



CIRCULAR TÉCNICA, 43

ISSN 1517-5278

**PROGRAMA DE MELHORAMENTO DA ERVA-MATE
COORDENADO PELA EMBRAPA – RESULTADOS DA
AVALIAÇÃO GENÉTICA DE POPULAÇÕES, PROGÊNIES,
INDIVÍDUOS E CLONES**

Marcos Deon Vilela de Resende
José Alfredo Sturion
Américo Pereira de Carvalho
Rosângela Maria Simeão
José Sebastião Cunha Fernandes

Colombo
2000



Exemplares desta publicação podem ser solicitados à:

Embrapa Florestas

Estrada da Ribeira km 111 - Caixa Postal 319

83411-000 - Colombo, PR Brasil

Fone: (0**41) 666-1313

Fax: (0**41) 666-1276

E-mail: sac@cnpf.embrapa.br

Tiragem: 300 exemplares

Comitê de Publicações:

Américo Pereira de Carvalho, Antônio Carlos de S. Medeiros, Edilson Batista de Oliveira, Erich Gomes Schaitza, Honorino Roque Rodigheri, Jarbas Yukio Shimizu, José Alfredo Sturion, Moacir José Sales Medrado (Presidente), Patricia Póvoa de Mattos, Rivail Salvador Lourenço, Sérgio Ahrens, Susete do Rocio C. Penteado, Guiomar Moreira (secretária)

Revisão gramatical: Elly Claire Jansson Lopes

Normalização: Lidia Woronkoff

RESENDE, M. D.V. de; STURION, J.A.; CARVALHO, A.P. de; SIMEÃO, R.M.; FERNANDES, J.S.C. Programa de Melhoramento da Erva-Mate coordenado pela Embrapa: resultados da avaliação genética de populações, progênies, indivíduos e clones. Colombo: Embrapa Florestas, 2000.

66p. Embrapa Florestas. Circular técnica, 43).

ISSN 1517-5278

1. Erva-mate. 2. Melhoramento. 3. Programa. I. Título. II. Série.

CDD: 633.77

© Embrapa, 2000

Produção:

ÁREA DE COMUNICAÇÃO E NEGÓCIOS

Supervisor: Miguel Haliski

LAYOUT DA CAPA:

Cleide da S.N.F. de Oliveira

COMPOSIÇÃO E DIAGRAMAÇÃO

Cleide da S.N.F. de Oliveira

IMPRESSÃO

Gráfica Radial - Fone: 333-9593

Ano 2000

Sumário

1	INTRODUÇÃO	5
2	GERMOPLASMA UTILIZADO NOS PROGRAMAS DE MELHORAMENTO	6
3	ESTRATÉGIAS DE MELHORAMENTO	10
4	FATORES AMBIENTAIS RELEVANTES AO MELHORAMENTO DA ERVA-MATE	10
5	FATORES CLIMÁTICOS E REGIÕES BIOCLIMÁTICAS COM APTIDÃO PARA O CRESCIMENTO DA ERVA-MATE	12
6	SOLOS E ELEMENTOS DE NUTRIÇÃO MINERAL EM ERVA-MATE E IMPLICAÇÕES NO MELHORAMENTO	19
7	CARACTERIZAÇÃO DOS AMBIENTES DOS LOCAIS DE EXPERIMENTAÇÃO E DOS LOCAIS DE ORIGEM DOS GERMOPLASMAS AVALIADOS NO PROMEGEM – PROGRAMA DE MELHORAMENTO GENÉTICO DA ERVA-MATE	27
8	CARACTERIZAÇÃO DETALHADA DOS SOLOS E CLIMAS DOS LOCAIS DE EXPERIMENTAÇÃO NO PARANÁ	30
9	RESULTADOS DAS AVALIAÇÕES DOS MATERIAIS GENÉTICOS	34
	9.1 AVALIAÇÃO GENÉTICA DE CLONES EM COLOMBO/PR	34
	9.2 AVALIAÇÃO GENÉTICA DE INDIVÍDUOS E POPULAÇÕES EM TESTES DE PROCEDÊNCIAS E PROGÊNIES EM COLOMBO/PR	39
	9.3 AVALIAÇÃO DE POPULAÇÕES E INDIVÍDUOS EM DOIS TIPOS DE SOLO EM PONTA GROSSA/PR	44
	9.4 AVALIAÇÃO GENÉTICA DE POPULAÇÕES E INDIVÍDUOS EM IVAÍ/PR, RIO AZUL/PR E GUARAPUAVA/PR	47
	9.5 AVALIAÇÃO GENÉTICA DE POPULAÇÕES E INDIVÍDUOS EM PINHAIS	57
10	CONSIDERAÇÕES FINAIS	59
11	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	60

PROGRAMA DE MELHORAMENTO DA ERVA-MATE COORDENADO PELA EMBRAPA – RESULTADOS DA AVALIAÇÃO GENÉTICA DE POPULAÇÕES, PROGÊNIES, INDIVÍDUOS E CLONES

Marcos Deon Vilela de Resende¹
José Alfredo Sturion²
Américo Pereira de Carvalho³
Rosângela Maria Simeão⁴
José Sebastião Cunha Fernandes⁵

1 INTRODUÇÃO

Brasil, Argentina e Paraguai são os únicos países produtores de erva-mate (*Ilex paraguariensis* St. Hil.) no mundo. Nesses países, o cultivo desta espécie é de grande importância sócio-econômica pois é realizado por um grande número de pequenos produtores e pelas próprias ervateiras.

O melhoramento genético da cultura é recente, tendo-se iniciado a partir de 1974 na Argentina e, na década de 1990, no Brasil. Basicamente três programas estão em desenvolvimento: o do Instituto Nacional de Tecnologia Agropecuária (INTA) na Argentina (Belingheri & Prat Kricun, 1997), o da Empresa de Pesquisa Agropecuária e Extensão Rural de Santa Catarina (EPAGRI) (Floss, 1997) e o da Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária – Embrapa (Sturion & Resende, 1997). De maneira geral, estes programas têm enfatizado as seguintes características silviculturais: adaptação, produção de massa verde, resistência a pragas e doenças, desfolhamento e tipo de ramificação ou arquitetura. Em futuro próximo, características associadas à qualidade dos produtos da erva-mate também deverão ser consideradas nos programas de melhoramento.

¹ Eng.-Agrônomo, Doutor, CREA nº 50.602/D, Pesquisador da *Embrapa Florestas*.

² Eng. Florestal, Doutor, CREA nº 47.263/D, Pesquisador da *Embrapa Florestas*.

³ Eng.-Agrônomo, Mestre, CREA nº 1985/D, Pesquisador da *Embrapa Florestas*.

⁴ Bióloga, Mestre, CRB nº 1271803/B, Doutoranda do Depto. de Genética da UFPR.

⁵ Eng.-Agrônomo, Doutor, Professor do Depto. de Genética da UFPR.

2 GERMOPLASMA UTILIZADO NOS PROGRAMAS DE MELHORAMENTO

O sucesso de um programa de melhoramento genético de espécies perenes depende fundamentalmente de conhecimentos sólidos em pelo menos quatro áreas:

- I **conhecimento do produto final de interesse**, com suas relações industriais e mercadológicas, exigências qualitativas e formas de uso pelo consumidor;
- II **conhecimento do germoplasma disponível para obtenção de tais produtos**, notadamente da variação biológica entre espécies no gênero, entre populações dentro de espécie e dentro de populações;
- III **conhecimento de metodologias de estimação de parâmetros genéticos e de seleção**, destacando-se o emprego eficiente das técnicas de genética quantitativa, visando conhecer o controle genético e inter-relações, envolvendo os caracteres associados aos produtos finais de interesse, com vistas à adoção de eficientes métodos de seleção e estratégias de melhoramento;
- IV **conhecimento dos fatores ambientais que afetam a expressão fenotípica**, notadamente os fatores edáficos, climáticos e técnicas de cultivo das plantas e de colheita dos produtos.

A erva-mate (*Ilex paraguariensis*) é usada na obtenção de bebidas estimulantes sobre o sistema nervoso central, devido à presença de bases xânticas ou alcalóides como a cafeína e a teobromina, as quais são comuns também em outras espécies vegetais cultivadas e utilizadas com o mesmo fim como o café, o chá-da-índia, o cacau e o guaraná (Ricco et al., 1995).

O gênero *Ilex* pertence à família Aquifoliaceae e apresenta cerca de 600 espécies, sendo 220 nativas da América do Sul, das quais 68 ocorrem no Brasil (Scherer, 1997). Dentre as espécies mais comuns e estudadas no Brasil e Argentina citam-se, de acordo com Prat Kricun & Belingheri (1995), as seguintes:

a) *Ilex paraguariensis*: erva-mate

Em infusão apresenta propriedades estimulante, diurética e digestiva. Possui cafeína solúvel, que atua nos casos de depressões nervosas ou fadigas cerebrais, facilitando o trabalho intelectual.

b) *Ilex dumosa*: caá-berá

Na época dos jesuítas constituía um bom substituto da erva-mate. Sua infusão é agradável com o gosto clássico doce-amargo. Nos estudos realizados não foi detectada a presença de cafeína. Como características agronômicas favoráveis, destaca-se a boa adaptação a colheitas periódicas e resistência à ampola-da-erva-mate (*Gyropsylla spegazziniana* L.). Como problema, relata-se a alta susceptibilidade a formigas.

c) *Ilex theezans*: caúna amarga

Contém cafeína e é um bom substituto da erva-mate, fornecendo uma infusão diurética e estimulante. Como características agronômicas favoráveis destaca-se a boa resposta a colheitas periódicas e a tolerância à ampola-da-erva-mate (*Gyropsylla spegazziniana* L.).

d) *Ilex argentina*: palo de yerba

Espécie muito similar à erva-mate, sendo distinguível apenas em presença de exemplares femininos. Contém teobromina e já foi utilizada em infusão, durante a época colonial espanhola e Argentina.

e) *Ilex brevicuspis*: caúna

Empregada como adulterante da erva-mate. Apresenta infusão desagradável e os estudos realizados não indicaram a presença de cafeína.

f) *Ilex taubertiana*: caúna nebular

Não tem sido utilizada como adulterante. Ocorre na Serra do Mar.

g) *Ilex integerrima*: caá caatí

Empregada como adulterante da erva-mate, por suas propriedades estimulantes. Contém alcalóides.

h) *Ilex pseudobuxus*: caúna da praia

Às vezes empregada como adulterante da erva-mate. Atua como febrífugo. Ocorre em restingas do litoral brasileiro.

i) *Ilex microdonta*: congonha

Empregada como adulterante ou em mistura com a erva-mate.

De acordo com Rico et al. (1995), estas espécies apresentam relações de parentesco fitoquímico.

- ◆ *I. integerrima* e *I. pseudobuxus*
- ◆ *I. paraguariensis*; *I. dumosa* *I. theezans*; *I. argentina*;
I. brevicuspis e *I. taubertiana*
- ◆ *I. microdonta*

Segundo os autores, *I. integerrima* e *I. pseudobuxus* são as únicas espécies estudadas que produzem protoantoacinas e *I. paraguariensis*; *I. dumosa*; *I. theezans*; *I. argentina*; *I. brevicuspis* e *I. taubertiana* são as únicas que apresentam rutina. Por outro lado, *I. microdonta* apresenta um segundo glicosídeo que acompanha a rutina.

Além da *I. paraguariensis*, as espécies *I. dumosa*, *I. theezans* e *I. argentina* apresentam algumas características favoráveis que poderiam ser de interesse do melhoramento genético. Assim, a hibridação destas três espécies com *I. paraguariensis* poderia ser estudada visando à procura de heterose para o caráter produção de massa foliar e obtenção de materiais genéticos resistentes a insetos.

I. paraguariensis é uma espécie diplóide ($2n = 40$) (Scherer, 1997), de forma que os modelos básicos e tradicionais de genética quantitativa, baseados em diploidia, podem ser aplicados à erva-mate.

O programa do INTA tem-se concentrado na avaliação de clones e progênies em ensaios comparativos de rendimento de massa foliar. A rede experimental consta de 20 ensaios com 346 materiais sob avaliação (Belingheri & Prat Kricun, 1997).

O programa da EPAGRI, baseia-se em 4 experimentos (2 em Água Doce/SC e 2 em Chapecó/SC) e 22 populações (procedências), sendo 8 do Paraná, 7 do Rio Grande do Sul, 6 de Santa Catarina e 1 da província de Misiones, Argentina, totalizando cerca de 335 progênies (Floss, 1994, 1997). Uma listagem destas procedências com seus respectivos números de progênies é apresentada na Tabela 1.

Por sua vez, o programa de melhoramento genético da erva-mate coordenado pela *Embrapa* (PROMEGEM/EMBRAPA), apóia-se na avaliação de 14 procedências, amostradas na natureza, com um número total de 256 progênies e 14 clones, totalizando 8 experimentos, sendo um deles teste clonal (Tabela 1). Esses experimentos estão instalados nas seguintes localidades; Colombo/PR (dois experimentos em propriedade da *Embrapa*; Ponta Grossa (dois experimentos em propriedade da *Embrapa*); Ivaí/PR (1 experimento em propriedade da Erva-Mate Neiverth Filho e Cia. Ltda.); Pitanga/PR (1 experimento em propriedade da Erva-Mate Lohmam Ltda.); Guarapuava/PR (1 experimento em propriedade da Erva-Mate Schier Indústria

e Comércio Ltda.) e Rio Azul/PR em propriedade do Sr. Ângelo Ulbrich. O número total de indivíduos submetidos à avaliação genética é de, aproximadamente, 35.000. Adicionalmente, o PROMEGEM/EMBRAPA contribuiu com os programas de melhoramento da EPAGRI e da UFPR (Departamento de Genética) fornecendo mudas de cerca de 138 e 64 progênies, respectivamente, de 8 procedências. Com as mudas, a EPAGRI estabeleceu dois ensaios, um em Três Barras/SC e outro em Chapecó/SC e a UFPR, na Estação Experimental do Canguiri, em Pinhais/PR.

TABELA 1 Germoplasma de erva-mate em utilização nos programas de melhoramento genético no Brasil.

POPULAÇÕES EMPREGADAS NO PROGRAMA DA EPAGRI	Nº DE PROGÊNIES	POPULAÇÕES EMPREGADAS NO PROMEGEM/EMBRAPA	Nº DE PROGÊNIES
1. Quedas do Iguaçu - PR	15	17. Colombo - PR	26
2. Maíra - RS	28	18. Colombo - PR**	10
3. Canoinhas - PR	26	19. Bocaiúva do Sul - PR	35
4. Palmas - PR	18	20. São Mateus do Sul - PR	7
5. Água Doce - SC	18	21. Pinhão - PR	25
6. Catanduvas - SC	30	22. Ivraí - PR	25
7. Chapecó - SC	25	23. Antônio Olinto - PR	21
8. Conocórdia - SC	20	24. Cascavel - PR	25
9. Seberí - RS	14	25. Quedas do Iguaçu - PR	25
10. Barão de Cotegipe - RS	26	26. Toledo - PR	15
11. Erebangó - RS	17	27. Campo Mourão - PR	8
12. Passo Fundo - RS	26	28. Cascavel - PR***	8
13. Ilópolis - RS	25	29. Barão de Cotegipe - RS	21
14. São Francisco de Paula - RS	16	30. Soledade - RS	5
15. Venâncio Aires - RS	30		
16. Missões - Argentina*	1		

* Mistura de sementes de material comercial;

** progênies de segunda geração advinda de cruzamentos, envolvendo as procedências 26,27,28 e 30;

*** diferente da procedência 24.

O número (30) de procedências em avaliação corresponde a uma pequena fração do número total de populações existentes na região Sul do Brasil, ao menos 235, conforme Resende et al. (1995). Assim, os testes instalados em campo são importantes para o conhecimento da distribuição da variabilidade genética entre e dentro de populações, visando à orientação de novas coletas e recoletas de germoplasma, para fins de avaliação nos programas de melhoramento.

3 ESTRATÉGIAS DE MELHORAMENTO

As estratégias de melhoramento de espécies perenes resultam basicamente da combinação entre delineamentos de cruzamento, métodos de seleção e estrutura de populações. Aspectos técnicos referentes a estes temas, no contexto do melhoramento da erva-mate, foram relatados por Resende et al. (1995, 1997).

Nessa apresentação será dada ênfase à predição de valores genéticos e genotípicos das populações e dos indivíduos candidatos à seleção e ao estudo dos fatores ambientais (solo, clima e técnicas de cultivo) que influenciam a produtividade da erva-mate. A etapa básica do processo de melhoramento refere-se à implantação de testes de progênies e testes clonais, a partir dos quais os materiais genéticos selecionados são recomendados para plantios de produção, conforme tem sido realizado na Argentina (Belingheri & Prat Kricun, 1995) e no Brasil (Da Croce et al., 1994).

4 FATORES AMBIENTAIS RELEVANTES AO MELHORAMENTO DA ERVA-MATE

O objetivo final do melhoramento em benefício da produção vegetal refere-se à maximização da expressão fenotípica do caráter de interesse no campo do produtor rural. Uma vez que a expressão fenotípica é função do genótipo, ambiente e interação genótipo x ambiente, torna-se relevante o estudo destes três fatores. Neste contexto, a predição dos valores genéticos e o estudo dos fatores ambientais são de igual relevância.

Visando à separação dos efeitos genéticos e ambientais, são utilizadas técnicas de genética quantitativa aplicadas sobre dados obtidos de experimentação de campo. Uma tentativa de refinamento no estudo dos genótipos refere-se à utilização de técnicas de biologia molecular, notadamente a análise QTL's (locos controladores de características quantitativas) marcados. Um refinamento no estudo dos efeitos ambientais refere-se ao emprego de técnicas de geoestatística, as quais permitem análise mais detalhada da variabilidade espacial dos solos, permitindo melhor estratificação ambiental (identificação de estratos mais homogêneos) para a comparação dos genótipos.

Os principais fatores ambientais, que afetam a expressão fenotípica e que devem ser seriamente considerados em programas de melhoramento genético de plantas perenes são:

- (i) bioclimáticos - caracterizados pelos fatores precipitação, altitude, latitude, temperatura, formação vegetal original e evapotranspiração potencial;
- (ii) edáficos - caracterizados pelo tipo de solo, fertilidade (propriedades químicas), estrutura (propriedades físicas) e atividade biótica (propriedades biológicas);
- (iii) práticas de cultivo - tais como preparo do solo, forma, época e frequência de podas, adubação de implantação e manutenção, espaçamento de plantio dentre outras.

O fator (i) é fundamental nas ações:

- (a) escolha da espécie a ser cultivada em determinada região ou escolha da região a se cultivar determinada espécie;
- (b) escolha da região para recomendação de material selecionado para plantio.

O fator (ii) é fundamental nas ações:

- (a) escolha dos sítios a serem cultivados, com base nas exigências da espécie;
- (b) escolha dos sítios a serem utilizados na experimentação em melhoramento;
- (c) explicação das diferenças de produtividade por um mesmo material genético em diferentes ambientes;
- (d) explicação das diferenças de produtividade apresentadas por um mesmo material genético em diferentes safras ou podas de produção;
- (e) escolha dos solos para recomendação do material selecionado para plantio.

Por outro lado, o fator (iii) é relevante nas ações:

- (a) definição das técnicas de cultivo a serem empregadas na experimentação em melhoramento;
- (b) definição da adoção ou não de fertilização de implantação e manutenção na experimentação em melhoramento.

Na seqüência estes fatores são considerados com maiores detalhes.

5 FATORES CLIMÁTICOS E REGIÕES BIOCLIMÁTICAS COM APTIDÃO PARA O CRESCIMENTO DA ERVA-MATE

Os fatores climáticos mencionados no tópico anterior permitem caracterizar o que denominam-se regiões bioclimáticas ou ecoclimáticas, as quais são definidas em função de vários índices, tais quais: tipo de vegetação, altitude, tipo de clima, temperatura média anual, temperatura mínima absoluta, precipitação média anual e seu regime de distribuição, balanço hídrico do solo e ocorrência de geadas (EMBRAPA, 1986).

Nas regiões tropicais, o balanço hídrico, resultante da compatibilização entre precipitação e evapotranspiração, é de suma importância no zoneamento de regiões para o plantio de espécies florestais perenes. Isto porque o balanço hídrico permite inferir sobre a ocorrência e magnitude de déficit hídrico, o qual afeta sobremaneira a adaptação das diferentes espécies aos diferentes climas. Por outro lado, em regiões subtropicais e de transição, como nos estados sulinos do Brasil (Paraná, Santa Catarina e Rio Grande do Sul), as geadas e as temperaturas mínimas absolutas são particularmente importantes na definição das regiões bioclimáticas (EMBRAPA, 1986).

As regiões bioclimáticas do Paraná, Santa Catarina e Rio Grande do Sul são apresentadas nas Figuras de 1 a 3, com base nos trabalhos de Golfari (1978) e EMBRAPA (1986; 1988). Também as Tabelas 2, 3 resumem os dados ambientais que caracterizam as regiões bioclimáticas dos estados do Paraná e Santa Catarina.

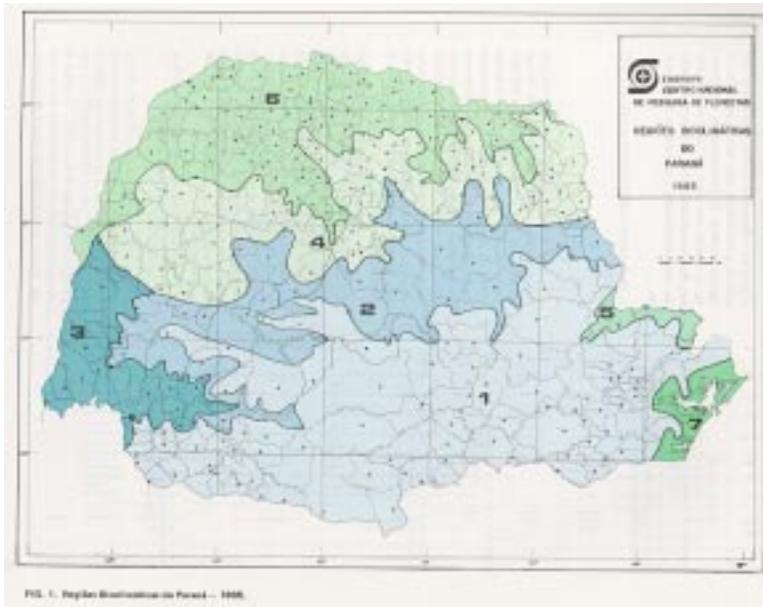




Figura 3 Zoneamento agroclimático segundo Golfari (1978).

TABELA 2 Caracterização das Regiões Bioclimáticas do Paraná

Região	Localização	Altitude Predominante (a)	Tipo de Vegetação	Tipo de Clima (Sistema de Holdridge)	Temperatura °C		Geadas para/ano	Precipitação anual		Déficit hídrico ^b
					Média Anual	Mínima absoluta	(amplitude)	média (mm)	distribuição	
1	Centro-Sul do Paraná	650 a 1.100	Floresta ombrófila (mista de Araucária e latifoliadas) e campos submontanos	Submontano (tipo temperado quente) úmido e muito úmido	15 a 19	-5 a -10	1 a 40	1.250 a 2.500	uniforme ou intermediária	nulo
2	Zonas de transição das regiões 1-3 e 1-4	550 a 900	Floresta ombrófila com/sem Araucária e campos	Submontano (tipo temperado quente) úmido	17,5 a 21	-3 a -6	0 a 28	1.200 a 2.000	intermediária ou periódica	nulo
3	Oeste do Planalto de Guarapuava	200 a 500	Floresta ombrófila de baixa altitude	Submontano (tipo temperado quente) úmido	19,5 a 21,5	-3 a -5	0 a 15	1.400 a 1.900	uniforme ou intermediária	nulo
4	Planalto Norte do Paraná	400 a 800	Floresta perenifolia estacional de baixa altitude	Submontano (tipo temperado quente) úmido	19,5 a 21,5	-2 a -5	0 a 11	1.100 a 1.700	periódica	0 a 8 mm
5	Vale do Rio Ribeira	150 a 650	Floresta ombrófila de baixa altitude	Submontano (tipo úmido e subtropical)	19 a 21	-2,4 (Cerro Azul, 443 m)	0 a 7	1.200 a 1.600	periódica	nulo
6	Extremo Norte do Paraná	250 a 600	Floresta perenifolia estacional de baixa altitude	Submontano (tipo temperado quente) úmido e subtropical	20,5 a 22,5	0 a -4	0 a 6	1.100 a 1.600	periódica	≤20 mm ^a
7	Litoral	0 a 500	Floresta ombrófila de baixa altitude	Subtropical úmido e muito úmido	18 a 22	-0,9 (Morretes, 59 m)	raras	1.600 a 2.000	periódica	nulo

^a Segundo Thornthwaite & Mather (1955), para 300 mm de capacidade de retenção de água pelo solo.

^b O valor de 20 mm é estimado, por razão de escassez de dados de temperatura para o extremo noroeste do Paraná.

TABELA 3 Caracterização das Regiões Bioclimáticas de Santa Catarina

Região Bioclimática	Localização	Altitude Predominante (a)	Vegetação Predominante		Temperatura °C					Precipitação Anual (mm)	Déficit Hídrico Anual (mm)
			Segundo Klein (1978)	Segundo Projeto Radambrasil	Média Anual	Média das Mínimas mês mais frio ^b	Média das Máximas mês mais quente ^c	Média mês mais frio	Mínima Absoluta		
1	Planalto Catarinense	600 a 1.300	Florestas de Araucária e Campo	Floresta Ombrófila Mista e Savanas	12 a 19	5 a 8	22 a 31	8 a 14	-12	1.300 a 2.400	nulo
2	Alto Vale do Rio Itajaí	350 a 800	Floresta Tropical Atlântica	Floresta Ombrófila Densa	17 a 19	7 a 9	28 a 30	13 a 15	-5,5 ^b	1.600 a 1.800	nulo
9	Bacia do Rio Uruguai	200 a 600	Floresta Subtropical	Floresta Estacional Decídua	16,5 a 19,5	7 a 9	30 a 33	13 a 15	-5,5	1.600 a 2.400	nulo
7	Litoral	0 a 500	Floresta Tropical Atlântica	Floresta Ombrófila Densa	17 a 22	7,5 a 12	28 a 31	13 a 17	-4	1.200 a 2.000	até 5mm ^c

a Baseadas em Braga e Kichel (1986) e INSTITUTO ... (1979)

b Rio do Sul, 354m, segundo Golfari (1970)

c Déficits somente ao sul de Florianópolis, capacidade de retenção = 300mm

A ocorrência natural da erva-mate abrange os estados de Mato Grosso do Sul, Paraná, Santa Catarina, Rio Grande do Sul e também a região nordeste da Argentina e grande parte do Paraguai (Figura 4). Dentro da área de dispersão natural, a erva-mate encontra-se associada a matas com ocorrência de pinheiro-do-paraná (*Araucaria angustifolia*), sendo que, no Mato Grosso do Sul, é encontrada em área de vegetação natural do tipo cerrado. Dentro da área de ocorrência natural, não é encontrada em zonas com vegetação natural de campos e também em zonas de mata branca (caracterizadas pela ausência de *Araucaria angustifolia*). Na Argentina e Paraguai, a erva-mate ocorre, principalmente, nos sub-bosques das matas do Rio Paraná e afluentes, onde a Araucária não é encontrada (Oliveira & Rotta, 1983).



Figura 4 Área de ocorrência da erva-mate.

A área de distribuição natural engloba diferentes zonas climáticas, topográficas e geográficas. Segundo o mapeamento climático de Koeppen (baseado nas interações entre temperatura e precipitação, para a classificação dos tipos climáticos), a distribuição predominante da erva-mate é abrangida pelos tipos climáticos Cfb, seguido pelo Cfa. A letra C refere-se aos climas pluviais temperados; a letra f refere-se a um clima sempre úmido, decorrente de chuvas regulares distribuídas por todos os meses do ano; as letras a ou

b referem-se a variações de temperatura do mês mais quente, superiores ou inferiores a 22 °C, respectivamente. Há também pequenas áreas de ocorrência da erva-mate abrangidas pelos tipos climáticos Cwa (temperado ou subtropical com período seco de inverno) e Aw (tropical com período seco no inverno) (Oliveira & Rotta, 1983).

Segundo a classificação em regiões bioclimáticas (Golfari, 1978), a distribuição da erva-mate situa-se predominantemente nas regiões bioclimáticas 1 e 2, (climas submontano superúmido e subtropical moderado úmido, respectivamente), as quais são caracterizadas pela frequência regular de chuvas, uniformemente distribuídas por todos os meses do ano, não ocorrendo déficit hídrico, com precipitação média anual variando de 1.250 a 2.500 mm. Entretanto, a área de ocorrência natural abrange também as regiões bioclimáticas 4, 6 e 12 (Figura 3).

As temperaturas médias anuais da área de ocorrência da erva-mate podem variar de 12 a 24 °C, sendo que na região das matas de pinhais, a média predominante é de 15 a 18 °C. A temperatura média anual do clima mais apropriado ao desenvolvimento da erva-mate é de 20 a 23 °C. A erva-mate vegeta preferencialmente em regiões de altitudes maiores, como as dos planaltos sul – brasileiros, sendo que a faixa de variação altitudinal predominante dentro da área de ocorrência natural está entre 500 m e 1500 m. Quanto à latitude, a ocorrência natural da erva-mate estende-se de 21° a 30° de latitude Sul (Oliveira & Rotta, 1983).

Quanto às regiões para cultivo comercial, EMBRAPA (1986; 1988) recomenda as regiões bioclimáticas 1, 2 e 3 no Paraná e as regiões 1, 2 e 9 em Santa Catarina. A erva-mate é uma espécie climax e ciófito, podendo ser plantada à sombra de outras árvores. Embora ciófito, aceitando plantios sombreados e adensados, a espécie vem sendo cultivada com sucesso a céu aberto e em altas densidades. Nas regiões bioclimáticas recomendadas para o plantio, devem ser evitados os solos de campo (solos rasos) e terrenos encharcados. A espécie, quando adulta, é plenamente tolerante a geadas.

6 SOLOS E ELEMENTOS DE NUTRIÇÃO MINERAL EM ERVA-MATE E IMPLICAÇÕES NO MELHORAMENTO

A ocorrência da erva-mate é mais freqüente em solos com baixo teor de nutrientes trocáveis e alto teor de alumínio. Quanto à textura do solo, a espécie é mais freqüente em solos com textura média (entre 15 e 35% de argila) e argilosa (acima de 35% de argila). Em solos arenosos (menos de 15% de argila), tais quais os NEOSSOLOS QUARTZARÊNICOS (AREIAS QUARTZOSAS, na classificação antiga), a espécie é raramente encontrada. Grande parte da área de ocorrência natural corresponde à Formação Serra

Geral, constituída por basalto e rochas afins, com presença predominante de latossolos. A espécie prefere solos medianamente profundos a profundos, praticamente não ocorrendo em solos rasos (NEOSSOLOS LITÓLICOS). A erva-mate não é exigente quanto à fertilidade do solo, mas prefere solos permeáveis e com umidade adequada (Oliveira & Rotta, 1983). O domínio pedobioclimático do planalto das araucárias, ocupando partes do Norte do Rio Grande do Sul até o Centro Leste do Paraná, apresenta solos com altos teores de matéria orgânica e altos teores de alumínio trocável nos trechos mais suaves. No entanto, nos entalhamentos dos vales podem existir solos mais férteis (Resende, 1994).

Na Argentina, as plantações de erva-mate localizam-se nas chamadas terras coloradas. Os solos são vermelhos, profundos, argilosos (com predominância de caulinita), derivados do basalto e pertencentes à ordem dos Ultisols e Alfisols (na classificação americana). São ácidos ou ligeiramente ácidos e com alto teor de matéria orgânica. A capacidade de troca de cátions é de 13–15 m.eq./100g e a porcentagem de saturação de bases alcança 50%. Têm boa drenagem nos horizontes superiores e mais lenta no horizonte de acumulação de argila (Prat kricun & Belingheri, 1995a). Segundo Scherer (1997), a declividade da área de cultivo não deve ultrapassar 3 a 4%.

O solo é função de combinações do clima, material de origem (rocha matriz), relevo, organismos e idade (tempo de exposição ao intemperismo). É constituído por minerais, poros ocupados por água e ar, matéria orgânica e organismos. Dentre os fatores de solo que influenciam e/ou limitam o crescimento de espécies florestais perenes citam-se as propriedades físicas, químicas e biológicas.

Dentre as propriedades morfológicas e físicas (Resende, 1994) destacam-se:

- (i) **textura** (proporção de argila, silte e areia, sendo que frações maiores que a areia caracterizam a pedregosidade, dada principalmente por cascalhos e calhaus);
- (ii) **estrutura** ou agregação de partículas de argila, silte, areia e constituintes orgânicos em unidades maiores formando as estruturas granular, laminar, em blocos e prismática;
- (iii) **porosidade** ou espaço no solo ocupado por ar e água (a porosidade está intimamente relacionada a textura e estrutura);
- (iv) **consistência** ou comportamento mecânico da massa de solo sob condições variáveis de umidade (a consistência pode ser um indicativo da composição mineralógica);

- (v) **pedoforma** ou topografia, que é extremamente importante no entendimento da movimentação das águas e nutrientes (erosão e lixiviação);
- (vi) **densidade**, que representa a massa de sólidos dividida pelo volume do solo e está intimamente relacionada à porosidade (formada por macroporos responsáveis pela aeração e microporos responsáveis pela retenção de água no solo) e permite verificar a compactação do solo e seus efeitos (quanto mais elevada a densidade aparente do solo, menor à porosidade e menor a circulação de água e ar no solo).

Dentre os fatores físicos mais relevantes ao crescimento da erva-mate, podem ser relatados aqueles ligados à capacidade de retenção de água tais como a densidade, textura, estrutura, porosidade e topografia. A capacidade de retenção de água determina tanto a falta quanto o excesso (encharcamento) de água, ambos desfavoráveis ao desenvolvimento da erva-mate. Em determinadas condições, a queda de folhas (desfolhamento) tem sido creditada ao encharcamento dos solos (Carpanezzi et al., 1985).

Quanto aos fatores químicos ou presença de nutrientes, os mesmos estão associados à classe de solos e à composição mineralógica da rocha do material de origem. Dentre os tipos de solo de diferentes idades ou graus de evolução pedogenética, os solos novos em ausência de insumos (adubações) e os solos velhos associados ao uso de insumos são indicados para o plantio de culturas anuais. Por outro lado, para espécies perenes, o plantio em solos novos é desejável por permitir maior proteção contra a erosão mas, os solos velhos permitem um melhor aproveitamento de água e nutrientes, tendo em vista os sistemas radiculares bem desenvolvidos das plantas perenes. Em geral, os solos brasileiros e, especificamente os utilizados para plantio de espécies florestais são mais velhos. Na transformação de um solo novo para velho ocorrem diminuição da proporção de silte, aumento da profundidade e diminuição da quantidade de minerais fornecedores de nutrientes (Resende, 1994).

Dentre as principais classes de solos do Brasil, os solos denominados NEOSSOLOS LITÓLOCOS (horizonte A sobre rocha), NEOSSOLOS FLÚVICOS (ALUVIAIS) e NEOSSOLOS REGOLÍTICOS (REGOSSOLOS) são os solos mais novos, seguidos dos CAMBISSOLOS, solos com horizonte B textural (por exemplo, ARGISSOLOS OU PODZÓLICOS na classificação antiga) e LATOSSOLOS que são mais velhos, profundos e de baixa fertilidade (lixiviados). Tomando-se por base a exigência da erva-mate em termos de profundidade do solo, seriam indicados solos com idade entre os CAMBISSOLOS (inclusive) e os LATOSSOLOS (inclusive).

Os elementos essenciais (macro e micronutrientes) para as plantas estão assim distribuídos no complexo solo-planta:

- (i) presos à estrutura dos minerais não intemperizados;
- (ii) na solução do solo ou adsorvidos nas argilas ou matéria orgânica;
- (iii) ligados ao ciclo orgânico, sendo absorvidos da solução do solo e distribuídos a toda a planta;
- (iv) levados em solução, na água que percola através do perfil do solo que alimenta as nascentes.

A maioria dos solos pode ser classificada em (i) eutróficos (e) – alta ($\geq 50\%$) saturação de bases; (ii) distróficos (d) – baixa ($\leq 50\%$) saturação de bases; (iii) álicos (a) – alta ($\geq 50\%$) saturação de alumínio (Resende, 1994).

Para a erva-mate, os solos álicos não representam problema, sendo que a espécie apresenta alta tolerância ao acúmulo de alumínio nas folhas, embora não haja relação da quantidade de Al nas folhas com a produtividade (Fossati & Reissmann 1997).

A quantidade de nutrientes absorvidos pelas árvores não depende apenas da existência desses nutrientes no solo, mas também da umidade do solo. Isto porque, para os nutrientes serem absorvidos pelas raízes, os mesmos têm que estar na solução do solo. A concentração do nutriente na solução está em equilíbrio com sua quantidade na forma lábil retida na fase sólida do solo. A movimentação do nutriente até a superfície da raiz ocorre pelos processos de difusão e fluxo de massa, os quais são extremamente dependentes do teor de água no solo (Barros et al., 2000).

A maioria dos solos para plantios de espécies florestais apresenta baixa fertilidade natural, que pode ser traduzida em termos de baixos valores de bases (Ca, Mg, K) e de P disponível, baixa capacidade de troca de cátions (o que torna essencial o balanço de nutrientes) e, algumas vezes, alta relação de Al/bases (alta saturação por alumínio). Estes solos, distróficos ou álicos também apresentam baixa reposição natural de nutrientes, através da intemperização de minerais primários. A reposição pode ser significativa em solos eutróficos com altos teores desses minerais. Os solos situados em relevos acidentados são mais propensos a perdas de nutrientes por erosão, especialmente no caso do P. Em solos eutróficos, com maior capacidade de reposição natural de nutrientes, as perdas por erosão podem não influenciar substancialmente o crescimento de espécies florestais. Por outro lado, as perdas por lixiviação são maiores nos solos bem drenados, como a maioria dos LATOSSOLOS e as NEOSSOLOS QUARTZARÊNICOS (AREIAS QUARTZOSAS), especialmente em relevo plano (Furtini Neto et al., 2000).

A realização de fertilização apresenta maior eficácia nos solos de baixa fertilidade natural, bem drenados e situados em relevo plano a suave ondulado, como os LATOSSOLOS AMARELOS e os PODZÓLICOS AMARELOS (ARGISSOLOS) dos Tabuleiros Costeiros. Nestes casos, apenas os nutrientes absorvidos pela vegetação são removidos do sistema. Porém, com uma pequena declividade ($> 8\%$), começam a ocorrer perdas de nutrientes, de forma que nos solos com relevo acidentado, o efeito das fertilizações é menor (Furtini Neto et al., 2000). Em erva-mate, Lourenço (1997) ressalta que a adição de adubos pode ser inócua em vários casos, como em solos compactados ou encharcados, com pequena porosidade e aeração.

Ao todo, 16 elementos químicos possuem funções estruturais ou metabólicas essenciais à vida das plantas: N, P, K, C, H, O, Ca, Mg, Mn, Cu, Fe, Mo, B, Zn, S e Cl (Malavolta, 1980). Destes, maiores ênfases na fertilização, são realizadas sobre N, P e K, sendo que C, H e O são obtidos do ar e da água e os demais são exigidos em menores quantidades.

Em espécies florestais, a recomendação da dosagem de N tem sido baseada em três classes (0-15, 16-40 e $>40 \text{ g.dm}^{-3}$) de teor de matéria orgânica do solo. Para P e K, a adubação tem sido recomendada com base no teor de argila (revelando a importância da textura do solo) e de P e K do solo. Assim, considera-se que as variáveis teor de matéria orgânica, teor de argila e P e K no solo relacionam-se diretamente com a disponibilidade de N, P e K (Gonçalves et al., 1996).

De maneira genérica, o P é um nutriente limitante ao crescimento das plantas, sendo que espécies com o sistema radicular pouco desenvolvido apresentam maior demanda externa de P. Segundo Furtini Neto et al. (2000), as espécies nativas pioneiras têm sido mais responsivas à fertilização fosfatada, apresentando também maior absorção e acúmulo deste nutriente na parte aérea, sendo que, as espécies clímax inicialmente crescem independentemente do suprimento de P, devido às menores taxas de crescimento inicial das mesmas (Resende, 1997). Porém, após 16 meses de crescimento em solo com baixa disponibilidade de P, as espécies clímax respondem ao fornecimento de P. Em erva-mate, espécie clímax, Fossati & Reissmann (1997) relataram baixos teores de P nas folhas aos sete anos, teores estes que não influenciaram a produtividade e não conduziram a sintomas de deficiência, concluindo os autores, tratar-se de uma característica da espécie e reflexo do tipo de solo em que a espécie evoluiu. Por outro lado, Reissmann et al. (1983) relatam que o P pode ser um elemento limitante à produção em erva-mate e mencionam uma provável ocorrência de deficiência oculta.

Outro elemento com ciclo incompleto na natureza e de grande retirada pelas plantas é o potássio (K). Segundo Lourenço (1997), as terras brasileiras

muitas vezes apresentam boa reserva de K disponível e não o fixam consideravelmente. Assim, em muitas situações, as plantas têm K suficiente durante alguns anos. Furtini Neto et al. (2000) não encontraram respostas positivas à fertilização potássica em espécies nativas clímax, pioneiras e secundárias, relatando que as espécies florestais são capazes de se desenvolver em locais com baixa disponibilidade de K trocável, mediante um eficiente sistema interno e externo de reciclagem de nutrientes. Lourenço (1997) também não constatou diferenças significativas em produtividade de erva-mate com adição de potássio.

Quanto ao nitrogênio em erva-mate, Fossati & Reismann (1997) relataram a coincidência de baixos níveis de N nas folhas com menor altura da planta e da copa, revelando a importância do elemento para a espécie. Também Bellote & Sturion (1983) e Prat Kricun (1983) relatam a importância do N na produção de matéria seca em erva-mate.

Outro fator relevante a considerar nos solos é a sua atividade biológica. A parte biológica do solo desempenha papel fundamental na ciclagem biológica de nutrientes e formação do húmus. Como a maioria dos solos destinados ao plantio de espécies florestais perenes apresenta matéria orgânica de baixa atividade, isto concorre para deficiências minerais. Em erva-mate, a utilização de matéria orgânica e/ou cobertura morta tem sido altamente recomendável como forma de melhorar a atividade biológica e a estrutura do solo, obtendo-se os seguintes resultados através do uso de cobertura morta:

- (i) prevenção da desagregação e transporte de partículas do solo, facilitando a infiltração da água da chuva;
- (ii) prevenção de grandes amplitudes de variação da temperatura do solo, diminuindo o seu ressecamento;
- (iii) fornecimento de nutrientes e compostos orgânicos que aumentam a respiração e resistência a doenças;
- (iv) melhoramento biológico do solo, restabelecendo-lhe a vida;
- (v) aumento da capacidade de troca de cátions;
- (vi) complexação de nutrientes, favorecendo o solo a médio e longo prazos;
- (vii) maior benefício da adubação mineral como consequência dos demais itens (Lourenço, 1997).

Quanto à associação simbiótica com microorganismos, Gaiad e Lopes (1986) relatam a abundante presença de micorrizas arbusculares nas raízes de plantas de erva-mate em condições de viveiros localizados em 10 municípios dos Estados do Paraná e Santa Catarina, revelando a importância destes microorganismos para a espécie.

Estudos relativos à exportação de nutrientes têm revelado a exportação de altos níveis de N e K (Lourenço, 1997; Wisniewski & Curcio, 1997; Wisniewski et al., 1997) e também a exportação de P, Mg, Ca, Mn, Fe, Zn e Cu. Assim, embora K e P não sejam restritivos nas primeiras podas de produção, os mesmos (macro e micronutrientes) certamente o serão em podas subseqüentes (talvez o P não seja tão problemático, pois o sistema radicular continua crescendo e explorando maior volume de solo, além da presença das micorrizas, o que pode atender a pequena demanda de nutriente pela planta). Em várias espécies florestais, tem sido associado maior crescimento a maiores teores dos nutrientes nas partes vegetativas, especialmente nas folhas e ramos (Barros et al., 2000). Como em erva-mate as folhas e ramos jovens constituem o produto de interesse, as exportações de nutrientes tendem a ser muito altas, principalmente em termos acumulativos, safras após safras. A espécie provavelmente exporta muito mais nutrientes do que as demais espécies florestais madeireiras (em que se exploram apenas os fustes), nas quais as folhas, galhos e cascas permanecem no solo de plantio.

Este fato tem grandes implicações no melhoramento genético. Como os genótipos mais eficientes absorvem e exportam mais nutrientes através das folhas que são colhidas, os mesmos produzem quantidades superiores de massa nas primeiras safras, mas não nas seguintes devido à escassez de nutrientes na área de solo explorado por suas raízes. Isto foi verificado em teste de progênie de erva-mate, conduzido em Colombo/PR. A seleção com base em valores genéticos preditos baseados nas três primeiras safras (aos 6, 7 e 9 anos de idade) favoreceu os genótipos mais eficientes. Entretanto, atualmente (aos 12 anos) as plantas com os maiores valores genéticos preditos não são as que comportam as maiores produções de massa verde. Provavelmente, se a seleção fosse baseada em um maior número de safras, os indivíduos selecionados seriam outros, ou seja, aqueles que se utilizam mais lentamente dos nutrientes disponíveis no solo. Isto significa que, a partir da quarta poda, maior quantidade de nutrientes estaria sendo disponibilizada para os piores genótipos.

Pergunta-se então qual genótipo selecionar? Logicamente a resposta depende da técnica de adubação a ser utilizada nos plantios, com finalidade comercial. Com a adoção de uma adubação de manutenção, os genótipos, selecionados com base nas primeiras safras, seriam adequados com ou sem a utilização de adubação de plantio. Por outro lado, para plantios completamente sem adubação, a seleção deve ser baseada em um número muito maior de safras, beneficiando os genótipos que sustentam maior produtividade média sem adubação. Entretanto, parece pouco provável que a produtividade seja sustentada por um longo período (20 safras por exemplo) sem qualquer adubação, tendo em vista os níveis acumulativos de exportação de nutrientes.

Assim, uma adubação de manutenção parece altamente recomendável. Ao se definir a fertilização mineral para qualquer espécie deve-se dimensionar a demanda de nutrientes pelas plantas para atingir determinada produção esperada e a quantidade de nutrientes que pode ser suprida pelo solo. Quando a demanda da planta é maior do que o solo pode ofertar, os fertilizantes devem ser utilizados. A demanda de nutrientes pela planta depende de sua taxa de crescimento e da eficiência com que converte o nutriente absorvido em biomassa (Barros et al., 2000). Para uma boa nutrição da erva-mate deve-se balancear, no tempo, a demanda com a oferta de nutrientes. Para isto deve-se possuir informação sobre o tipo de solo, a planta e suas interações. Prat Kricun (1983) relata que no caso de solos virgens (de mata) não se recomenda a adubação antes do erval atingir a idade de 12 anos e após esta idade, segundo experimentos realizados na Argentina, uma adubação com N-P-K na proporção 4:1:1 ($100 \text{ kg/ha.ano}^{-1}$: $25 \text{ kg/ha.ano}^{-1}$: $25 \text{ kg/ha.ano}^{-1}$), deveria ser feita anualmente, nos meses de novembro ou fevereiro. Esse autor relata também que a espécie responde mais à adubação com nitrogênio, fósforo e potássio, nesta ordem. Esta mesma ordem foi verificada por Bellote & Sturion (1983), em termos de elementos limitantes à produção de matéria seca, incluindo-se também o cálcio e o magnésio.

Quanto aos micronutrientes, Reismann et al. (1987) relatam que a erva-mate destaca-se pelos elevados níveis foliares de Mn, Cu e B, sendo que a espécie pode ser enquadrada como exigente em boro (B) e o seu suprimento deve basear-se em práticas de adubação e uso de matéria orgânica (como cobertura morta) como forma de mantê-lo no sistema em constante disponibilidade.

Outros fatores que influenciam o cultivo e o melhoramento da erva-mate referem-se à época e frequência de podas. Quanto à época de poda, Reismann et al. (1983) observaram que a poda realizada em outubro conduz à exportação de 15% a mais de N, 41% a mais de P e 28% a mais de K do que a poda realizada em julho. Os mais altos níveis de exportação coincidem com a fase de maior atividade fisiológica tendo em vista a formação de flores e frutos para o florescimento e frutificação no início do ano. Dessa forma, podas após agosto não são recomendadas e nem mesmo a de safrinha (dezembro a fevereiro), quando maiores quantidades de nutrientes seriam exportadas. Em relação à safrinha, quando realizada em povoamentos mistos, sob cobertura de mata, a mesma tende a não ser tão drástica, pois a ciclagem de nutrientes é maior. Os autores relatam que o período ideal de poda seria de maio a agosto. A frequência de podas deve ser anual ou bianual.

7 CARACTERIZAÇÃO DOS AMBIENTES DOS LOCAIS DE EXPERIMENTAÇÃO E DOS LOCAIS DE ORIGEM DOS GERMOPLASMAS AVALIADOS NO PROMEGEM – PROGRAMA DE MELHORAMENTO GENÉTICO DA ERVA-MATE

Na Tabela 4, são apresentados os dados climáticos e a classificação dos solos (Embrapa, 1999), predominantes nos municípios referentes aos locais de experimentação e de amostragem das populações naturais de erva-mate.

Verifica-se que os dados climáticos referentes aos 20 municípios não são discrepantes e a maioria dos municípios se enquadram no tipo climático Cfb e pertencem à região bioclimática número 1.

TABELA 4 Coordenadas geográficas e classes de solo dos locais de coleta de sementes e de instalação dos experimentos

Localidade	Latit. (Sul)	Long. (Oeste)	Altitud. (m)	Precipitação (mm)	Temperatura °C			Tipo Climático	Trimestre mais chuvoso (D.-J.-F.) mm	Trimestre menos chuvoso (J.-J.-A) mm	Solo do experimento ou solos dominantes na região
					Média/ julho	Média fevereiro	média				
Colombo/PR*	25°20'	49°14'	920	1.400 -1.500	12-13	20-21	16-17	Cfb	550-600	250-300	CAMBISSOLO HÚMICO Aluminico textura argilosa
Curitiba/PR	25°22'	49°06'	912	1.400 -1.500	12-13	20-21	16-17	Cfb	550-600	250-300	CAMBISSOLO HÚMICO Aluminico textura argilosa
Cascavel/PR	24°57'	53°27'	750	1.800 -2.000	13-14	21-22	18-19	Cfa/Cfb	550-600	350-400	LATOSSOLO VERMELHO Distrófico textura argilosa
Toledo/PR	24°43'	53°45'	530	1.700 -1.800	15-16	23-24	19-20	Cfa	500-550	300-350	LATOSSOLO VERMELHO Distrófico textura argilosa NITOSSOLO VERMELHO Distrófico textura argilosa
Campo Mourão/PR	24°02'	52°24'	590	1.400 -1.500	16-17	23-24	20-21	Cfa	450-500	250-300	LATOSSOLO VERMELHO Distrófico textura argilosa
Soledade/RS	28°49'	52°30'	700				17-18	Cfa/Cfb			ARGISSOLO VERMELHO-AMARELO Aluminico textura argilosa
Bocauva do Sul/PR	25°09'	49°06'	990	1.400 -1.500	12-13	20-21	16-17	Cfb	550-600	300-350	CAMBISSOLO HÚMICO Aluminico textura argilosa CAMBISSOLO HÁPLICO distrófico textura argilosa
Quedas do Iguaçu/PR	25°25'	52°55'	590			23-24	18-19	Cfa	400-450	350-400	NITOSSOLO VERMELHO Eutrófico textura argilosa LATOSSOLO VERMELHO Distrófico textura argilosa
Ivaí/PR	25°01'	50°48'	600	1.500 -1.600	13-14	21-22	17-18	Cfb	450-500	300-350	LATOSSOLO VERMELHO/ Distrófico textura argilosa
Barão de Cotegipe/RS	27°38'	52°23'	530					Cfa			NITOSSOLO VERMELHO Eutrófico textura argilosa
Pinhão/PR	25°41'	51°40'	1.050	1.500 -1.600	12-13	21-22	17-18	Cfb	550-600	350-400	LATOSSOLO VERMELHO Distrófico textura argilosa CAMBISSOLO HÚMICO Aluminico textura argilosa

TABELA 4 Coordenadas geográficas e classes de solo dos locais de coleta de sementes e de instalação dos experimentos (continuação)

Localidade	Latit. (Sul)	Long. (Oeste)	Altitud. (m)	Precipitação (mm)	Temperatura °C			Tipo Climático	Trimestre mais chuvoso (D.-J.-F.) mm	Trimestre menos chuvoso (J.-J.-A) mm	Solo do experimento ou solos dominantes na região
Antônio Olinto/PR	25°59'	50°12'	790	1.200-1.300	12-13	21-22	17-18	Cfb	400-450	250-300	NITOSSOLO HÁPLICO Distrófico textura argilosa ARGISSOLO VERMELHO-AMARELO Distrófico
São Mateus do Sul/PR	25°51'	50°23'	760	1.300-1.400	12-13	21-22	17-18	Cfb	400-450	250-300	LATOSSOLO VERMELHO Distrófico textura argilosa CAMBISSOLO HÚMICO Aluminico textura argilosa
Rio Azul/PR*	25°44'	50°46'	950	1.400-1.500	12-13	20-21	16-17	Cfb	400-450	250-300	NITOSSOLO HÁPLICO Distrófico textura argilosa
Ponta Grossa/PR	25°07'	50°05'	900	1.400-1.500	13-14	21-22	17-18	Cfb	450-500	250-300	LATOSSOLO VERMELHO Distrófico textura argilosa
Ponta Grossa/PR	25°07'	50°05'	900	1.400-1.500	13-14	21-22	17-18	Cfb	450-500	250-300	CAMBISSOLO HÁPLICO Distrófico textura média a argilosa
Guarapuava/PR*	25°26'	51°15'	1.100	1.500-1.600	13-14	20-21	16-17	Cfb	550-600	350-400	CAMBISSOLO HÚMICO Aluminico textura argilosa
Pitanga - PR	24°44'	51°43'	880	1.500-1.600	14-15	22-23	18-19	Cfb	450-500	350-400	LATOSSOLO BRUNO Distrófico textura argilosa
Chapecó/SC	27°07'	52°37'	679	1.900-2.000	13-14	22-23	18-19	Cfb	600-650	400-450	LATOSSOLO VERMELHO Distrófico textura argilosa
Três Barras/SC	26°11'	50°51'	766	1.200-1.300	12-13	21-22	17-18	Cfb	400-450	250-300	LATOSSOLO VERMELHO-LATOSSOLO BRUNO Distrófico textura argilosa

* Solo do local do experimento

8 CARACTERIZAÇÃO DETALHADA DOS SOLOS E CLIMAS DOS LOCAIS DE EXPERIMENTAÇÃO NO PARANÁ

Os experimentos no estado do Paraná foram implantados em Colombo, Ponta Grossa (em dois tipos de solos), Pinhais (região metropolitana de Curitiba), Rio Azul, Ivaí, Guarapuava e Pitanga.

Uma caracterização detalhada dos solos e climas destes experimentos é apresentada a seguir, com base em Fasolo et al. (1998). As determinações morfológicas foram realizadas segundo o manual de descrição e coleta de solo no campo (Lemos & Santos, 1996). Para fins de correlação e transferência de resultados, os solos foram classificados conforme Camargo et al. (1987), Estados Unidos (1994) e Embrapa (1999).

Rio Azul

No teste combinado de procedência e progênie de erva-mate, instalado no município de **Rio Azul/PR**, com área total de 4,5 ha, ocorrem predominantemente solos classificados como NITOSSOLO HÁPLICO Distrófico (Embrapa, 1999) ou TERRA BRUNA ESTRUTURADA DISTRÓFICA A moderado, textura muito argilosa, fase relevo suave ondulado, segundo Camargo et al. (1987) e Paleudult, de acordo com Estados Unidos (1994). Os solos desta classe caracterizam-se por apresentarem perfis profundos, acentuadamente drenados, porosos, de coloração bruno avermelhada escura na superfície e vermelha em profundidade. Ocorrem em relevo suave ondulado, com declives em torno de 5% e em altitudes variando entre 800 e 830 metros. Estão incluídas nesta área pequenas manchas não representativas da classe de Solos Orgânicos (ORGANOSSOLOS).

De acordo com a Carta Climática do Estado do Paraná (Godoy & Correia, 1976) e baseada em Koeppen, verifica-se que o teste instalado em Rio Azul está sob a influência do tipo climático Cfb - clima subtropical úmido mesotérmico, com verões frescos, com ocorrência de geadas freqüentes, não apresentando estação seca, temperatura média anual variando entre 17 °C e 18 °C, precipitação pluviométrica média anual em torno de 1.500 mm e excedente hídrico anual variando de 500 a 800 mm.

Ivaí

No teste instalado em **Ivaí/PR**, ocorrem predominantemente solos da classe LATOSSOLO VERMELHO Distrófico (Embrapa, 1999) ou LATOSSOLO BRUNO VERMELHO ESCURO ÁLICO A moderado, textura muito argilosa, fase relevo suave ondulado, segundo Camargo et al. (1987) e Haploperox de acordo com Estados Unidos (1994). Estes solos caracterizam-

se por serem profundos acentuadamente drenados, porosos, muito argilosos (72% de argila) e de coloração bruno avermelhado-escuro. Quimicamente, são ácidos com saturação de bases baixa e saturação com alumínio elevada. Ocorrem em relevo suave ondulado, com declives em torno de 4% e em altitudes variando de 700 a 750 metros e originados de rochas sedimentares (argilito). A área do teste instalado em Ivaí-PR está sob a influência do tipo climático Cfa - clima subtropical úmido mesotérmico, com verões quentes e geadas pouco frequentes, com tendência de concentração das chuvas nos meses de verão, sem estação seca definida. A média das temperaturas dos meses mais quentes é superior a 22 °C e a dos meses mais frios é inferior a 18 °C, temperatura média anual entre 17 °C e 18 °C, precipitação média anual em torno dos 1.500 mm e excedente hídrico variando de 500 a 800 mm.

Guarapuava

No teste instalado no município de **Guarapuava/PR**, existe a predominância de CAMBISSOLO HÚMICO Alumínico (Embrapa, 1999) ou CAMBISSOLO ÁLICO HÚMICO textura argilosa fase relevo suave ondulado, segundo Camargo et al. (1987) e Haplumbrept conforme Estados Unidos (1994). Esta classe compreende solos minerais não hidromórficos, com horizonte B incipiente, moderadamente profundos (50 a 80 cm), bem drenados, com seqüência de horizontes A, Bi, C. São solos com um certo grau de evolução, porém não o suficiente para meteorizar completamente minerais primários de mais fácil intemperização, como feldspato, mica, augita e outros. Não possuem acumulações significativas de óxidos de ferro, humus e argilas, que permitam identificá-los como possuindo B textural ou B espódico. São solos ácidos, derivados a partir do derrame do Trapp. Por ocorrerem em clima frio e de precipitações abundantes e bem distribuídas e em altitudes elevadas, favorecem o acúmulo de matéria orgânica na camada superficial, imprimindo a mesma uma tonalidade escura no horizonte A (7,5YR3/2) e bruno escura no (B) 8,5YR3/3. Observou-se, ainda na área, a ocorrência de 5% de NEOSSOLOS LITÓLICOS (Solos Litólicos). Neste teste, o experimento está sob a influência do tipo climático Cfb - clima subtropical úmido mesotérmico de verões frescos, com ocorrência de geadas freqüentes, não apresentando estação seca. A temperatura média anual varia de 16 °C a 17 °C, a precipitação média anual em torno de 1500 mm e o excedente hídrico variando de 800 a 1.100 mm/ano.

Pitanga

No teste instalado no município de **Pitanga/PR**, com área de 4,0 ha, ocorrem predominantemente solos da classe LATOSSOLO BRUNO Distrófico (Embrapa, 1999) ou LATOSSOLO BRUNO ÁLICO A proeminente textura

muito argilosa fase relevo suave ondulado, segundo Camargo et al. (1987) e Haploperox conforme Estados Unidos (1994). Esta classe compreende solos minerais não hidromórficos, muito argilosos, profundos, porosos, acentuadamente drenados, de alta saturação com alumínio trocável e muito ácidos. Possuem seqüência de horizontes A, B, e C, de coloração bruno-avermelhada escura no horizonte A (5YR3/3) e de coloração bruno-avermelhada no B (4YR5/4). O horizonte A é do tipo proeminente e horizonte B latossólico. São originados de rochas efusivas ácidas e ocorrem em relevo suave ondulado, com declives variando entre 4 e 6%, em altitudes em torno dos 870 metros. Climaticamente, estão sob a influência do tipo Cfa - subtropical úmido mesotérmico, com verões quentes e geadas pouco freqüentes, com tendência de concentração das chuvas nos meses de verão, sem estação seca definida, temperatura média anual entre 17 °C e 18 °C, precipitação média anual de 1.600 a 1.700 mm e excedente hídrico variando de 500 a 800 mm/ano.

Ponta Grossa

No município de **Ponta Grossa/PR**, foram instalados dois testes em solos distintos. No primeiro, ocorre predominantemente o solo classificado como LATOSSOLO VERMELHO Distrófico (Embrapa, 1999) ou LATOSSOLO VERMELHO ESCURO ÁLICO A proeminente textura argilosa fase relevo suave ondulado, segundo Camargo et al. (1987) e como Hapludox, conforme Estados Unidos (1994). Nesta classe, estão compreendidos solos minerais com B latossólico, de textura média no horizonte A (33% de argila) e argilosos no B (39% de argila), ricos em sesquióxidos, porém com teores menores que os do LATOSSOLO ROXO. São muito profundos de seqüência de horizontes A, B, C, sendo a espessura de A+B superior a 2 metros, muito porosos e permeáveis, acentuadamente drenados de coloração bruno-avermelhado-escura no A e vermelho-escura no B. São desenvolvidos a partir de rochas sedimentares. São solos preponderantemente álicos e distróficos, portanto forte a extremamente ácidos. Encontram-se em relevo suave ondulado com 5 a 7% de declive e altitudes em torno dos 750 metros.

O segundo teste instalado na região de **PONTA GROSSA/PR**, encontra-se sob solos da classe CAMBISSOLO HÁPLICO Distrófico (Embrapa, 1999) ou CAMBISSOLO DISTRÓFICO A proeminente textura média a argilosa, fase relevo praticamente plano, segundo Camargo et al. (1987) e como Haplumbrept, conforme Estados Unidos (1994). Compreende solos minerais medianamente profundos, moderadamente a bem drenados, com seqüência de horizontes A,(B),C, de coloração bruno-escura (7,5YR3/2) no horizonte A e brunada no B (7,5YR4/5). São solos com um certo grau de evolução, porém não o suficiente para meteorizar completamente

minerais primários, facilmente intemperizáveis, como feldspato, mica, augita e outros; não possuem acumulações significativas de óxidos de ferro, húmus e argilas, que permitam identificá-los como possuindo B textural ou B podzol. Encontram-se em relevo praticamente plano, com declives em torno de 2% e são desenvolvidos a partir de rochas sedimentares. Os testes realizados na região de Ponta Grossa/PR estão sob a influência climática do tipo Cfb - clima subtropical úmido mesotérmico, de verões frescos e com ocorrência de geadas severas e freqüentes, não apresentando estação seca. A média das temperaturas dos meses mais quentes é inferior a 22 °C e as dos meses mais frios é inferior a 18 °C e a temperatura média anual está entre 17 °C e 18 °C. A precipitação média anual está entre 1.600 e 1.700 mm e excedente hídrico variando de 500 a 800 mm/ano.

Região Metropolitana de Curitiba (Colombo e Pinhais)

Na região metropolitana de **Curitiba** predominam solos da classe CAMBISSOLO, mormente das Subordens CAMBISSOLO HÚMICO E CAMBISSOLO HÁPLICO (Embrapa, 1999).

Na área, os solos são pouco profundos, bem drenados, argilosos, ácidos (pH \approx 5,0), dessaturados e com elevados teores de alumínio trocável ao longo do perfil. O horizonte superficial (A) varia muito de um local para outro, sendo em geral mais espesso, mais escuro e com teores mais elevados de matéria orgânica nos CAMBISSOLOS HÚMICOS, sendo esta a principal diferença entre êles. Estes solos correspondem, aproximadamente, aos Haplumbrets e Dystrochrepts da Soil Taxonomy (Estados Unidos, 1975).

A área em apreço situa-se no primeiro planalto paranaense, em altitudes próximas dos 900 metros, sendo o clima predominante do tipo Cfb (Koeppen), mesotérmico úmido, sem estação seca, com verões frescos e com média do mês mais quente inferior a 22 °C. O relevo, em sua maior parte varia de ondulado ao suave ondulado e os solos são derivados de rochas Pré-Cambrianas (migmatitos) e de sedimentos pleistocênicos (argilitos e arcósios).

Solos das classes LATOSSOLOS (Oxisols*, Histosols**), ARGISSOLOS (Ultisols*, Acrisols**) e ORGANOSSOLOS (Histosols*, Histosols**) também ocorrem na área, porém em menor proporção, conforme * Estados Unidos (1975) e **FAO/UNESCO (1990).

Especificamente, no caso do teste clonal de Colombo/PR, o solo foi identificado como CAMBISSOLO HÁPLICO Alumínico (Embrapa, 1999) ou Cambissolo Álico A proeminente, textura argilosa segundo Camargo et al. (1987).

Os solos dos demais municípios estão caracterizados na Tabela 4. Tomando por base a classificação e caracterização dos solos, tem-se a

seguinte classificação de aptidão ou “nível de fertilidade” dos solos dos vários municípios, conforme escala subjetiva variando de 1 a 4, dos menos férteis para os mais férteis:

- 1 Soledade, Bocaiúva do Sul (CAMBISSOLO HÁPLICO), Antônio Olinto (NITOSSOLO HÁPLICO), Antônio Olinto (ARGISSOLO VERMELHO AMARELO) e Ponta Grossa (CAMBISSOLO HÁPLICO).
- 2 Colombo, Curitiba, Bocaiúva do Sul (CAMBISSOLO HÚMICO), Pinhão (CAMBISSOLO HÚMICO), São Mateus do Sul (CAMBISSOLO HÚMICO), Rio Azul, Guarapuava, Toledo (LATOSSOLO VERMELHO) e Campo Mourão.
- 3 Cascavel, Quedas do Iguaçu (LATOSSOLO VERMELHO), Chapecó, Três Barras, Toledo (NITOSSOLO VERMELHO), Ponta Grossa (LATOSSOLO VERMELHO) e Barão de Cotegipe.
- 4 Ivaí, Pinhão (LATOSSOLO BRUNO), São Mateus (LATOSSOLO VERMELHO) e Pitanga.

9 RESULTADOS DAS AVALIAÇÕES DOS MATERIAIS GENÉTICOS

9.1 Avaliação genética de clones em Colombo/PR

O experimento foi instalado em um CAMBISSOLO HÁPLICO (Embrapa, 1999) ou CAMBISSOLO ÁLICO textura argilosa em Colombo/PR e consistiu na avaliação de 14 clones (alguns com parentesco de meio-irmãos) no delineamento de blocos ao acaso com três plantas por parcela linear. O número de repetições por clone variou de dois a sete e o espaçamento adotado foi de 3 m x 2 m. A produção de massa verde dos clones foi avaliada aos 55 meses, na primeira poda de produção, ou primeira poda, dois anos após a poda de formação.

Devido ao desbalanceamento dos dados e visando aproveitar as informações da genealogia dos clones empregou-se na análise genética a metodologia de modelos lineares mistos (Henderson, 1984) através da estimação de componentes de variância por máxima verossimilhança restrita (REML) e predição dos valores genotípicos pela melhor predição linear não viciada (BLUP) (Resende et al., 1996; Resende & Fernandes, 1999). A seguir são apresentados o modelo, os estimadores, os preditores e a forma de análise através do software DFREML (Meyer, 1998).

Modelo linear misto (modelo univariado aditivo-dominante)

$y = Xb + Za + Zd + Wc + e$, em que

y , b , a , d , c , e : vetores de dados, dos efeitos fixos de blocos, dos efeitos aleatórios aditivos, de dominância, de parcelas e do erro, respectivamente.

Distribuições e estruturas de médias e variâncias

$$E \begin{bmatrix} y \\ a \\ d \\ c \\ e \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} Xb \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix}; \quad \text{Var} \begin{bmatrix} y \\ a \\ d \\ c \\ e \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} V & ZA\sigma_a^2 & ZD\sigma_d^2 & W\sigma_c^2 & I\sigma_e^2 \\ A\sigma_a^2 Z' & A\sigma_a^2 & 0 & 0 & 0 \\ D\sigma_d^2 Z' & 0 & D\sigma_d^2 & 0 & 0 \\ I\sigma_c^2 W' & 0 & 0 & I\sigma_c^2 & 0 \\ I\sigma_e^2 & 0 & 0 & 0 & I\sigma_e^2 \end{bmatrix}, \text{ em que:}$$

$$V = ZA\sigma_a^2 Z' + ZD\sigma_d^2 Z' + WI\sigma_c^2 W' + I\sigma_e^2.$$

Equações de modelo misto

$$\begin{bmatrix} X'X & X'Z & X'Z & X'W \\ Z'X & Z'Z + A^{-1}\lambda_1 & Z'Z & Z'W \\ Z'X & Z'Z & Z'Z + D^{-1}\lambda_2 & Z'W \\ W'X & W'Z & W'Z & W'W + I\lambda_3 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \hat{b} \\ \hat{a} \\ \hat{d} \\ \hat{c} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} X'y \\ Z'y \\ Z'y \\ W'y \end{bmatrix}, \text{ em que:}$$

$$\lambda_1 = \frac{\sigma_e^2}{\sigma_a^2} = \frac{1 - h_a^2 - c^2}{h^2}; \quad \lambda_2 = \frac{\sigma_e^2}{\sigma_d^2} = \frac{1 - h_a^2 - c^2}{h_a^2 - h^2}; \quad \lambda_3 = \frac{\sigma_e^2}{\sigma_c^2} = \frac{1 - h_a^2 - c^2}{c^2}$$

σ_d^2 e h_a^2 = variância genética de dominância e herdabilidade no sentido amplo, respectivamente;

A e D = matrizes de correlação genética aditiva e de dominância entre os indivíduos em avaliação;

$$h^2 = \frac{\sigma_a^2}{\sigma_a^2 + \sigma_c^2 + \sigma_d^2 + \sigma_e^2} = \text{herdabilidade individual no sentido restrito no bloco;}$$

$$c^2 = \frac{\sigma_c^2}{\sigma_a^2 + \sigma_c^2 + \sigma_d^2 + \sigma_e^2} = \text{correlação devida ao ambiente comum da parcela.}$$

O sistema apresentado prediz isoladamente os efeitos aditivos (\hat{a}) e de dominância (\hat{d}). Os valores genotípicos totais, dados por, $\hat{g} = \hat{a} + \hat{d}$ podem ser preditos diretamente pelas equações de modelo misto

$$\begin{bmatrix} X'X & X'Z & X'W \\ Z'X & Z'Z + G^{-1}\sigma_e^2 & Z'W \\ W'X & W'Z & W'W + I\lambda_3 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \hat{b} \\ \hat{g} \\ \hat{c} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} X'y \\ Z'y \\ W'y \end{bmatrix}, \text{ em que}$$

$$G = A\sigma_a^2 + D\sigma_d^2$$

Estimadores dos componentes de variância por REML via algoritmo EM

$\hat{\sigma}_e^2 = [y'y - \hat{b}' X'y - \hat{a}' Z'y - \hat{d}' Z'y - \hat{c}' W'y] / [N - r(x)]$: estimativa da variância do erro;

$\hat{\sigma}_c^2 = [\hat{c}' c + \hat{\sigma}_e^2 \text{tr } C^{44}] / s$: estimativa da variância entre parcelas;

$\hat{\sigma}_a^2 = [\hat{a}' A^{-1} \hat{a} + \hat{\sigma}_e^2 \text{tr } (A^{-1} C^{22})] / q$: estimativa da variância genética aditiva;

$\hat{\sigma}_d^2 = [\hat{d}' D^{-1} \hat{d} + \hat{\sigma}_e^2 \text{tr } (D^{-1} C^{33})] / q$: estimativa da variância genética de dominância

Seqüência de colunas de dados para análise no software DFREML
Indivíduo Pai Mãe Bloco Parcela Variável 1 . . .
Variável n

Para ajuste dos efeitos de dominância, os mesmos devem ser considerados como "segundo efeito aleatório por indivíduo". Neste caso, além dos arquivos de dados e de pedigree, deve ser fornecido um arquivo adicional com nome padrão DF45#DAT, referente à inversa da matriz de

parentesco de dominância. Este arquivo não formatado deve fornecer todos os elementos não zero do triângulo inferior da matriz inversa e deve conter três colunas: um código inteiro (de 1 ao número de indivíduos na análise) referente ao número da coluna na matriz; um código inteiro referente ao número da linha (maior ou igual ao número da coluna) na matriz (de 1 ao número de indivíduos na análise); uma variável verdadeira (real) fornecendo o elemento da inversa da matriz de parentesco de dominância.

A herdabilidade individual no sentido amplo equivaleu a 0,28, valor este superior ao valor da herdabilidade no sentido restrito para a mesma população (0,19 na primeira safra (poda de formação) e 0,11 envolvendo três safras). Esta superioridade é esperada para caracteres que apresentam dominância alélica.

Na Tabela 5, é apresentado o sumário completo da avaliação genética dos clones.

TABELA 5 Sumário da avaliação genotípica de clones em um CAMBISSOLO HÁPLICO Alumínico em Colombo/PR.

Genealogia ^a	Clone	Sexo	N ^b	Média fenotípica (kg)	VG ^c	h ² a ^d	Acurácia	Ganho (%)	Média genotípica/ha	Intervalo de confiança
3-2-5-5	1	M	5	7,4	7,21 ± 1,49	0,66	0,81	9,24	12.016,2	9.532,9 – 14.449,4
3-2-14-4	2	M	8	6,5	6,54 ± 1,25	0,76	0,87	-0,91	10.899,6	8.816,3 – 12.982,8
3-4-61-1	3	----	12	6,5	6,37 ± 1,09	0,82	0,90	-3,48	10.616,2	8.799,6 – 12.432,8
3-2-14-3	4	F	17	5,8	5,95 ± 0,92	0,87	0,93	-8,33	10.082,9	8.383,0 – 11.449,5
3-2-20-5	5	M	20	8,4	8,56 ± 0,85	0,89	0,94	29,70	14.266,1	12.849,5 – 15.682,7
3-3-5-1	6	M	4	2,5	4,20 ± 1,60	0,61	0,78	-36,36	6.999,7	4.333,2 – 9666,3
5-2-8-2	7	M	7	6,0	6,12 ± 1,33	0,73	0,85	-7,27	10.199,6	7.983,0 – 12.416,2
4-2-8-4	8	M	7	5,1	5,54 ± 1,33	0,73	0,85	-16,06	9.233,0	7.016,4 – 11.449,5
5-2-12-2	9	F	5	8,8	8,14 ± 1,49	0,66	0,81	23,33	13.566,1	11.082,9 – 16.049,4
5-3-1-1	10	F	16	7,2	7,16 ± 0,96	0,86	0,93	8,48	11.932,9	10.332,9 – 13.532,8
5-3-7-5	11	F	15	8,0	7,75 ± 0,99	0,85	0,92	17,42	12.916,2	11.266,2 – 14.566,1
5-4-58-1	12	M	5	7,0	6,95 ± 1,49	0,66	0,81	5,30	11.582,9	9.099,6 – 14.066,1
6-3-1-5	13	F	12	5,3	5,92 ± 1,09	0,82	0,90	-10,30	9.866,3	8.049,7 – 11.682,9
1-3-1-3	14	F	18	5,4	5,90 ± 0,92	0,87	0,93	-10,61	9.832,9	8.383,0 – 11.366,2

a = bloco-procedência-progênie-árvore; b = número de rametes; c = valor genotípico ± desvio padrão; d = herdabilidade no sentido amplo ao nível de média de clones. Média geral = 6,6 kg/árvore; 10.999,56 kg/ha; h²a ao nível de indivíduo = 0,28; C.V.experimental = 9,6%; M = macho; F = fêmea.

Sobressairam-se os clones de números 5, 9 e 11, os quais propiciam ganhos genéticos estimados da ordem de 29,7%, 23,33% e 17,42%, respectivamente. As acurácias na avaliação dos clones variaram de 0,78 a 0,94. Os clones 5, 9 e 11 foram avaliados com acurácias de 0,94; 0,81 e 0,92, respectivamente. Devido à menor acurácia (função do número restrito de rametes) na avaliação do clone 9, o mesmo, apesar de apresentar a maior média fenotípica observada não apresentou o maior valor genotípico predito, pois foi penalizado pela metodologia de predição, em função da menor acurácia.

9.2 Avaliação genética de indivíduos e populações em testes de procedências e progênies em Colombo/PR

Este experimento foi instalado em dezembro de 1988, em CAMBISSOLO HÁPLICO Alumínico, (CAMBISSOLO ÁLICO, com textura argilosa) em Colombo/PR sob plantas de bracatinga (área com povoamento de bracatinga implantado). Em 1993, as plantas de bracatinga foram removidas, permanecendo apenas plantas de erva-mate. O experimento foi instalado no delineamento de blocos ao acaso com seis repetições e cinco plantas por parcela, com arranjo de progênies dentro de procedências. Foram avaliadas 36 progênies pertencentes às procedências de Cascavel/PR (8 progênies), Toledo/PR (15 progênies), Campo Mourão/PR (8 progênies) e Soledade/RS (5 progênies).

A produção de massa verde foi avaliada em três safras: poda de formação (agosto de 1994). Segunda poda (outubro de 1995) e terceira poda (setembro de 1997). A produtividade de massa foliar das quatro procedências na primeira safra são apresentadas na Tabela 6.

TABELA 6 Produtividades de massa foliar de quatro procedências de erva-mate em CAMBISSOLO HÁPLICO Alumínico em Colombo/PR, na primeira safra (poda de formação) aos 67 meses.

PROCEDÊNCIA	MASSA FOLIAR (KG/ARVORE)	MASSA FOLIAR (KG/HA)
Cascavel - PR	3,45 ± 0,81	5.749
Toledo - PR	5,03 ± 0,52	8.383
Campo Mourão/PR	4,74 ± 0,76	7.899
Soledade - RS	2,94 ± 1,38	4.899
Média Geral	4,04	6.733

Verifica-se que as procedências Toledo/PR e Campo Mourão/PR adaptaram-se melhor ao ambiente de Colombo/PR, ao passo que Soledade/RS foi a procedência que menos se adaptou a tal ambiente. Tendo em vista que Toledo e Campo Mourão localizam-se na região bioclimática 2 e Colombo na região bioclimática 1, verifica-se que o clima não explica a adaptação destas procedências a Colombo. Assim, provavelmente, os solos expliquem melhor a adaptação destas procedências a Colombo. De fato, observando a escala de aptidão dos solos no intervalo de 1 a 4 (ordem dos piores para os melhores) verifica-se que Colombo, Toledo e Campo Mourão receberam o código 2, Cascavel recebeu o código 3 e Soledade o código 1. Assim, as procedências que foram avaliadas em solo de mesmo nível se sobressaíram, ao passo que as que vieram de solo melhor para pior e de solo pior para melhor, tiveram comportamentos piores.

Devido à amostragem deficiente das procedências Cascavel, Campo Mourão e Soledade e também de uma mortalidade acumulada (39% na última avaliação) considerável no experimento com o decorrer das safras, optou-se por estimar parâmetros genéticos e realizar a predição de valores genéticos apenas dos indivíduos da procedência mais adaptada e melhor amostrada (Toledo). Devido também ao desbalanceamento dos dados empregou-se a metodologia de modelos mistos, cujos modelos, preditores e estimadores são apresentados a seguir.

Modelo misto (modelo aditivo univariado de repetibilidade)

$y = Xb + Za + Wc + Tp + e$, em que

y , b , a , c , p e e : vetores de dados, dos efeitos de blocos (fixos), de efeitos genéticos aditivos (aleatório), de efeitos de parcela (aleatório), de efeitos permanentes (aleatório) e de erros aleatórios, respectivamente.

X , Z , W e T : matrizes de incidência para b , a , c e p , respectivamente.

Neste modelo, os efeitos fixos de blocos ($b-1$ graus de liberdade), medições ($m-1$ graus de liberdade) e interação medição x bloco [$(b-1)$ ($m-1$) graus de liberdade], podem ser ajustados em um único efeito (denominado combinação bloco-medição com mb elementos ou níveis e $mb-1$ graus de liberdade), procedimento este que é estatisticamente correto e computacionalmente desejável e necessário. Os efeitos temporários da interação progênies x medições e progênies x medições x blocos são incorporados ao vetor e em conjunto com o efeito de ambiente temporário propriamente dito. Os efeitos c de parcela, neste modelo, referem-se ao ambiente permanente entre parcelas.

Distribuições e estruturas de médias e variâncias

$$y|b, V \sim N(Xb, V)$$

$$a|A, \sigma_a^2 \sim N(0, \sigma_a^2)$$

$$c|\sigma_c^2 \sim N(0, I \sigma_c^2)$$

$$p|\sigma_p^2 \sim N(0, I \sigma_p^2)$$

$$e|\sigma_e^2 \sim N(0, I \sigma_e^2)$$

$$\text{Cov}(a, c') = 0; \quad \text{Cov}(a, p') = 0; \quad \text{Cov}(a, e') = 0;$$

$$\text{Cov}(p, c') = 0; \quad \text{Cov}(p, e') = 0; \quad \text{Cov}(c, e') = 0$$

ou seja:

$$E \begin{bmatrix} y \\ a \\ c \\ p \\ e \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} Xb \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix}; \quad \text{Var} \begin{bmatrix} y \\ a \\ c \\ p \\ e \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} V & ZG & WC & TP & R \\ GZ & G & 0 & 0 & 0 \\ CW' & 0 & C & 0 & 0 \\ PT' & 0 & 0 & P & 0 \\ R & 0 & 0 & 0 & R \end{bmatrix}, \text{ em que}$$

$$P = I \sigma_p^2$$

$$V = ZA \sigma_a^2 Z' + WI \sigma_c^2 W' + TI \sigma_p^2 T' + I \sigma_e^2.$$

Equações de modelo misto

$$\begin{bmatrix} X'X & X'Z & X'W & X'T \\ Z'X & Z'Z + A^{-1}\lambda_1 & Z'W & Z'T \\ W'X & W'Z & W'W + I^{-1}\lambda_2 & W'T \\ T'X & T'Z & T'W & T'T + I\lambda_3 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \hat{b} \\ \hat{a} \\ \hat{c} \\ \hat{p} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} X'y \\ Z'y \\ W'y \\ T'y \end{bmatrix}, \text{ em que}$$

$$\lambda_1 = \frac{1-\rho}{h^2} = \frac{\sigma_e^2}{\sigma_a^2}; \quad \lambda_2 = \frac{1-\rho}{c^2} = \frac{\sigma_e^2}{\sigma_c^2}; \quad \lambda_3 = \frac{1-\rho}{p^2} = \frac{\sigma_e^2}{\sigma_p^2}.$$

$h^2 = \frac{\sigma_a^2}{\sigma_a^2 + \sigma_c^2 + \sigma_p^2 + \sigma_e^2}$ = herdabilidade individual no sentido restrito no bloco em uma dada medição;

$$\rho = \frac{\sigma_a^2 + \sigma_c^2 + \sigma_p^2}{\sigma_a^2 + \sigma_c^2 + \sigma_p^2 + \sigma_e^2} = \text{repetibilidade individual no bloco};$$

$p^2 = \frac{\sigma_p^2}{\sigma_a^2 + \sigma_c^2 + \sigma_p^2 + \sigma_e^2}$ = coeficiente de determinação dos efeitos permanentes dentro de parcela;

$c^2 = \frac{\sigma_c^2}{\sigma_a^2 + \sigma_c^2 + \sigma_p^2 + \sigma_e^2}$ = correlação devida ao ambiente comum da parcela.

Estimadores dos componentes de variância por REML via algoritmo EM

$$\hat{\sigma}_e^2 = [y' y - \hat{b}' X' y - \hat{a}' Z' y - \hat{c}' W' y - \hat{p}' T' y] / [N - r(x)]$$

$\hat{\sigma}_a^2 = [\hat{a}' A^{-1} \hat{a} + \hat{\sigma}_e^2 \text{tr}(A^{-1} C^{22})] / q$: estimativa da variância genética aditiva;

$\hat{\sigma}_c^2 = [\hat{c}' c + \hat{\sigma}_e^2 \text{tr} C^{33}] / s$: estimativa da variância genética de dominância;

$\hat{\sigma}_p^2 = [\hat{p}' p + \hat{\sigma}_e^2 \text{tr} C^{44}] / q$: estimativa da variância dos efeitos permanentes;

em que: C^{22} , C^{33} e C^{44} advém de:

$$C^{-1} = \begin{bmatrix} C_{11} & C_{12} & C_{13} & C_{14} \\ C_{21} & C_{22} & C_{23} & C_{24} \\ C_{31} & C_{32} & C_{33} & C_{34} \\ C_{41} & C_{42} & C_{43} & C_{44} \end{bmatrix}^{-1} = \begin{bmatrix} C^{11} & C^{12} & C^{13} & C^{14} \\ C^{21} & C^{22} & C^{23} & C^{24} \\ C^{31} & C^{32} & C^{33} & C^{34} \\ C^{41} & C^{42} & C^{43} & C^{44} \end{bmatrix}$$

Os resultados referentes às estimativas dos parâmetros genéticos são apresentados na Tabela 7.

TABELA 7 Estimativas dos parâmetros herdabilidade individual no sentido restrito (h^2), repetibilidade individual (ρ) e correlação devida ao ambiente comum da parcela (c^2), para o caráter produção de massa verde em erva-mate em CAMBISSOLO HÁPLICO Alumínico em Colombo/PR. Procedência de Toledo/PR.

SAFRA	MÉDIA (KG/ÁRVORE)	h^2	ρ	c^2
1	5,03	0,19	-	-
2	3,70	0,00	-	-
3	5,90	0,11	-	-
Todas	4,88	0,06	0,64	0,05
Média	4,88	0,11	-	-
Média Geral	4,88	0,094	0,64	0,05

Verifica-se que no ano de menor produtividade (primeira poda, após a poda de formação, com um ano de intervalo) não houve expressão de variabilidade genética ($h^2=0$). A estimativa da herdabilidade foi maior na poda de formação do que nas demais, sendo considerada de magnitude média ou moderada (15 a 40%). As demais herdabilidades apresentaram baixa (<15%) magnitude. No conjunto total de dados, 6% da variação individual total foi devida aos efeitos genéticos aditivos, 5% devido à variação entre parcelas, 53% devido aos efeitos permanentes (dominância e ambiente permanente) e 36% devido aos erros aleatórios. A alta proporção da variância dos efeitos de ambiente permanente em relação à variância dos efeitos genéticos não é favorável à seleção baseada exclusivamente em medidas repetidas (Resende e Silva, 1991).

A estimativa da repetibilidade foi de 0,64, considerada de alta ($\geq 0,60$) magnitude. Com uma repetibilidade desta magnitude, as eficiências seletivas com o uso de 2, 3 e 4 safras em relação ao uso de apenas uma equivale a 1,10; 1,14 e 1,16, respectivamente (Resende & Rosa Perez, 1999). Assim, o uso de mais do que três safras não seria recomendado, pois não traz benefício ao ganho por ciclo de seleção e prejudica o ganho por unidade de tempo.

De posse dos valores genéticos de todos os indivíduos da procedência Toledo, decidiu-se pela seleção dos 50 melhores, os quais propiciaram um ganho genético estimado de 8,1% sobre a média da população, elevando-a de 4,88 a 5,28 kg por planta. Com 95% de confiança, a média da população melhorada deverá estar entre 5,08 a 5,48 kg/planta/safra ou 8.466 a 9.133 kg/ha, considerando o espaçamento 3 m x 2 m, a sobrevivência de 100% e o mesmo tipo de solo.

A área do teste de progênie foi desbastada, deixando-se os 50 indivíduos selecionados da procedência Toledo e cerca de 20 indivíduos das demais procedências, selecionados por seleção massal. No ano de 1.999 foram coletadas sementes de cerca de 40 matrizes, sendo que as mesmas foram cedidas para a EPAGRI em Três Barras, onde estão sendo produzidas as mudas, visando à instalação de testes de progênie de segunda geração em Três Barras/SC e Erechim/RS. A avaliação destes novos testes de progênie servirá ao mesmo tempo para: verificar o ganho genético realizado com seleção; verificar a adaptação do material; permitir a re-seleção de matrizes no pomar de sementes por mudas de Colombo, tendo por base o comportamento de suas progênies.

9.3 Avaliação de populações e indivíduos em dois tipos de solo em Ponta Grossa/PR

Em Ponta Grossa, os experimentos foram instalados em duas classes de solos. Ambos os experimentos foram instalados no delineamento de blocos ao acaso com cinco repetições e parcelas lineares de seis plantas. O espaçamento adotado foi de 3 m x 2 m e não foram realizadas adubações de plantio. Os experimentos foram plantados em novembro de 1995 e podados pela primeira vez (poda de formação) em agosto de 1998, fornecendo os dados de massa foliar analisados. O material genético constituiu-se de três procedências: Bocaiúva do Sul (35 progênies), Colombo (10 progênies de segunda geração, de população composta obtida por recombinação de 4 procedências) e Cascavel (13 progênies).

O teste número 1 foi instalado em solo classificado como LATOSSO VERMELHO ESCURO Álico, A proeminente, textura argilosa, fase relevo

suave ondulado. O teste número 2 foi instalado em solo classificado como CAMBISSOLO DISTRÓFICO, textura média a argilosa, fase relevo plano.

Na análise genética empregou-se a metodologia de modelos lineares mistos, cujos modelos, preditores e estimadores são apresentados a seguir.

Modelo linear misto (modelo aditivo multivariado)

$$y = Xb + Za + Wc + e$$

Considerando o caso bivariado (experimentos em 2 locais ou ambientes), tem-se:

$$\begin{bmatrix} y_1 \\ y_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} X_1 & 0 \\ 0 & X_2 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} b_1 \\ b_2 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} Z_1 & 0 \\ 0 & Z_2 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} a_1 \\ a_2 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} W_1 & 0 \\ 0 & W_2 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} c_1 \\ c_2 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} e_1 \\ e_2 \end{bmatrix}$$

Distribuições e estruturas de médias e variâncias

$$E \begin{bmatrix} y_1 \\ y_2 \\ a_1 \\ a_2 \\ c_1 \\ c_2 \\ e_1 \\ e_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} X_1 b_1 \\ X_2 b_2 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix}; \quad \text{Var} \begin{bmatrix} a_1 \\ a_2 \\ c_1 \\ c_2 \\ e_1 \\ e_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} A\sigma_{a_1}^2 & A\sigma_{a_{12}} & 0 & 0 & 0 & 0 \\ A\sigma_{a_{12}} & A\sigma_{a_2}^2 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & I\sigma_{c_1}^2 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & I\sigma_{c_2}^2 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & I\sigma_{e_1}^2 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & I\sigma_{e_2}^2 \end{bmatrix}$$

$$\text{Var}(y_1) = V_1 = Z_1 A \sigma_{a_1}^2 Z_1' + W_1 I \sigma_{c_1}^2 W_1' + I \sigma_{e_1}^2$$

$$\text{Var}(y_2) = V_2 = Z_2 A \sigma_{a_2}^2 Z_2' + W_2 I \sigma_{c_2}^2 W_2' + I \sigma_{e_2}^2$$

Equações de modelo misto

$$\begin{bmatrix} X'R^{-1}X & X'R^{-1}Z & X'R^{-1}W & X'R^{-1}T \\ Z'R^{-1}X & Z'R^{-1}Z+G^{-1} & Z'R^{-1}W & Z'R^{-1}T \\ W'R^{-1}X & W'R^{-1}Z & W'R^{-1}W+C^{-1} & W'R^{-1}T \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \hat{b} \\ \hat{a} \\ \hat{c} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} X'R^{-1}y \\ Z'R^{-1}y \\ W'R^{-1}y \end{bmatrix},$$

em que:

$$y = \begin{bmatrix} y_1 \\ y_2 \end{bmatrix}; \quad \hat{b} = \begin{bmatrix} \hat{b}_1 \\ \hat{b}_2 \end{bmatrix}; \quad \hat{c} = \begin{bmatrix} \hat{c}_1 \\ \hat{c}_2 \end{bmatrix};$$

$$R^{-1} = R_o^{-1} \otimes I; \quad G^{-1} = G_o^{-1} \otimes A^{-1}; \quad C^{-1} = C_o^{-1} \otimes I;$$

$$R_o = \begin{bmatrix} \sigma_{e_1}^2 & 0 \\ 0 & \sigma_{e_2}^2 \end{bmatrix}; \quad G_o = \begin{bmatrix} \sigma_{a_1}^2 & \sigma_{a_{11}} \\ \sigma_{a_{12}} & \sigma_{a_2}^2 \end{bmatrix}; \quad C_o = \begin{bmatrix} \sigma_{c_1}^2 & 0 \\ 0 & \sigma_{c_2}^2 \end{bmatrix};$$

Os componentes de variância estão associados aos parâmetros h^2 , c^2 e ρ_a , da seguinte maneira:

$$\sigma_{a_i}^2 = h_i^2 \sigma_{F_i}^2; \quad \sigma_{e_i}^2 = (1 - \rho_i) \sigma_{F_i}^2; \quad \sigma_{c_i}^2 = c_i^2 \sigma_{F_i}^2; \quad \sigma_{a_{ij}} = \rho_{a_{ij}} \sigma_{a_i} \sigma_{a_j}, \text{ em que}$$

ρ_a é a correlação genética aditiva dos materiais através dos ambientes.

Estimadores dos componentes de variância por REML

Nesta situação, são recomendados os algoritmos de informação média (AI) (preferencialmente este) e livre de derivadas (DF).

Seqüência de colunas de dados para análise no software DFREML

Experimento Indivíduo Pai Mãe Bloco Parcela Variável 1 . . .
Variável n

São necessários dois arquivos, o de dados e um de pedigree formado pelas colunas **Indivíduo Pai Mãe**. Devem ser executados os subprogramas DFPREP e DXMUX.

Não houve diferenças significativas entre procedências, tanto para o peso foliar como para a sobrevivência, no Latossolo. No Cambissolo, diferença estatisticamente significativa, ao nível de 95% de probabilidade pelo teste de Tukey, somente ocorreu entre a sobrevivência das procedências de Colombo (98,0%) e Bocaiúva do Sul (92,5%). A produção de massa foliar, por acasão da primeira poda, foi 88,8% superior (diferença estatisticamente significativa entre solos) no Latossolo (341,4 g por árvore) em relação ao Cambissolo (180,8 g por árvore). O latossolo é bem desenvolvido, com mais de 2 m de profundidade, poroso, e bem drenado, sem impedimento ao desenvolvimento das raízes e com grande volume de solo a ser explorado pela planta. Quanto ao Cambissolo, ao contrário, é um solo pouco desenvolvido, raso, com 30 a 40 cm de profundidade, apresentando, como restrição, a sua pouca profundidade, tendo um menor volume de solo a ser explorado pela planta, além do impedimento à penetração das raízes devido à pouca profundidade em que se encontra o material rochoso.

As estimativas de herdabilidade, obtidas em nível de indivíduo dentro de procedência no bloco, para peso foliar, nos testes instalados no Latossolo e Cambissolo foram, respectivamente, de 41% e 74%. A maior estimativa de herdabilidade obtida no Cambissolo é consequência de um maior controle ambiental, em virtude do menor tamanho do teste e solo mais homogêneo. Com herdabilidade da ordem de 41% é necessário recorrer a métodos de seleção que utilizem simultaneamente as informações do indivíduo e da média de sua família, para melhorar o peso foliar em plantas de erva-mate. Caso essas estimativas sejam confirmadas em safras subseqüentes, serão importantes para o estabelecimento de estratégias de melhoramento baseadas em seleção precoce, uma vez que a estimativa de repetibilidade, no teste de progênie de Colombo, equivaleu a 0,65 para peso foliar, em um erval podado aos 6, 7 e 9 anos de idade. Com base nessa estimativa, os genótipos mais produtivos, em uma determinada safra, tendem a ser, também, mais produtivos em safras futuras. O coeficiente de correlação genética de 54%, obtido entre o dois locais, prevê um ganho de 17% no peso foliar pela seleção de progênies usando informações dos dois locais simultaneamente.

9.4 Avaliação genética de populações e indivíduos em Ivaí/PR, Rio Azul/PR e Guarapuava/PR

Três experimentos com material genético comum foram instalados em Ivaí/PR (em março de 1997), em Guarapuava/PR (em agosto de 1997) e em Rio Azul - PR (em julho de 1997). Os materiais avaliados constituiram-se das procedências de Antônio Olinto/PR (21 progênies), Barão de Cotegipe, RS (21 progênies), Cascavel (25 progênies), Colombo (25 progênies), Ivaí/

PR (25 progênies), Pinhão/PR (25 progênies) e Quedas do Iguaçu/PR (25 progênies).

O delineamento experimental empregado nos três locais foi o de blocos ao acaso com oito repetições em Guarapuava e Rio Azul e 10 repetições em Ivaí, todos com seis plantas por parcela. As progênies foram aleatórias, independentemente das procedências, ou seja não se adotou o arranjo hierárquico de progênies dentro de procedência. A poda de formação foi efetuada em julho de 1999 em Ivaí, em setembro de 1999 em Rio Azul e em outubro de 1999 em Guarapuava, portanto por volta de dois anos de idade.

A análise genética foi efetuada empregando-se a metodologia de modelos mistos, conforme modelos, estimadores e preditores descritos a seguir:

Modelo linear misto (modelo multivariado multi-experimentos)

Considerando a avaliação de progênies de meios-irmãos, no delineamento de blocos ao acaso, com várias plantas por parcela, uma medição por indivíduo e um só caráter, avaliado em vários (ℓ) experimentos com algumas progênies ou tratamentos comuns, tem-se:

$y = Xb + Za + Wc + e$, em que:

$$\begin{bmatrix} y_1 \\ y_2 \\ \vdots \\ y_\ell \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} X_1 & \cdots & 0 \\ 0 & X_2 & \cdots & 0 \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ 0 & 0 & \cdots & X_\ell \end{bmatrix} \begin{bmatrix} b_1 \\ b_2 \\ \vdots \\ b_\ell \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} Z_1 & \cdots & 0 \\ 0 & Z_2 & \cdots & 0 \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ 0 & 0 & \cdots & Z_\ell \end{bmatrix} \begin{bmatrix} a_1 \\ a_2 \\ \vdots \\ a_\ell \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} W_1 & \cdots & 0 \\ 0 & W_2 & \cdots & 0 \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ 0 & 0 & \cdots & W_\ell \end{bmatrix} \begin{bmatrix} c_1 \\ c_2 \\ \vdots \\ c_\ell \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} e_1 \\ e_2 \\ \vdots \\ e_\ell \end{bmatrix}$$

Este modelo multivariado trata um mesmo caráter em diferentes locais como sendo diferentes caracteres (Resende et al., 1999).

Para o caso envolvendo três experimentos, tem-se:

$$\text{Var} \begin{bmatrix} a_1 \\ a_2 \\ a_3 \\ c_1 \\ c \\ c_3 \\ e_1 \\ e_2 \\ e_3 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} A\sigma_{a_1}^2 & A\sigma_{a_{12}} & A\sigma_{a_{13}} & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ A\sigma_{a_{12}} & A\sigma_{a_2}^2 & A\sigma_{a_{23}} & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ A\sigma_{a_{13}} & A\sigma_{a_{23}} & A\sigma_{a_3}^2 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & I\sigma_{c_1}^2 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & I\sigma_{c_2}^2 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & I\sigma_{c_3}^2 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & I\sigma_{e_1}^2 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & I\sigma_{e_2}^2 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & I\sigma_{e_3}^2 \end{bmatrix}$$

em que:

$\sigma_{a_1}^2$, $\sigma_{a_2}^2$ e $\sigma_{a_3}^2$ = variâncias genéticas aditivas nos locais (ou experimentos) 1, 2 e 3, respectivamente;

$\sigma_{a_{12}}$, $\sigma_{a_{13}}$ e $\sigma_{a_{23}}$ = covariâncias genéticas aditivas envolvendo as combinações de locais 1-2, 1-3 e 2-3, respectivamente, ou variâncias genéticas aditivas livres das interações genótipos x ambientes;

$\sigma_{c_1}^2$, $\sigma_{c_2}^2$ e $\sigma_{c_3}^2$ = variâncias entre parcelas, nos locais 1, 2 e 3, respectivamente;

$\sigma_{e_1}^2$, $\sigma_{e_2}^2$ e $\sigma_{e_3}^2$ = variâncias residuais, nos locais 1, 2 e 3, respectivamente.

Equações de modelo misto

$$\begin{bmatrix} X'R^{-1}X & X'R^{-1}Z & X'R^{-1}W \\ Z'R^{-1}X & Z'R^{-1}Z+G^{-1} & Z'R^{-1}W \\ W'R^{-1}X & W'R^{-1}Z & W'R^{-1}W+C^{-1} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \hat{b} \\ \hat{a} \\ \hat{c} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} X'R^{-1}y \\ Z'R^{-1}y \\ W'R^{-1}y \end{bmatrix}, \text{ em que}$$

$$X = \begin{bmatrix} X_1 & 0 & 0 \\ 0 & X_2 & 0 \\ 0 & 0 & X_3 \end{bmatrix}; \quad Z = \begin{bmatrix} Z_1 & 0 & 0 \\ 0 & Z_2 & 0 \\ 0 & 0 & Z_3 \end{bmatrix}; \quad W = \begin{bmatrix} W_1 & 0 & 0 \\ 0 & W_2 & 0 \\ 0 & 0 & W_3 \end{bmatrix}$$

$$y = \begin{bmatrix} y_1 \\ y_2 \\ y_3 \end{bmatrix}; \quad \hat{b} = \begin{bmatrix} \hat{b}_1 \\ \hat{b}_2 \\ \hat{b}_3 \end{bmatrix}; \quad \hat{a} = \begin{bmatrix} \hat{a}_1 \\ \hat{a}_2 \\ \hat{a}_3 \end{bmatrix}; \quad \hat{c} = \begin{bmatrix} \hat{c}_1 \\ \hat{c}_2 \\ \hat{c}_3 \end{bmatrix}$$

$$R^{-1} = R_0^{-1} \otimes I; \quad G^{-1} = G_0^{-1} \otimes A^{-1}; \quad C^{-1} = C_0^{-1} \otimes I$$

$$R_0 = \begin{bmatrix} \sigma_{e_1}^2 & 0 & 0 \\ 0 & \sigma_{e_2}^2 & 0 \\ 0 & 0 & \sigma_{e_3}^2 \end{bmatrix}; \quad G_0 = \begin{bmatrix} \sigma_{a_1}^2 & \sigma_{a_{12}} & \sigma_{a_{13}} \\ \sigma_{a_{12}} & \sigma_{a_2}^2 & \sigma_{a_{23}} \\ \sigma_{a_{13}} & \sigma_{a_{23}} & \sigma_{a_3}^2 \end{bmatrix}; \quad C_0 = \begin{bmatrix} \sigma_{c_1}^2 & 0 & 0 \\ 0 & \sigma_{c_2}^2 & 0 \\ 0 & 0 & \sigma_{c_3}^2 \end{bmatrix}$$

Os componentes de variância estão associados aos parâmetros h^2 , c^2 e ρ_a , da seguinte maneira:

$$\sigma_{a_i}^2 = h_i^2 \sigma_F^2; \quad \sigma_{c_i}^2 = c_i^2 \sigma_F^2; \quad \sigma_{e_i}^2 = (1-h_i^2 - c_i^2) \sigma_F^2; \quad \sigma_{a_{ij}} = \rho_{a_{ij}} \sigma_{a_i} \sigma_{a_j}$$

em que:

$$\rho_{a_{ij}} = \frac{\sigma_{a_{ij}}^2}{\sigma_{a_i}^2 \sigma_{a_j}^2} = \text{correlação genética entre o desempenho}$$

nos locais i e j ;

σ_F^2 = variância fenotípica ao nível de indivíduo no local i .

Estimadores dos componentes de variância por REML

Nesta situação, devido à complexidade do modelo e ao elevado número de componentes de variância a serem estimados, os algoritmos recomendados são o DF e AI (preferencialmente este).

Seqüência de colunas no arquivo de dados para análise no software DFREML

Experimento Indivíduo Pai Mãe Bloco Parcela Variável 1
... **Variável n**

Neste caso, são necessários dois arquivos: um de dados, conforme estrutura apresentada acima e outro de pedigree formado pelas colunas **Indivíduo Pai Mãe**. Deve ser executado o subprograma DFPREP e em seguida o DXMUX.

Os resultados referentes ao comportamento das procedências por local e as estimativas de parâmetros genéticos e fenotípicos são apresentadas na Tabela 8.

TABELA 8 Valores genéticos (G) das procedências por local de plantio, bem como estimativas da herdabilidade individual no sentido restrito (h^2), correlação intraclasse devido ao ambiente comum da parcela (c^2), coeficiente de variação genética aditiva (CV_a), variância genética aditiva (σ_a^2) para cada procedência. Locais Ivaí (LATOSSOLO VERMELHO Distrófico), Guarapuava (CAMBISSOLO HÚMICO Alumínico e Rio Azul (NITOSSOLO HÁPLICO Distrófico). Caráter produção de massa foliar.

Local	Procedência	G	h^2	c^2	CV_a (%)	σ_a^2
Ivaí	Ivaí	0,84	0,15	0,11	27,44	0,047
	Barão de Cotegipe	0,89	0,23	0,14	32,60	0,075
	Quedas do Iguaçu	0,88	0,14	0,14	24,11	0,041
	Pinhão	0,58	0,17	0,09	36,99	0,037
	Cascavel	0,82	0,15	0,11	27,33	0,042
	Colombo	0,36	0,22	0,08	54,77	0,027
	Média	0,73	0,18	0,11	33,87	0,045
Guarapuava	Ivaí	0,24	0,78	0,05	77,78	0,032
	Barão de Cotegipe	0,26	0,92	0,08	86,75	0,059
	Quedas do Iguaçu	0,24	0,74	0,18	90,35	0,036
	Pinhão	0,22	0,46	0,12	52,16	0,012
	Cascavel	0,25	0,53	0,14	70,63	0,022
	Colombo	0,20	0,04	0,30	72,44	0,017
	Média	0,24	0,58	0,15	75,02	0,030
Rio Azul	Ivaí	0,28	0,43	0,13	55,74	0,021
	Barão de Cotegipe	0,32	0,06	0,19	20,40	0,004
	Quedas do Iguaçu	0,28	0,22	0,17	45,61	0,013
	Pinhão	0,21	0,56	0,17	72,46	0,021
	Cascavel	0,30	0,45	0,15	52,05	0,025
	Colombo	0,13	0,00	0,08	79,06	0,009
	Antônio Olinto	0,23	0,19	0,26	40,46	0,008
Média	0,25	0,27	0,16	52,28	0,014	

Verifica-se que Ivaí foi o local que propiciou maior produção de massa verde, sendo que Guarapuava e Rio Azul praticamente não diferiram em produtividade. Como os três locais pertencem à região bioclimática 1 e o material genético é o mesmo, as diferenças de produtividade podem ser atribuídas principalmente aos fatores de solo. De fato verifica-se que Ivaí recebeu o escore 4 em termos de aptidão ou fertilidade e Guarapuava e Rio Azul receberam o escore 2 (em escala de 1 a 4, do pior para o melhor), fato que coincide com os resultados de produtividades obtidos (Tabela 8).

Em termos de variabilidade genética (σ_a^2) expressa, Ivaí sobressaiu-se em relação a Guarapuava e este em relação a Rio Azul. Mas quando se analisa a variabilidade expressa em relação à média do local, a ordem dos locais que apresentam maior coeficiente de variação genética aditiva (CV_a) é Guarapuava, Rio Azul e Ivaí. Essa ordem coincide com a ordem para os maiores valores de herdabilidade, revelando que Guarapuava é o local mais favorável para seleção (Tabela 8).

Para plantio em Ivaí, as melhores procedências são Barão de Cotegipe, Quedas do Iguaçu, Ivaí e Cascavel. Para cultivo em Guarapuava, as procedências não diferenciaram muito entre si. Para plantio em Rio Azul, as melhores procedências são também Barão de Cotegipe, Cascavel, Ivaí, e Quedas do Iguaçu. Assim, de maneira geral, destacam-se as quatro procedências mencionadas.

Em termos de variabilidade genética (CV_a), dentre as populações mais produtivas (Barão de Cotegipe, Quedas do Iguaçu, Ivaí e Cascavel) não se verificam grandes diferenças, exceto Barão de Cotegipe em Rio Azul, que apresentou baixa variabilidade e herdabilidade. Os resultados referentes à avaliação conjunta de todas as procedências e todos os locais são apresentadas na Tabela 9.

As estimativas da herdabilidade em Ivaí (0,15) e em Rio Azul (0,23) apresentaram magnitudes semelhantes à estimada para a primeira safra no teste de Colombo. Em Guarapuava, a estimativa da herdabilidade foi bem superior. A estimativa da média geral da herdabilidade equivaliu a cerca de 0,33, podendo ser classificada como moderada a alta. O coeficiente c^2 variou em média de 0,10 a 0,16, indicando que 11% a 16% da variação total deveu-se à variação ambiental entre parcelas. Sendo esta variação principalmente devido à variação do solo entre parcelas, pode-se inferir que os três tipos de solos apresentam variabilidades espaciais similares.

TABELA 9 Estimativas dos parâmetros genéticos herdabilidade individual no sentido restrito (h^2), herdabilidade individual entre procedências (h_p^2), correlação devida ao ambiente comum da parcela (c^2), correlação genética de indivíduos (r_a) e de procedências (r_p) através dos locais e coeficiente de variação genético aditivo (CV_a) obtidos da análise conjunta de procedências e locais (modelo multivariado multiprocedências). Caráter produção de massa foliar.

	Ivaí	GUARAPUAVA	Rio AZUL
h^2	0,15	0,62	0,23
h_p^2	0,13	0,01	0,09
c^2	0,10	0,13	0,16
$CV_a(\%)$	31,42	71,44	45,64
	Ivaí - Guarapuava	Ivaí - Rio Azul	Guarapuava - Rio Azul
r_a	0,41	0,39	0,28
r_p	0,95	0,95	0,99

Verifica-se (Tabela 9) que a correlação genética das procedências através dos locais é altíssima, revelando a ausência de interação local x procedência, em sua parte complexa. Estes resultados obviamente concordam com os resultados de produtividade média das procedências através dos locais, conforme apresentado na Tabela 9 anterior. Em termos práticos significa que as melhores procedências são melhores, independentemente do local. Os valores genotípicos globais (através dos locais) das procedências são apresentados na Tabela 10.

TABELA 10 Valores genotípicos (G) globais das procedências através dos três locais de avaliação, para o caráter massa foliar.

PROCEDÊNCIA	G (KG/PLANTA)
Barão de Cotegipe	0,47
Quedas do Iguaçu	0,47
Cascavel	0,46
Ivaí	0,45
Antônio Olinto	0,37
Pinhão	0,34
Colombo	0,23

Por outro lado, ao nível de indivíduos as correlações genéticas aditivas, através dos locais, são baixas para todas as combinações de locais, indicando que são necessários programas de melhoramento específicos para cada local. Assim, nas próximas gerações continuaria sendo necessária a implantação de experimentos nos três locais.

As estimativas de h^2 , c^2 e CV_a (%) obtidos da análise global apresentaram magnitudes similares aos valores médios destas estimativas por local, relatados na Tabela 9. As estimativas da correlação genética intraclasse entre indivíduos de uma mesma procedência (vulgarmente denominada “herdabilidade” entre procedências ou h^2_p na Tabela 9) apresentaram magnitudes em torno de 10% em Ivaí e Rio Azul, significando que 10% da variabilidade total ao nível de indivíduos pode ser atribuída ao efeito genético de procedências. Por outro lado, em Guarapuava praticamente não houve variabilidade genética entre procedências, confirmando os resultados da Tabela 8. Para a variável sobrevivência (resultados não apresentados) praticamente não houve variabilidade visto que a mesma esteve próxima de 100% para todas as procedências em todo os locais, exceto para a procedência Colombo em Rio Azul, cuja sobrevivência foi 84%.

Na Tabela 11 são apresentados os valores genéticos aditivos preditos das 20 melhores matrizes (progênies) em cada local e suas respectivas procedências.

TABELA 11 Relação das vinte matrizes superiores, em cada local, com seus valores genéticos aditivos (VG), para massa foliar e respectivas procedências.

ORDEM	IVAÍ - PR			GUARAPUAVA - PR			RIO AZUL - PR		
	MATRIZ	PROCED.	VG	MATRIZ	PROCED.	VG	MATRIZ	PROCED.	VG
1	65	BC	0,68635	65	BC	0,39875	155	CA	0,27956
2	59	BC	0,59886	165	CA	0,39143	79	QI	0,26059
3	11	IV	0,50115	58	BC	0,39032	61	BC	0,25302
4	155	CA	0,49769	61	BC	0,34730	175	CA	0,23555
5	4	IV	0,46144	1	IV	0,30964	3	IV	0,22928
6	10	IV	0,46014	5	IV	0,30600	5	IV	0,19881
7	89	QI	0,42844	51	BC	0,29468	65	BC	0,19871
8	70	BC	0,42546	86	QI	0,27528	51	BC	0,19392
9	96	QI	0,41301	90	QI	0,24778	14	IV	0,18826
10	91	QI	0,38567	4	IV	0,23480	10	IV	0,17665
GANHO (%)			70,5			141,6			90,9
11	61	BC	0,38154	67	BC	0,23440	92	QI	0,16881
12	51	BC	0,36647	11	IV	0,21415	165	CA	0,16842
13	92	QI	0,36466	81	QI	0,19311	100	QI	0,16813
14	5	IV	0,36144	171	CA	0,16638	171	CA	0,15822
15	100	QI	0,35369	79	QI	0,14780	164	CA	0,15533
16	58	BC	0,35201	122	PI	0,11603	67	QI	0,14920
17	165	CA	0,34287	143	AO	0,11446	70	BC	0,14442
18	7	IV	0,34023	22	IV	0,11410	154	CA	0,14011
19	170	CA	0,33072	110	PI	0,10999	64	BC	0,13514
20	162	CA	0,32654	115	PI	0,10894	152	CA	0,13480
GANHO (%)			60,8			104,5			76,7

BC = Barão de Cotegipe; IV = Ivaí; CA = Cascavel; QI = Quedas do Iguaçu; AO = Antônio Olinto

Das vinte melhores progênies em Ivaí, 6, 5, 5 e 4 pertencem às procedências Barão de Cotegipe, Ivaí, Quedas do Iguaçu e Cascavel, respectivamente. Em Rio Azul, das vinte melhores progênies 7, 5, 4 e 4 pertencem às procedências Cascavel, Barão de Cotegipe, Ivaí e Quedas do Iguaçu, respectivamente. Em Guarapuava, das vinte melhores progênies 5, 5, 4 e 2 pertencem às procedências Barão de Cotegipe, Ivaí, Quedas do Iguaçu e Cascavel, respectivamente. Isto confirma a superioridade dessas quatro procedências.

Ganhos genéticos de alta magnitude poderão ser obtidos com a seleção das melhores matrizes (Tabela 11).

9.5 Avaliação genética de populações e indivíduos em Pinhais

O experimento relatado neste tópico está sendo conduzido sob a responsabilidade do Departamento de Genética da Universidade Federal do Paraná (UFPR) a partir de material genético coletado pela *Embrapa Florestas* que forneceu mudas para a implantação do mesmo. O experimento foi estabelecido no município de Pinhais/PR, na Estação Experimental do Canguiri, pertencente à UFPR, em CAMBISSOLO HÁPLICO.

Foi feita uma análise prévia de variáveis pertinentes à fertilidade do solo, na área onde foi montado o experimento. Cada faixa candidata a um bloco foi dividida em três extratos e cada extrato compôs duas amostras, uma de zero a vinte e uma de vinte a quarenta cm de profundidade. Cada amostra foi composta de 18 subamostras. As médias para as variáveis pH, Al^{+3} , $H + Al$, $Ca + Mg$, Ca^{+2} , K^+ , T, P, C, M% e V% foram, respectivamente, 4,52; 1,79; 9,48; 5,92; 3,68; 0,095; 15,50; 3,46; 26,13; 27,19 e 37,03, nas suas respectivas unidades.

Para a maioria destas variáveis, variações significativas foram detectadas entre os extratos dentro das faixas candidatas a blocos, razão pela qual optou-se pelo delineamento de blocos incompletos balanceados (látice), com 64 progênies de meios-irmãos e nove repetições balanceadas (látice 8 x 8). Foram utilizadas parcelas com seis plantas e espaçamento 2,5 m x 1,6 m.

O material genético consistiu das procedências Ivaí/PR (com 13 progênies), Colombo/PR (13 progênies), Quedas do Iguaçu/PR (13 progênies), Cascavel/PR (13 progênies) e Barão de Cotegipe/RS (12 progênies).

O experimento foi instalado, sem adubação, em julho de 97. Em julho de 98, aos 12 meses da data de plantio, foi avaliado o caráter altura da planta. Em julho de 99 foram avaliados os caracteres diâmetro da copa, altura da copa e a altura da planta. Estes três caracteres foram também

avaliados em julho de 2000, mais o diâmetro do caule na interface solo/ar e a massa foliar.

As estimativas para os parâmetros referentes aos caracteres altura de planta avaliado em julho/98 (Fernandes et. al. 2000) e massa foliar avaliado em julho/2000 encontram-se na Tabela 12.

Observando-se as estimativas das médias dos dois caracteres em suas respectivas épocas de avaliação, verifica-se que as procedências Barão de Cotegipe, Cascavel e Quedas do Iguaçu sobressaíram-se em relação a Ivaí e Colombo, para ambos (Tabela 12). Inferência semelhante pode ser feita para as estimativas de herdabilidades para as procedências de Barão de Cotegipe e Quedas de Iguaçu. É oportuno mencionar também que Fernandes et. al. (2000) observaram que Barão de Cotegipe e Colombo foram as procedências com a menor e maior taxa de mortalidade, respectivamente, com um ano da data de plantio.

Apesar das procedências, neste experimento, estarem representadas por cerca de metade dos números de progênies dos experimentos instalados em Ivaí, Guarapuava e Rio Azul, relatados no tópico 9.4, os resultados são aproximadamente coincidentes com os destes locais de experimentação.

TABELA 12 Estimativas dos parâmetros média por planta (M), variância genética aditiva (va), e herdabilidade no sentido restrito em nível de indivíduo no experimento (h^2) para os caracteres altura de planta em erva-mate com um ano de idade e massa foliar aos três anos de idade. r_f se refere à estimativa da correlação entre as médias fenotípicas de progênies destes dois caracteres nas suas respectivas épocas de avaliação.

PROCEDÊNCIA	ALTURA DE PLANTA (1 ANO)			MASSA FOLIAR (3 ANOS)			r_f
	M	VA	h^2	M	VA	h^2	
Ivaí	32,31 b	20,31	11,21 %	180,32 b	2400,67	3,24%	76,50%
Colombo	27,70 c	64,68	35,70%	93,38 c	0,00	0,00%	89,95%
Barão de Cotegipe	37,56 a	87,75	48,44%	273,81 a	22882,71	30,90%	80,70%
Quedas de Iguaçu	35,42 a	48,76	26,92%	224,10 ab	14739,90	19,91%	82,94%
Cascavel	35,78 a	3,73	2,06%	228,80 ab	9099,29	12,29%	55,00%
Geral	33,83	44,322	24,47%	201,90	9531,87	12,87%	86,87%

As estimativas de correlações fenotípicas (Tabela 12) também chamam atenção pelas suas magnitudes. Entretanto, considerando-se que são correlações entre as médias fenotípicas de progênies de dois caracteres avaliados em épocas diferentes na mesma planta, seus componentes

genéticos podem ser pequenos. Um indício disto é a alta estimativa desta correlação associada a uma estimativa nula da herdabilidade para o caráter massa foliar em Colombo.

10 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O presente programa de melhoramento da erva-mate foi concebido ao final do ano de 1993. Aproveitando apenas um teste de progênie já estabelecido em 1988, tal programa enfatizou inicialmente a coleta de germoplasma e a produção de mudas visando ao estabelecimento de uma rede experimental. Em 1994 foram coletadas sementes no municípios de Cascavel/PR; Bocaíuva do Sul/PR e Colombo/PR e iniciaram-se os trabalhos de estratificação de sementes e produção de mudas, ações essas que culminaram com a instalação dos dois testes de procedência e progênie em Ponta Grossa/PR. Em 1995, foram coletadas sementes nos municípios de Barão de Cotegipe/RS; Cascavel/PR; Ivaí/PR, Quedas do Iguaçu/PR, Pinhão/PR, Antônio Olinto/PR e Colombo/PR, as quais foram estratificadas e geraram as mudas para a implantação de testes de progênie/procedência em Ivaí, Guarapuava, Rio Azul, Pinhais, Pitanga, Três Barras e Chapecó em 1997. Também, em 1995 foi estabelecido o teste clonal em Colombo/PR.

Dos 11 experimentos da rede experimental, o presente artigo relata resultados de oito deles, visto que dados e resultados de experimentos de Pitanga, Chapecó e Três Barras não foram disponibilizados. Os resultados obtidos fornecem subsídios para um melhor embasamento dos programas de melhoramento, tendo em vista o comportamento do germoplasma em diferentes ambientes (principalmente solos) e as informações sobre o controle genético do caráter produção de massa foliar. Adicionalmente, os próprios resultados da avaliação genética guiarão a seleção com vista à obtenção de cultivares adaptados aos diferentes ambientes. Neste sentido, as perspectivas são ótimas, tendo em vista os ganhos em produtividade estimados.

É importante ressaltar que a seleção e recombinação do material genético conduzirá à formação de populações de melhoramento propriamente ditas, populações estas com bom nível de produtividade e com ampla variabilidade genética. Estas populações deverão prover o melhoramento gradativo da espécie para plantio com fins industriais. A coleta e avaliação de novo germoplasma também é recomendável. É importante relatar que a condução de programas de melhoramento como este, representa um importante passo no cultivo racional da erva-mate, o que vem, em última instância beneficiar toda a cadeia produtiva da erva-mate, bem como a conservação de recursos genéticos da espécie.

11 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- BARROS, N.F. de; NEVES, J.C.L.; NOVAIS, R.F. Recomendação de fertilizantes minerais em plantios de eucalipto. In: GONÇALVES, J.L. de M.; BENEDETTI, V., ed.. **Nutrição e fertilização florestal**. Piracicaba: IPEF, 2000. p.269-286.
- BELINGHERI, L.D.; PRAT KRICUN, S.D. Evaluacion preliminar de clones y progenies policlonales de yerba mate. In: WINGE, H.; FERREIRA, A.G.; MARIATH, J.E. de A.; TARASCONI, L.C. Org. **Erva-mate: biologia e cultura no Cone Sul**. Porto Alegre: Ed. Universidade/UFRGS, 1995. p.151-156.
- BELINGHERI, L.D.; PRAT KRICUN, S.D. Programa de mejoramiento genético de la yerba mate en el INTA. In: CONGRESSO SUL AMERICANO DA ERVA-MATE, 1; REUNIÃO TÉCNICA DO CONE SUL SOBRE A CULTURA DA ERVA-MATE, 2., 1997, Curitiba. **Anais**. Colombo: EMBRAPA-CNPf, 1997. 467p. (EMBRAPA-CNPf. Documentos, , 33).
- BELLOTE, A.F.J.; STURION, J.A. Deficiências minerais em erva-mate (*Ilex paraguariensis* St. Hi.): resultados preliminares. In: SEMINÁRIO SOBRE ATUALIDADES E PERSPECTIVAS FLORESTAIS, 10: Silvicultura da erva-mate (*Ilex paraguariensis* St. Hil.), 1983, Curitiba. **Anais**. Curitiba: EMBRAPA-CNPf, 1985. p.124-127. (EMBRAPA-CNPf. Documentos, 15).
- BRAGA, H.J.; KICHEL, N. **Estimativas das temperaturas médias, máximas e mínimas através das coordenadas geográficas, para os 199 municípios de Santa Catarina**. Florianópolis: EMPASC, 1986. 38p.
- CAMARGO, M.N.; KLAMT, E.; KAUFFMAN, J.H. Classificação de solos usado em levantamentos pedológicos no Brasil. **Boletim Informativo da Sociedade Brasileira do Solo**, Campinas, v.12, n.1, p.11-33, 1987.
- CARPANEZZI, A.A.; CARDOSO, A.; VALIO, I.F.M.; GRAÇA, M.E.C.; IEDE, E.T.; HIGA, R.C.V. Queda anormal de folhas de erva-mate (*Ilex paraguariensis* St. Hil.) em 1983. . In: SEMINÁRIO SOBRE ATUALIDADES E PERSPECTIVAS FLORESTAIS, 10: : Silvicultura da erva-mate (*Ilex paraguariensis* St. Hil.), 1983, Curitiba. **Anais**. Curitiba: EMBRAPA-CNPf, 1985. p.141-145. (EMBRAPA-CNPf. Documentos, 15).
- DA CROCE, D. da; HIGA, A.R.; FLOSS, P.A. **Escolha de fontes de sementes de erva-mate (*Ilex paraguariensis* St. Hill.) para Santa Catarina**. Florianópolis: EPAGRI, 1994. 23p. (EPAGRI. Boletim Técnico, 69).
- EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos (Rio de Janeiro, RJ). **Sistema brasileiro de classificação de solos**. Brasília: Embrapa. Produção de Informação / ; Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 1999. 412p.

EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Florestas (Curitiba, PR). **Zoneamento ecológico para plantios florestais no Estado do Paraná**. Curitiba, 1986. 89p. (EMBRAPA-CNPFF. Documentos, 17).

EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Floresta (Curitiba, PR). **Zoneamento ecológico para plantios florestais no Estado de Santa Catarina**. Curitiba, 1988. 89p. (EMBRAPA-CNPFF. Documentos, 21).

ESTADOS UNIDOS. Department of Agriculture. Soil Survey Staff. **Keys to soil taxonomy**. Washington, 1994, 306p.

ESTADOS UNIDOS. Department of Agriculture. Soil Conservation Service. **Soil taxonomy: a basic system of soil classification for making and interpreting soil surveys**. Washington, 1975. 754p.

FAO (Roma, Itália). **Soil map of the world**. Rome, 1971.

FAO (Roma, Itália). **Revised Legend**. Rome, 1990. 119p. (World soil resources Report, 60).

FASOLO, P.J.; POTTER, R.O.; STURION, J.A. Classificação dos solos de testes de progênies de erva-mate (*Ilex paraguariensis* St. Hil.). Colombo: EMBRAPA-CNPFF, 1998. 4p. (EMBRAPA-CNPFF. Comunicado Técnico, 29).

FERNANDES, J.S.C.; USHIWATA, S.; DAMINELLI, R. de M.; GABARDO, J.; KOBAYAMA, M.; MACCARI JUNIOR, A.; PREVEDELLO, C.; RESENDE, R.M.S.; RESENDE, M.D.V.; STURION, J.A. Estimativas de parâmetros relacionados ao melhoramento genético da erva-mate: possibilidade de seleção precoce. **Scientia Agraria**, Curitiba, 2000. no prelo.

FLOSS, A. Programa de melhoramento genético da erva-mate na EPAGRI. In: CONGRESSO SUL-AMERICANO DA ERVA-MATE, 1.; REUNIÃO TÉCNICA DO CONE SUL SOBRE A CULTURA DA ERVA-MATE, 2., 1997, Curitiba. **Anais**. Colombo: EMBRAPA-CNPFF, 1997. p.279.

FLOSS, P.A. **Variações genéticas entre populações naturais de *Ilex paraguariensis* St. Hil. (erva-mate) avaliadas em Chapecó-SC e Três Barras/SC**. Piracicaba, 1994. 94p. Tese Mestrado.

FOSSATI, L.C.; REISSMANN, C.B. Avaliação do estado nutricional e da produtividade de *Ilex paraguariensis* St. Hil. (erva-mate), em função do sítio. In: CONGRESSO SUL-AMERICANO DA ERVA-MATE, 1.; REUNIÃO TÉCNICA DO CONE SUL SOBRE A CULTURA DA ERVA-MATE, 2., 1997, Curitiba. **Anais**. Colombo: EMBRAPA-CNPFF, 1997. p.439.

FURTINI NETO, A.E.; SIQUEIRA, J.O.; CURI, N.; MOREIRA, F.M.S. Fertilização em reflorestamento com espécies nativas. In: GONÇALVES, J.L.M.; BENEDETTI, V., ed. **Nutrição e fertilização florestal**. Piracicaba: IPEF, 2000. p.351- 383.

GAIAD, S.; LOPES, E.S. Ocorrência de micorríza vesicular-arbuscular em erva-mate (*Ilex paraguariensis* St Hil.). **Boletim de Pesquisa Florestal**, Curitiba, n.12, p.21-29, 1986.

GODOY, H.; CORREA, A.R.; SANTOS, D. Clima do Paraná. In: IAPAR (Londrina, PR).. **Manual agropecuário para o Paraná**. Londrina, 1976. p.16-37.

GOLFARI, L.; CASER, R.L.; MOURA, V.P.G. **Zoneamento ecológico esquemático para reflorestamento no Brasil**; 2ª aproximação). Belo Horizonte: Centro Nacional de Pesquisa Florestal na Região do Cerrado, 1978. 66p. (PRODEPEF. Série Técnica, 11).

GOLFARI, L.; PINHEIRO NETO, F.A. Escolha de espécies de eucalipto aptas para diferentes regiões do Brasil. **Brasil Florestal**, v.1, n.3; p.3-23, 1970.

GONÇALVES, J.L.M.; RAIJ, B.; GONÇALVES, J.C. Florestais. In: RAIJ, B. van; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J.A.; FURLANI, A.M.C. (Eds.). **Recomendações de adubação e calagem para o Estado de São Paulo**. Campinas: Instituto Agrômico de Campinas / Fundação IAC, 1996. p.245-259.

HENDERSON, C.R. **Applications of linear models in animal breeding**. Guelph: University of Guelph, 1984. 462p.

INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA (Rio de Janeiro, RJ). **Normais climáticas**. 2.ed. Rio de Janeiro, 1979. 1v.

LEMONS, R.C.; SANTOS, R.D. **Manual de descrição e coleta de solo no campo**, 3.ed. Campinas: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo / Rio de Janeiro: EMBRAPA-CNPQ, 1996. 83p.

LOURENÇO, R.S. Adubação da erva-mate. In: CONGRESSO SUL-AMERICANO DA ERVA-MATE, 1.; REUNIÃO TÉCNICA DO CONE SUL SOBRE A CULTURA DA ERVA-MATE, 2., 1997, Curitiba. **Anais**. Colombo: EMBRAPA-CNPQ, 1997. p.299-315. p.351-383.

MALAVOLTA, E. **Elementos de nutrição mineral de plantas**. São Paulo: Agrônômica CERES, 1980. 215p.

MEYER, K. DFREML: a set of programs to estimate variance components under an individual animal model. **Journal of Dairy Science**, Champaign, v.2, Suppl p.33-34, 1988.

OLIVEIRA, Y.M.M. de; ROTTA, E. Área de distribuição geográfica nativa de erva-mate (*Ilex paraguariensis* St. Hil.). In: SEMINÁRIO SOBRE ATUALIDADES E PERSPECTIVAS FLORESTAIS, 10.; Silvicultura da erva-mate (*Ilex paraguariensis* St. Hil.), 1983, Curitiba. **Anais**. Curitiba: EMBRAPA-CNPQ, 1985. p.17-36. (EMBRAPA-CNPQ. Documentos, 15).

PRAT KRICUN, S.D. Investigación agronómica en la República Argentina. In: SEMINÁRIO SOBRE ATUALIDADES E PERSPECTIVAS FLORESTAIS: Silvicultura da erva-mate (*Ilex paraguariensis* St. Hil.), 10, 1983, Curitiba. **Anais**. Curitiba: EMBRAPA-CNPQ, 1985. p.82-93. (EMBRAPA-CNPQ. Documentos, 15).

PRAT KRICUN, S.D.; BELINGHERI, L.D. Aplicación de nitrógeno en plantaciones de yerba mate com diferentes densidades. In: WINGE, H.; FERREIRA, A.G.; MARIATH, J.E. de A.; TARASCONI, L.C., org. **Erva-mate: biología e cultura no cone sul**. Porto Alegre: Ed. Universidade/UFRGS, 1995. p.73-79.

PRAT KRICUN, S.D.; BELINGHERI, L.D. Disposición, distanciamiento y densidade de plantación de yerba mate en las provincias de Misiones y corrientes, Argentina. In: WINGE, H.; FERREIRA, A.G.; MARIATH, J.E. de A.; TARASCONI, L.C. Org. **Erva-mate: biología e cultura no cone sul**. Porto Alegre: Ed. Universidade/UFRGS, 1995. p.55-72.

REISSMANN, C.B.; KOEHLER, C. W.; ROCHA, H.O.; HILDEBRAND, E. E. Avaliação das exportações de macronutrientes pela exploração da erva-mate. In: SEMINÁRIO SOBRE ATUALIDADES E PERSPECTIVAS FLORESTAIS: Silvicultura da erva-mate (*Ilex paraguariensis* St. Hil.), 10, 1983, Curitiba. **Anais**. Curitiba: EMBRAPA-CNPQ, 1985. p.128-139. (EMBRAPA-CNPQ. Documentos, 15).

REISSMANN, C.B.; KOEHLER, C.W.; ROCHA, H.O., da; HILDEBRAND, E.E. Níveis foliares e exportação de micronutrientes pela exploração da erva-mate. **Revista do Setor de Ciências Agrárias**, Curitiba, v.9, n.1-2, p.103-106, 1987.

RESENDE, A. V. **Nutrição e crescimento de espécies florestais de diferentes grupos sucessionais em resposta à fertilização fosfatada na fase de mudas**. Lavras: UFLA, 1997. 81p. Tese Mestrado.

RESENDE, M. **Pedologia**. Viçosa: Universidade Federal de Viçosa, Centro de Ciências Agrárias, Departamento de Solos, 1994. 100p.

RESENDE, M.D.V de; SILVA, H.D. Estratégia de melhoramento para erva-mate baseada no coeficiente de repetibilidade. In: CONGRESSO FLORESTAL E DO MEIO AMBIENTE DO PARANÁ, 3., 1991. **Anais**. Curitiba: Associação Paranaense de Engenheiros Florestais, 1991. p.241-251.

RESENDE, M.D.V. de. Melhoramento genético de essências florestais. In: SANTOS, J.B. **Simpósio sobre Atualização em Genética e Melhoramento de Plantas**. Universidade Federal de Lavras, 1997b. p.59-93.

RESENDE, M.D.V. de; FERNANDES, J.S.C. Procedimento BLUP individual para delineamentos experimentais aplicados ao melhoramento florestal. **Revista de Matemática e Estatística**, São Paulo, v.17; p.89-107, 1999.

RESENDE, M.D.V. de; FERNANDES, J.S.C.; SIMEÃO, R.M. BLUP individual multivariado em presença de interação genótipo x ambiente para delineamentos experimentais repetidos em vários ambientes. **Revista de Matemática e Estatística**. São Paulo, v.17. p.209-228, 1999.

RESENDE, M.D.V. de; ROSA-PEREZ, J.R.H. **Genética quantitativa e estatística no melhoramento animal**. Curitiba: UFPR, 1999. 494p.

RESENDE, M.D.V. de; STURION, J.A.; SIMEÃO, R.M. Estratégias para o melhoramento genético da erva-mate. In: CONGRESSO SUL AMERICANO DA ERVA-MATE, 1.; REUNIÃO TÉCNICA DO CONE SUL SOBRE A CULTURA DA ERVA-MATE, 2., 1997, Curitiba. **Anais**. Colombo: EMBRAPA-CNPQ, 1997. 467p. (EMBRAPA-CNPQ, Documentos, 33).

RESENDE, M.D.V. de; STURION, J. A.; MENDES, S. **Genética e melhoramento da erva-mate (*Ilex paraguariensis* St. Hil.)**. Colombo: EMBRAPA-CNPQ, 1995. 33p. . (EMBRAPA-CNPQ. Documentos, 25).

RICCO, R.A.; GURNI W.A.A. Estudio comparativo de flavonoides en especies austrosudamericanas del genero *Ilex*. In: WINGE, H.; FERREIRA, A.G.; MARIATH, J.E. de A.; TARASCONI, L.C., org. **Erva-mate: biologia e cultura no cone sul**. Porto Alegre: Ed. Universidade/UFRGS, 1995. p.243-249.

SCHERER, R.A. Early selection of yerba mate (*Ilex paraguariensis* St. Hil.) Bonn: Rheinischen Friedrich-Wilhelms-Universitat, 1997. 58p.

THORNTWAITE, C.W.; MATHER, J.R. The wather balance. **Climatology**, v.8, n.1, p.104, 1955.

STURION, J.A.; RESENDE, M.D.V. de. Programa de melhoramento genético da erva-mate no Centro Nacional de Pesquisa de Florestas da Embrapa. In: CONGRESSO SUL AMERICANO DA ERVA-MATE, 1; REUNIÃO TÉCNICA DO CONE SUL SOBRE A CULTURA DA ERVA-MATE, 2., 1997, Curitiba. **Anais**. Colombo: EMBRAPA-CNPQ, 1997. 467p. (EMBRAPA-CNPQ, Documentos, 33).

WISNIEWSKI, C.; CLARO, A.M.; MERLIN, P.E.B.; PEREZ, J. Exportação de biomassa e nutrientes com a segunda poda de formação da erva-mate no primeiro planalto paranaense. In: CONGRESSO SUL-AMERICANO DA ERVA-MATE, 1.; REUNIÃO TÉCNICA DO CONE SUL SOBRE A CULTURA DA ERVA-MATE, 2., 1997, Curitiba. **Anais**. Colombo: EMBRAPA-CNPQ, 1997. p.459.

WISNIEWSKI, C.; CURCIO, G.R. Exportação de nutrientes com a primeira poda de formação da erva-mate em cordões vegetados na região de Irati/PR. In: CONGRESSO SUL-AMERICANO DA ERVA-MATE, 1.; REUNIÃO TÉCNICA DO CONE SUL SOBRE A CULTURA DA ERVA-MATE, 2., 1997, Curitiba. **Anais**. Colombo: EMBRAPA-CNPQ, 1997. p.458.

AGRADECIMENTOS

Pela cessão de área física, colaboração na instalação, condução e avaliação dos testes combinados de procedência e progênie de erva-mate, os autores agradecem: Eng.-Agrônomo Dalnei Neiverth e Sr. Afonso Oliszeski da Neiverth & Cia. Ltda. de Ivaí/PR; Sr. Antônio Fagundes Schier da Erva-Mate Schier Indústria e Comércio Ltda. de Guarapuava/PR; Sr. Gustavo Lhomann da Erva-Mate Lhomann Ltda. de Pitanga/PR; Eng.-Agrônomo Ângelo Luíz Ulbrich da ALU - Agronomia e Planejamento Agrário Ltda. de Rio Azul/PR; Eng. Florestal Luiz Claudio Fossati da EPAGRI de Canoinhas/SC.; Eng. Florestal Paulo Alfonso Floss e o Eng. Florestal Derli Mário da Croce, ambos da EPAGRI de Chapecó/SC.

Ao professor da UFLA, Alvaro Vilela de Resende, pela revisão do item "Solos e elementos de nutrição mineral da erva-mate".

República Federativa do Brasil

Fernando Henrique Cardoso

Presidente

Ministério da Agricultura e do Abastecimento

Marcus Vinicius Pratini de Moraes

Ministro

Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária

Conselho de Administração

Márcio Fortes de Almeida

Presidente

Alberto Duque Portugal

Vice-Presidente

Dietrich Gerhard Quast

José Honório Accarini

Sérgio Fausto

Urbano Campos Ribeiro

Membros

Diretoria-Executiva da Embrapa

Alberto Duque Portugal

Diretor-Presidente

Dante Daniel Giacomelli Scolari

Elza Ângela Battaglia Brito da Cunha

José Roberto Rodrigues Peres

Diretores

Embrapa Florestas

Vitor Afonso Hoeflich

Chefe Geral