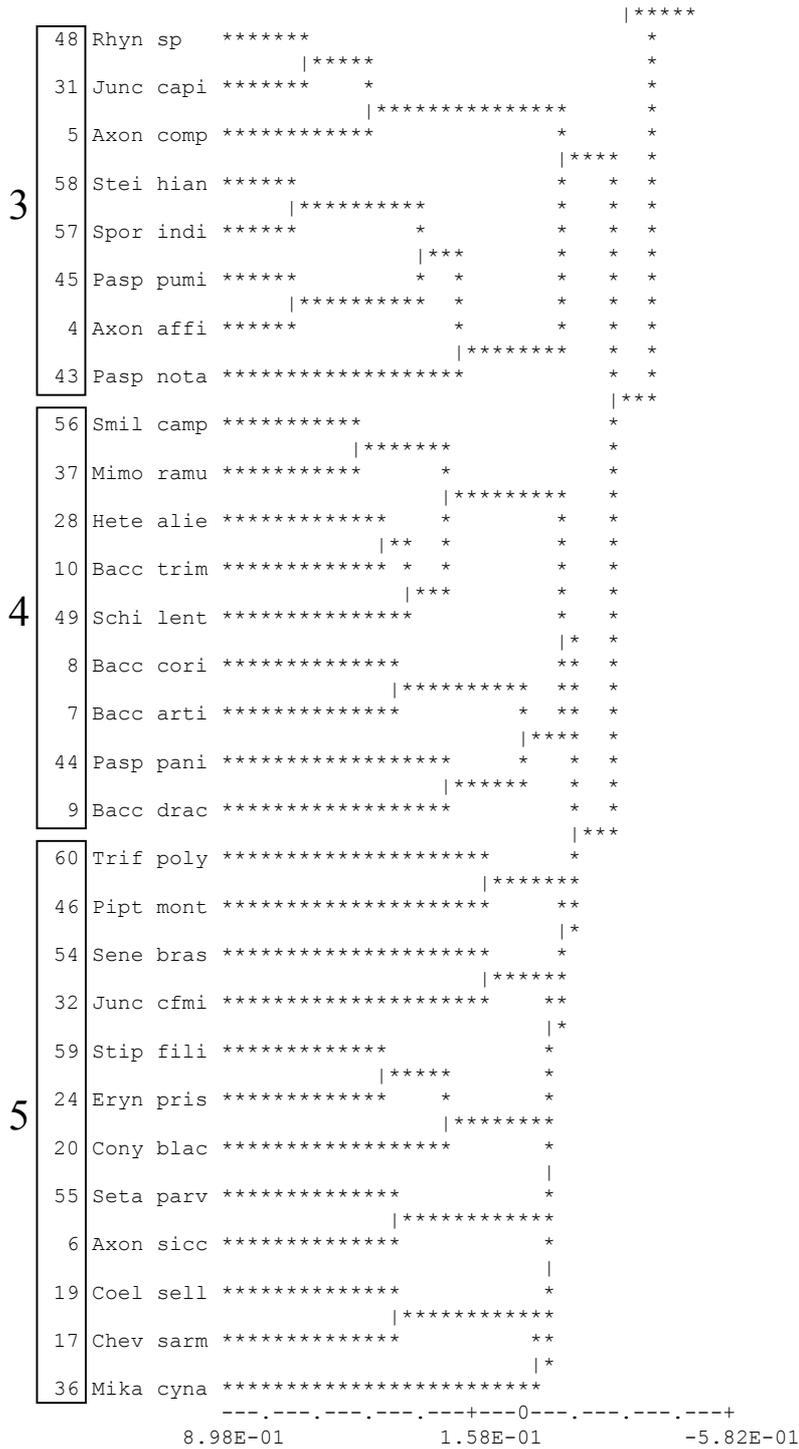


Figura 19: Dendrograma obtido a partir da análise de agrupamento de espécies (nos retângulos, a delimitação dos grupos 1 a 5). Dados coletados em 2000 e 2001 na mina Volta Grande, Lavras do Sul, RS.





similaridade florística entre si e quase nenhuma similaridade florística com as anteriores. O eixo II parece estar ordenando os grupos de acordo com maiores declividades (nos quadrantes superiores) e áreas de menores declividades (nos quadrantes inferiores).



Figura 21: Diagrama de dispersão de grupos de unidades amostrais (F) e grupos de espécies (S) obtido pela análise de concentração. Dados coletados em 2000 e 2001 na mina Volta Grande, Lavras do Sul, RS.

A correspondência entre os grupos de unidades amostrais e os grupos de espécies observada na tabela estruturada (figura 20) pode ser verificada no diagrama de dispersão (figura 21). O grupo 3 de unidades amostrais está relacionado com o grupo 4 de espécies e o grupo 4 de unidades amostrais está relacionado com o grupo 3 de espécies. O grupo 5 de unidades amostrais está relacionado com o grupo 2 de espécies e o grupo 5 de espécies, apesar de estar um pouco mais afastado, está relacionado com esses últimos. Da mesma forma, os

grupos 1 e 2 de unidades amostrais estão relacionados com o grupo 1 de espécies. O resultado completo da análise de concentração encontra-se no anexo A.

Os resultados dessa análise, do cálculo dos parâmetros fitossociológicos e das experiências de campo foram utilizados para a definição das unidades e subunidades de vegetação na área de estudo. As espécies constantes (que apresentaram distribuição uniforme nas diferentes manchas de vegetação) e de maiores índices de valor de importância foram utilizadas para definir as unidades de vegetação. As espécies diferenciais ou diagnóstico de grupo, de ocorrência restrita ou preferencial a um tipo de mancha de vegetação, serviram para a definição das subunidades de vegetação.

Assim, foram reconhecidas as seguintes unidades e subunidades de vegetação: unidade de vegetação *Eugenia uniflora* – *Scutia buxifolia*, com subunidades *Eugenia uniflora* – *Cupania vernalis* e *Eugenia uniflora* – *Allophylus edulis*; unidade de vegetação *Schinus molle* – *Heterothalamus alienus*; unidade de vegetação *Eryngium horridum* – *Saccharum angustifolium*, com subunidade *Eryngium horridum* – *Piptochaetium montevidense* e unidade de vegetação *Axonopus affinis* – *Paspalum pumilum*.

#### 4.1.5.4. Análise de componentes principais

Com os resultados da análise de componentes principais (PCA) foram ordenadas, primeiramente, todas as unidades amostrais. Valentin (1995) considera que, geralmente, se interpretam os dois primeiros eixos, aumentando muito a dificuldade de compreensão dos demais. Nesse sentido, os dois primeiros eixos foram plotados em um gráfico bidimensional (figura 22), apesar desses explicarem somente 35,416% da variação dos dados. No eixo I (horizontal) estão representadas, na esquerda, as manchas de vegetação arbórea e arbustiva-arbórea (florestais). As unidades amostrais correspondentes às manchas de vegetação arbustiva-herbácea (savanas) e herbácea (campos) estão na direita do diagrama, de maneira oposta às anteriores. A ordenação nesse eixo pode ser explicada pela similaridade florística entre as unidades amostrais. A partir da experiência de campo o eixo II (vertical) parece ordenar as unidades amostrais de acordo com um gradiente de umidade do solo, já que as unidades amostrais 1 a 30 estavam localizadas em locais freqüentemente alagados e, por outro lado, as unidades amostrais 31 a 60, na maioria dos casos, estavam localizadas sobre solos bem drenados.

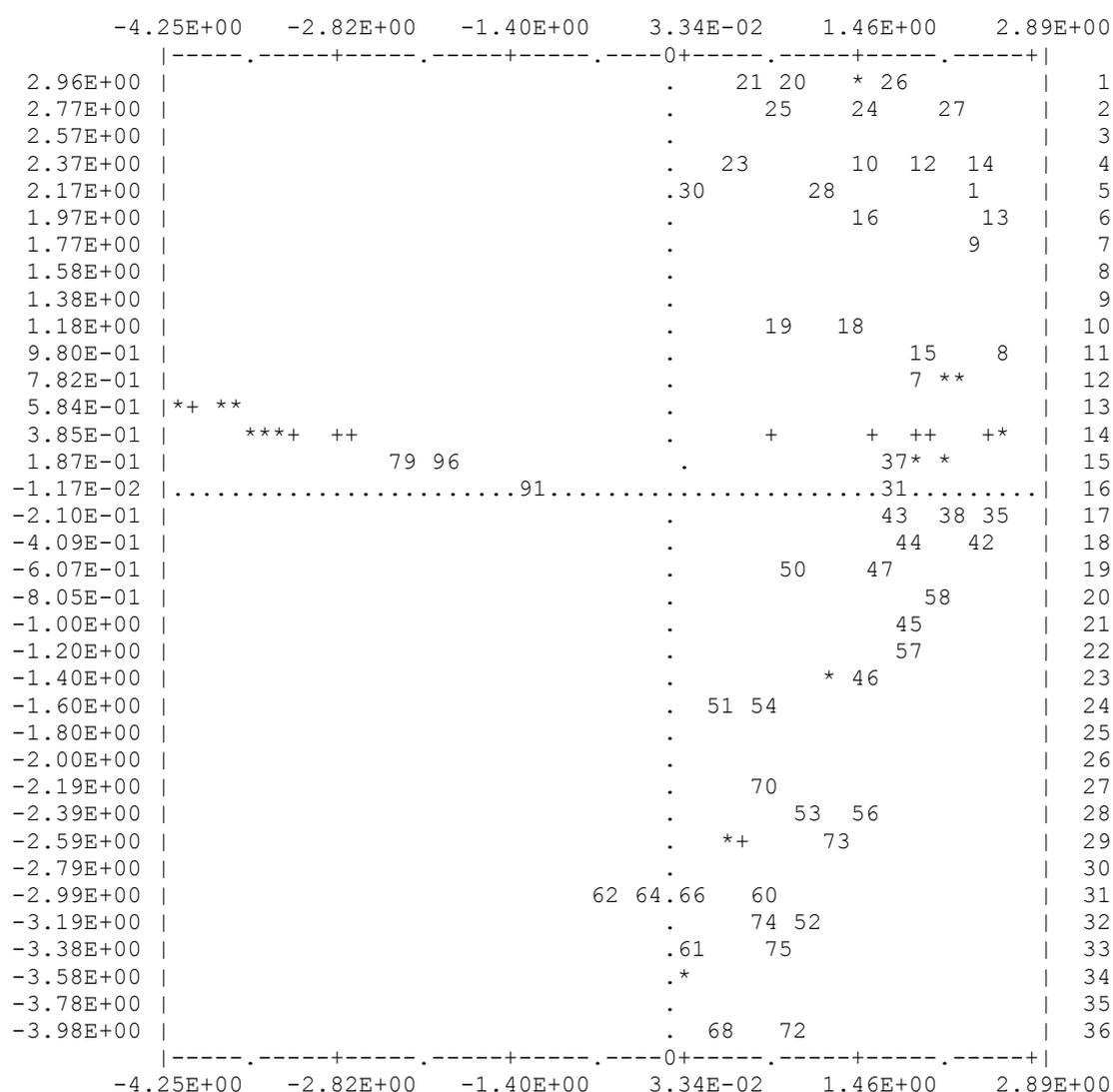


Figura 22: Diagrama de ordenação das unidades amostrais obtido pela análise de coordenadas principais (\* = sobreposição de uma ou mais unidades amostrais). Estão sobrepostas ou não identificadas as seguintes unidades amostrais, nas respectivas linhas: 29 e 17 (linha 1); 40, 11, 2, 32 e 6 (linha 12); 87, 83, 76, 99, 90, 84, 82, 81, 94 e 93 (linha 13); 102, 98, 78, 105, 101, 100, 97, 89, 85, 80, 104, 95, 86, 77, 88, 103, 92, 49, 22, 4, 39, 3, 34 e 5 (linha 14); 55, 33, 41 e 36 (linha 15); 59 e 48 (linha 23); 69, 67 e 71 (linha 29); 65 e 63 (linha 34). Dados coletados em 2000 e 2001 na mina Volta Grande, Lavras do Sul, RS.

A ordenação das variáveis (espécies), visualizada na figura 23, nos dois eixos representados, teve uma explicação de apenas 33,868% da variação dos dados. A ordenação no eixo I (horizontal) representa as similaridades florísticas nas manchas de vegetação, como referido acima no eixo I de ordenação das unidades amostrais. Na esquerda, estão representadas as espécies florestais e, na direita, as espécies campestres e das savanas. As



(4) ocorre em ambientes úmidos. *Paspalum pumilum* (45) também ocorre em grande abundância em ambientes úmidos (PROCHNOW, 1995; 1997). Nesse sentido, foi possível verificar que essas espécies estão representadas no eixo II (vertical) de maneira a sugerir um gradiente de umidade, assim como o verificado para o eixo II (vertical) na ordenação das unidades amostrais. As demais espécies representadas parecem, na grande maioria dos casos, corroborar essa explicação. *Baccharis trimera* (10) e *Eryngium horridum* (23), de acordo com a autora, são de ambientes úmido e seco, respectivamente. Porém, na área de estudo, essas espécies ocorreram em várias manchas de vegetação, desde solos bem drenados até solos mal drenados, não podendo, portanto, ser consideradas nessa explicação.

Utilizando a rotina TABLES (*software* MULVA 5L), foi obtida uma tabela (quadro) a partir da ordenação das unidades amostrais e variáveis (espécies), a qual facilita a visualização e interpretação dos dados, seguindo as recomendações de Mueller-Dombois; Ellenberg (1974). No figura 24 é possível verificar a configuração de uma diagonal de representatividade de espécies, visualizando as diferentes fitofisionomias da área. Na esquerda do quadro estão bem representadas as espécies das manchas de vegetação arbórea e arbustiva-arbórea (florestais), sendo *Scutia buxifolia* e *Eugenia uniflora* as de maior expressão. Em oposição a essas (à esquerda e abaixo), aparecem *Saccharum angustifolium* e *Eryngium horridum*, que são espécies muito representativas das manchas de vegetação herbácea (campos) na área. Na região mediana do quadro estão as espécies que ocorrem nas manchas de vegetação arbustiva-herbácea (savanas), representadas principalmente por *Schinus lentiscifolius* e *Heterothalamus alienus*.

A figura 25 representa o diagrama de dispersão dos dados ordenados em grupos de unidades amostrais - nesse caso, cada grupo continha todas as unidades amostrais de cada mancha, totalizando oito manchas diferentes que foram amostradas. Os dois primeiros eixos explicaram 53,125% da variação total dos dados. No eixo I (horizontal), que explica 36,979% da variação, as manchas de vegetação parecem estar ordenadas de acordo com um gradiente de umidade e declividade. As manchas de vegetação 6 (arbustiva-herbácea baixa) e 8 (herbácea baixa densa) estão relacionadas aos solos bem drenados das encostas e 3 (herbácea baixa aberta), 4 (arbórea baixa) e 1 (herbácea alta) ocorrem em locais de solos úmidos e freqüentemente alagados, em áreas de pouca ou nenhuma declividade. Já o eixo II (vertical), que representa 16,146% da variação dos dados, parece estar representando a ordenação das manchas de vegetação de acordo com sua similaridade florística, aproximando principalmente as manchas de vegetação arbustiva-herbácea baixa (6) e arbustiva-herbácea alta (7).





Os fatores ambientais relacionados a esse último eixo não são facilmente visualizados. Possivelmente essa ordenação representa um conjunto de fatores que poderiam ser principalmente, a altitude e características do solo.

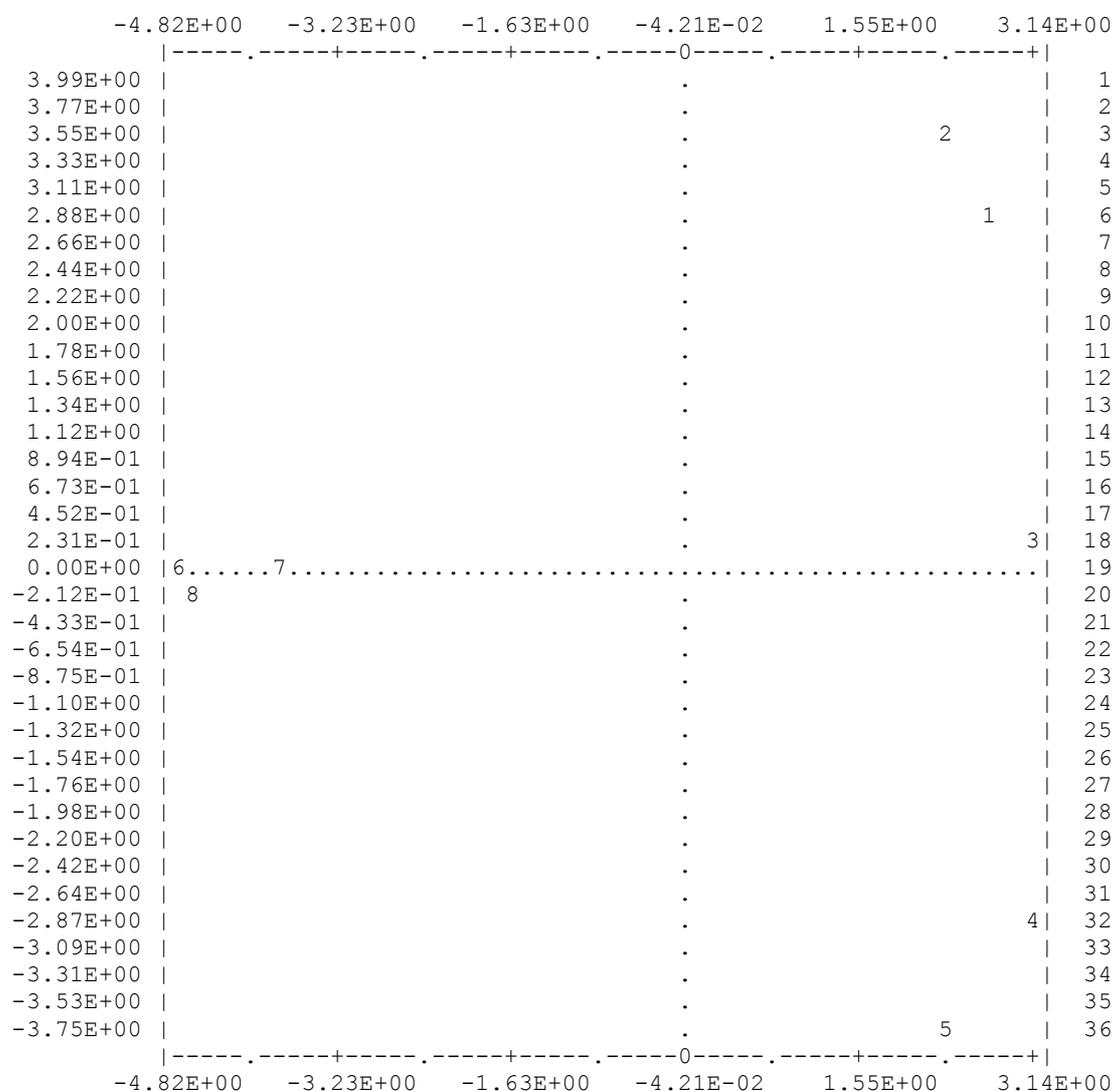


Figura 25: Diagrama de ordenação das diferentes manchas de vegetação obtido pela análise de coordenadas principais (1 = herbácea alta; 2 = arbustiva-arbórea; 3 = herbácea baixa aberta; 4 = arbórea baixa; 5 = arbórea alta; 6 = arbustiva-herbácea baixa; 7 = arbustiva-herbácea alta; 8 = herbácea baixa densa;). Dados coletados em 2000 e 2001 na mina Volta Grande, Lavras do Sul, RS.

Nesse trabalho, sempre que possível, foram sugeridas explicações para os eixos de ordenação, procurando inferir quais os principais fatores ambientais que estariam mais associados à estrutura da vegetação, de acordo com as variáveis medidas e as observações e anotações dos levantamentos de campo. Esse procedimento tem sido utilizado e recomendado

em vários trabalhos, já que é importante reconhecer as condições de ambiente relacionadas ao desenvolvimento das comunidades vegetais (PILLAR, 1988; ZOCHE, 1989; PILLAR, JACQUES; BOLDRINI, 1992; ZOCHE; PORTO, 1993; LANDAU, 1994; VALENTIN, 1995; WILDI; ORLÓCI, 1996). De acordo com Jongman *et al.* (1987), o diagrama de ordenação é tipicamente interpretado com ajuda de conhecimento externo das unidades amostrais e espécies. Benzeeri (1973) *apud* Valentin (1995) aponta que um eixo significativo pode não ser interpretável devido, por exemplo, a uma insuficiência de informações sobre o ambiente, mas um eixo interpretado tem grande chance de ser significativo. Dessa maneira, optou-se por tentar buscar as interpretações para as ordenações de acordo com o observado em campo.

O resultado completo da análise de componentes principais encontra-se no anexo B.

#### 4.2. CONTEÚDO DE COBRE EM PLANTAS

As espécies *Axonopus affinis*, *Saccharum angustifolium*, *Eugenia uniflora*, *Heterothalamus alienus*, *Schinus lentiscifolius* e *Schizachyrium microstachyum* foram analisadas quanto ao conteúdo de cobre em folhas e raízes. Os resultados da análise de variância apontaram as diferenças significativas e não-significativas em termos do conteúdo de cobre em cada órgão para cada espécie, de acordo com o local de coleta.

Os valores do conteúdo de cobre em cada espécie foram reunidos no quadro da figura 34 e as médias para cada espécie na figura 27. Os valores de cobre nas folhas de *Axonopus affinis* foram maiores na mancha HBA em relação às demais ( $p = 0,05$ ). Os valores nas raízes, nessa mesma mancha, são significativamente maiores do que nas manchas AbHA e HBD, não diferindo dos valores da mancha AbHB ( $p = 0,05$ ). Já *Saccharum angustifolium* apresentou valores nas folhas maiores na mancha AbHB em relação à mancha HA, não diferindo das demais ( $p = 0,05$ ). Nas raízes essa espécie apresentou maior valor na mancha AbHA em relação às manchas HA e HBD ( $p = 0,05$ ). As folhas de *Eugenia uniflora* apresentaram maiores valores na mancha AbA em relação à mancha AB, não diferindo dos valores encontrados na mancha AA ( $p = 0,05$ ). Os valores das raízes de *Eugenia uniflora* e de *Schizachyrium microstachyum* e de folhas e raízes de *Heterothalamus alienus* e *Schinus lentiscifolius* não diferem significativamente entre as manchas ( $p = 0,05$ ). As folhas de *Schizachyrium microstachyum* apresentaram valores maiores na mancha AbHA em relação à

Espécie - Órgão / Amostra	Local de coleta														
	AA			AB			AbA			AbHA			AbHB		
	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3
<i>Axonopus affinis</i> - folhas										6.21	6.94	6.88	6.15	5.65	6.91
<i>Axonopus affinis</i> - raízes										<b>47.2</b>	<b>47.4</b>	<b>72.5</b>	<b>65.5</b>	<b>69.7</b>	<b>66.9</b>
<i>Saccharum angustifolium</i> -folhas										3.28	3.18	3.19	5.43 <sup>c</sup>	5.76 <sup>c</sup>	5.99 <sup>c</sup>
<i>Saccharum angustifolium</i> -raízes										23.8 <sup>d</sup>	23.2 <sup>d</sup>	10.6 <sup>d</sup>	16.4	9.59	12.7
<i>Eugenia uniflora</i> - folhas	13.5 <sup>e</sup>	13.7 <sup>e</sup>	13.5 <sup>e</sup>	3.43	3.5	4.57	8.21	7.39	8.73						
<i>Eugenia uniflora</i> - raízes	4.19	4.74	3.49	5.16	5.42	5.5	3.94	5.6	1.11						
<i>Heterothalamus alienus</i> - folhas										8.48	8.3	8.89	9.14	9.22	8.68
<i>Heterothalamus alienus</i> - raízes										19.5	18.8	<b>27.3</b>	14.7	13.5	12.2
<i>Schinus lentiscifolius</i> - folhas										4.98	4.85	4.77	6.54	6.44	6.74
<i>Schinus lentiscifolius</i> - raízes										4.7	4.46	5.84	5.94	6.11	6.46
<i>Schizachyrium microstachyum</i> - folhas										5.42 <sup>f</sup>	5.34 <sup>f</sup>	12. <sup>f</sup>	4.61	4.68	4.74
<i>Schizachyrium microstachyum</i> - raízes										9.89	9.15	10.8	8.34	8.61	8.23

Figura 26: Quadro do conteúdo de cobre ( $\mu\text{g.g}^{-1}$ ) nas folhas e raízes das espécies vegetais nas diferentes manchas de vegetação (AA = arbórea alta; AB = arbórea baixa; AbA = arbustiva-arbórea; AbHA = arbustiva-herbácea alta; AbHB = arbustiva-herbácea baixa; HA = herbácea alta; HBD = herbácea baixa densa; HBA = herbácea baixa aberta). Valores “a” significativamente maiores que as demais manchas ( $p = 0,05$ ); valores “b” maiores que em AbHA ( $p = 0,05$ ); valores “c” maiores que em HA; ( $p = 0,05$ ); valores “d” maiores que em HA e HBD ( $p = 0,05$ ); valores “e” maiores que em AB ( $p = 0,05$ ) e valores “f” maiores que em AbHb ( $p = 0,05$ ). Em negrito, valores acima do normal (Allen *et al.*, 1974). Coletas de 2000 a 2002 na mina Volta Grande, Lavras do Sul, RS.

Espécie - Órgão	Local de coleta				
	AA	AB	AbA	AbHA	AbHB
<i>Axonopus affinis</i> - folhas	-	-	-	6.7	6.2
<i>Axonopus affinis</i> - raízes	-	-	-	55.7*	67.4*
<i>Saccharum angustifolium</i> -folhas	-	-	-	3.2	5.7
<i>Saccharum angustifolium</i> -raízes	-	-	-	19.2	12.9
<i>Eugenia uniflora</i> - folhas	13.6	3.8	8.1	-	-
<i>Eugenia uniflora</i> - raízes	4.1	5.4	3.6	-	-
<i>Heterothalamus alienus</i> - folhas	-	-	-	8.6	9.0
<i>Heterothalamus alienus</i> - raízes	-	-	-	21.9	13.5
<i>Schinus lentiscifolius</i> - folhas	-	-	-	4.9	6.6
<i>Schinus lentiscifolius</i> - raízes	-	-	-	5.0	6.2
<i>Schizachyrium microstachyum</i> - folhas	-	-	-	7.6	4.7
<i>Schizachyrium microstachyum</i> - raízes	-	-	-	9.9	8.4

Figura 27: Quadro do conteúdo de cobre médio ( $\mu\text{g.g}^{-1}$ ) nas folhas e raízes das espécies vegetais nas diferentes manchas de vegetação (AA = arbórea alta; AB = arbórea baixa; AbA = arbustiva-arbórea; AbHA = arbustiva-herbácea alta; AbHB = arbustiva-herbácea baixa; HA = herbácea alta; HBD = herbácea baixa densa; HBA = herbácea baixa aberta). Coletas de 2000 a 2002 na mina Volta Grande, Lavras do Sul, RS. \* Valores acima do normal (Allen *et al.*, 1974).

mancha AbHB, não diferindo nas demais ( $p = 0,05$ ). O resultado completo da análise de variância encontra-se no anexo C.

Das espécies analisadas, apenas *Axonopus affinis*, em todos os locais em que foi coletada, apresentou valores acima do normal, considerando que os valores comumente encontrados em material vegetal ficam entre 2,5 e 25  $\mu\text{g.g}^{-1}$  (ALLEN *et al.*, 1974).

#### 4.3. GEOPROCESSAMENTO

O mapa de uso e cobertura do solo elaborado é apresentado na figura 28. Esse contempla as oito categorias de manchas de cobertura vegetal fisionomicamente diferentes encontradas na área, as demais categorias de uso e cobertura do solo, os corpos d'água e as áreas de sombra, que não puderam ser classificadas. O mapa das unidades e subunidades de vegetação mostra a localização dos diferentes tipos de manchas de vegetação, classificadas a partir do estudo fitossociológico, e a as ocorrências de estruturas mineralizadas (filões) de cobre, ouro e cobre-ouro (figura 29). Dos 22 filões conhecidos, 12 coincidem totalmente com a unidade de vegetação *Schinus lentiscifolius* – *Heterothalamus alienus*, 3 com a unidade de vegetação *Axonopus affinis* – *Paspalum pumilum* e 2 com a subunidade *Eryngium horridum* – *Piptochaetium montevidense*. Além disso, 2 filões coincidem parcialmente com as unidades de vegetação *Schinus lentiscifolius* – *Heterothalamus alienus* e *Axonopus affinis* – *Paspalum pumilum* e 2 com a unidade de vegetação *Schinus lentiscifolius* – *Heterothalamus alienus* e a subunidade *Eryngium horridum* – *Piptochaetium montevidense*. Um dos filões, ainda, atravessa as unidades de vegetação *Schinus lentiscifolius* – *Heterothalamus alienus* e *Axonopus affinis* – *Paspalum pumilum* e a subunidade *Eugenia uniflora* – *Cupania vernalis*.

A tabela 5 mostra a área e o perímetro totais de cada tipo de mancha de vegetação e demais categorias de cobertura do solo. A mancha de vegetação arbustiva-herbácea baixa é a que possui a maior área e perímetro, cobrindo 32,58% da área total da mina Volta Grande. Essa mancha, juntamente com a arbustiva-herbácea alta, que correspondem à unidade de vegetação *Schinus lentiscifolius* – *Heterothalamus alienus*, cobrem 63,32% da área total da mina.

Figura 28: MAPA DE USO E COBERTURA DO SOLO DA MINA VOLTA GRANDE, LAVRAS DO SUL, RS

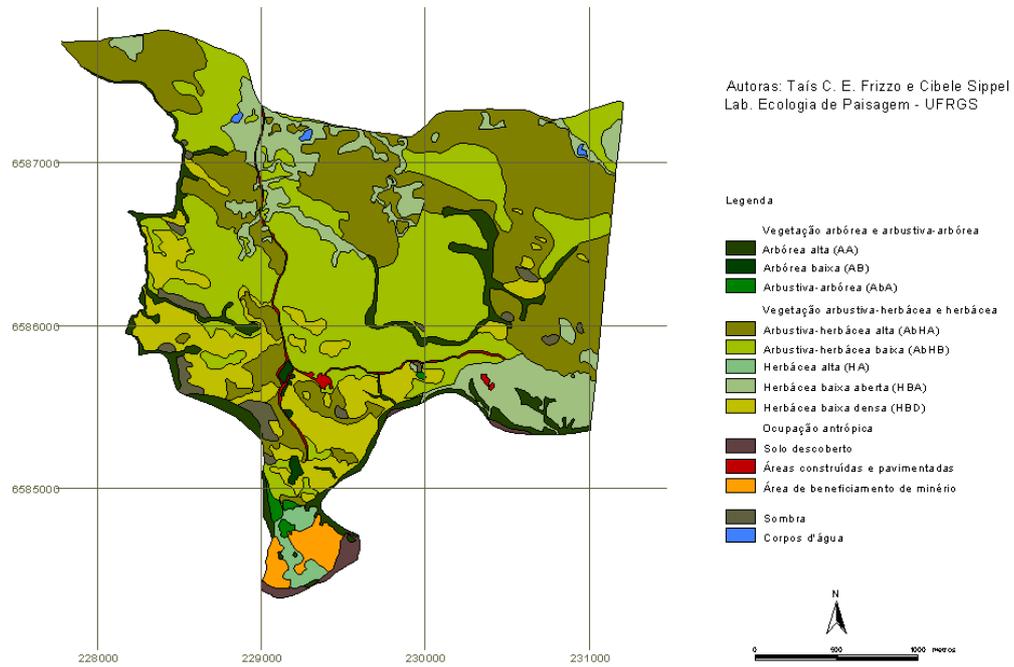


Figura 29: MAPA DAS UNIDADES E SUBUNIDADES DE VEGETAÇÃO E ESTRUTURAS MINERALIZADAS DE COBRE E OURO NA MINA VOLTA GRANDE, LAVRAS DO SUL, RS

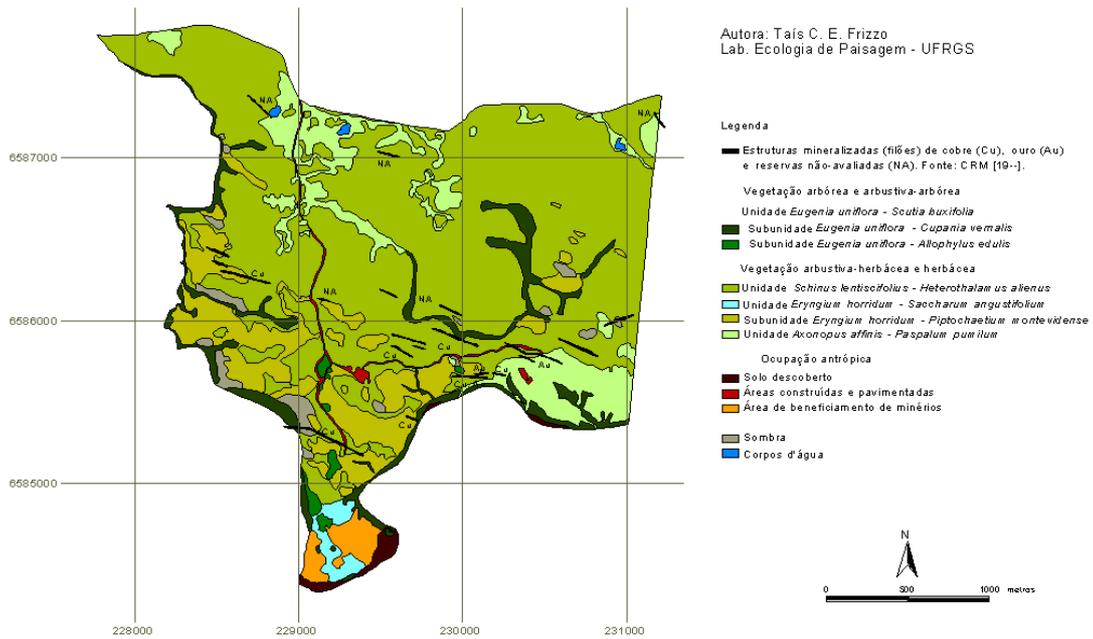


Tabela 5: Área e perímetro totais de cada tipo de mancha de vegetação e demais categorias de classificação na mina Volta Grande, Lavras do Sul, RS. Em destaque, a mancha de maiores área e perímetro.

Mancha de vegetação e demais categorias de classificação	Área (m <sup>2</sup> )	Área (%)	Perímetro (m)	Perímetro (%)
Arbórea alta	376960,30	6,31	27009,79	15,81
Arbórea baixa	20211,39	0,34	1359,57	0,80
Arbustiva-arbórea	24923,78	0,42	1551,16	0,91
Arbustiva-herbácea alta	1835333,99	30,74	34619,22	20,27
Arbustiva-herbácea baixa	<b>1945465,75</b>	32,58	<b>35691,07</b>	20,90
Herbácea alta	66700,24	1,12	2385,80	1,40
Herbácea baixa densa	728296,32	12,20	23017,04	13,48
Herbácea baixa aberta	664300,47	11,12	25332,45	14,83
Solo descoberto	48784,99	0,82	2781,21	1,63
Áreas construídas e pavimentadas	45674,08	0,76	8500,65	4,98
Área de beneficiamento de minério	98980,04	1,66	2370,37	1,39
Sombra	105244,92	1,76	5428,65	3,18
Corpos d'água	9794,52	0,17	727,79	0,42
<b>TOTAL</b>	<b>5970670,79</b>		<b>170774,77</b>	

## 5. DISCUSSÃO

### 5.1. VEGETAÇÃO

#### 5.1.1. Amostragem

Em muitas investigações fitossociológicas o objetivo é o reconhecimento e diferenciação de tipos de vegetação; o sucesso destas depende grandemente da amostragem (GOEDICKEMEIR *et al.*, 1997). Nesse sentido, esses autores colocam que a estratificação da área anterior à amostragem, em alguma extensão, evita a representação desigual dos diferentes tipos. Atualmente, a fotointerpretação tem sido utilizada no intuito de estratificar a zona de estudo, principalmente quando se trabalha em grandes áreas (MATTEUCCI; COLMA, 1982). Nesse trabalho foram selecionadas manchas de vegetação homogêneas representativas da área de estudo, que compuseram os estratos da amostragem, nas quais foram alocadas, de maneira sistemática, as unidades amostrais.

Para a eficiência e segurança dos resultados no estudo fitossociológico, o modelo de amostragem deve contemplar uma representação de todas as comunidades vegetais dentro da área de estudos (GOEDICKEMEIR *et al.*, 1997). Para tanto, é sempre necessário avaliar se o tamanho da amostra é suficiente para uma dada precisão requerida (PILLAR, 2001b). Em estudos nos quais o objetivo é o zoneamento da vegetação, métodos de levantamento mais rápidos têm sido utilizados com sucesso, obtendo suficiência amostral no intuito de caracterizar os diferentes grupos de espécies vegetais associadas existentes no local.

O método de pontos tem sido adotado em vários trabalhos (LANDAU, 1994; MOHR, 1995; OLIVEIRA, 1998). Os dados levantados podem servir de base para considerações a respeito de densidade, composição e estrutura da vegetação. Esse método tem se mostrado muito mais rápido em relação aos tradicionalmente utilizados, além de causar menores perturbações (MANTOVANI; MARTINS, 1990; PARKER; SAVAGE, 1944). Além disso, é de baixo custo e pode ser executado por uma única pessoa. Quando comparado com outros métodos, tem se mostrado satisfatório, não só pelas vantagens listadas acima, mas também pela eficiência na amostragem da vegetação (MANTOVANI; MARTINS, 1990). Anderson [19--], utilizou esse método e o dos quadrados permanentes, obtendo resultados comparáveis, sendo que o primeiro refletiu melhor a vegetação na área. Por outro lado, Lange (1991), ao comparar esses mesmos métodos, considerou o método dos quadrados mais eficaz na caracterização da comunidade vegetal, principalmente quanto ao aspecto diversidade específica.

Alguns fatores podem interferir nesse tipo de amostragem e devem ser contornados. Mantovani; Martins (1990) recomendam a utilização de agulhas isoladas, com o menor diâmetro possível, que simulem o ponto. Esse procedimento, utilizado no presente trabalho, além de Oliveira (1998), Sippel (inédito) e Zocche (inédito), busca agilizar o levantamento e eliminar fatores que poderiam mascarar a amostragem, como por exemplo, a presença de espécies microfilas. Além disso, o levantamento deve ser realizado sempre pelo mesmo observador e em períodos sem vento, que permitam a observação clara dos toques.

O número de pontos levantados é um fator importante na busca de suficiência amostral. A maioria dos autores citados por Mantovani; Martins (1990) empregou 300 pontos (toques) na amostragem da vegetação. No presente trabalho, apesar de terem sido empregados 300 pontos, apenas 70 pontos nas manchas de vegetação herbácea baixa aberta (campo) e 44 pontos nas manchas de vegetação arbustiva-herbácea (savanas) foram necessários para a obtenção de suficiência amostral, por se tratar de uma avaliação baseada no reconhecimento de manchas homogêneas. Além disso, essa área parece ter uma riqueza menor em relação às demais formações abertas na região, devido às condições extremas do substrato (PORTO, 1981).

A suficiência amostral nas manchas de vegetação arbórea e arbustiva-arbórea (florestas) também foi satisfatória, em termos fitossociológicos, para fins de zoneamento da vegetação. O método das parcelas tem sido o mais recomendado para a caracterização fitossociológica de florestas ciliares no mosaico vegetacional, pois possibilita a elucidação das correlações espaciais da vegetação com outros fatores ambientais (DURIGAN *et al.*, 2000). Diesel (1991) optou pela utilização de parcelas de 5x5 m em levantamento realizado de florestas na bacia do rio dos Sinos. Porto *et al.* (inédito), por outro lado, realizaram um estudo fitossociológico de florestas mesófilas em Santa Cristina do Pinhal baseado em uma amostragem de parcelas de 10x10 m.

### 5.1.2. Composição florística e considerações fitogeográficas

As formações abertas são muito investigadas na região, sendo relacionadas à atividade pecuária (BOLDRINI, 1997; GIRARDI-DEIRO, 1994; 1999) e à presença de metais pesados no substrato (PORTO, 1981; 1983; 1986; LIMA E CUNHA, 1982; 1988; ZOCHE, 1989; ZOCHE; PORTO, 1993; GIRARDI-DEIRO, 1999; DAL PIVA, 2001). As formações florestais na área de estudo são restritas, em grande parte, ao entorno dos corpos d'água ou a manchas arredondadas (capões) no meio dos campos. A maioria dos trabalhos apresenta considerações menos detalhadas dessas formações.

Zocche (inédito) fez um levantamento em uma área na mina Volta Grande que envolveu as manchas de vegetação herbácea baixa densa e arbustiva-herbácea baixa do presente trabalho, constatando a presença de 101 espécies. Dessas, 91 faziam parte do estrato herbáceo, sendo Poaceae e Asteraceae as famílias mais representadas. Apenas 10 espécies pertenciam ao estrato arbustivo-arbóreo e as famílias mais representativas foram Anacardiaceae e Asteraceae. Todas as espécies do estrato arbustivo-arbóreo ocorreram também nos levantamentos realizados no presente trabalho; por outro lado, esse autor encontrou uma riqueza maior no estrato herbáceo, principalmente em relação às espécies das famílias Poaceae e Asteraceae.

Girardi-Deiro; Kämpf (1978) registraram, na Estação Fitotécnica de Bagé, a ocorrência de 170 espécies vegetais, distribuídas em 29 famílias. Nesse mesmo município, Girardi-Deiro *et al.* (1992) realizaram um levantamento florístico no qual detectaram a presença de 476 espécies pertencentes a 74 famílias. As famílias mais freqüentes foram Poaceae, Asteraceae, Leguminosae, Cyperaceae, Rubiaceae, Verbenaceae, Solanaceae, Myrtaceae e Apiaceae.

Analisando o estrato herbáceo em campos submetidos ao corte de espécies lenhosas, Girardi-Deiro (1994) encontrou um total de 130 espécies, sendo 31 pertencentes à família Poaceae. Ao serem incluídas áreas próximas onde não havia o manejo pelo corte, o número de espécies aumentou para 162, evidenciando a influência do uso do solo na vegetação. Nessa mesma área, Girardi-Deiro (1999), em levantamento detalhado e investigação da influência de metais pesados (cobre e chumbo) nos solos, além de outros fatores ambientais, e manejo pelo corte e queima das espécies lenhosas, registrou a ocorrência de 181 espécies, onde Poaceae e Asteraceae foram as famílias mais representativas.

Fernandes; Baptista (1999), em levantamento florístico dos ambientes rupestres da Casa de Pedra, no município de Bagé, encontraram muitas espécies comuns ao presente trabalho, principalmente aquelas pertencentes às famílias Poaceae e Asteraceae, além das arbóreas *Blepharocalix salicifolius*, *Cupania vernalis*, *Gomidesia palustris*, *Matayba elaeagnoides* e *Myrsine coriacea*.

Zocche (1989) e Zocche; Porto (1993) investigaram áreas de campo sobre banco de carvão e áreas naturalmente revegetadas após mineração a céu aberto na Depressão Central. Na área controle (não contaminada por metais pesados oriundos do minério), encontraram 106 espécies, pertencentes a 29 famílias vegetais. Nas áreas mineradas foram registradas, respectivamente, nas encostas e baixadas, 52 e 38 espécies. As famílias mais representativas, tanto nas áreas mineradas como na área controle, foram Poaceae e Asteraceae.

No levantamento realizado na mina Volta Grande ocorreram apenas 65 espécies nas formações abertas (campos e savanas), provavelmente pelas condições edáficas extremas

(PORTO, 1981) e também pelo nível de detalhamento do estudo, cujo objetivo principal foi o zoneamento da vegetação.

Estudos realizados na Argentina registraram a ocorrência de espécies comuns ao presente trabalho. Lewis (1996), em levantamentos fitossociológicos de *pastizales* (campos) e savanas na província de Santa Fé, registrou a presença de *Apium leptophyllum*, *Briza subaristata*, *Sporobolus indicus*, *Setaria parviflora* nas formações de *flechillares*. Das espécies florestais levantadas, foram citadas, entre outras, *Myrciantes cisplatensis*, que ocorreu nos *brachales* (bosques abertos) do El Chaco Santafenicio e *Salix humboldiana*, que ocorreu nos *sauzales* (florestas junto aos corpos d'água) do vale do rio Paraná. De acordo com Cabido *et al.* (1996), as formações *Matorral Serrano* ou *Romerillal* das serras de Córdoba são caracterizadas pela dominância de espécies da família Asteraceae, como *Heterothalamus alienus*, além de diferentes espécies do gênero *Baccharis*. Frangi; Barrera (1996) registraram na Sierra de la Ventana, província de Buenos Aires, as espécies *Briza subaristata* e *Piptochaetium montevidense*.

Espécies comuns ao presente trabalho também foram encontradas na região do Cerrado por Warming (1973) e Batalha; Mantovani (2001). No primeiro, são citadas 10 espécies comuns, sendo 5 arbóreas e 5 herbáceas. Em Batalha; Mantovani (2001), no levantamento realizado na Reserva Pé-de-gigante, das 6 espécies comuns encontradas, apenas 2 eram arbóreas.

A similaridade na composição florística da área de estudo com as savanas e campos argentinos e com o cerrado vão de encontro a algumas considerações a respeito dessas formações abertas.

Porto (1998) considera a influência de duas rotas migratórias de espécies de vegetais superiores nas formações abertas: a rota migratória meridional, com elementos austrais-antárticos de parentesco andino, e a rota migratória oeste, com elementos chaco-pampeanos. A ocorrência de espécies da família Cactaceae, vislumbrada na mina Volta Grande, significa o testemunho de um paleoclima mais seco, quando teria se verificado o avanço da vegetação chaquenha, cujo recuo deixou amostras de sua passagem (FERNANDES, 1998). As espécies do gênero *Celtis* são citadas em vários trabalhos, sendo consideradas muito freqüentes em formações chaquenhas (D'ANGELO *et al.*, 1987; LEWIS *et al.*, 1990; PRADO, 1991).

Prado (1991) elaborou uma lista florística baseada em uma revisão em herbários, literatura taxonômica e fitogeográfica e levantamentos de campo, na qual coloca as espécies consideradas tipicamente chaquenhas. São comuns às espécies registradas no presente trabalho: *Baccharis articulata*, *Heterothalamus alienus*, *Myrcianthes cisplantensis*, *Schinus molle*, *S. polygamus*, *Acalypha communis*, *Scutia buxifolia*, *Iodina rhombifolia*, *Allophylus edulis*, *Celtis spinosa*, *C. tala*, *C. selloviana* e *Aloysia gratissima*.

D'Angelo *et al.* (1987), em descrição da vegetação subchaquenha de Santa Fe (Argentina), considera indivíduos de *Schinus polygamus* e espécies de *Celtis* muito freqüentes no estrato arbóreo das formações abertas. Nessa mesma região, Lewis *et al.* (1990) constataram a presença de várias espécies comuns ao presente trabalho: *Setaria geniculata*, *Apium leptophyllum*, *Baccharis coridifolia* (estrato herbáceo) e *Schinus polygamus* (estrato arbustivo-arbóreo). Pillar (1992) também registra a presença de *Iodina rhombifolia* e *Scutia buxifolia* na região do Chaco. Essas formações abertas de grande influência chaquenha são classificadas por Veloso & Góes-Filho (1982), Teixeira *et al.* (1986) e Porto (inédito) como savanas. De acordo com Porto (inédito), essa classificação é uma tentativa de uniformização com a nomenclatura fitogeográfica internacional, além de representar um sistema de classificação baseado em características fisionômicas e ecológicas. Fernandes (1998), por outro lado, condena a utilização desse, justamente por ser um termo internacional que não deveria ser “simplesmente translocado inconvenientemente para o Brasil” (*sic*).

Muitos autores expõem que apenas a formação do cerrado no Brasil deveria ser reconhecida como savana (COLE, 1960 *apud* FERRI, 1973; SARMIENTO, 1996; RIZZINI, 1997; FERNANDES, 1998), principalmente no que diz respeito ao clima, pois consideram necessária uma alternância de estações climáticas úmidas e secas, com estação seca de até três meses (FERRI, 1973; SARMIENTO, 1996; RIZZINI, 1997). Já Beard (1953) *apud* Ferri (1973) coloca que a savana seria determinada pelas condições de drenagem natural do solo, com severos períodos alternados de encharcamento e dessecação, o que para Ferri (1973) não parece ser aplicável aos cerrados brasileiros.

De acordo com Teixeira *et al.* (1986), o termo savana é antigo e originário da América do Sul, provavelmente utilizado para designar formações gramíneas mais ou menos ricas em árvores e arbustos. Rizzini (1997) coloca que a savana se caracteriza pela “existência de dois andares” (*sic*), sendo representados por comunidades vegetais homogêneas constituídas de plantas lenhosas largamente esparsas em uma cobertura de gramíneas mais ou menos densa com herbáceas espalhadas (WALTER; BRECKLE, 1985). Segundo Sarmiento (1996), esses ecossistemas dominados por gramíneas perenes, com ou sem um estrato aberto de árvores ou arbustos, caracterizam amplas extensões do trópico americano, particularmente nas dilatadas planícies dos Llanos do Orinoco, na Colômbia e Venezuela, e dos Llanos de Beni, na Bolívia, assim como nos extensos planaltos do centro do Brasil e das Guianas. Warming (1973) considera as formações da Guiana e os demais campos do Brasil fisionomicamente semelhantes, podendo ser considerados savanas, apesar de floristicamente diferentes.

Porto (1981, 1989a) investigou as relações entre a vegetação e a alta concentração de metais pesados em algumas espécies em áreas de mineração na Serra do Sudeste, classificando essa formação como savana arbustiva metalófila (*Schwermetallstrauchsavanne*).

Bredenkamp (com. pess.), ao comparar a fisionomia da vegetação principalmente na região da Campanha e também em áreas similares e próximas à do presente estudo com as formações abertas africanas, acredita que podem ser consideradas savanas.

Perante essas considerações, optou-se por adotar, no presente trabalho, o termo savana, que parece ser mais adequado ao diferenciar esse tipo de formação das formações campestres, já que as primeiras apresentam dois estratos claramente distintos, sendo fisionomicamente muito diferentes dos campos.

As formações florestais na mina Volta Grande parecem estar relacionadas à rota migratória sul-amazônica, que penetra no Estado na região do Alto Uruguai, constituindo a Floresta Estacional Semidecidual (VELOSO; GÓES-FILHO, 1982), com apenas alguns elementos da Floresta Ombrófila Densa (VELOSO; GÓES-FILHO, 1982) ou Mata Atlântica, que migrariam pelo corredor leste, e da Floresta Ombrófila Mista (VELOSO; GÓES-FILHO, 1982) ou Pinhais.

As espécies *Pouteria salicifolia* e *Salix humboldtiana*, além de *Allophylus edulis*, *Eugenia uruguayensis*, *Sebastiania brasiliensis* ocorrem, de forma preferencial, na região da Floresta do Alto Uruguai, acompanhando o rio Uruguai e seus afluentes (KLEIN, 1972). De acordo com Jarenkow (1994), *Allophylus edulis* entra no Estado pelo corredor oeste, mas pode ser considerada de ampla distribuição. *Luehea divaricata* e *Sebastiania commersoniana* podem ser consideradas também de ampla distribuição, sendo características das formações aluviais. *Ocotea puberula*, *Eugenia schuechiana* e *Zanthoxylum rhoifolium* ocorrem nas mata pluviais da vertente atlântica (VELOSO; KLEIN, 1957). As espécies *Acca sellowiana*, *Erithroxylum deciduum*, *Myrcianthes gigantea* e *Matayba elaeagnoides* ocorrem na zona dos pinhais (KLEIN, 1972). *Eugenia uniflora*, *Lithraea brasiliensis*, *Myrcia selloi*, *Schinus lentiscifolius*, *Acanthosyris spinescens*, *Guettarda uruguayensis* e *Ruprechtia laxiflora* são características das matas arbustivas da região dos campos no Estado (LINDMAN, 1906; RAMBO, 1994). *Eugenia uniflora* também é citada para as restingas litorâneas (KLEIN, 1972). *Cupania vernalis* é considerada de ampla distribuição no Estado. As espécies *Allophylus edulis*, *Blepharocalix salicifolius*, *Celtis iguanea*, *Cupania vernalis*, *Erithroxylum deciduum*, *Eugenia schuechiana*, *Eugenia uniflora*, *Eugenia uruguayensis*, *Gochnatia polymorpha*, *Gomidesia palustris*, *Guettarda uruguayensis*, *Luehea divaricata*, *Matayba elaeagnoides*, *Ocotea puberula*, *Ruprechtia laxiflora*, *Sebastiania brasiliensis*, *Sebastiania commersoniana*, *Xylosma pseudosalmanni* e *Zanthoxylum rhoifolium* foram registradas em vários levantamentos realizados em florestas ciliares do Brasil extra-amazônico (RODRIGUES; NAVE,

2000). Reitz *et al.* (1978) registraram *Vitex megapotamica* na mata pluvial da Encosta Atlântica e na mata da bacia do rio Uruguai e *Quillaja brasiliensis* nos Pinhais e no Planalto.

### 5.1.3. Delimitação e caracterização das unidades e subunidades de vegetação

A sociabilidade trata dos fenômenos ligados ao dinamismo biológico das plantas (FERNANDES, 1998). A condição social de cada espécie depende da sua relação com os demais componentes da comunidade (dependência, competição) e do seu comportamento distributivo (frequência, densidade, vitalidade, *etc.*). Esse último aspecto, aqui analisado a partir de investigações fitossociológicas, proporcionou o reconhecimento dos diferentes tipos de unidades e subunidades de vegetação encontradas na mina Volta Grande.

#### **Unidade de vegetação *Eugenia uniflora* – *Scutia buxifolia***

A unidade de vegetação *Eugenia uniflora* – *Scutia buxifolia* corresponde às manchas de vegetação arbórea e arbustiva-arbórea (formações florestais) na mina Volta Grande. Foram reconhecidas duas subunidades de vegetação: *Eugenia uniflora* – *Cupania vernalis*, que caracteriza as manchas de vegetação arbórea alta (AA) e *Eugenia uniflora* – *Allophylus edulis*, relacionada às manchas de vegetação arbórea baixa (AB) e arbustiva-arbórea (AbA). A subunidade de vegetação *Eugenia uniflora* – *Cupania vernalis* ocorre nas planícies estreitas junto aos cursos d'água, onde é, muitas vezes, invadida pelo arroio. Em relação às demais formações florestais da área, essa subunidade é caracterizada por uma densidade maior de indivíduos arbóreos no estrato superior (dossel), o que faz com que tenha uma característica interior de menor luminosidade. Em direção a uma maior declividade, essa é substituída pela subunidade *Eugenia uniflora* – *Allophylus edulis*, que ocorre nas partes menos íngremes das encostas das coxilhas e também isoladamente nos topos, na forma de capões (Rambo, 1994). As ocorrências em diferentes posições topográficas conferem uma certa dissimilaridade estrutural a essa subunidade, apesar de formarem um grupo fitossociológico único. Quando nas encostas, além dos resultados apresentados no item “Fisionomia e estrutura”, a maioria dos indivíduos tem um hábito arbustivo, com o tronco ramificado desde a base. Nos capões, o hábito arbóreo é mais comum.

As espécies com os maiores índices de valor de importância nas manchas de vegetação arbórea e arbustiva-arbórea na mina Volta Grande foram *Eugenia uniflora* e *Scutia buxifolia*. Essas espécies obtiveram esse diferencial justamente por possuírem frequência, densidade e dominância maiores em relação às demais, destacando-se nessa unidade. De acordo com

Daubenmire (1968), a dominância de algumas espécies em relação a outras na associação pode indicar que estas espécies estariam mais aptas a competirem em determinado ambiente, já que se adaptam bem aos fatores ambientais naquele local.

As formações florestais na área, em geral, estão relacionadas aos solos mais úmidos e profundos. Outro aspecto importante é que essas florestas sofreram grande interferência causada pela abertura de estradas quando a mina estava em atividade. Essa alteração parece ser mantida, ainda hoje, pelo uso do gado, que penetra na floresta em busca de sombra. Nesse sentido, a subunidade *Eugenia uniflora* – *Allophylus edulis* parece ser a mais degradada, por ser de mais fácil acesso. A subunidade *Eugenia uniflora* – *Cupania vernalis* parece ser menos invadida, provavelmente por se localizar no fundo dos vales, entre coxilhas muito íngremes. Esses fatores são refletidos na composição florística e estrutura da vegetação, já que são inúmeras as clareiras que ocorrem nessas florestas, podendo ser observado um grande número de indivíduos jovens.

Outro fator interessante visualizado na área, também reconhecido por Girardi-Deiro *et al.* (1992), é a notável presença de um grande número de árvores, arbustos e plantas espinhentas como *Scutia buxifolia* (coronilha), *Iodina rhombifolia* (espinheira-santa), *Zanthoxylum rhoifolium* (mamica-de-cadela), *Citharexylum montevidense* (tarumã-de-espinho), *Discaria americana* (brusca), *Smilax campestris* (salsaparrilha), entre outras. Essa característica das espécies pode ocorrer devido a vários fatores, provavelmente relacionados a condições climáticas (umidade, temperatura, luminosidade) e/ou edáficas (umidade, pH, conteúdo de nutrientes, metais pesados, matéria orgânica, entre outros), devendo ser investigado para maiores considerações.

Nesse mesmo trabalho foram registradas como mais freqüentes nas florestas junto aos cursos d'água no município de Bagé, *Eugenia uniflora*, *Blepharocalix salicifolius*, *Citharexylum montevidense*, *Schinus lentiscifolius*, *S. polygamus*, e *Sebastiania commersoniana*, além de indivíduos de maior porte de *Salix humboldtiana*, *Luehea divaricata* e outros remanescentes da mata original.

#### **Unidade de vegetação *Schinus lentiscifolius* – *Heterothalamus alienus***

As manchas de vegetação arbustiva-herbácea, apesar de fisionomicamente diferentes, compuseram um mesmo grupo fitossociológico, a unidade de vegetação *Schinus lentiscifolius* – *Heterothalamus alienus*. Essa associação foi definida com base nos resultados de análise de agrupamentos, que revelou a constância de espécies e nos valores de índice de valor de importância, considerando a maior freqüência e densidade de cada uma em relação às demais. As

espécies citadas acima foram as que representaram uma dominância nessas manchas de vegetação, sendo utilizadas para denominar essa unidade de vegetação.

A diferença estrutural entre os dois tipos de manchas de vegetação arbustiva-herbácea pode estar relacionada, em primeiro lugar, à declividade e à profundidade e umidade do solo. A mancha de vegetação arbustiva-herbácea alta ocorre em locais de menores declividades, onde o solo é mais profundo e mal drenado. É possível notar que os indivíduos do estrato superior são mais altos e mais próximos (existe uma densidade maior de indivíduos nesse estrato) em relação aos da mancha de vegetação arbustiva-herbácea baixa e ocorrem, mais frequentemente, espécies arbóreas características dos capões. As manchas de vegetação arbustiva-herbácea baixa começam a aparecer nas encostas mais declivosas das coxilhas, onde o solo é raso e bem drenado. Estruturalmente essas manchas se diferem por possuir uma densidade menor de indivíduos no estrato superior, configurando-se uma formação mais aberta. Além disso, os indivíduos nesse estrato são mais baixos em relação à mancha anterior.

Além desses fatores, poderiam ser considerados o conteúdo de metais pesados no substrato e o manejo por corte e fogo, mais eventual, para a utilização do gado. A análise de sobreposição das ocorrências minerais conhecidas ao mapa das unidades e subunidades de vegetação parece indicar alguma relação entre o primeiro fator e essa unidade de vegetação, conforme colocado no item “Geoprocessamento” próximo. Porto (1981) considera a influência de cobre e outros metais pesados na formação do tipo savana, principalmente quando em locais em que os indivíduos de *S. lentiscifolius* possuem um hábito arbustivo anão (correspondente à mancha de vegetação arbustiva-herbácea baixa).

A composição florística e estrutura no estrato inferior dessa unidade de vegetação não difere muito nos dois tipos de manchas de vegetação arbustiva-herbácea. Floristicamente esse é muito semelhante às manchas de vegetação herbácea baixa densa, representadas pela subunidade *Eryngium horridum* – *Piptochaetium montevidense* da unidade de vegetação *Eryngium horridum* – *Saccharum angustifolium*. Parece haver uma continuidade de espécies entre essa mancha e o estrato inferior das manchas de vegetação arbustiva-herbácea. Isso pode ser verificado também no município de Bagé, onde Girardi-Deiro *et al.* (1992) registrou espécies dos gêneros *Aristida* e *Briza*, além de *Saccharum angustifolium*, *Eryngium horridum* e *Paspalum notatum* como as mais freqüentes nos campos limpos e nos campos com dois estratos de vegetação.

### Unidade de vegetação *Eryngium horridum* – *Saccharum angustifolium*

As espécies com maiores valores de índice de valor de importância em todas as manchas de vegetação herbácea na mina Volta Grande foram *Eryngium horridum* – *Saccharum angustifolium*, tendo sido utilizadas para denominar essa unidade de vegetação, que caracteriza as manchas de vegetação herbácea alta. Essas manchas ocorrem nas planícies úmidas das baixadas, que são freqüentemente alagadas. A subunidade *Eryngium horridum* – *Piptochaetium montevidense*, por outro lado, ocorre em áreas de grande declividade, nas encostas das coxilhas, onde o solo é raso e bem drenado, podendo ser visualizados, inclusive, afloramentos de rocha. Essa subunidade está relacionada à mancha de vegetação herbácea baixa densa.

As principais dissimilaridades entre esses dois tipos de manchas, que resultou na diferenciação de uma subunidade de vegetação, são estruturais e, muitas vezes, relacionadas a táxons específicos. Apesar da grande similaridade fitossociológica, que uniu esses dois tipos em uma mesma unidade de vegetação, podem ser observadas diferenças principalmente na altura e, de menor expressão, na densidade dos indivíduos de várias espécies, principalmente *Eryngium horridum* e *Saccharum angustifolium*. Esse fator pode estar relacionado à própria condição edáfica, que é tão divergente aqui. Enquanto nas baixadas a vegetação sofre grandes períodos de alagamento, nas encostas declivosas o solo é muito seco, podendo essa diferença entre indivíduos da mesma espécie ser em resposta a essas condições. Porém, nada pode ser categoricamente afirmado em relação às respostas de determinadas espécies, já que seriam necessários estudos autoecológicos específicos para analisar esse fato e aqui se procurou tratar de questões relacionadas às associações vegetais.

Vários trabalhos têm considerado os fatores edáficos e topográficos como de grande importância na distribuição e configuração das comunidades vegetais. Ao analisar mais detalhadamente as manchas de vegetação arbustiva-herbácea alta e herbácea baixa densa na mina Volta Grande, Zocche (inédito) constatou a presença das seguintes comunidades vegetais: unidade de vegetação *Eryngium horridum* – *Stipa filifolia*, com subunidade *Eryngium* - *Saccharum angustifolium*, unidade de vegetação *Schinus lentiscifolius* – *Baccharis trimera*, com subunidade de vegetação *Schinus* – *Oxalis cf floribunda* e unidade de vegetação *Piptochaetium montevidense* - *Paspalum notatum*. A primeira unidade e sua respectiva subunidade foram relacionadas a menores quantidades de água no solo, a segunda unidade e subunidade ocorreram em solos com quantidades mais elevadas de água e a última unidade demonstrou uma preferência intermediária.

Em áreas de mineração de carvão a céu aberto, Zocche (1989) e Zocche e Porto (1993) encontraram, na área controle, as comunidades vegetais (unidades diferenciais) *Axonopus* – *Andropogon* e *Axonopus* – *Piptochaetium*. A primeira ocorreu em baixadas úmidas e a segunda

em áreas de maiores altitudes, onde o solo é seco e arenoso. Nas áreas que foram mineradas, a comunidade *Piptochaetium – Axonopus purpusii* estava associada às encostas e a comunidade *Piptochaetium – Cynodon* ocorreu nas baixadas.

### **Unidade de vegetação *Axonopus affinis – Paspalum pumilum***

Apesar de não ter sido obtido elevado índice de valor de importância para *Paspalum pumilum*, a análise de agrupamentos demonstrou ser esta e *Axonopus affinis* as espécies diferenciais de um grupo muito bem definido e individualizado que foi visualizado no campo. Essa unidade está associada às manchas de vegetação herbácea baixa aberta, que ocorrem nos topos das coxilhas e nas baixadas, sobre solos mal drenados e freqüentemente alagados. Pode ser verificada uma grande dissimilaridade tanto fitossociológica quanto estrutural dessa associação em relação às demais unidades de vegetação das formações campestres.

Um fator de grande importância a ser considerado é a presença do gado ovino nesse tipo de campo. É muito comum nessa região o manejo pelo corte de espécies lenhosas e a queima da vegetação, no intuito de ampliar a área para utilização com animais. De acordo com Boldrini (1997), o grande problema da criação de ovinos é o fato deste animal ser muito seletivo, além de pastejar muito junto ao solo, o que pode eliminar os pontos de crescimento das espécies preferenciais, provocando sua redução ou eliminação. Essa prática interfere na expressão das comunidades naturais e se for utilizada uma lotação animal superior à indicada para o local, aumentará progressivamente a área de solo descoberto, podendo tornar irreversível a sua recuperação (BOLDRINI, 1997). Girardi-Deiro (1999) verificou a presença de comunidades de *Paspalum notatum* nas áreas onde as espécies lenhosas eram cortadas para o uso do gado. Nas áreas queimadas, as comunidades mudaram ao longo dos anos, após cada distúrbio. No primeiro ano predominaram comunidades de *Solidago chilensis*, sendo substituídas por associações de *Eragrostis lugens* e, em seguida, de *Axonopus affinis*.

Além do gado ovino, restrito, em grande parte, a esse tipo de campo, existe a presença dos bovinos em toda a área da mina Volta Grande. As práticas de eliminação da vegetação arbustiva pelo corte e queima dos campos pôde ser observada no verão. As manchas de vegetação herbácea (campos) e arbustiva-herbácea (savanas) são as mais afetadas. Assim, os fatores ambientais (clima, altitude, solo, entre outros) e as alterações antrópicas na área devem ser considerados em relação à configuração da vegetação. Para Braun-Blanquet (1979), o homem tornou-se um fator tão importante como o clima e o solo na conformação das comunidades vegetais.

## 5.2. CONTEÚDO DE COBRE EM PLANTAS

Em relação ao órgão, *Axonopus affinis*, *Saccharum angustifolium*, *Schizachyrium microstachyum* e *Heterothalamus alienus* apresentaram conteúdos de cobre maiores nas raízes; já *Eugenia uniflora* e *Schinus lentiscifolius* não demonstraram, aparentemente, nenhum padrão preferencial. Lima e Cunha (1982) observou que os valores de cobre nos ramos de *S. lentiscifolius* são consideravelmente mais altos que aqueles das folhas. Porto (1981, 1986), por outro lado, constatou valores mais altos nas folhas dessa espécie. Segundo Ernst (1974), a quantidade e a distribuição dos metais nas plantas dependem da disponibilidade do elemento no substrato, da capacidade de absorção e troca de íons e da capacidade de transporte da planta.

De todas as espécies analisadas, apenas nas raízes de *Axonopus affinis* foram encontrados conteúdos de cobre considerados acima do normal (ALLEN *et al.*, 1974), em todas as manchas de vegetação onde a espécie foi coletada. Esses valores foram significativamente maiores na mancha de vegetação herbácea baixa aberta (HBA), justamente onde essa mais se destaca em termos fitossociológicos, representando uma unidade de vegetação.

Nessa mancha de vegetação, que ocorre nos topos das coxilhas e nas baixadas, *Axonopus affinis* apresentou valores de cobre nas raízes entre 38,9 e 95,6 $\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$ , concentrações essas muito maiores em relação ao solo. Sippel (inédito) encontrou, nesse mesmo local, valores entre 7,85 e 8,68 $\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$  de cobre disponível no solo. Esse fato pode estar relacionado às condições geomorfológicas e edáficas que se apresentam nesse local. De acordo com Malyuga (1964), o ciclo biogeoquímico dos elementos nos solos e plantas terrestres segue a seguinte ordem: rocha – solo – plantas – solo (rocha), sendo as camadas superficiais do solo um elo de ligação importante nesse processo. Quando as folhas “caem”, os elementos retornam para o solo, podendo ser carregados ao longo do perfil pela chuva. Alguns compostos podem ser retidos nos horizontes úmidos do solo, causando um enriquecimento do elemento nas suas camadas superficiais (BROOKS, 1983). Segundo Brooks (1983), em solos mal drenados alguns elementos se tornam mais móveis, facilitando a absorção pelas plantas. Além disso, o pH do solo também é um fator importante a ser considerado, pois a atividade do cobre disponível aumenta em substratos ácidos (ROSS, 1994). Nessa mancha de vegetação, Sippel (inédito) verificou valores de pH entre 4,9 e 5,4. De acordo com Jamieson (1942) *apud* Brooks (1983), 100% do cobre disponível é captado pela planta em valor 4 de pH e 33% já com valor 6 de pH. Lima e Cunha (1982) reforça essa consideração ao concluir que a absorção de cobre em *Schinus lentiscifolius* é favorecida quando o pH do solo é mais ácido. Bustamante (1993) considera que condições ácidas tendem a favorecer a disponibilidade do cobre. Assim, considerando as características de drenagem e pH nessa área, além das próprias condições geomorfológicas no local, que possibilitam a acumulação de

materiais, *Axonopus affinis* acumula, em suas raízes, conteúdos de cobre muito mais altos daqueles encontrados no solo. A forma de vida herbácea, com raízes localizadas nas camadas superficiais do solo, facilita o contato e a absorção de metais pesados pela planta (PORTO, com. pess.).

Brooks (1983), ao se preocupar com a indicação de metais pesados pelas plantas, coloca que em solos mal drenados, justamente pelos elementos se tornarem mais disponíveis para a absorção das mesmas, os dados podem ser mal interpretados. No presente trabalho, porém, *Axonopus affinis* apresentou valores sempre muito mais altos do que aqueles encontrados por Sippel (inédito) para os solos, em todas as manchas de vegetação amostradas. Nas manchas AbHB e HBD, onde os solos são bem drenados, os valores de cobre nas raízes dessa espécie foram estatisticamente menores do que na mancha HBA, mas ainda assim são considerados muito maiores do que os normalmente encontrados em plantas (ALLEN *et al.*, 1974) e muito mais altos daqueles no solo (Sippel, inédito).

Essas considerações, no entanto, buscam explicar as respostas dessa espécie em relação ao cobre nas diferentes manchas de vegetação da mina Volta Grande. Porém, no que diz respeito a aspectos de exploração mineral com apoio em espécies indicadoras (prospecção biogeoquímica), são necessários estudos mais direcionados ao comportamento desta em áreas mineralizadas e não mineralizadas.

Para utilização em fitorremediação, a planta deve ser apta a tolerar altos níveis do elemento em seus tecidos, deve ter habilidade em translocar o elemento, em grandes quantidades, das raízes às partes aéreas e possuir uma alta taxa de absorção (CHANEY *et al.*, 1997). Nesse sentido, *Axonopus affinis*, por conter conteúdos de cobre muito mais altos do que o encontrado nos solos, pode ser indicada para estudos de recuperação de áreas degradadas pela mineração. É importante colocar que apenas a característica de acumulação de cobre em níveis mais altos do que o normalmente encontrado em plantas e em relação ao substrato foi levantada aqui. Para constatar a eficácia da sua aplicação em fitorremediação, a espécie deve atender satisfatoriamente todas as fases do processo, ou seja, germinar, crescer, absorver e acumular o elemento em grandes quantidades e em um período de tempo pequeno, além de poder ser facilmente recolhida e reduzida, em termos de volume, para sua destinação final. As plantas nativas possuem a vantagem de não precisar ser retiradas, mas muitas vezes são difíceis de serem cultivadas e reproduzidas (MCINTYRE; LEWIS, 1997). Segundo Chaney *et al.* (1997), ainda não foram demonstradas experiências satisfatórias em fitorremediação de solos com alto conteúdo de cobre.

As demais espécies analisadas não apresentaram valores de cobre acima do normal (ALLEN *et al.*, 1974) em folhas e raízes. Em relação aos dois tipos de manchas de vegetação arbustiva-herbácea (savanas), em geral, os valores de cobre não diferiram entre indivíduos da

mesma espécie, com exceção das folhas de *Schizachyrium microstachyum*, que apresentaram valores significativamente maiores na mancha AbHA. Essas duas manchas, fitossociologicamente agrupadas, também podem ser consideradas similares em relação ao conteúdo de cobre nas espécies vegetais analisadas. Esse fato pode estar relacionado às mineralizações (filões) de cobre, que podem ser evidenciadas principalmente nas áreas de ocorrência da unidade de vegetação *Schinus lentiscifolius* – *Heterothalamus alienus*.

As espécies de Anacardiaceae, em especial *Schinus lentiscifolius*, têm sido relacionadas às mineralizações de cobre por vários autores (LISBOA, 1976 *apud* LIMA E CUNHA, 1983; PORTO, 1981; 1983; 1986; 1989b; LIMA E CUNHA, 1982; 1988). Porto (1981) investigou áreas de mineração no Rio Grande do Sul, verificando, nessa espécie, alterações morfológicas (nanismo) e anatômicas relacionadas a xeromorfismo e atribuídas a teores excessivos de elementos metálicos no solo. Segundo a autora, essas características são respostas de mecanismos de tolerância e resistência aos metais pesados. Lima e Cunha (1982) constatou que a absorção de cobre em *S. lentiscifolius* aumenta relativamente ao conteúdo deste no solo, considerando essa espécie, além de tolerante, uma indicadora local (Fazenda Santa Ivone, Bagé) do elemento. A autora também considera que características como o porte arbustivo, o tamanho das folhas e sua coloração estejam relacionadas às ocorrências cupríferas. Em estudo realizado no Complexo Granítico Lavras, Lima e Cunha (1988) classificou a referida espécie como apropriada para a prospecção biogeoquímica no distrito mineralizado do Escudo Sul-rio-grandense, sendo indicadora dos sulfetos polimetálicos associados à presença de ouro ocorrentes nas rochas graníticas que caracterizam esse complexo. Lima e Cunha (1980), em análise química de *Schinus lentiscifolius* associada aos depósitos de cobre de Cerro dos Martins e mina do Seival, constatou que essa espécie é adequada para a prospecção biogeoquímica de cobre. Porto (1989b), ao avaliar a germinação e o desenvolvimento de plântulas a partir de sementes provenientes da mina do Seival e da mina Sanga Negra, considerou que a espécie forma ecótipos nas áreas mineralizadas em resposta às concentrações de metais pesados no solo.

*Schinus lentiscifolius* é uma espécie onipresente em concentrações baixas, médias e altas de cobre no substrato e pode ser uma indicadora na medida em que os indivíduos tolerantes concentram mais o elemento em questão do que aqueles menos tolerantes (LIMA E CUNHA, 1982). Em coletas sobre rochas graníticas em Lavras do Sul, Lima e Cunha (1988) encontrou valores de cobre de 5 a 37  $\mu\text{g.g}^{-1}$  nas folhas dessa espécie. No presente trabalho, assim como em Zocche (inédito), o conteúdo de cobre encontrado foi relativamente baixo, ou seja, de 4,77 a 6,74  $\mu\text{g.g}^{-1}$  e de 3,26 a 5,52  $\mu\text{g.g}^{-1}$ , respectivamente. Porto (1981), por outro lado, encontrou até 205,5  $\mu\text{g.g}^{-1}$  em folhas e 50  $\mu\text{g.g}^{-1}$  nas raízes de indivíduos coletados na mina Volta Grande. Essas diferenças podem ser, principalmente, devido ao local específico de coleta e o tipo de

amostragem. Enquanto Porto (1981) realizou coletas direcionadas sobre o filão de cobre e rejeitos da mineração e em distâncias regulares dos mesmos, no presente trabalho as amostras foram coletadas sistematicamente, no centro de cada mancha, desconsiderando as ocorrências minerais. Em Zocche (inédito), as coletas foram realizadas ao longo de uma rede de amostragem em locais próximos ao filão, longe do filão e em áreas de rejeito. A amostragem foi realizada em área correspondente a mancha de vegetação arbustiva-herbácea baixa (AbHA), onde também foram realizadas parte das coletas no presente trabalho. Essa mancha de vegetação está localizada na área 1 da mina Volta Grande, onde Mello (1995) constatou uma reserva inferida com 1,2% Cu. Porto (1981), por outro lado, realizou suas coletas na área 2, sobre mineralizações com 1,5% Cu (MELLO, 1995). Um outro fator a ser considerado é que aqui a análise dos dados foi feita em relação a uma amostra composta representativa de toda uma mancha de vegetação, que poderia diluir os valores de cobre nas plantas, podendo os mesmos ser tomados como médias de acordo com Porto (com. pess.). Além disso, segundo Lima e Cunha (1982), a absorção de cobre em *S. lentiscifolius* é muito variável quando os teores na rocha são baixos; em valores altos no substrato, o vegetal perde o controle do processo de absorção e o elemento passa a ser concentrado nos seus tecidos proporcionalmente a sua concentração no solo. Lima e Cunha (1988) coloca, ainda, que o cobre, por sua essencialidade à planta, faz com que essa desenvolva uma capacidade de regular fortemente sua absorção, para compensar as concentrações do substrato acima ou abaixo de seu grau de exigência, sendo assim esse elemento considerado de difícil interpretação em biogeoquímica (BROOKS, 1983). Assim, para trabalhos que visem a identificação de espécies indicadas para utilização em prospecção biogeoquímica, devem ser levados em conta vários fatores que podem afetar a acumulação dos elementos pelas plantas, como a idade e saúde do vegetal, o órgão amostrado, a profundidade do sistema radical, a distribuição da espécie, a disponibilidade do metal no solo, o pH do solo, a drenagem, os efeitos antagonísticos de outros elementos, entre outros (MALYUGA, 1964; ERNST, 1974; BROOKS, 1983).

### 5.3. GEOPROCESSAMENTO

O conceito de comunidade vegetal presume, necessariamente, um certo grau de homogeneidade biológica na estrutura e composição florística (DAUBENMIRE, 1968). Essas associações homogêneas formam um padrão na paisagem, que pode ser reconhecido e mapeado a partir de técnicas de geoprocessamento e investigações fitossociológicas. A maneira como as comunidades vegetais se organizam espacialmente está relacionada aos fatores ambientais e à influência antrópica na área.

No presente estudo, puderam ser observados o uso das diferentes manchas pelo gado ovino e bovino e a correspondência entre a ocorrência das mineralizações cupríferas, auríferas e auro-cupríferas e as unidades e subunidades de vegetação. O primeiro aspecto parece ser mais impactante nas manchas de vegetação relacionadas à unidade de vegetação *Axonopus affinis* – *Paspalum pumilum*, das quais os ovinos se utilizam. Nas demais formações abertas e florestais existe a presença dos bovinos, de maneira menos intensiva. Esse tipo de uso traz consigo a problemática do manejo por corte de espécies lenhosas, queima da vegetação e pisoteio do gado, podendo alterar a composição florística e estrutura natural das comunidades vegetais, conforme já verificado por Boldrini (1997) e Girardi-Deiro (1999).

Girardi-Deiro (1999) constatou que o manejo do fogo acarretou em uma diminuição do conteúdo total de cobre no solo e um aumento deste metal na parte aérea do conjunto de plantas herbáceas analisadas, provavelmente pelo aumento de íons disponíveis. Nesse mesmo trabalho, observou que *Stipa filifolia*, *Demodium affine* e *Dichondra sericea* ocorreram em locais com maiores concentrações de cobre na área, sendo que a última estava presente em um gradiente de vegetação possivelmente relacionado às concentrações de cobre no solo.

Assim, devem ser feitas algumas considerações sobre a influência do segundo aspecto sobre a vegetação, ou seja, a presença das mineralizações (filões) na área. A unidade de vegetação *Schinus lentiscifolius* – *Heterothalamus alienus* corresponde a 63,32% da área total da mina Volta Grande, cobrindo mais da metade das ocorrências minerais conhecidas, o que pode sugerir uma relação entre essa associação e a as mineralizações de cobre e ouro. Porto (1981, 1983, 1986, 1989b) e Lima e Cunha (1980, 1982, 1988), como já referido anteriormente, acreditam que essa relação exista, tendo sido comprovada em trabalhos realizados em minas localizadas em Lavras do Sul, Bagé e Encruzilhada do Sul.

Por outro lado, a unidade de vegetação *Axonopus affinis* – *Paspalum pumilum* e as subunidades *Eryngium horridum* – *Piptochaetium montevidense* e *Eugenia uniflora* – *Cupania vernalis* também estão localizadas em áreas de ocorrência conhecida de filões. Esse fato poderia ser explicado considerando-se que não apenas a presença dos metais pesados, mas também aspectos relacionados à geomorfologia (principalmente declividade), ao solo (drenagem, pH, nutrientes, processos de erosão e lixiviação, entre outros) e ao uso do mesmo estariam influenciando na configuração das unidades e subunidades de vegetação, como já apresentado em itens anteriores. Além disso, para que haja uma resposta da vegetação aos metais pesados, esses devem estar disponibilizados no horizonte do sistema radical das plantas, possibilitando a absorção (MALYUGA, 1964; BROOKS, 1983). Assim, para afirmativas mais exatas e seguras, novamente é reforçado que seriam necessárias avaliações estreitas e específicas nos compartimentos planta, solo e rocha.

## 6. CONCLUSÕES

- 1) Na área da mina Volta Grande são reconhecidas as seguintes associações vegetais: unidade de vegetação *Eugenia uniflora* – *Scutia buxifolia*, com subunidades *Eugenia uniflora* – *Cupania vernalis* e *Eugenia uniflora* – *Allophylus edulis*; unidade de vegetação *Schinus lentiscifolius* – *Heterothalamus alienus*; unidade de vegetação *Eryngium horridum* – *Saccharum angustifolium*, com subunidade *Eryngium horridum* – *Piptochaetium montevidense* e unidade de vegetação *Axonopus affinis* – *Paspalum pumilum*.
- 2) As formações abertas (campos e savanas) sofrem influência principalmente da rota migratória de espécies que entra no Rio Grande do Sul pelo oeste, trazendo elementos chaco-pampeanos. As florestas possuem muitos elementos característicos da Floresta Estacional Semidecidual, alguns elementos atlânticos (Floresta Ombrófila Densa) e espécies relacionadas à Floresta Ombrófila Mista.
- 3) Os métodos de amostragem fitossociológica utilizados foram satisfatórios. A estratificação da área com base nos fotogramas, anterior à amostragem sistemática, foi de grande utilidade no reconhecimento das diferentes fitofisionomias, na coleta dos dados e no zoneamento da vegetação. Os métodos de análise fitossociológica, de avaliação do conteúdo de cobre nas plantas e de geoprocessamento foram eficientes na determinação e caracterização das unidades e subunidades de vegetação e suas relações com as ocorrências minerais na área da Volta Grande.
- 4) A organização espacial das unidades e subunidades de vegetação na área sugere estar relacionada, principalmente, a sua posição geomorfológica, à declividade, à umidade do solo e ao manejo para uso do gado. A unidade de vegetação *Schinus lentiscifolius* – *Heterothalamus alienus* pode estar ligada às ocorrências de mineralizações (filões) cupríferas, auríferas e auro-cupríferas na mina Volta Grande, sendo necessária uma comparação com outras áreas mineralizadas e não-mineralizadas no Estado para utilizar esse dado em prospecção mineral.
- 5) *Axonopus affinis* Chase (Poaceae) concentra em suas raízes um conteúdo de cobre muito maior do que o considerado normal em plantas. A espécie possui uma forma de vida que proporciona a captação e acumulação de elementos presentes nas camadas superficiais do solo através de raízes fasciculadas. Essa característica pode fazer dessa planta objeto de estudos mais detalhados quanto a sua aplicabilidade na reabilitação de áreas degradadas pela mineração no Rio Grande do Sul.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AGNES, G.; PORTO, M. L.; MORAES, M. G. Characterization of new metallothionein genes from plants growing in copperreich soils. In: REUNIÃO ANUAL DA SOCIEDADE BRASILEIRA DE BIOQUÍMICA E BIOLOGIA MOLECULAR, 28., 1998. *Anais...* [S.I.:s.n.], 1998a. p. 35. ref. E-34.
- AGNES, G.; PORTO, M. L.; PASQUALI, G.; MORAES, M. G. Caracterização de genes de metalotioninas de plantas provenientes de solos ricos em cobre. In: SALÃO DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA DA UFRGS, 10., Porto Alegre, 1998. *Resumos...* Porto Alegre: Ed. da UFRGS, 1998b. p. 205. ref. 39.
- AGNES, G.; PORTO, M. L.; PASQUALI, G.; MORAES, M. G. Caracterização de novos genes de metalotioninas de plantas provenientes de solos ricos em cobre. In: REUNIÃO ANUAL DA SOCIEDADE BRASILEIRA PARA O PROGRESSO DA CIÊNCIA, 51., Porto Alegre, 1999. *Resumos...* Porto Alegre: [s.n.], 1999.
- ALLEN, S. E.; GRIMSHAW, H. M.; PARKINSON, J. A.; QUARMBY, C. *Chemical analysis of ecological materials*. Oxford: Blackwell Scientific Publications, 1974.
- ANDERSON, K. L. A comparison of line transects and permanent quadrats in evaluating composition and density of pasture vegetation of the tall prairie grass type. *Journal of the American Society of Agronomy*, 805-822, [19--].
- APPLEGATE, A. D. *Arc View GIS software*, version 3.2. 1999.
- AZEVEDO, J. Jazida aluvionar de Volta Grande. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 1980, 31., Balneário Camboriú. *Anais...* Balneário Camboriú: [s.n.], 1980. p. 1348-1359.
- BABALONAS, D.; MAMOLOS, A. P.; KONSTANTINOU, M. Spatial variation in a grassland on soil rich in heavy metals. *Journal of Vegetation Science*, n. 8, p. 601-604, 1997.

BAKER, A. J. M.; WALKER, P. L. Ecophysiology of metal uptake by tolerant plants. P. 155-177. In: Shaw, A. J. Heavy metal tolerance in plants: evolutionary aspects. Boca Raton: CRC Press, 1989. 355 p.

BATALHA, M. A.; MANTOVANI, W. Floristic composition of the cerrado in the Pé-de-gigante Reserve (Santa Rita do Passa Quatro, Southeastern Brazil). *Acta botanica brasílica*, v. 15, n. 3, p. 289-304, 2001.

BOLDRINI, I. I. Campos do Rio Grande do Sul: Caracterização Fisionômica e Problemática Ocupacional. *Em pauta* – Boletim do Instituto de Biociências da UFRGS, Porto Alegre, n.56, p. 1-38, 1997.

BRASIL. 1ª Divisão de Levantamento, Ministério do Exército Brasileiro. *Folha SH-22-Y-A-IV-3 MI-2995/3 - Lavras do Sul*. Porto Alegre, 1996a. Escala 1:50.000.

BRASIL. 1ª Divisão de Levantamento, Ministério do Exército Brasileiro. *Foto aérea*. Porto Alegre, 1996b. FX-073 nº 5124. Escala 1:60.000.

BRASIL. 1ª Divisão de Levantamento, Ministério do Exército Brasileiro. *Foto aérea*. Porto Alegre, 1996c. FX-073 nº 5125. Escala 1:60.000.

BRAUN-BLANQUET, J. *Fitosociologia: Bases para el estudio de las comunidades vegetales*. Madrid: H. Blume Ediciones, 1979. 820 p.

BROOKS, R. R.; MALAISSE, F. Metal-enriched sites in South Central Africa. In: SHAW, A. J. *Heavy metal tolerance in plants: evolutionary aspects*. Boca Raton: CRC Press, 1989. p. 53-73.

BROOKS, R. R. *Biological methods of prospecting for minerals*. New York: Wiley-Interscience, 1983. 322 p.

\_\_\_\_\_. Copper and cobalt uptake by *Haumaniastrum* species. *Plant and Soil*, n. 48, p. 541-544, 1977.

BROOKS, R. R.; BAKER, A. J. M.; MALAISSE, F. Copper Flowers. *National Geographic Research & Exploration*, v. 8, n. 3, p. 338-351, 1992.

BROOKS, R. R. *et al.* Botanical and geochemical exploration studies at the Seruwila copper-magnetite prospect in Sri Lanka. *Journal of Geochemical Exploration*, n. 24, p. 223-235, 1985.

BROOKS, R. R.; McCLEAVE, J. A.; MALAISSE, F. Copper and cobalt in African species of *Crotalaria* L. *Proceedings of the royal society of London*, n. 197, p. 231-236, 1977.

BROOKS, R. R.; MORRISON, R. S.; REEVES, R. D.; MALAISSE, F. Copper and cobalt in African species of *Aeolanthus* Mart. (Plectranthinae, Labiatae). *Plant and Soil*, n. 50, p. 503-507, 1978.

BROOKS, R. R.; REEVES, R. D.; MORRISON, R. S.; MALAISSE, F. Hyperaccumulation of copper and cobalt – A review. *Bulletin Societe Royale de Botanique de Belgique*, n. 113, 166-172, 1980.

BUSTAMANTE, M. M. *Biomonitoring of heavy metals using higher plants growing at former mining site*. 1993. 197 p. Dissertation (Doktor der Naturwissenschaften) – Fachbereich VI Geographie – Geowissenschaften der Universität of Trier, Trier.

CABIDO, M.; ACOSTA, A.; DÍAZ, S.; ALBARRACÍN, A. G. Factores estructuradores en pastiazales serranos del centro de Argentina. In: SARMIENTO, G.; CABIDO, M. (eds.). *Biodiversidad y funcionamiento de pastiazales y sabanas en América Latina*. Mérida: CYTED y CIELAT, 1996. p. 103-134.

CAIN, S. A. The species-area curve. *The American Midland Naturalist*, Notre Dame, n. 19, p. 573-581, 1938.

CANNON, H. L. Botanical prospecting for ore deposits. *Science*, v. 132, n. 3427, p. 591-598, 1960.

CARVALHO, P. F. Reconhecimento Geológico no Estado do Rio Grande do Sul. *Boletim do Serviço Geológico e Mineralógico do Brasil*, Rio de Janeiro, n. 66, p. 1-72, 1932.

CHANEY, R. L.; MALIK, M.; LI, Y. M.; BROWN, S. L.; BREWER, E. P.; ANGLE, J. S.; BAKER, A. J. M. Phytoremediation os soil metals. *Current Opinions in Biotechnology*, n. 8, p. 279-284, 1997.

CLARK LABS. *Carta Linx Software: the spatial data builder*, version 1.2. 1999.

D'ANGELO, C. *et al.* The Subchaquenian vegetation of the province of Santa Fe (Argentina). *Phytocoenologia*, v. 15, n. 3, p. 329-352, Stuttgart-Braunschweig, 1987.

DAL PIVA, G. G. dos S. *Metais pesados (cádmio, cobre e chumbo) e sua relação com a biossíntese de metabólitos secundários em ecótipos de Baccharis trimera (Less.) A. P. de Candolle - Compositae*. 2001. 205 f. Tese (Doutorado em Ciências) - Programa de Pós-Graduação em Botânica, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre.

DAUBENMIRE, R. *Plant communities: a text book of plant sinecology*. New York: Harper & Row, 1968. 300 p.

DIESEL, S. Estudo fitossociológico herbáceo/arbustivo da mata ripária da bacia hidrográfica do rio dos Sinos, RS. *Pesquisas*, n. 41, p. 201-257, 1991.

DURIGAN, G.; RODRIGUES, R. R.; SCHIAVINI, I. A heterogeneidade ambiental definindo a metodologia de amostragem da floresta ciliar. In: RODRIGUES, R. R.; LEITÃO-FILHO, H. (eds.). *Matas ciliares: conservação e recuperação*. São Paulo: Ed. da USP, 2000. p. 159-167.

EBBS, S.; KOCHIAN, L. V. Phytoextracion of zinc by oat (*Avena sativa*), barley (*Hordeum vulgare*) and indian mustard (*Brassica juncea*). *Environmental, Science & Technology*, v. 32, n. 6, 1998.

ERNST, W. *Schermetallvegetation der Erde*. Stuttgart: Gustav Fischer Verlag, 1974. 194 p.

FERNANDES, A. *Fitogeografia brasileira*. Fortaleza: Multigraf, 1998. 340 p.

FERNANDES, I.; BAPTISTA, L. R. de M. Inventário da flora rupestre e para-rupestre de "Casa de Pedra", Bagé, Rio Grande do Sul. *Pesquisas*, n. 49, p. 53-70, 1999.

FERRI, M. G. A. A vegetação de cerrados brasileiros. In: WARMING, E. *Lagoa Santa*. Belo Horizonte: Ed. da USP, 1973. p. 287-351.

FRANGI, J. L.; BARRERA, M. D. Biodiversidad y dinamica de pastiazales en la Sierra de la Ventana, Provincia de Buenos Aires, de Argentina. In: SARMIENTO, G.; CABIDO, M. (eds.). *Biodiversidad y funcionamiento de pastiazales y sabanas en América Latina*. Mérida: CYTED y CIELAT, 1996. p. 135-166.

GAVRONSKY, E. F. *Relatório final dos trabalhos de pesquisa nas ocorrências de cobre em Volta Grande, Vista Alegre, município de Lavras do Sul, RS, nos anos de 1959 a 1963*. Porto Alegre: DNPM, 1964. 48 p.

GIRARDI-DEIRO, A. M. *Influência de manejo, profundidade do solo, inclinação do terreno e metais pesados sobre a estrutura e dinâmica da vegetação herbácea da Serra do Sudeste, RS*. 1999. 196 f. Tese (Doutorado em Ciências) – Curso de Pós-Graduação em Botânica, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre.

GIRARDI-DEIRO, A. M.; GONÇALVES, J. O. N.; GONZAGA, S. S. Campos naturais ocorrentes nos diferentes tipos de solo no Município de Bagé, RS: fisionomia e composição florística. *Iheringia*, Porto Alegre, n. 42, p. 55-79, dez. 1992.

GIRARDI-DEIRO, A. M.; KÄMPF, A. N. Composição botânica dos campos naturais das Estações Experimentais da Secretaria da Agricultura – 2ª etapa: Estação Experimental Fitotécnica de Bagé, Rio Grande do Sul. *Anuário Técnico do IPZFO*, Porto Alegre, v. 8, p. 171-316, 1978.

GIRARDI-DEIRO, A. M.; MOTA, A. F.; GONÇALVES, J. O. N. Efeito do corte de plantas lenhosas sobre o estrato herbáceo da vegetação da Serra do Sudeste, RS, Brasil. *Pesquisa agropecuária brasileira*, Brasília, v. 29, n. 12, p. 1823-1832, 1994.

GOEDICKEMEIR, I.; WILDI, O. ; KIENAST, F. Sampling for vegetation survey: some properties of a GIS-based stratification compared to other statistical sample methods. *Coenoses*, Gorizia, v. 12, n. 1, p. 43-50, 1997.

HASLETT, J. R. Geographic Information Systems: a new approach to habitat definition and the study of distributions. *Trends in Ecology: Evolution*, v. 5, n. 7, p. 214-218, 1990.

HOFBAUER, R. *Schwermetallgehalte in Südbrasilianischen Flechten*. Zulassungsarbeit (Botanik) - Abteilung Spezielle Botanik, Universität Ulm. Ulm, 1979.

HORBACH, R. *et al.* Geologia. In: *Levantamento de Recursos Naturais*. v. 33: Folha SH.22 Porto Alegre e parte das Folhas SH.21 Uruguaiana e SI.22. Rio de Janeiro: SEPLAN e IBGE, 1986. p. 29-312.

HOWARD-WILLIAMS, C. Environmental factors controlling the growth of plants on heavy metal soils. *Kirkia*, v. 8, p. 91-102, 1971.

JARENKOW, J. A. *Estudo fitossociológico comparativo entre duas áreas com mata de encosta no Rio Grande do Sul*. 1994. 125 p. Tese (Doutorado em Ecologia), Centro de Ciências Biológicas e da Saúde, Universidade Federal de São Carlos, São Carlos.

JONGMAN, R. H.; BRAAK, C. J. F.; TONGEREN, O. F. R. *Data analysis in community and landscape ecology*. Wageningen: Pudoc, 1987.

JUSTUS, J. O. Hidrografia. In: *Geografia do Brasil*. Rio de Janeiro: IBGE, 1990. v. 2: Região Sul. p. 189-218.

JUSTUS, J. O.; MACHADO, M. L. A.; FRANCO, M. S. M. Geomorfologia. In: *Levantamento de Recursos Naturais*. v. 33: Folha SH.22 Porto Alegre e parte das Folhas SH.21 Uruguaiana e SI.22. Rio de Janeiro: SEPLAN e IBGE, 1986. p. 313-404.

KAUL, P. F. T. Distrito aurífero de Lavras do Sul (RS) – Histórico dos trabalhos de pesquisa e exploração. *Mineração e Metalurgia*, n. 364, p. 18-22, 1975.

KAUL, P. F. T. Geologia. In: *Geografia do Brasil*. Rio de Janeiro: IBGE, 1990. v. 2: Região Sul. p. 29-54.

KAUL, P. F. T.; RHEINHEIMER, D. *Projeto ouro no Rio Grande do Sul e Santa Catarina - Relatório final*. Porto Alegre: DNPM/CPRM, 1974.

KLEIN, R. M. Árvores nativas da floresta subtropical do Alto Uruguai. *Sellowia*, n. 24, p. 9-62, 1972.

KONRAD, H. G.; PALOSKI, N. I. Fauna da região das Minas do Camaquã, sub-bacia do arroio João Dias. In: RONCHI, L. H.; LOBATO, A. O. C. *Minas do Camaquã, um estudo multidisciplinar*. São Leopoldo: Ed. UNISINOS, 2000. p. 85-108.

LANDAU, E. C. Ecologia de Paisagem da região do vale do rio dos Sinos - Santa Cristina do Pinhal, Parobé, RS em bases fitossociológicas e de geoprocessamento. 1994. 136 f. Dissertação (Mestrado em Ecologia) – Curso de Pós-Graduação em Ecologia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre.

LANGE, O. *Estudo fitossociológico de um campo pastejado através de duas metodologias amostrais*. 1991. 91 f. Dissertação (Bacharelado em Botânica) – Departamento de Botânica, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre.

LEONARDOS, O. H. O ouro de Lavras, Rio Grande do Sul. *Mineração e Metalurgia*, Rio de Janeiro, v. 6, n. 34, p. 176, 1942.

LEWIS, J. P. Pastiazales y sabanas de la Provincia de Santa Fe, Argentina. In: SARMIENTO, G.; CABIDO, M. (eds.). *Biodiversidad y funcionamiento de pastiazales y sabanas en América Latina*. Mérida: CYTED y CIELAT, 1996. p. 79-102.

LEWIS, J. P.; PIRE, E. F.; PRADO, D. E.; STOFELLA, S. L.; FRANCESCHI, E. A.; CARNEVALE, N. J. Plant communities and phytogeographical position of a large depression in the Great Chaco, Argentina. *Vegetatio*, n. 86, p. 25-38, 1990.

LIMA E CUNHA, M. C. *A biogeoquímica na prospecção mineral – Aplicação do método em área mineralizada a cobre no Rio Grande do Sul*. 1982. 89 f. Tese (Doutorado em Geociências) - Curso de Pós-Graduação em Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre.

\_\_\_\_\_. Estudos biogeoquímicos no Complexo Granítico Lavras, Lavras do Sul, RS. *Revista Brasileira de Geociências*, v. 18, n. 4, p. 441-450, dez. 1988.

LIMA E CUNHA, M. C. O emprego da vegetação na prospecção mineral. *Acta Geologica Leopoldensia*, São Leopoldo, ano 7, n. 15, p. 133-152, 1983.

\_\_\_\_\_. Prospecção biogeoquímica para cobre em Cerro dos Martins e Mina do Seival, Caçapava do Sul, RS. *Acta Geologica Leopoldensia*, São Leopoldo, v. 4, n. 8, p. 95-108, 1980.

LINDMAN, C. A. M. G. *A vegetação do Rio Grande do Sul (Brasil Austral)*. Trad. Por Alberto Loeffgren. Porto Alegre: Livraria Universal, 1906. 356 p.

MA, L. Q.; KOMAR, K. M.; TU, C.; ZHANG, W.; CAI, Y.; KENNELLY, E. D. A fern that hyperaccumulates arsenic. *Nature*, n. 409, p. 579, 2001.

MACEDO, W. Levantamento de reconhecimento dos solos do município de Bagé, RS. Brasília: Departamento de Difusão de Tecnologia, 1984. 69 p. (EMBRAPA-UEPAE de Bagé. Documentos, 1).

MALAISSÉ, F. Copper and vegetation in Shaba (Zaire). *Bulletin des Seances*, v. 40, n. 4, p. 561-580, 1994.

MALAISSÉ, F.; GREGOIRE, J.; BROOKS, R. R.; MORRISON, R. S.; REEVES, R. D. *Aeolanthus biformifolius* De Wild.: a hyperaccumulator of copper from Zaire. *Science*, v. 199, p. 887-888, 1978.

MALYUGA, D. P. *Biogeochemical methods of prospecting*. New York: Consultants Bureau, 1964. 205 p.

MANLY, E. *Randomization and Monte Carlo Methods in Biology*. London: Chapman Hall, 1991. 281 p.

MANTOVANI, W.; MARTINS, F. R. O método dos pontos. *Acta botanica brasílica*, v. 4, n. 2, p. 95-122, 1990.

MARTINS, F. R. *Estrutura de uma floresta mesófila*. 2 ed. Campinas: Ed. da Universidade Estadual de Campinas, 1993. 246 p.

MATTEUCCI, S. D.; COLMA, A. *Metodologia para el estudio de la vegetation*. Washington: OEA, 1982. 168 p.

McINTYRE, T.; LEWIS, G. M. The advancement of phytoremediation as an innovative environmental technology for stabilization, remediation or restoration of contaminated sites in Canada: A discussion paper. *Journal of Soil Contamination*, v. 6, n. 3, p. 227-241, 1997.

MELLO, F. D. *Relatório consolidado sobre a pesquisa geológica em Lavras do Sul*. Porto Alegre: CRM, 1995. 66 p. (Relatório interno).

MENEGAT, R.; HASENACK, H.; CARRARO, C. C. As formas da superfície: síntese do Rio Grande do Sul. In: *ATLAS Ambiental de Porto Alegre*. Porto Alegre: Ed. da UFRGS, 1998. p. 25

MEXIAS, A. S. *O sistema hidrotermal fóssil de Volta Grande, Lavras do Sul/RS*. 1990. Dissertação (Mestrado em Geociências) - Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre.

MINERAR Consultoria e Projetos. *Diagnóstico das potencialidades minerais do município de Lavras do Sul*. [S.l.:s.n.,19--]. CD-ROM.

MOHR, F. V. *Zoneamento da vegetação da Reserva Ecológica do Morro Santana - Porto Alegre, RS - Aplicabilidade de Geoprocessamento e bases fitossociológicas*. 1995. 69 f. Dissertação (Mestrado em Ecologia) – Curso de Pós-Graduação em Botânica, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre.

MUELLER-DOMBOIS, D.; ELLENBERG, H. *Aims and methods of vegetation ecology*. New York: John Wiley & Sons, 1974. 574 p.

NARDI, L. S. V. *Geochemistry and petrology of the Lavras Granite Complex, RS, Brazil*. 1984. 268 p. Thesis (Doctor of Philosophy), University of London, London.

NARDI, L. S. V.; LIMA, E. F. A associação shoshonítica de Lavras do Sul, RS. *Revista Brasileira de Geociências*, v. 15, n. 2, p. 139-146, 1985.

NASCIMENTO, F. S.; CHEN, S. C. *Sensoriamento remoto aplicado à prospecção de minerais de zinco no grupo Bambuí, baseado em estudos geobotânicos*. [S.I.]: INPE, 1976. 25 p. (Relatório).

NASCIMENTO, F. S.; NASCIMENTO, M. A. L. S.; CHEN, S. C. *Relatório final do Projeto Zinco*. [S.I.]: INPE, 1978. 124 p. (Relatório).

O'NEIL, R. N *et al.* Indices of landscape patterns. *Landscape Ecology*, New York, v. 1. n. 3, p. 153-162, 1988.

OLIVEIRA, A. I. História da mineração no Rio Grande do Sul. *Mineração e Metalurgia*, v. 7, n. 41, p. 265-270, 1943.

OLIVEIRA, M. L. A. A. de. *Análise do padrão de distribuição espacial de comunidades vegetais do Parque Estadual Delta do Jacuí: Mapeamento e subsídios ao zoneamento da unidade de conservação*. 1998. Tese (Doutorado em Ciências) – Curso de Pós-Graduação em Botânica, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre.

PAIM, P. S. G.; CHEMALE, F.; LOPES, R. da C. A bacia do Camaquã. In: HOLZ, M.; DE ROS, L. F. (eds.). *Geologia do Rio Grande do Sul*. Porto Alegre: CIGO/UFRGS, 2000. p. 231-274.

PARKER, K. W.; SAVAGE, D. A. Reliability of the line interception method in measuring vegetation on the Southern Great Plains. *Journal of the American Society of Agronomy*, v. 36, n. 2, p. 97-110, 1944.

PIELOU, E. C. *The interpretation of ecological data: A primer on classification and ordination*. New York: John Wiley & Sons, 1984. 263 p.

PILLAR, V. P. *Fatores de ambiente relacionados a variação da vegetação de um campo natural*. 1988. 164 f. Dissertação (Mestrado em Zootecnia) – Faculdade de Agronomia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre.

\_\_\_\_\_. *MULTIV: aplicativo para análise multivariada e testes de hipóteses – versão 2.0.3*.

Departamento de Ecologia da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2001a.

PILLAR, V. P. Multivariate exploratory analysis na randomization testing with MULTIV. *Coenoses*, Gorizia, n. 12, p. 145-148, 1997.

\_\_\_\_\_. Suficiência amostral. In: BICUDO, D. *Amostragem em limnologia*. Maringá: Ed. Universidade de Maringá, 2001b. (no prelo).

\_\_\_\_\_. *The theory of character-based community analysis*. Thesis (Doctor of Philosophy) - University of Western Ontario, Ontario, 1992.

PILLAR, V. P.; JACQUES, A. V. A.; BOLDRINI, I. Fatores de ambiente relacionados à variação da vegetação de um campo natural. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, Brasília, v. 27, n. 8, p. 1089-1101, ago. 1992.

PORCHER, C. A.; LOPES, R. da C. *Programa Levantamentos Geológicos Básicos do Brasil - Cachoeira do Sul - Folha SH.22-Y-A*. Brasília: CPRM, 2000.

PORTO, M. L. *Aerolevantamento e seus reflexos sobre o desenvolvimento e segurança nacionais: As modernas técnicas de aerolevantamento e uso de satélites*. [Brasília]: ESG, 1983. 102 p.

\_\_\_\_\_. As formações vegetais: evolução e dinâmica da conquista. In: *ATLAS Ambiental de Porto Alegre*. Porto Alegre: Ed. da UFRGS, 1998. p. 47-58.

\_\_\_\_\_. *Beiträge zur Schwermetallvegetation von Rio Grande do Sul, Brasilien*. 1981. 76 p. Dissertation (Doktor der Naturwissenschaften) - Fakultät für Naturwissenschaften und Mathematik der Universität Ulm, Ulm.

\_\_\_\_\_. Plantas detectoras de metais. *Ciência Hoje*, v. 10, n. 55, p. 8-9, 1989a.

\_\_\_\_\_. Tolerância ao cobre em ecótipos de *Schinus lentiscifolius* March (Anacardiaceae) de áreas de mineração no Rio Grande do Sul, Brasil. *Acta botanica brasílica*, v. 3, n. 2, p. 23-31. 1989b.

\_\_\_\_\_. Vegetação metalófila e o desenvolvimento do setor mineral. In: SIMPÓSIO DE TRÓPICO ÚMIDO, 1., Belém. *Anais...* Belém: EMBRAPA-CPATU, 1986. p. 171-183.

PORTO, M. L.; SILVA, M. F. F. Tipos de vegetação metalófila em áreas da Serra de Carajás e de Minas Gerais, Brasil. *Acta botanica brasílica*, v. 3, n. 2, p. 13-21, 1989.

PRADO, D. E. *A critical evaluation of the floristic links between Chaco and Caatingas vegetation in South America*. 1991. 173 f. Thesis (Doctor of Philosophy) - University of Saint Andrews.

PROCHNOW, T. R. *Avaliação de áreas com rejeitos da mineração de carvão, com ênfase em bioindicadores vegetais para metais pesados, no município de Charqueadas, RS*. 1995. 135 f. Dissertação (Mestrado em Ecologia) – Curso de Pós-Graduação em Ecologia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre.

PROCHNOW, T. R.; PORTO, M. L. Avaliação de uma área de rejeitos da mineração de carvão com vistas a bioindicadores vegetais para metais pesados. In: CENTRO DE ECOLOGIA/UFRGS. *Carvão e meio ambiente*. Porto Alegre: Ed. da UFRGS, 2000. p 673-694.

RAMBO, B. *A fisionomia do Rio Grande do Sul*. 3 ed. São Leopoldo: Ed. Unisinos, 1994. 473 p.

RAMGRAB, G. E. *et al.* Principais recursos minerais do Rio Grande do Sul. In: HOLZ, M. DE ROS, L. F. (eds.). *Geologia do Rio Grande do Sul*. Porto Alegre: CIGO/UFRGS, 2000. p. 407-477.

REILLY, A.; REILLY, C. Copper-induced chlorosis in *Becium homblei* (De Wild.) Duvign. & Plancke. *Plant and Soil*, n. 38, p. 671-674, 1973.

REILLY, C. ; ROWEL, J.; STONE, J. The accumulation and binding of copper in leaf tissue of *Becium homblei* (De Wild.) Duvign. & Plancke. *New Phytologist*, n. 69, p. 993-997, 1970.

REITZ, R.; KLEIN, R. M.; REIS, A. Projeto Madeira de Santa Catarina. *Sellowia*, ano 30, n. 28-30, p. 1- 320, 1978.

**REMUS, M. V. D. *et al.* Zircon SHRIMP U/Pb and Nd isotope data of granitoids of the São Gabriel Block, southern Brazil: evidence for an Archean/paleoproterozoic basement. In: INTERNATIONAL SYMPOSIUM OF GRANITES AND ASSOCIATED MINERALIZATIONS, 2., 1997, Salvador. *Extended Abstracts...* Salvador: [s.n.], 1997. p. 271-272.**

RIZZINI, C. T. *Tratado de fitogeografia do Brasil: aspectos ecológicos, sociológicos e florísticos*. 2 ed. Rio de Janeiro: Âmbito Cultural Edições Ltda., 1997. 747 p.

RODRIGUES, R. R.; NAVE, A. G. Heterogeneidade florística das matas ciliares. Cap. 4. In: RODRIGUES, R. R.; LEITÃO-FILHO, H. (eds.) *Matas ciliares: conservação e recuperação*. São Paulo: Ed. da USP, 2000. p. 45-71.

ROSS, S. M. Retention, transformation and mobility of toxic metals in soils. In: ROSS, S. M. (ed.). *Toxic metals in soil-plant systems*. Chichester: John Wiley and Sons, 1994. p. 63-152.

SALT, D. E.; SMITH, R. D.; RASKIN, I. Phytoremediation. *Annual review of plant physiology and plant molecular biology*, n. 49, p. 643-668, 1998.

SANTOS, M. *Paspalum notatum Flüggé var. notatum (Poaceae) em ambientes com e sem rejeitos de mineração de carvão: morfo-anatomia e bioacumulação de metais pesados*. 2000. Tese (Doutorado em Ciências) – Programa de Pós-Graduação em Botânica, Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

SARMIENTO, G. Ecología de pastiazales y sabanas en América Latina. In: SARMIENTO, G.; CABIDO, M. (eds.). *Biodiversidad y funcionamiento de pastiazales y sabanas en América Latina*. Mérida: CYTED y CIELAT, 1996. p. 15-24.

TANG, S.; WILKE, B. M.; HUANGE, C. The uptake of copper by plants dominantly growing on copper mining spoils along the Yangtze River, the People's Republic of China. *Plant and Soil*, v. 209, n. 2, p. 225-232, 1999.

TEIXEIRA, M. B.; COURA NETO, A. B.; PASTORE, U.; RANGEL FILHO, A. L. R. Vegetação: As regiões fitoecológicas, sua natureza e seus recursos econômicos – Estudo fitogeográfico. In: *Levantamento de Recursos Naturais*. v. 33: Folha SH.22 Porto Alegre e parte das Folhas SH.21 Uruguaiana e SI.22. Rio de Janeiro: SEPLAN e IBGE, 1986. p. 541-632.

TURNER, M. G. Spatial and temporal analysis of landscape patterns. *Landscape Ecology*, New York, v. 4, n. 1, p. 21-30, 1990.

VALENTIN, J. L. Agrupamento e ordenação. In: PERES-NETO, P. R.; VALENTIN, J. L.; FERNANDEZ, F. A. S. *Oecologia Brasiliensis*. v. 3: *Tópicos em Tratamento de Dados Biológicos*. Rio de Janeiro: [s.n.], 1995. p. 27-55.

VALLE, H. F.; ROSSEL, R. A. Mineral composition of perennial vegetation of shrub patches in northeastern Patagonia. *Arid Soil and Rehabilitation*, v. 14, n. 1, p. 15-25, 2000.

VELOSO, H. P.; GÓES-FILHO, L. Fitogeografia brasileira: classificação fisionômica-ecológica da vegetação neotropical. *Boletim técnico do projeto RADAMBRASIL*. Série Vegetação. Salvador, n. 1, p. 1-79, 1982.

VELOSO, H. P.; KLEIN, R. M. As comunidades e associações vegetais da mata pluvial do sul do Brasil. I – As comunidades do município de Brusque, Estado de Santa Catarina. *Sellowia*, ano 9, n. 8, p. 81-235, 1957.

VERKLEIJ, J. A. C.; SCHAT, H. Mechanisms of metal tolerance in higher plants. In: SHAW, A. J. *Heavy metal tolerance in plants: evolutionary aspects*. Boca Raton: CRC Press, 1989. p. 179-189.

WALTER, H.; BRECKLE, S. Ecological systems of the geobiosphere. v. 2: *Tropical and subtropical zonobiomes*. Berlin: Springer-Verlag, 1985. 465 p.

WARMING, E. *Lagoa Santa*. Belo Horizonte: Ed. da USP, 1973. 386 p.

WEBER, R. L. M.; TERMIGNONI, R. R.; PORTO, M. L. Comportamento *in vitro* de *Baccharis trimera* (carqueja) em diferentes níveis de sobrecarga por cobre. 2001. In: SALÃO DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA, 13., 2001, Porto Alegre. *Resumos...* Porto Alegre: Ed. da UFRGS, 2001. p. 297. ref. 188.

WILD, H.; BRADSHAW, A. D. The evolutionary effects of metalliferous and other anomalous soils in South Central África. *Evolution*, n. 31, p. 282-293, 1977.

WILDI, O.; ORLÓCI, L. *Numerical exploration of community patterns – A guide to the use of MULVA-5*. 2. ed. Amsterdam: SPB Academic Publishing, 1996. 171 p.

ZANARDI JÚNIOR, V. *Avaliação do sistema de lagoas em área de mineração de carvão a céu aberto, com ênfase nas concentrações de metais pesados em água, planta e substrato*. 1990. 98 f. Dissertação (Mestrado em Ecologia) - Curso de Pós-Graduação em Ecologia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre.

ZANARDI JÚNIOR, V.; PORTO, M. L. Avaliação do sistema de lagoas em área de mineração de carvão a céu aberto: metais pesados na água, plantas e substrato. *Em pauta* - Boletim do Instituto de Biociências da UFRGS, Porto Alegre, n. 49, p. 1-83, 1991.

ZHANG, C.; SELINUS, O.; KJELLSTRÖM, G. Discrimination between natural background and anthropogenic pollution in environmental geochemistry – exemplified in an area of south-eastern Sweden. *The Science of the Total Environment* n. 243/244, p. 129-140, 1999.

ZOCHE, J. J. *Comunidades vegetais de campo e sua relação com a concentração de metais pesados no solo em áreas de mineração de carvão a céu aberto, na Mina Recreio – Butiá – RS*. 1989. 159 f. Dissertação (Mestrado em Ecologia) – Curso de Pós-Graduação em Ecologia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre.

ZOCHE, J. J.; PORTO, M. L. Florística e fitossociologia de campo natural sobre banco de carvão e áreas mineradas, Rio Grande do Sul, Brasil. *Acta botanica brasílica*, v. 6, n. 2, p. 47-84, 1993.

## Anexo A: Análise de concentração

M U L V A - 5 Vers. 1.02

\*\*\*\*\*  
 \*\*\* AOCL 09.05.95 \*\*\*  
 \*\*\*\*\*

### CONTINGENCY TABLE

COLUMN GROUP NO.:	1	2	3	4	5
1. ROW GROUP					
70	116	0	0	0	
2. ROW GROUP					
0	0	22	3	132	
3. ROW GROUP					
0	0	5	26	58	
4. ROW GROUP					
0	0	78	2	38	
5. ROW GROUP					
0	0	10	4	43	

GRAND TOTAL AFTER REDUCING: 607.00

AVERAGE GROUP SIZE IS 259.6

### ADJUSTED CONTINGENCY TABLE

COLUMN GROUP NO.:	1	2	3	4	5
1. ROW GROUP					
58.580	53.931	0.000	0.000	0.000	
2. ROW GROUP					
0.000	0.000	35.507	19.367	85.216	
3. ROW GROUP					
0.000	0.000	7.061	146.869	32.763	
4. ROW GROUP					
0.000	0.000	97.912	10.042	19.080	
5. ROW GROUP					
0.000	0.000	9.415	15.063	16.193	

...eigenanalysis...

### EIGENVALUES:

.10000E+01 .48819E+00 .17930E+00

### PERCENTAGES:

59.97 29.28 10.75

### CANONICAL CORRELATIONS:

1.00000 0.69870 0.42344

CHI SQUARE= 1012.165

MEAN SQUARE CONTINGENCY COEFF.= 0.417

### CANONICAL SCORES OF ATTRIBUTES GROUPS

1	2.0964	0.0000	0.0000
2	-0.4770	-0.4298	-1.6167
3	-0.4770	1.2926	0.5163
4	-0.4770	-1.4547	1.1906
5	-0.4770	0.0905	-0.5200

### CANONICAL SCORES OF RELEVE GROUPS

1	2.0964	0.0000	0.0000
2	2.0964	0.0000	0.0000
3	-0.4770	-1.4104	0.9125
4	-0.4770	1.2587	0.6003
5	-0.4770	-0.1920	-1.6421

## TOTAL DEVIATION FROM EXPECTATION

-----  
COLUMN GROUP NO.:

	1	2	3	4	5
1. ROW GROUP					
	47.722	43.934	-27.784	-35.466	-28.406
2. ROW GROUP					
	-13.520	-12.447	0.912	-24.793	49.847
3. ROW GROUP					
	-18.017	-16.587	-39.042	88.018	-14.372
4. ROW GROUP					
	-12.260	-11.287	66.542	-30.002	-12.993
5. ROW GROUP					
	-3.925	-3.614	-0.629	2.243	5.925

LATTICE OF DEVIATIONS NO. 1

-----  
COLUMN GROUP NO.:

	1	2	3	4	5
1. ROW GROUP					
	47.722	43.934	-27.784	-35.466	-28.406
2. ROW GROUP					
	-13.520	-12.447	7.871	10.048	8.048
3. ROW GROUP					
	-18.017	-16.587	10.490	13.390	10.725
4. ROW GROUP					
	-12.260	-11.287	7.138	9.111	7.298
5. ROW GROUP					
	-3.925	-3.614	2.285	2.917	2.336

LATTICE OF DEVIATIONS NO. 2

-----  
COLUMN GROUP NO.:

	1	2	3	4	5
1. ROW GROUP					
	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
2. ROW GROUP					
	0.000	0.000	14.652	-16.691	2.040
3. ROW GROUP					
	0.000	0.000	-58.729	66.904	-8.176
4. ROW GROUP					
	0.000	0.000	44.973	-51.233	6.261
5. ROW GROUP					
	0.000	0.000	-0.896	1.021	-0.125

LATTICE OF DEVIATIONS NO. 3

-----  
COLUMN GROUP NO.:

	1	2	3	4	5
1. ROW GROUP					
	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
2. ROW GROUP					
	0.000	0.000	-21.611	-18.149	39.760
3. ROW GROUP					
	0.000	0.000	9.197	7.724	-16.921
4. ROW GROUP					
	0.000	0.000	14.431	12.120	-26.551
5. ROW GROUP					
	0.000	0.000	-2.018	-1.695	3.713

## ROW PROFILES

-----

## 1. ROW

```

      -8.80E+01          0.00E+00          8.80E+01
      -----0-----
COL 1          2          T
      :
COL 2          2          T
      :
COL 3          T          2
      :
COL 4          T          2
      :
COL 5          T          2
      :

```

## 2. ROW

```

      -8.80E+01          0.00E+00          8.80E+01
      -----0-----
COL 1          T          2
      :
COL 2          T          2
      :
COL 3          3          :T1 2
      :
COL 4          T32       : 1
      :
COL 5          :21       3 T
      :

```

## 3. ROW

```

      -8.80E+01          0.00E+00          8.80E+01
      -----0-----
COL 1          T          2
      :
COL 2          T          2
      :
COL 3          2          T          : 1
      :
COL 4          :          3 1          2          T
      :
COL 5          T          2: 1
      :

```

## 4. ROW

```

      -8.80E+01          0.00E+00          8.80E+01
      -----0-----
COL 1          T          2
      :
COL 2          T          2
      :
COL 3          :          1 3          2          T
      :
COL 4          2          T          : 1
      :
COL 5          3          T: 1
      :

```

## 5. ROW

```

      -8.80E+01      0.00E+00      8.80E+01
      -----0-----
COL 1      T
      :
COL 2      T
      :
COL 3      T1
      :
COL 4      3T
      :
COL 5      21T
      :

```

## COLUMN PROFILES

-----

## 1. COLUMN

```

      -8.80E+01      0.00E+00      8.80E+01
      -----0-----
ROW 1      2      T
      :
ROW 2      T 2
      :
ROW 3      T 2
      :
ROW 4      T 2
      :
ROW 5      T
      :

```

## 2. COLUMN

```

      -8.80E+01      0.00E+00      8.80E+01
      -----0-----
ROW 1      2      T
      :
ROW 2      T 2
      :
ROW 3      T 2
      :
ROW 4      T 2
      :
ROW 5      T
      :

```

## 3. COLUMN

```

      -8.80E+01      0.00E+00      8.80E+01
      -----0-----
ROW 1      T      2
      :
ROW 2      3      :T1 2
      :
ROW 3      2      T      : 1
      :
ROW 4      : 1 3      2      T
      :
ROW 5      T1
      :

```

## 4. COLUMN

```

      -8.80E+01          0.00E+00          8.80E+01
      -----0-----+
ROW 1          T          2
      :
ROW 2          T32      : 1
      :
ROW 3          : 3 1          2  T
      :
ROW 4          2  T      : 1
      :
ROW 5          3T
      :

```

## 5. COLUMN

```

      -8.80E+01          0.00E+00          8.80E+01
      -----0-----+
ROW 1          T          2
      :
ROW 2          :21          3  T
      :
ROW 3          T 2: 1
      :
ROW 4          3  T      : 1
      :
ROW 5          21T
      :

```



NO., COMPONENT COEFFICIENTS, FIRST 6 AXES  
(RELEVES, 19 AXES STORED)

+---+		+---+		+---+	
/	/	/	/	/ 3	/
+---+ +		+---+2+		+---+ +	
1	/		/		/
+---+		+---+		+---+	
1		1		12	
21 1		1 12		1 112	
12 22		3112		111	
2111		12 2		21	
3 1		1 1 2		1 2	
121		121		1 2 3	
1 22		4 1		1 1 2 11	
1 1 132		231 11		1 132 14753	
2 1 3423		12622 1 1		11 243 451	
42 11 241		42421 11		85 12	
*8 113 3		14391 3 111 2		42	
3 21212		12 11 1 122		42	

NO., COMPONENT SCORES  
(ATTRIBUTES, 19 AXES STORED)

+---+		+---+		+---+	
/	/	/	/	/ 3	/
+---+ +		+---+2+		+---+ +	
1	/		/		/
+---+		+---+		+---+	
1		1			
1		1		11	
1		1		1 1	
1 2 1		121		2*7 1	
4*521 1		12*2		*4 41 1	1
*23 1	1	1 4*151		3 2 11	
1 2		1 1 1		1	
1 1		1 1			1
1	1	1	1	2	

\*\*\*\*\*  
 \*\*\* COMP 27.04.94 \*\*\*  
 \*\*\*\*\*

--- ALGORITHM IS PCAR

EIGENVALUES:

0.527E+01 0.315E+01 0.225E+01 0.137E+01 0.115E+01 0.110E+01 0.892E+00 0.776E+00  
 0.751E+00 0.615E+00 0.598E+00 0.517E+00 0.462E+00 0.425E+00 0.387E+00 0.370E+00  
 0.348E+00 0.311E+00 0.287E+00 0.261E+00 0.241E+00 0.233E+00 0.213E+00 0.210E+00  
 0.189E+00 0.178E+00 0.166E+00 0.157E+00 0.136E+00 0.127E+00 0.119E+00 0.118E+00  
 0.106E+00 0.102E+00 0.965E-01 0.950E-01 0.921E-01 0.844E-01 0.820E-01 0.792E-01  
 0.782E-01 0.738E-01 0.673E-01 0.587E-01 0.535E-01 0.525E-01 0.479E-01 0.444E-01  
 0.404E-01 0.368E-01 0.320E-01 0.290E-01 0.252E-01 0.229E-01 0.194E-01 0.145E-01  
 0.128E-01 0.915E-02 0.766E-02 0.355E-02 0.188E-02 0.110E-02 0.890E-04

PERCENTAGES:

21.187	12.681	9.067	5.517	4.617	4.440	3.591	3.124
3.020	2.474	2.405	2.080	1.859	1.712	1.557	1.491
1.402	1.252	1.154	1.049	0.971	0.939	0.855	0.847
0.762	0.715	0.668	0.633	0.548	0.510	0.480	0.476
0.427	0.412	0.388	0.382	0.371	0.340	0.330	0.319
0.315	0.297	0.271	0.236	0.215	0.211	0.193	0.178
0.163	0.148	0.129	0.117	0.101	0.092	0.078	0.058
0.052	0.037	0.031	0.014	0.008	0.004	0.000	



NO., COMPONENT COEFFICIENTS, FIRST 6 AXES  
(RELEVES, 8 AXES STORED)

	+---+ / /   +---+ +   1  / +---+	+---+ / /   +---+2+     / +---+	+---+ / 3 /   +---+ +     / +---+
	1	1	
	1	1	
	1	1	
21		21	
			11
	1	1	1 1
	1	1	1
			11 1

NO., COMPONENT SCORES  
(ATTRIBUTES, 8 AXES STORED)

	+---+ / /   +---+ +   1  / +---+	+---+ / /   +---+2+     / +---+	+---+ / 3 /   +---+ +     / +---+
	1	1	
	1 1	1 11	
	4	4	
	7*3 1	1 7*	
2 252*4 35 12		2 2358*3	
	1 14 44 1	1 1 85	*5***
	1 1 1	1 1 1	26 7422
	1	1	5 32 1
	1	1	21
			1
			2 1

### Anexo C: Análise de variância

MULTIV version 2.0.3

---

#### RANDOMIZATION TEST

---

Analysis status:

Data file name: cobreAAF.txt

Dimensions: 12 sampling units, 1 variables

Data type: (1) quantitative, same units

Scalar transformation: (0)none

Vector transformation: (0)none

Resemblance measure: (3)euclidean distance, (1)between sampling units

Session IS saved.

Number of iterations: 1000

Random number generation initializer: 1014220285

Test criterio (Lambda): (1)between group sum of squared distance

Group partition of sampling units:

Sampling units: C1 C2 C3 F1 F2 F3 G1 G2 G3 H1 H2 H3

Factor mancha:

Groups: 1 1 1 2 2 2 3 3 3 4 4 4

Order of groups in contrasts: 1 2 3 4

Source of variation	Sum of squares(Q)	P(QbNULL>=Qb)
mancha:		
Between groups	145.26	0.002
Contrasts:		
1 -1 0 0	90.482	0.007
1 0 -1 0	80.52	0.023
1 0 0 -1	114.76	0.001
0 1 -1 0	0.2904	0.867
0 1 0 -1	1.4406	0.749
0 0 1 -1	3.0246	0.67
Within groups	48.655	
Total	193.91	

Group centroid vectors in each group:

Factor mancha:

Group 1 (n=3): 14.003

Group 2 (n=3): 6.2367

Group 3 (n=3): 6.6767

Group 4 (n=3): 5.2567

---

RANDOMIZATION TEST

---

Analysis status:

Data file name: cobreAAR.txt

Dimensions: 12 sampling units, 1 variables

Data type: (1) quantitative, same units

Scalar transformation: (0)none

Vector transformation: (0)none

Resemblance measure: (3)euclidean distance, (1)between sampling units

Session IS saved.

Number of iterations: 1000

Random number generation initializer: 1014220683

Test criterion (Lambda): (1)between group sum of squared distance

Group partition of sampling units:

Sampling units: C1 C2 C3 F1 F2 F3 G1 G2 G3 H1 H2 H3

Factor mancha:

Groups: 1 1 1 2 2 2 3 3 3 4 4 4

Order of groups in contrasts: 1 2 3 4

Source of variation	Sum of squares(Q)	P(QbNULL>=Qb)
mancha:		
Between groups	3487.7	0.017
Contrasts:		
1 -1 0 0	1115.2	0.1
1 0 -1 0	2273.7	0.021
1 0 0 -1	2917.2	0.003
0 1 -1 0	204.17	0.502
0 1 0 -1	425.04	0.323
0 0 1 -1	40.042	0.769
Within groups	1108.2	
Total	4595.9	

Group centroid vectors in each group:

Factor mancha:

Group 1 (n=3): 94.633

Group 2 (n=3): 67.367

Group 3 (n=3): 55.7

Group 4 (n=3): 50.533

---

RANDOMIZATION TEST

---

Analysis status:

Data file name: cobreEAF.txt

Dimensions: 12 sampling units, 1 variables

Data type: (1) quantitative, same units

Scalar transformation: (0)none

Vector transformation: (0)none

Resemblance measure: (3)euclidean distance, (1)between sampling units

Session IS saved.

Number of iterations: 1000

Random number generation initializer: 1014220903

Test criterion (Lambda): (1)between group sum of squared distance

Group partition of sampling units:

Sampling units: A1 A2 A3 F1 F2 F3 G1 G2 G3 H1 H2 H3

Factor mancha:

Groups: 1 1 1 2 2 2 3 3 3 4 4 4

Order of groups in contrasts: 1 2 3 4

Source of variation	Sum of squares(Q)	P(QbNULL>=Qb)
-----		
mancha:		
Between groups	32.772	0.001
Contrasts:		
1 -1 0 0	32.527	0.001
1 0 -1 0	6.9123	0.17
1 0 0 -1	9.7537	0.063
0 1 -1 0	9.4501	0.06
0 1 0 -1	6.6571	0.171
0 0 1 -1	0.24402	0.812
Within groups	0.22613	
-----		
Total	32.998	

Group centroid vectors in each group:

Factor mancha:

Group 1 (n=3): 1.07

Group 2 (n=3): 5.7267

Group 3 (n=3): 3.2167

Group 4 (n=3): 3.62

#### ----- RANDOMIZATION TEST -----

Analysis status:

Data file name: cobreEAR.txt

Dimensions: 12 sampling units, 1 variables

Data type: (1) quantitative, same units

Scalar transformation: (0)none

Vector transformation: (0)none

Resemblance measure: (3)euclidean distance, (1)between sampling units

Session IS saved.

Number of iterations: 1000

Random number generation initializer: 1014221021

Test criterion (Lambda): (1)between group sum of squared distance

Group partition of sampling units:

Sampling units: A1 A2 A3 F1 F2 F3 G1 G2 G3 H1 H2 H3

Factor mancha:

Groups: 1 1 1 2 2 2 3 3 3 4 4 4

Order of groups in contrasts: 1 2 3 4

Source of variation	Sum of squares(Q)	P(QbNULL>=Qb)
-----		
mancha:		
Between groups	239.96	0.043
Contrasts:		
1 -1 0 0	34.993	0.357
1 0 -1 0	185.93	0.02
1 0 0 -1	0.33135	0.944
0 1 -1 0	59.598	0.198
0 1 0 -1	28.514	0.401
0 0 1 -1	170.56	0.028
Within groups	140.99	
-----		
Total	380.95	

Group centroid vectors in each group:

Factor mancha:

Group 1 (n=3): 8.0667

Group 2 (n=3): 12.897

Group 3 (n=3): 19.2

Group 4 (n=3): 8.5367

---

RANDOMIZATION TEST

---

Analysis status:

Data file name: cobreEUF.txt

Dimensions: 9 sampling units, 1 variables

Data type: (1) quantitative, same units

Scalar transformation: (0)none

Vector transformation: (0)none

Resemblance measure: (3)euclidean distance, (1)between sampling units

Session IS saved.

Number of iterations: 1000

Random number generation initializer: 1014221178

Test criterio (Lambda): (1)between group sum of squared distance

Group partition of sampling units:

Sampling units: B1 B2 B3 D1 D2 D3 E1 E2 E3

Factor mancha:

Groups: 1 1 1 2 2 2 3 3 3

Order of groups in contrasts: 1 2 3

Source of variation	Sum of squares(Q)	P(QbNULL>=Qb)
mancha:		
Between groups	142.8	0.002
Contrasts:		
1 -1 0	27.435	0.228
1 0 -1	44.663	0.13
0 1 -1	142.11	0.004
Within groups	1.7559	
Total	144.56	

Group centroid vectors in each group:

Factor mancha:

Group 1 (n=3): 8.11

Group 2 (n=3): 3.8333

Group 3 (n=3): 13.567

---

RANDOMIZATION TEST

---

Analysis status:

Data file name: cobreEUR.txt

Dimensions: 9 sampling units, 1 variables

Data type: (1) quantitative, same units

Scalar transformation: (0)none

Vector transformation: (0)none

Resemblance measure: (3)euclidean distance, (1)between sampling units

Session IS saved.

Number of iterations: 1000

Random number generation initializer: 1014221368

Test criterio (Lambda): (1)between group sum of squared distance

Group partition of sampling units:

Sampling units: B1 B2 B3 D1 D2 D3 E1 E2 E3

Factor mancha:

Groups: 1 1 1 2 2 2 3 3 3

Order of groups in contrasts: 1 2 3

Source of variation	Sum of squares(Q)	P(QbNULL>=Qb)
-----		
mancha:		
Between groups	5.1126	0.271
Contrasts:		
1 -1 0	4.9141	0.097
1 0 -1	0.52215	0.7
0 1 -1	2.2326	0.359
Within groups	11.156	
-----		
Total	16.269	

Group centroid vectors in each group:

Factor mancha:

Group 1 (n=3): 3.55

Group 2 (n=3): 5.36

Group 3 (n=3): 4.14

#### ----- RANDOMIZATION TEST -----

Analysis status:

Data file name: cobreHAF.txt

Dimensions: 6 sampling units, 1 variables

Data type: (1) quantitative, same units

Scalar transformation: (0)none

Vector transformation: (0)none

Resemblance measure: (3)euclidean distance, (1)between sampling units

Session IS saved.

Number of iterations: 1000

Random number generation initializer: 1014221501

Test criterio (Lambda): (1)between group sum of squared distance

Group partition of sampling units:

Sampling units: F1 F2 F3 G1 G2 G3

Factor mancha:

Groups: 1 1 1 2 2 2

Order of groups in contrasts: 1 2

Source of variation	Sum of squares(Q)	P(QbNULL>=Qb)
-----		
mancha:		
Between groups	0.31282	0.18
Contrasts:		
1 -1	0.31282	0.18
Within groups	0.35273	
-----		
Total	0.66555	

Group centroid vectors in each group:

Factor mancha:

Group 1 (n=3): 9.0133

Group 2 (n=3): 8.5567

---

 RANDOMIZATION TEST
 

---

Analysis status:

Data file name: cobreHAR.txt

Dimensions: 6 sampling units, 1 variables

Data type: (1) quantitative, same units

Scalar transformation: (0)none

Vector transformation: (0)none

Resemblance measure: (3)euclidean distance, (1)between sampling units

Session IS saved.

Number of iterations: 1000

Random number generation initializer: 1014221627

Test criterio (Lambda): (1)between group sum of squared distance

Group partition of sampling units:

Sampling units: F1 F2 F3 G1 G2 G3

Factor mancha:

Groups: 1 1 1 2 2 2

Order of groups in contrasts: 1 2

Source of variation	Sum of squares(Q)	P(QbNULL>=Qb)
mancha:		
Between groups	105.84	0.083
Contrasts:		
1 -1	105.84	0.083
Within groups	47.653	
Total	153.49	

Group centroid vectors in each group:

Factor mancha:

Group 1 (n=3): 13.467

Group 2 (n=3): 21.867

---

 RANDOMIZATION TEST
 

---

Analysis status:

Data file name: cobreSLF.txt

Dimensions: 6 sampling units, 1 variables

Data type: (1) quantitative, same units

Scalar transformation: (0)none

Vector transformation: (0)none

Resemblance measure: (3)euclidean distance, (1)between sampling units

Session IS saved.

Number of iterations: 1000

Random number generation initializer: 1014221705

Test criterio (Lambda): (1)between group sum of squared distance

Group partition of sampling units:

Sampling units: F1 F2 F3 G1 G2 G3

Factor mancha:

Groups: 1 1 1 2 2 2

Order of groups in contrasts: 1 2

Source of variation	Sum of squares(Q)	P(QbNULL>=Qb)
-----		
mancha:		
Between groups	4.3691	0.072
Contrasts:		
1 -1	4.3691	0.072
Within groups	0.069133	
-----		
Total	4.4382	

Group centroid vectors in each group:

Factor mancha:

Group 1 (n=3): 6.5733

Group 2 (n=3): 4.8667

-----  
RANDOMIZATION TEST  
-----

Analysis status:

Data file name: cobreSLR.txt

Dimensions: 6 sampling units, 1 variables

Data type: (1) quantitative, same units

Scalar transformation: (0)none

Vector transformation: (0)none

Resemblance measure: (3)euclidean distance, (1)between sampling units

Session IS saved.

Number of iterations: 1000

Random number generation initializer: 1014221781

Test criterio (Lambda): (1)between group sum of squared distance

Group partition of sampling units:

Sampling units: F1 F2 F3 G1 G2 G3

Factor mancha:

Groups: 1 1 1 2 2 2

Order of groups in contrasts: 1 2

Source of variation	Sum of squares(Q)	P(QbNULL>=Qb)
-----		
mancha:		
Between groups	2.0533	0.108
Contrasts:		
1 -1	2.0533	0.108
Within groups	1.2278	
-----		
Total	3.2812	

Group centroid vectors in each group:

Factor mancha:

Group 1 (n=3): 6.17

Group 2 (n=3): 5

-----  
RANDOMIZATION TEST  
-----

Analysis status:

Data file name: cobreSMF.txt

Dimensions: 9 sampling units, 1 variables

Data type: (1) quantitative, same units

Scalar transformation: (0)none

Vector transformation: (0)none

Resemblance measure: (3)euclidean distance, (1)between sampling units

Session IS saved.

Number of iterations: 1000

Random number generation initializer: 1014221937

Test criterio (Lambda): (1)between group sum of squared distance

Group partition of sampling units:  
 Sampling units: F1 F2 F3 G1 G2 G3 H1 H2 H3  
 Factor mancha:  
 Groups: 1 1 1 2 2 2 3 3 3  
 Order of groups in contrasts: 1 2 3

Source of variation	Sum of squares(Q)	P(QbNULL>=Qb)
-----		
mancha:		
Between groups	15.541	0.003
Contrasts:		
1 -1 0	12.995	0.002
1 0 -1	0.17682	0.744
0 1 -1	10.14	0.13
Within groups	30.235	
-----		
Total	45.776	

Group centroid vectors in each group:

Factor mancha:  
 Group 1 (n=3): 4.6767  
 Group 2 (n=3): 7.62  
 Group 3 (n=3): 5.02

-----  
 RANDOMIZATION TEST  
 -----

Analysis status:  
 Data file name: cobreSMR.txt  
 Dimensions: 9 sampling units, 1 variables  
 Data type: (1) quantitative, same units  
 Scalar transformation: (0)none  
 Vector transformation: (0)none  
 Resemblance measure: (3)euclidean distance, (1)between sampling units  
 Session IS saved.  
 Number of iterations: 1000  
 Random number generation initializer: 1014222012  
 Test criterio (Lambda): (1)between group sum of squared distance  
 Group partition of sampling units:  
 Sampling units: F1 F2 F3 G1 G2 G3 H1 H2 H3  
 Factor mancha:  
 Groups: 1 1 1 2 2 2 3 3 3  
 Order of groups in contrasts: 1 2 3

Source of variation	Sum of squares(Q)	P(QbNULL>=Qb)
-----		
mancha:		
Between groups	15.821	0.126
Contrasts:		
1 -1 0	3.6193	0.358
1 0 -1	4.3011	0.313
0 1 -1	15.811	0.036
Within groups	14.586	
-----		
Total	30.407	

Group centroid vectors in each group:

Factor mancha:

Group 1 (n=3): 8.3933

Group 2 (n=3): 9.9467

Group 3 (n=3): 6.7