

GABRIEL CORRÊA

**CONTROLE GENÉTICO DO ENRAIZAMENTO DE ESTACAS
DE ERVA-MATE (*Ilex paraguariensis* Saint Hilaire)**

Dissertação apresentada ao Curso de Pós-Graduação em Engenharia Florestal, Área de Concentração Silvicultura, do Setor de Ciências Agrárias da Universidade Federal do Paraná, como requisito parcial à obtenção do grau de "Mestre em Ciências Florestais".

Orientador: Prof. Dr. Flávio Zanette

CURITIBA

1995

**MINISTERIO DA EDUCAÇÃO E DO DESPORTO
UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ
SETOR DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS
COORDENAÇÃO DO CURSO DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA FLORESTAL**

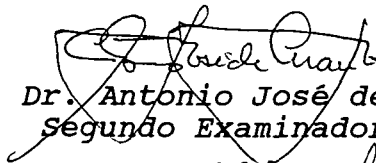
P A R E C E R

Os membros da Banca Examinadora designada pelo Colegiado do Curso de Pós-Graduação em Engenharia Florestal, reuniram-se para realizar a arguição da Dissertação de Mestrado, apresentada pelo candidato **GABRIEL CORRÊA**, sob o título "**CONTROLE GENÉTICO DO ENRAIZAMENTO DE ESTACAS DE ERVA-MATE (*Ilex paraguariensis* Saint Hilaire)**", para obtenção do grau de Mestre em Ciências Florestais do Curso de Pós-Graduação em Engenharia Florestal do Setor de Ciências Agrárias da Universidade Federal do Paraná. Área de concentração em **SILVICULTURA**. Após haver analisado o referido trabalho e argüido o candidato são de parecer pela "**APROVAÇÃO**" da Dissertação com média final: (9,80), correspondente ao conceito: (A).

Curitiba, 07 de abril de 1995



Pesq. Dr. Marcos Deon Vilela de Resende
Primeiro Examinador



Prof. Dr. Antonio José de Araujo
Segundo Examinador



Prof. Dr. Flávio Zanette
Orientador e Presidente da Banca

*À memória de meu pai,
Vicente Alves
e de meu irmão Américo.*

*À minha esposa e filhos,
Vera Nilce, Carlos, Daniel,
Gabriela e Jovanka.
À minha mãe, Maria Luiza.*

AGRADECIMENTOS

Ao Professor Flávio Zanette, pelo espírito de compreensão e estímulo na orientação deste trabalho.

Aos meus colegas pesquisadores do CNPFlorestas, Maria Elisa C. Graça, Fernando Tavares, José Alfredo Sturion, Sérgio Ahrens, Vitor Afonso Hoeflich e Yeda Maria Malheiros de Oliveira, pelas diferentes formas de colaboração.

Aos colegas do DOD/EMBRAPA, Suzana Lima, Magali Machado e Luis Bemfica, pelo apoio administrativo durante minha Pós-Graduação.

Aos companheiros Vero, Jonatas e Luis Cândido, pela especial dedicação nos trabalhos de campo deste experimento.

Às Sras. Carmen e Lidia pela ajuda na revisão de literatura.

À Sra. Clarice Foggiatto de Andrade pela digitação.

De maneira especial ao meu colega e co-orientador Marcos Deon Vilela de Resende.

BIOGRAFIA DO AUTOR

Gabriel Corrêa, filho de Vicente Alves Corrêa e Maria Luiza de Oliveira, nasceu na Fazenda Mata do Garrote, Presidente Olegário-MG, a 22 de julho de 1943.

Graduou-se como Engenheiro Agrônomo pela Escola Superior de Agricultura da Universidade Rural do Estado de Minas Gerais, em Viçosa-MG, em 1966.

Antes de seu ingresso na EMBRAPA, teve vida profissional diversificada: Extensionista Rural na ACAR-Amazonas (1967-1971); Assessor de Crédito Rural e Cooperativismo na ABCAR-RJ (1972-1974); Secretário Executivo do Instituto de Fibras Vegetais da Amazônia-IFIBRAM, Belém-PA (1975-1977); Gerente Comercial da CODEAGRO, Manaus-AM (1978); Diretor-Presidente da CEASA-AM, Manaus-AM (1979-1980); Gerente de Planejamento da MAC Industrial Ltda. em Manaus-AM (1981). Em maio de 1982, ingressou no Centro Nacional de Pesquisa de Seringueira e Dendê-CNPDS, da EMBRAPA, em Manaus-AM, onde exerceu as funções de Coordenador de Campos Experimentais, Difusão de Tecnologia, Chefe Adjunto de Apoio e Chefe em Exercício.

Em 1988, foi transferido para o Centro Nacional de Pesquisa de Florestas, da EMBRAPA, em Colombo-PR na função de pesquisador com a cultura da erva-mate.

Em 1991 iniciou o Curso de Pós-Graduação em Engenharia Florestal, Área de Concentração Silvicultura, da Universidade Federal do Paraná, concluindo os requisitos para a obtenção do grau e título de "Mestre em Ciências Florestais" em 1995.

SUMÁRIO

	Página
<u>LISTA DE TABELAS</u>	vii
<u>RESUMO</u>	xi
<u>ABSTRACT</u>	xii
1. <u>INTRODUÇÃO</u>	1
2. <u>REVISÃO DA LITERATURA</u>	3
2.1. A ESPÉCIE	3
2.2. ASPECTOS ECONÔMICOS	3
2.3. SISTEMAS DE PROPAGAÇÃO	4
2.4. TESTES DE PROGÊNIES E ESTIMAÇÃO DE PARÂMETROS GENÉTICOS EM ESPÉCIES FLORESTAIS	5
2.5. USO DE PROPÁGULOS VEGETATIVOS PARA ESTIMATIVAS DE PARÂMETROS GENÉTICOS	6
2.6. VARIAÇÃO DO ENRAIZAMENTO DE ESTACAS EM LENHOSAS	8
2.7. FATORES QUE AFETAM O ENRAIZAMENTO DE ESTACAS	9
3. <u>MATERIAL E MÉTODOS</u>	13
3.1. MATERIAL VEGETATIVO	13

3.2. MÉTODOS	14
3.2.1. Coleta de Ramos	14
3.2.2. Método de Enraizamento.....	14
3.2.3. Delineamento Experimental	16
3.2.4. Avaliação	16
3.2.5. Análise de Variância e Estimativas de Parâmetros	
Genéticos e Fenotípicos.....	17
3.2.6. Análise de Covariância e Estimativas de Correlações	
entre Caracteres	22
3.2.7. Seleção Combinada de Indivíduos com Maior	
Enraizamento	25
4. <u>RESULTADOS E DISCUSSÃO</u>.....	27
4.1. MÉDIAS E RESULTADOS GERAIS DO EXPERIMENTO.....	27
4.2. ANÁLISE DE VARIÂNCIA	29
4.2.1. Caráter Enraizamento de Estacas	29
4.2.2. Caracteres Associados ao Enraizamento de Estacas	30
4.3. COEFICIENTES DE HERDABILIDADE E GANHOS	
GENÉTICOS PARA O CARÁTER ENRAIZAMENTO	37
4.4. CORRELAÇÕES GENÉTICAS ENTRE PARES DE	
CARACTERES	40

4.5. COEFICIENTES DE HERDABILIDADE REFERENTES	
AOS CARACTERES ASSOCIADOS AO ENRAIZAMENTO	45
4.6. AVALIAÇÃO DO NÚMERO DE ESTACAS APTAS PARA	
O PLANTIO.....	46
5. <u>CONCLUSÕES</u>.....	49
<u>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS</u>.....	51
APÊNDICE I - CONTRASTE DE ESTACAS “FUNCIONAIS” E	
“NÃO FUNCIONAIS”	55

LISTA DE TABELAS

	Página
1. Coordenadas geográficas dos locais de origem das sementes de erva-mate	13
2. Esquema de análise de variância para o caráter enraizamento, para cada procedência	18
3. Esquema de análise de variância para caracteres associados ao enraizamento, para cada procedência	21
4. Esquema de análise de covariância e esperança de produtos médios, ao nível de médias de famílias	22
5. Médias do caráter enraizamento (%), erro padrão e intervalos de confiança, em estacas de três procedências de erva-mate (dados não transformados)	27
6. Médias do caráter enraizamento de estacas (%), de progênies de três procedências de erva-mate (dados não transformados).....	28
7. Médias do enraizamento e caracteres associados, em estacas de três procedências de erva-mate (dados não transformados).....	29

8. Valores e significâncias dos quadrados médios obtidos da análise de variância do caráter enraizamento de estacas (%), em três procedências de erva-mate (dados não transformados)..... 30
9. Valores e significâncias dos quadrados médios obtidos da análise de variância dos caracteres: estaca funcional (%); enraizamento (%); altura da maior brotação (mm); número de brotações (unid.); diâmetro da estaca (mm); número de raízes (unid.); número de folhas na estaca (unid.); peso de matéria seca de raízes (mg); estacas brotadas (%) e estacas mortas (%). Procedência Soledade-RS (dados transformados)..... 32
10. Valores e significâncias dos quadrados médios obtidos da análise de variância dos caracteres: estaca funcional (%); enraizamento (%); altura da maior brotação (mm); número de brotações (unid.); diâmetro da estaca (mm); número de raízes (unid.); número de folhas na estaca (unid.); peso de matéria seca de raízes (mg); estacas brotadas (%) e estacas mortas (%). Procedência Campo Mourão-PR (dados transformados) 34
11. Valores e significâncias dos quadrados médios obtidos da análise de variância dos caracteres: estaca funcional (%); enraizamento (%); altura da maior brotação (mm); número de brotações (unid.); diâmetro da estaca (mm); número de raízes (unid.); número de folhas na estaca (unid.); peso de matéria seca de raízes (mg); estacas brotadas (%) e estacas mortas (%). Procedência Toledo-PR (dados transformados) 36

12. Estimativas dos coeficientes de herdabilidade (%) a nível de indivíduos (\hat{h}_i^2) e a nível de indivíduos dentro de famílias (\hat{h}_d^2) no sentido amplo e restrito e a nível de médias de famílias (\hat{h}_f^2), no sentido restrito, para o carácter enraizamento de estacas, em três procedências de erva-mate (dados não transformados) 37
13. Seleção dos 10 melhores indivíduos da procedência Toledo, pelo método da seleção combinada, através de duas estratégias de propagação do material selecionado: vegetativa e sexuada. Carácter enraizamento de estacas 39
14. Estimativas das correlações genéticas (G) e fenotípicas (F) para o carácter enraizamento e caracteres associados ao enraizamento de estacas em progênies de erva-mate da procedência Soledade-RS (dados transformados)..... 40
15. Estimativas das correlações genéticas (G) e fenotípicas (F) para o carácter enraizamento e caracteres associados ao enraizamento de estacas em progênies de erva-mate da procedência Campo Mourão-PR (dados transformados)..... 41
16. Estimativas das correlações genéticas (G) e fenotípicas (F) para o carácter enraizamento e caracteres associados ao enraizamento de estacas em progênies de erva-mate da procedência Toledo-PR (dados transformados)..... 41

17. Estimativas das correlações genéticas aditivas entre os caracteres: estaca funcional (EF); enraizamento (ER); número de raízes (NR) e peso de matéria seca de raízes (PS), ao nível de médias de famílias, na procedência Toledo-PR (dados transformados).....	42
18. Estimativas das correlações genéticas aditivas entre os caracteres: enraizamento (ER); número de folhas retidas nas estacas (NF); estaca funcional (EF); número de raízes (NR); estacas brotadas (EB) e peso de matéria seca de raízes (PS), ao nível de médias de famílias, na procedência Toledo-PR (dados transformados).....	44
19. Coeficientes de herdabilidade no sentido amplo a nível de médias de famílias, do caráter enraizamento e caracteres associados, em três procedências de erva-mate (dados transformados).....	45
20. Médias referentes ao enraizamento (%) e estaca funcional (%) em três procedências de erva-mate (dados não transformados).....	47
21. Médias do número de raízes e peso de matéria seca de raízes (mg) de estacas classificadas como “funcionais” e “não funcionais” em três procedências de erva-mate (dados não transformados).....	47
22. Médias do enraizamento (%), estaca funcional (%) e estacas mortas (%) em famílias de três procedências de erva-mate (dados não transformados).....	48

RESUMO

Foi investigado o enraizamento de estacas originadas de 1.680 rametes de 280 ortetes de 28 famílias de meio-irmãos de erva-mate (*Ilex paraguariensis* Saint Hilaire) de três procedências da região sul do Brasil (5 famílias de Soledade-RS; 8 famílias de Campo Mourão-PR e 15 famílias de Toledo-PR). Os objetivos foram: estudar o controle genético do enraizamento de estacas de erva-mate e suas correlações genéticas com outros caracteres a ele associados; analisar estratégias de seleção para este caráter e avaliar o número de estacas enraizadas aptas para o plantio. A metodologia de enraizamento utilizada, foi a descrita por GRAÇA et al. (1988) e confirmada por TAVARES et al. (1992). O experimento, instalado em casa de vegetação, foi iniciado e encerrado no verão de 1994 (janeiro a março). As características avaliadas foram: estaca funcional, enraizamento, brotações, número de folhas retidas nas estacas, número de raízes, peso de matéria seca de raízes e estacas mortas. O experimento foi implantado em blocos casualizados, com seis repetições e uma estaca por parcela, em arranjo hierárquico de 10 indivíduos dentro de cada progênie. Foi detectada variabilidade genética significativa para o caráter enraizamento de estacas de erva-mate, entre progênies e entre indivíduos dentro de progênies; e variabilidade fenotípica significativa entre procedências. A herdabilidade do caráter estudado, é de baixa magnitude (inferior a 30%) a nível de indivíduo, porém, alta a nível de médias de família e médias de indivíduo dentro de família. Por isso, o caráter pode ser melhorado tanto geneticamente pela seleção, como ambientalmente, através da metodologia de enraizamento. A seleção poderá ser feita pelo próprio caráter enraizamento e pelos caracteres: número de raízes, peso de matéria seca de raízes, estacas funcionais ou número de folhas retidas na estaca, que apresentaram altos índices de correlações genéticas com o enraizamento. Para estratégias sexuada e assexuada de melhoramento do caráter enraizamento, baseadas na seleção dos 10 melhores indivíduos da população estudada, são esperados ganhos de 68,68% e 75,65%, respectivamente. Estima-se que a seleção clonal dos 10 melhores indivíduos na procedência do município de Toledo-PR, eleve de 42,67% para 74,95% a média de enraizamento. A média de enraizamento no experimento, foi de 38,61%, mas em termos de estacas funcionais, viáveis para a formação de mudas, caiu para 16,98%, indicando ser este o índice médio operacional da estaquia de erva-mate para o estabelecimento de plantios clonais. Na estratégia de melhoramento genético da população estudada, recomenda-se a seleção para biomassa foliar em uma primeira etapa e a seguir a seleção para capacidade de enraizamento dentre os indivíduos selecionados, com base na variável estaca funcional.

ABSTRACT

A study was conducted in order to investigate the rooting of cuttings collected from 1.680 ramets of 280 ortets from 28 half-sib families of "erva-mate" (*Ilex paraguariensis* Saint Hilaire). The cuttings were obtained from three provenances located in the southern part of Brasil as follows: 5 families from Soledade, RS; 8 families from Campo Mourão, PR; and, 15 families from Toledo, PR. The objectives of the study were: a) to study the genetic control of the rooting as well as the correlations between the rooting and associated traits; b) to analyse selection strategies for this breeding objective and to evaluate the feasibility of rooting in the production of seedlings of "erva-mate". The methodology used for the rooting was the one described by GRAÇA et al. (1988) and verified by TAVARES et al. (1992). The experiment, established in a greenhouse was initiated and concluded in the summer of 1994 (January - March). The characteristics evaluated were: functional cutting, rooting, sprouting, number of leaves retained, number of roots, dry weight of roots and mortality. The experiment was established as a randomized block design, with six replicates and one cutting per plot, and with a hierarchical arrangement of 10 individuals within progeny. A significant genetic variability was identified in the rooting of cuttings among progenies and individuals within each progeny. At the provenances level a phenotypic variability was found. The heritability for rooting is of low magnitude at the individual level (under 30%), and high, however, at the level of family means and of individual means within each family. For that reason, this characteristic can be improved both genetically, through selection, and environmentally, through the method used for rooting. Selection can be achieved by using the following traits: rooting, number of roots, dry weight of roots, functional cuttings or number of leaves retained by the cuttings. All these traits have shown high values for genetic correlation with rooting. For both sexual and vegetative strategies for the genetic improvement of rooting capability of cuttings of "erva-mate", based on the selection of the best 10 individuals of the entire population, gains of 68,68% and 75,65% are expected, respectively. It is also estimated an increase the rooting average from 42,67% to 74,95% after the clonal selection of the best 10 individuals from the provenance Toledo, PR. The overall mean of rooting for the experiment was 38,61%. In respect to those cuttings considered functional and feasible for the production of seedlings the rooting was only 16,98%, which indicates the average operational index of "erva-mate" for the establishment of clonal plantations. In the strategy of the genetic improvement of the population examined, the selection for biomass is recommended as the first step, followed by the selection for the rooting capacity among the individuals selected previously, using the functional cutting trait.

1. INTRODUÇÃO

A erva-mate, *Ilex paraguariensis* Saint Hilaire, é parte integrante da história, cultura e economia da região sul do Brasil. Com o declínio do processo extrativista pela destruição de grandes áreas de ervais nativos e novas perspectivas de mercado, houve um generalizado estímulo ao seu plantio comercial (REDIG, 1985). Em 1989, cerca de um quinto da produção brasileira de erva-mate “cancheada” (175 mil toneladas) foi originado de ervais plantados (ANUÁRIO..., 1991). Na implantação da cultura de erva-mate, o método de propagação utilizado, é a produção de mudas através de sementes, e em algumas poucas situações, o enraizamento de estacas. Neste último, todos os testes realizados têm apresentado uma constante e alta variação no índice de enraizamento de estacas de erva-mate. Em diferentes graus de intensidade, tem sido encontrada variação genética no enraizamento de estacas para várias espécies florestais: WILCOX e FARMER (1968) e YING e BAGLEY (1977) para o *Populus deltoides*; FOSTER (1990) para o *Pinus taeda*; FARMER et al. (1992) para o *Larix laricina*; RADOSTA et al. (1994) com o híbrido de *Larix decidua* x *L. kaempferi* e BORRALHO e WILSON (1994) com o *Eucalyptus globulus*. No Brasil, este é o primeiro estudo sobre o controle genético do enraizamento de estacas de lenhosas.

Além de sua utilização no estabelecimento de plantios clonais, o enraizamento de estacas apresenta grande importância no desenvolvimento de programas de melhoramento genético, como ferramenta para multiplicação de genótipos selecionados e para a geração de propágulos visando o estabelecimento de testes clonais. Neste contexto, encontra-se em desenvolvimento na EMBRAPA/CNPFFlorestas, um programa de melhoramento genético para a produção de biomassa foliar de erva-mate, o qual prevê a utilização da propagação vegetativa em grande escala (RESENDE et. al. 1993b). Em decorrência destes antecedentes, os objetivos do presente trabalho são:

- a) estudar o controle genético do caráter enraizamento de estacas de erva-mate;

- b) verificar as magnitudes das correlações genéticas entre o enraizamento e caracteres associados ao enraizamento das estacas de erva-mate;
- c) analisar estratégias de seleção e melhoramento do enraizamento de estacas de erva-mate;
- d) avaliar o número de estacas enraizadas aptas para o plantio.

2. REVISÃO DA LITERATURA

2.1. A ESPÉCIE

A erva-mate, *Ilex paraguariensis* Saint Hilaire, é uma planta dióica, esciófila da família Aquifoliaceae, árvore perenifolia, que em floresta natural pode atingir 15 a 25 metros de altura e 50 a 70 cm de DAP (CARVALHO, 1994). No Brasil, sua dispersão natural está entre 21° a 30°S e 48° a 56°W, abrangendo os estados de Minas Gerais, Rio de Janeiro, Mato Grosso do Sul, São Paulo, Paraná, Santa Catarina e Rio Grande do Sul. Abrange uma área de cerca de 450.000 km², 5% do território brasileiro. Na América do Sul, além do Brasil, ocorre na Argentina, Uruguai e Paraguai (OLIVEIRA e ROTTA, 1985; CARVALHO, 1994). A extensão de sua ocorrência é indicativa de plasticidade e provável variabilidade genética (OLIVEIRA e ROTTA, 1985). Segundo CARVALHO (1994), é uma espécie clímax, característica da Floresta Ombrófila Mista Montana (Floresta de Araucária) crescendo preferencialmente em associações nitidamente evoluídas com o pinheiro-do-paraná, geralmente nas altitudes de 400 a 1.800 metros. Ocorre naturalmente em solos de baixa fertilidade, sendo mais frequente em solos com baixo teor de nutrientes trocáveis e alto teor de alumínio. O clima predominante é o Cfb, seguido do Cfa na classificação de Koeppen.

2.2. ASPECTOS ECONÔMICOS

A erva-mate, juntamente com o pinheiro-do-paraná, caracterizaram um ciclo econômico da região sul do Brasil. A partir do início da década de 70, com o avanço da agropecuária, principalmente a cultura da soja, foram erradicadas grandes áreas de ervais nativos. Com esta forte e contínua queda da oferta do produto, houve o consequente aumento de preços que, aliado ao uso de incentivos fiscais, resultaram em um generalizado estímulo ao

plântio comercial da erva-mate (REDIG, 1985). Em 1989, existiam 8.396 hectares de ervais plantados, com uma produção de 90.872 toneladas de folha verde, representando, após sua transformação, 20,7% da produção total de 145.649 toneladas de erva-mate “cancheada” (ANUÁRIO..., 1991). Esta cultura está implantada desde grandes plântios vinculados à indústria ervateira até sistemas agrosilviculturais em pequenas propriedades. Do lado do consumo, há duas formas de utilização da erva-mate: produtos que exigem pouca modificação da matéria-prima natural: chimarrão e mate queimado, e aqueles baseados em extratos da matéria-prima: mate solúvel e refrigerantes (CARVALHO, 1994). Para os dois últimos produtos, há fortes indícios de que se consolide um mercado firme para a cultura, inclusive para exportação, uma vez que a folha da erva-mate contém de 0,76% a 1,47% de cafeína e 0,046% a 0,190% de teobromina (LEPREVOST, 1987). Esta demanda industrial e de mercado externo, por exigir garantias de tetos mínimos de produção, se constitui em um catalizador do estímulo aos plântios comerciais, em substituição progressiva à instável produção oriunda dos remanescentes ervais nativos.

2.3. SISTEMAS DE PROPAGAÇÃO

Na implantação da cultura de erva-mate, o método de propagação mais utilizado, é a produção de mudas através de sementes. Neste processo, para quebra da dormência das sementes (em função do embrião imaturo (MELLO, 1980)) e a formação da muda em condições de plântio no campo, são necessários em torno de 20 meses. Com 1 kg, que contém cerca de 140 mil sementes e poder germinativo de 5% a 20%, são produzidas de 12 a 15 mil mudas (ZANON, 1988; STURION, 1988). Com o objetivo de diminuir o tempo de formação de mudas, os trabalhos de IRITANI (1981); HIGA (1985); GRAÇA et al. (1988) e TAVARES et al. (1992), lograram definir uma metodologia para o enraizamento de estacas de erva-mate, que reduz para cerca de seis meses a formação de mudas para plântio, com utilização de reguladores de crescimento e nebulização intermitente em casa de vegetação, por um período de 60 dias. Em todos os testes realizados com o mesmo método de enraizamento, tem sido

encontrada uma constante e alta variação nos índices de enraizamento de estacas de erva-mate. GRAÇA et al. (1988) obteve até 67% de enraizamento para estacas de brotações do ano de árvores adultas e 47% para estacas originadas de mudas, sendo que a média do experimento foi de 17% de enraizamento. TAVARES et al. (1992), trabalhando com plantas de erva-mate oriundas de mudas por sementes de quatro procedências, encontrou uma variação entre plantas de 0,0% a 100% de enraizamento. Desta mesma população, foram selecionadas visualmente 31 plantas com base em seu desenvolvimento, formação da parte aérea e estado fitossanitário, cujas estacas, entre o verão de 1991 e o inverno de 1993, no mínimo três e no máximo seis vezes, foram levadas a enraizamento, totalizando 3.919 estacas, para avaliação do efeito da estação do ano no enraizamento e a média geral foi de 31,9% com variação da média das plantas de 8,5% a 64,7% de enraizamento, com melhor rendimento na primavera e no verão (FERNANDO RODRIGUES TAVARES - Comunicação pessoal - 1993).

2.4. TESTES DE PROGÊNIES E ESTIMAÇÃO DE PARÂMETROS GENÉTICOS EM ESPÉCIES FLORESTAIS

Pela facilidade de sua instalação e condução, pela possibilidade de uso dos ensaios de progênies para a formação de "Pomares de Sementes", e por atender tanto aos objetivos de determinação da capacidade geral de combinação dos parentais como de estimar parâmetros genéticos, o teste de progênies de polinização aberta é o método que mais vem sendo utilizado em programas de melhoramento de espécies florestais (KAGEYAMA, 1980). Para SHIMIZU et al. (1982), os principais objetivos dos testes de progênies são: a) conservação genética de populações; b) determinação da estrutura genética das populações; c) produção de sementes melhoradas; d) determinação do valor genético de matrizes selecionadas; e) gerar indivíduos para seleção recorrente e f) determinação de parâmetros genéticos.

No melhoramento de espécies florestais, a inviabilidade de se realizar a curto prazo,

vários ciclos recorrentes de seleção e o desconhecimento sobre a resposta à seleção das diversas características de interesse silvicultural, fez com que especial atenção tenha sido dada ao estudo e estimação de parâmetros genéticos, como base e instrumental para o melhoramento genético de espécies florestais (KAGEYAMA, 1980).

Estas estimativas de parâmetros genéticos, tem como principais objetivos, obter informações sobre o tipo de ação dos genes em caracteres quantitativos, orientar sobre o melhor esquema de seleção a ser praticada e estimar o progresso que dela se pode esperar para determinada característica (VENCOVSKY, 1969).

Segundo ROBINSON e COCKERHAM, citados por KAGEYAMA (1980), os parâmetros genéticos de interesse nos estudos envolvendo progênies, referem-se às variâncias genéticas em suas componentes aditivas e não aditivas, aos coeficientes de herdabilidade, tanto no sentido amplo como restrito, às interações dos efeitos genéticos e ambientais e por fim às correlações genéticas e fenotípicas entre características.

Para FALCONER (1987), os parâmetros genéticos de uma população, de maior interesse para o melhoramento florestal, são a variância genética aditiva e a herdabilidade de um caráter quantitativo, por expressarem as propriedades genéticas da população e sua resposta à seleção bem como o grau de confiança do valor fenotípico como indicativo do valor genotípico do material genético estudado.

2.5. USO DE PROPÁGULOS VEGETATIVOS PARA ESTIMATIVAS DE PARÂMETROS GENÉTICOS

Segundo LIBBY (1974), a propagação vegetativa oferece vantagens para a pesquisa em biologia florestal, como também, pode se tornar efetivamente na via direta de implantação de

florestas. Para a genética e o melhoramento florestal, o mais comum e talvez o mais importante papel da propagação vegetativa é o de transportar genótipos de árvores selecionadas para os chamados “bancos de germoplasma”, onde poderão ser estudados, usados e conservados.

Para BURDON e SHELBOURNE (1974), dois ou mais propágulos por clone, podem fornecer estimativas de variâncias genotípicas englobando componentes aditivos e não aditivos e covariâncias de uma população e o valor genotípico de parentais. No entanto, estas informações podem sofrer restrições em decorrência dos efeitos das características não genéticas peculiares e específicas de cada ramete de onde se tomaram os propágulos. WILCOX e FARMER (1968), encontraram que a presença destes fatores, pode causar consideráveis influências na estimativa de herdabilidade e subsequente seleção clonal, estudando a variação genética do enraizamento de estacas de rametes primários de *Populus deltoides*. FOSTER et al. (1984), denominaram este conjunto de fatores como efeito “C”, definindo-o como características fisiológicas e morfológicas (não genéticas) de um ramete em razão de sua específica interação com o meio ambiente. Estudando estes efeitos na variação genética de cinco características de enraizamento de estacas de *Tsuga heterophylla*, estes autores encontraram que as estimativas de variação genética, herdabilidade e predição de ganhos na seleção clonal, foram influenciados pelo efeito “C” e que esta influência pode chegar a um terço do potencial de variação entre clones. FARMER et al. (1988), estudaram a variação do crescimento e peso de estacas entre clones e dentro de clones associada a rametes primários em um teste clonal de *Populus balsamifera* durante três anos de crescimento, e encontraram que ao final do segundo ano, a variação atribuída ao efeito “C”, não foi significativa. Os autores sugerem, que para aquela população, a variação decorrente do efeito “C”, não requeria cuidados especiais, se o preparo e teste do material fossem realizados sob condições uniformes no viveiro de onde se coletaram as estacas. WILCOX e FARMER (1968) e FOSTER et al. (1984), sugeriram os seguintes procedimentos para minimizar a influência do efeito “C”, no uso de propágulos vegetativos para estimação de parâmetros genéticos e variação clonal: a) uniformização dos procedimentos na coleta das estacas; b) distribuição casualizada das parcelas de estacas de um clone na câmara de enraizamento; c) uso de rametes de segunda ordem; d) uniformizar a idade e tamanho das estacas.

2.6. VARIAÇÃO DO ENRAIZAMENTO DE ESTACAS EM LENHOSAS

Existem grandes diferenças entre espécies e entre clones de lenhosas, quanto à capacidade de enraizamento de estacas. Esta variação está relacionada a características específicas da planta-mãe, às condições em que se processa o enraizamento e a fatores internos da própria estaca, entre eles, o potencial genético da espécie para o enraizamento (HARTMAN e KESTER, 1985). JOHNSON (1946), testou a capacidade de enraizamento em uma geração F_1 de híbridos de *Populus alba* com *Populus grandidentata*, e encontrou que o *P. alba* foi capaz de transmitir à sua geração híbrida em F_1 , sua alta capacidade de enraizamento, como um caráter dominante. Nos híbridos de *P. alba* x *P. tremuloides* e *P. grandidentata* x *P. tremuloides*, não foi encontrada a transmissão desta característica.

WILCOX e FARMER (1968), estudaram a variação e a herdabilidade de características de enraizamento em estacas de 49 clones de *Populus deltoides*. Os caracteres avaliados foram o número de raízes, o comprimento total das raízes primárias e o peso de matéria seca de raízes. Este estudo demonstrou que a variação dos clones de *Populus deltoides*, tem um consistente e forte controle genético no enraizamento, com previsível resposta à seleção nos caracteres estudados. YING e BAGLEY (1977), também com o *P. deltoides*, determinaram a variação genética e estimaram a herdabilidade da capacidade de enraizamento de 188 clones de 48 famílias originados de 7 procedências. O estudo indicou que as procedências de Nebraska e Minnesota-Wisconsin tiveram significativamente maior produção de raízes que as outras cinco procedências. Os efeitos da origem geográfica, família, clone e posição da estaca no ramo de origem, foram estatisticamente significativos. A herdabilidade estimada foi de 0,80, a nível de médias, indicando a possibilidade de ganhos na seleção do caráter enraizamento. DONALD (1987), estudou o enraizamento de rametes provenientes de quatro espécies de *Pinus* (*P. elliotii*, *P. pinaster*, *P. radiata* e *P. taeda*) e de dez clones enxertados de *P. elliotii* e *P. taeda*, e os resultados demonstraram que houve uma grande variação na capacidade de enraizamento, não somente entre espécies mas também dentro de famílias de meio-irmãos de uma mesma espécie. ROJAS et al. (1987) trabalharam com o enraizamento de estacas oriundas de rebrotas de tocos

de *Eucalyptus camaldulensis* plantado em dois sítios no Chile, e encontraram que o efeito da variação individual da árvore-mãe na capacidade de enraizamento foi altamente significativo.

O estudo de FARMER et al. (1989), com clones de seis populações naturais de *Populus balsamifera*, demonstrou que foi pequena a variação de características de enraizamento de estacas, associada à procedência geográfica, mas encontrou uma considerável variação genética dentro das procedências. MYERS e HOWE (1990), testaram o enraizamento de 45.219 estacas de 457 famílias oriundas de sementes, de nove testes de progênies de *Pseudotsuga menziesii* var. *glauca*. Embora o potencial genético de cada clone não tenha sido isolado, o estudo encontrou que entre famílias, o índice de enraizamento variou de 0,0 a 91,4%. WILLYAMS et al. (1992), avaliaram a capacidade de enraizamento de plântulas clonadas "in-vitro" e de brotações derivadas de cultivo "in-vitro" de 27 famílias de meio-irmãos de *Eucalyptus nitens* e *E. globulus* e encontraram efeito significativo da procedência na capacidade de enraizamento, presumivelmente devido a diferenças genéticas.

Dentre outros estudos que relataram a variação genética do enraizamento de estacas em espécies florestais, pode-se citar FOSTER (1990) para *Pinus taeda*; FARMER et al. (1992), para *Larix laricina*. RADOSTA et al. (1994) para híbrido de *Larix decidua* x *L. kaempferi* e BORRALHO e WILSON (1994), para *Eucalyptus globulus*.

2.7. FATORES QUE AFETAM O ENRAIZAMENTO DE ESTACAS

HARTMANN e KESTER (1985), apontam os seguintes fatores e suas interações, como base para o processo de iniciação e formação de raízes em estacas:

a) hormônios vegetais e reguladores de crescimento

Algumas substâncias de ocorrência natural nas plantas e com propriedades semelhantes aos hormônios, atuam na iniciação de raízes adventícias. Da mesma forma, várias classes de reguladores de crescimento, como as auxinas, citocininas e giberelinas, o etileno e alguns inibidores como o ácido abscísico, influem na iniciação de raízes. As auxinas são as que têm maior efeito sobre a formação de raízes em estacas. O ácido indol-3-acético (AIA), foi identificado como uma substância de ocorrência natural nas plantas que atua como indutor da formação de raízes adventícias. Também a forma sintética do ácido indol-3-butírico, é capaz de estimular a formação de raízes. Substâncias semelhantes como o ácido-indolil-butírico (AIB) e o ácido naftaleno-acético (ANA), embora não tenham ocorrência natural nas plantas, são efetivos na indução de raízes em estacas. As auxinas naturais ou aplicadas artificialmente são um requerimento para a iniciação de raízes adventícias e a divisão das primeiras células iniciadoras das raízes depende da presença de auxina, seja aplicada ou endógena. RIBAS e ZANETTE (1981) encontraram que para a indução do enraizamento "in vitro", de brotações da macieira (*Malus domestica* Borkh), foi essencial a adição de AIB no meio de cultura.

b) co-fatores de enraizamento - efeitos de folhas e gemas

A presença de folhas e gemas, exerce uma forte influência no enraizamento de estacas. Além da produção de carboidratos, as gemas e folhas são poderosas produtoras de auxinas que exercem um efeito direto no enraizamento de estacas. No entanto, somente a presença de auxinas, não é condição suficiente para a produção de raízes. É necessária a presença de um conjunto de substâncias, provavelmente produzidas pelas gemas que, atuando de forma sinérgica com as auxinas, conduzem à iniciação dos primórdios radiculares. ZANETTE (1982), demonstrou que a quebra da dormência de raízes da macieira pelo frio, se deu de forma indireta, pela quebra da dormência das gemas. A este conjunto de substâncias, foi dada a denominação genérica de co-fatores do enraizamento, uma vez que ainda não estão perfeitamente identificadas suas estruturas moleculares e seus papéis individuais de forma de

ação na promoção do enraizamento.

HARTMANN e KESTER (1985) apontam que os fatores ligados à planta-mãe, ao preparo da estaca e às condições de enraizamento que afetam a ocorrência e a intensidade do processo são:

a) condições fisiológicas da planta-mãe

O estado nutricional da planta-mãe, exerce uma forte influência sobre o enraizamento das estacas. Níveis baixos ou medianos de nitrogênio na planta-mãe e nas estacas, favorecem mais o enraizamento do que níveis altos. Todavia, há um nível de nitrogênio disponível, abaixo do qual se inibe a formação de raízes, e nestes casos, a adição de nitrogênio estimulará o enraizamento. Assim, nas plantas-mães e nas estacas, o equilíbrio entre um baixo teor de nitrogênio e alto nível de carboidratos, parece favorecer o enraizamento.

b) juvenilidade

Em plantas que enraizam com dificuldade, a idade da planta-mãe, de onde se extrai o material vegetativo pode ser um fator muito importante para a porcentagem de enraizamento destas estacas. Assim, o uso de estacas provenientes de mudas e rebrotas ou qualquer tratamento que mantenha a fase juvenil do crescimento, será útil para prevenir o declínio do potencial de enraizamento da planta-mãe, à medida que a mesma envelhece.

c) tipo do material selecionado para as estacas

As diferenças individuais de plantas originadas de sementes, dos clones, dos ramos laterais e ramos terminais e mesmo diferenças entre partes específicas das brotações, são fatores que afetam para mais ou para menos, a capacidade de enraizamento, variando de acordo com as características de cada espécie.

d) época do ano

A época do ano em que se coleta as estacas, pode exercer uma forte influência sobre o enraizamento das mesmas. Esta influência geralmente está ligada ao repouso vegetativo da espécie em determinadas estações do ano.

e) tratamento das estacas

O uso de reguladores de crescimento sintéticos (auxinas), é um fator decisivo para o nível de enraizamento de estacas da maioria das espécies de interesse silvicultural. Todavia algumas espécies não enraizam bem, mesmo depois que suas estacas são tratadas com auxinas. Nestes casos, é provável que alguns fatores e/ou co-fatores de presença natural sejam os limitantes do enraizamento. As concentrações das auxinas e forma de aplicação devem ser ajustadas para cada espécie. ZANETTE (1994), testou diferentes concentrações e tempos de tratamento com AIB e etanol para o enraizamento de estacas de pereira (*Pirus comunis* var. Garber) e identificou que 1000 ppm de AIB e etanol 20% v/v, durante 30 segundos, foram os tratamentos mais eficientes para a indução do enraizamento. As mesmas concentrações com imersão por tempo prolongado, causaram fitotoxidez às estacas.

f) condições ambientais durante o enraizamento

Estas condições estão relacionadas a vários fatores que afetam positiva ou negativamente a emissão de raízes e seu desenvolvimento, que são a umidade, a temperatura, a luz e o substrato em que se processa o enraizamento. A importância relativa e os efeitos destes fatores, variam de espécie para espécie em razão do que, devem ser testados e ajustados a cada uma delas.

3. MATERIAL E MÉTODOS

3.1. MATERIAL VEGETATIVO

O material genético estudado constituiu-se de 28 progênies de meio-irmãos de erva-mate (*Ilex paraguariensis* St. Hil.), oriundas de árvores nativas dos municípios de Toledo e Campo Mourão no estado do Paraná e Soledade no estado do Rio Grande do Sul.

As coordenadas geográficas dos locais de origem das sementes estão especificadas na Tabela 1 (OLIVEIRA e ROTTA, 1985).

TABELA 1. Coordenadas geográficas dos locais de origem das sementes de erva-mate.

LOCAL	LATITUDE	LONGITUDE	ALTITUDE(m)
Soledade-RS	28°50'S	52°31'W	720
Campo Mourão-PR	24°03'S	52°23'W	630
Toledo-PR	24°43'S	53°51'W	500

Foram utilizadas 15 progênies da procedência Toledo, 8 de Campo Mourão e 5 de Soledade. As progênies foram plantadas em setembro de 1988 no espaçamento de 1 x 1 m, no campo experimental do CNPF/EMBRAPA, situado no Município de Colombo-PR. O solo do local de plantio foi identificado como um Cambissolo Profundo Álico Tb A Húmico Textura Argilosa, Relevo Ondulado (CURCIO, no prelo). A localização geográfica é 25°17'S de latitude, 49°13'W de longitude e 950 m de altitude (OLIVEIRA e ROTTA, 1985). O jardim clonal consiste de 392 indivíduos, com 14 plantas por progênie, com uma altura média de 1,50 m em razão de sua constante utilização como fonte de material vegetativo para coleta de estacas. Em julho de 1993 as plantas sofreram uma poda total, para a produção de brotações com a mesma idade.

Os solos das regiões de origem das sementes, estão caracterizados como Latossolo Roxo Eutrófico A moderado, textura argilosa, fase floresta tropical, perenifólia, relevo suave ondulado e praticamente plano, associado a Terra Roxa Estruturada Eutrófica, A moderado, textura argilosa, fase floresta tropical perenifólia, relevo ondulado para a procedência Toledo-PR. Para Campo Mourão-PR, como Latossolo Roxo Álico, A moderado, textura argilosa fase cerrado e cerradão sub-tropical, relevo suave ondulado e praticamente plano (EMBRAPA ..., 1984). Para a procedência Soledade-RS, os solos estão descritos como uma associação de Podzólico Vermelho Amarelo Álico, textura argilosa, relevo ondulado com solo Litólico Distrófico, textura média, relevo forte ondulado substrato basalto (BRASIL..., 1973).

3.2. MÉTODOS

3.2.1. Coleta de Ramos

De cada planta foram coletados ramos para a produção de 20 estacas em média. Os ramos de cada árvore (indivíduo dentro de progênie), foram atados em feixes com identificação do número da planta de 1 a 10 e nomenclatura alfa-numérica da progênie/procedência. Imediatamente foram levados à casa de manipulação e colocados em recipiente com água para evitar perda de turgescência. Foi coletado material para a produção e tratamento de 560 estacas por dia e o experimento foi implantado em três dias.

3.2.2. Método de Enraizamento

O enraizamento das estacas foi efetuado de acordo com a metodologia desenvolvida para a erva-mate por GRAÇA et al. (1988) e confirmada por TAVARES et al. (1992).

a) Preparo e tratamento das estacas

De cada feixe de ramos foram produzidas dez estacas com 12 cm de tamanho, com corte inferior em bisel para dar maior área de contato quando do tratamento com hormônio, deixando-se duas folhas apicais reduzidas pela metade para se evitar excesso de transpiração durante a fase de enraizamento. Em cada ramo, foi desprezada a parte apical, por ser material excessivamente tenro. O diâmetro médio das estacas foi de 4,5 mm, com uma variação de 2 a 8 mm. A seguir, os feixes individualizados de dez estacas foram imersos por 5 minutos em uma solução de hipoclorito de sódio, com cerca de 0,5% de cloro livre, obtida pela mistura de um litro do produto comercial KBOA, em quatro litros de água para desinfestação, e em seguida, lavados em água corrente por 5 minutos. Na sequência, as estacas foram tratadas até à base da inserção das folhas, durante 15 minutos, por imersão em uma solução de fungicida sistêmico Benlate, princípio ativo Benomyl (metil.1-(butilcarbamoil)-2-benzimidazol carbamato), sendo que o produto comercial contém 500 g/kg do princípio ativo. A solução foi preparada à base de 0,5 g de Benlate por litro de água.

A seguir, cerca de 3 cm da base das estacas, foram imersas por 10 segundos, em uma solução alcoólica a 50%, do fitohormônio sintético AIB (ácido 3-indolilbutírico, $C_{12}H_{13}NO_2$, Laboratório Merck) na dosagem de 8000 ppm. Para cada grupo de 560 estacas, foi preparado 40 ml de solução a 8000 ppm, colocando-se em um copo de 80 ml, 320 mg de AIB, a seguir dissolvidos em 20 ml de álcool comercial e completado com 20 ml de água destilada, nesta ordem. Foram tratadas dez estacas por vez e imediatamente plantadas nos tubetes de polipropileno, com identificação estaca/planta/prógenie/procedência e levadas à casa de vegetação.

b) Substrato

Foi utilizada a vermiculita expandida, granulação média, colocada em tubetes cônicos de polipropileno com 12 cm de comprimento e 3 cm de diâmetro na parte superior, inseridos em bandejas de isopor perfuradas de 60,5 cm por 40,5 cm, com capacidade para 96 tubetes cada uma. Anteriormente, as bandejas com os tubetes e a vermiculita, foram empilhadas, envolvidas com uma lona plástica, e fumigadas por 48 horas com brometo de metila

(980 g/l de brometo de metila contendo 20 g/l de cloropicrina) na dosagem de 1.572 cm³ de gás ativo (4 latas) para 4,8 m³ de material cubado.

c) Condições ambientais do enraizamento

O experimento foi instalado em uma casa de vegetação modelo "Van der Hoeven", com sistemas automáticos de nebulização e ventilação. O tempo de enraizamento foi de 60 dias, com nebulização intermitente de 5'/10" (cinco minutos de intervalo com dez segundos de nebulização). Foi utilizada a iluminação natural e as temperaturas registradas no interior da casa de vegetação foram de 19,5°C para a média das mínimas e 33,7°C para a média das máximas. A menor temperatura registrada foi de 14°C e a máxima de 42°C. As folhas caídas das estacas eram retiradas diariamente do experimento.

3.2.3. Delineamento Experimental

O estudo constou de 15 progênies de meio-irmãos da procedência Toledo-PR, 8 da procedência Campo Mourão-PR e 5 progênies da procedência Soledade-RS. Cada progênie foi representada por dez indivíduos repetidos clonalmente seis vezes. O experimento foi implantado em blocos casualizados, com seis repetições e uma estaca por parcela, em arranjo hierárquico de indivíduo dentro de progênie.

3.2.4. Avaliação

Durante o enraizamento, no intervalo de dez em dez dias foi contado o número de estacas mortas e retiradas do experimento. Ao completar 60 dias, foi feita a avaliação final, que constou da mensuração das seguintes variáveis para cada estaca:

- enraizamento (enraizada/não enraizada)
- número de brotações
- altura em mm da maior brotação

- diâmetro da estaca em mm, tomado na inserção da raiz mais alta
- número de folhas originais que permaneceram na estaca
- número de raízes
- peso de matéria seca de raízes em mg, tomado após secagem em estufa de ventilação forçada a 60°C até peso constante
- estacas mortas
- estaca funcional.

Na quantificação desta última variável, as estacas enraizadas foram classificadas em “funcional” e “não funcional”, de acordo com uma avaliação prática, em que as estacas classificadas como funcionais, passariam para a segunda etapa da formação de mudas, através de seu plantio em saquinhos plásticos, segundo um julgamento de sua probabilidade de sobrevivência, levando-se em conta o número e tamanho das raízes formadas (Apêndice I).

3.2.5. Análise de Variância e Estimativas de Parâmetros Genéticos e Fenotípicos

No presente estudo, em que foi utilizado o delineamento de blocos casualizados, com a avaliação de indivíduos de diferentes famílias e procedências repetidos clonalmente, o seguinte modelo estatístico linear, apresentado por RESENDE e ARAÚJO (1993), é adequado aos dados obtidos:

$$Y_{ijkl} = \mu + p_i + f_{j(i)} + b_k + pb_{ik} + fb_{j(i)k} + C_{l(i)} + Cb_{l(i)k}$$

onde:

- Y_{ijkl} = observação referente ao propágulo do clone l da família j da procedência i no bloco k.
- μ = efeito da média geral da população.
- p_i = efeito da procedência i sendo i = 1, 2 e 3 (Soledade, Campo Mourão e Toledo).
- $f_{j(i)}$ = efeito da progênie j, dentro da procedência i, sendo j = 1, 2, ..., 5; j = 1, 2, ..., 8 e j = 1, 2, ..., 15, para as procedências Soledade, Campo Mourão e Toledo, respectivamente.

- b_k = efeito do bloco k sendo $k = 1, 2, \dots, 6$.
 pb_{ik} = interação da procedência i com o bloco k.
 $fb_{j(i)k}$ = interação da progênie j dentro da procedência i com o bloco k.
 $C_{l(i)j}$ = efeito do clone l da progênie j, dentro da procedência i sendo $l = 1, 2, \dots, 10$.
 $Cb_{l(i)j}k$ = efeito da interação do clone l da progênie j da procedência i com o bloco k.

O esquema de análise de variância para cada procedência, para a característica enraizamento com os respectivos quadrados médios e suas esperanças matemáticas, considerando-se todos os efeitos aleatórios, exceto a média da população, de acordo com RESENDE e ARAÚJO (1993), para indivíduos repetidos clonalmente, é o apresentado na Tabela 2.

TABELA 2. Esquema de análise de variância para o caráter enraizamento, para cada procedência.

F.V.	G.L.	Q.M.	E(Q.M.)
Blocos	b-1	Q_1	-
Famílias (F)	f-1	Q_2	$\frac{1}{c}\hat{\sigma}_e^2 + \hat{\sigma}_{FB}^2 + \frac{b}{c}\hat{\sigma}_{C/F}^2 + b\hat{\sigma}_F^2$
Famílias x Blocos (FxB)	(b-1)(f-1)	Q_3	$\frac{1}{c}\hat{\sigma}_e^2 + \hat{\sigma}_{FB}^2$
Clones/Famílias (C/F)	(c-1).f	Q_4	$\hat{\sigma}_e^2 + b\hat{\sigma}_{C/F}^2$
(C/F) x B	(c-1)f.(b-1)	Q_5	$\hat{\sigma}_e^2$

onde:

- F.V. = fonte de variação
 G.L. = graus de liberdade
 Q.M. = quadrado médio

E(Q.M.) = esperança matemática do quadrado médio

b = n°. de blocos: b = 6

f = n°. de progênies por procedência: f = 5 para a procedência Soledade; f = 8 para a procedência Campo Mourão; f = 15 para a procedência Toledo

c = n°. de clones (indivíduos) de cada progênie: c = 10

$\hat{\sigma}_e^2$ = variância da interação clone dentro de família com o bloco

$\hat{\sigma}_{C/F}^2$ = variância genética entre clones dentro de família

$\hat{\sigma}_{FB}^2$ = variância da interação família x bloco

$\hat{\sigma}_F^2$ = variância genética entre famílias.

As análises foram realizadas em duas etapas, para médias de progênies (parte superior da Tabela) e ao nível de indivíduos dentro de progênies (parte inferior da Tabela). Os dados não foram transformados, devido ao fato da análise ser efetuada ao nível de indivíduos, com o propósito de se obter estimativas de herdabilidade ao nível de indivíduo, conforme RESENDE et al. (1993a). As análises foram realizadas através do programa genético-estatístico SELEGEN, desenvolvido por RESENDE et al. (1994). As estimativas dos componentes de variância e parâmetros genéticos (ignorando-se os efeitos epistáticos) foram obtidas pelas expressões:

a) variância da interação de clones dentro de famílias com os blocos ou resíduo: $\hat{\sigma}_e^2$

$$\hat{\sigma}_e^2 = Q_5$$

b) variância entre clones dentro de famílias: $\hat{\sigma}_{C/F}^2$

$$\hat{\sigma}_{C/F}^2 = \frac{(\hat{\sigma}_e^2 + b\hat{\sigma}_{C/F}^2) - \hat{\sigma}_e^2}{b} = \frac{Q_4 - Q_5}{b} = \frac{3}{4}\hat{\sigma}_A^2 + \hat{\sigma}_D^2$$

c) variância da interação famílias x blocos: $\hat{\sigma}_{FB}^2$

$$\hat{\sigma}_{FB}^2 = \frac{1}{c} \hat{\sigma}_e^2 + \hat{\sigma}_{FB}^2 - \frac{1}{c} \hat{\sigma}_e^2 = Q_3 - Q_5 / c$$

d) variância genética entre famílias: $\hat{\sigma}_F^2$

$$\hat{\sigma}_F^2 = \frac{Q_2 - Q_3}{b} - \frac{\hat{\sigma}_{C/F}^2}{c} = \frac{Q_2 - Q_3}{b} - \frac{Q_4 - Q_5}{b} = \frac{1}{4} \hat{\sigma}_A^2$$

e) variância genética aditiva: $\hat{\sigma}_A^2$

$$\hat{\sigma}_A^2 = 4 \hat{\sigma}_F^2$$

f) variância genética associada à dominância: $\hat{\sigma}_D^2$

$$\hat{\sigma}_D^2 = \hat{\sigma}_{C/F}^2 - 3 \hat{\sigma}_F^2$$

g) coeficientes de herdabilidade no sentido amplo a nível de indivíduos: \hat{h}_{ai}^2

$$\hat{h}_{ai}^2 = \frac{\hat{\sigma}_A^2 + \hat{\sigma}_D^2}{\hat{\sigma}_F^2 + \hat{\sigma}_{C/F}^2 + \hat{\sigma}_{FB}^2 + \hat{\sigma}_{(C/F)xB}^2}$$

h) coeficientes de herdabilidade no sentido restrito a nível de indivíduos: \hat{h}_{ri}^2

$$\hat{h}_{ri}^2 = \frac{\hat{\sigma}_A^2}{\hat{\sigma}_F^2 + \hat{\sigma}_{C/F}^2 + \hat{\sigma}_{FB}^2 + \hat{\sigma}_{(C/F)xB}^2}$$

Para os caracteres associados ao enraizamento, as análises foram realizadas considerando-se as médias de progênies por bloco, conforme a Tabela 3. Os dados em porcentagem referentes aos caracteres estaca funcional, enraizamento, estacas brotadas e estacas mortas, foram transformados em $\text{arc sen } \sqrt{x}$ e as variáveis métricas, altura da maior brotação, número de brotações, número de raízes e peso de matéria seca de raízes, foram transformados em $\sqrt{x+0,5}$, onde x refere-se às observações.

TABELA 3. Esquema de análise de variância para caracteres associados ao enraizamento, para cada procedência.

F.V.	G.L.	Q.M.	E(Q.M.)
Blocos (B)	b-1	Q ₁	-
Famílias (F)	f-1	Q ₂	$\frac{1}{c} \hat{\sigma}_e^2 + \hat{\sigma}_{FB}^2 + \frac{b}{c} \hat{\sigma}_{C/F}^2 + b \hat{\sigma}_F^2$
Famílias x Blocos (F x B)	(f-1)(b-1)	Q ₃	$\frac{1}{c} \hat{\sigma}_e^2 + \hat{\sigma}_{FB}^2$

A partir das análises de variância, foram estimados os coeficientes de herdabilidade no sentido amplo a nível de médias de famílias (h^2_m), através da expressão:

$$(\hat{h}^2_m) = \frac{\frac{\hat{\sigma}_{CF}^2}{c} + \hat{\sigma}_F^2}{\frac{\hat{\sigma}_e^2}{cb} + \frac{\hat{\sigma}_{FB}^2}{b} + \frac{\hat{\sigma}_{C/F}^2}{c} + \hat{\sigma}_F^2} = \frac{Q_2 - Q_3}{\frac{Q_2}{b}} = \frac{Q_2 - Q_3}{Q_2}$$

As estimativas de herdabilidade ao nível de médias de famílias para os caracteres associados ao enraizamento foram calculadas para efeito de comparação com aquelas obtidas para o caráter enraizamento. O erro padrão do coeficiente de herdabilidade foi calculado pela expressão indicada por VELLO e VENCOVSKY (1974).

$$s(\hat{h}_m^2) = \left[\frac{2}{gl_f + 2} + \frac{2}{gl_{fB} + 2} \right]^{\frac{1}{2}} \cdot (1 - \hat{h}_m^2)$$

onde:

$s(\hat{h}_m^2)$ = erro padrão do coeficiente de herdabilidade

gl_f = graus de liberdade referente ao efeito de famílias

gl_{fB} = graus de liberdade referente ao efeito de famílias x blocos

\hat{h}_m^2 = coeficiente de herdabilidade ao nível de médias de famílias, no sentido amplo.

3.2.6. Análise de Covariância e Estimativas de Correlações entre Caracteres

O esquema de análise de covariância e as esperanças matemáticas dos produtos médios são apresentados na Tabela 4 (FALCONER, 1987; VENCOVSKY e BARRIGA, 1992).

Tabela 4. Esquema de análise de covariância e esperança de produtos médios, ao nível de médias de famílias.

F.C.	G.L.	P.M.	E(P.M.)
Blocos (B)	b-1	P ₁	-
Famílias (F)	f-1	P ₂	$\frac{1}{c} \text{CÔV}_e + \text{CÔV}_{fB} + \frac{b}{c} \text{CÔV}_{c/F} + b \text{CÔV}_F$
Famílias x Blocos (F x B)	(b-1)(f-1)	P ₃	$\frac{1}{c} \text{CÔV}_e + \text{CÔV}_{fB}$

As estimativas dos componentes de covariância entre os caracteres x e y foram obtidos pelas expressões:

a) Covariância entre os caracteres x e y a nível do efeito de progênie:

$$\hat{CÔV}_{F(xy)} = \frac{P_2 - P_3}{b}$$

b) Covariância fenotípica entre os caracteres x e y, ao nível de médias de famílias.

$$\hat{CÔV}_{m(x,y)} = \frac{P_2}{b}$$

Os coeficientes de correlações genéticas e fenotípicas entre os caracteres foram obtidos pelas expressões:

a) Coeficiente de correlação genética: r_g

$$r_g = \frac{\hat{CÔV}_{F(x,y)}}{\sigma_{F_x} \cdot \sigma_{F_y}}$$

b) Coeficiente de correlação fenotípica ao nível de médias de famílias: r_m .

$$r_m = \frac{\hat{CÔV}_{m(x,y)}}{\left[\frac{Q_{2x}}{b} \cdot \frac{Q_{2y}}{b} \right]^{1/2}}$$

onde Q_{2x} e Q_{2y} (QM variável x e QM variável y), são obtidos a partir da Tabela 3. O erro padrão do coeficiente de correlação, foi calculado pela expressão: (FALCONER, 1987).

$$s(\text{rg}_{xy}) = \frac{1 - (\text{rg}_{xy})^2}{\sqrt{2}} \cdot \left[\frac{s(\hat{h}_x^2) + s(\hat{h}_y^2)}{\hat{h}_x^2 \cdot \hat{h}_y^2} \right]^{\frac{1}{2}}$$

onde:

$S(\text{rg}_{xy})$ = erro padrão do coeficiente de correlação dos caracteres x e y

rg_{xy} = coeficiente de correlação genética entre x e y

$s(\hat{h}_x^2)$ = erro padrão do coeficiente de herdabilidade do caráter x

$s(\hat{h}_y^2)$ = erro padrão do coeficiente de herdabilidade do caráter y

\hat{h}_x^2 = coeficiente de herdabilidade do caráter x, ao nível de médias de famílias

\hat{h}_y^2 = coeficiente de herdabilidade do caráter y, ao nível de médias de famílias.

Os intervalos de confiança para as médias de enraizamento das procedências, foram calculados pela expressão:

$$l = t \cdot \left[\frac{QM_{FxB}}{b \cdot f} \right]^{\frac{1}{2}} \pm \bar{X}$$

onde:

l = intervalo de confiança

t = valor tabelado de t (distribuição t de Student)

QM_{FxB} = quadrado médio de famílias x blocos

b = blocos = 6

f = progênies: f = 5 (Soledade); f = 8 (Campo Mourão); f = 15 (Toledo)

\bar{X} = média da procedência.

3.2.7. Seleção Combinada de Indivíduos com Maior Enraizamento

A estimação dos valores genéticos (VG) (propagação sexuada) e valores genotípicos (VGp) (propagação assexuada), baseou-se nas seguintes expressões (RESENDE e ARAÚJO, 1993; RESENDE e HIGA, 1994):

$$VG = \hat{h}_f^2 (MF - MG) + \hat{h}_{d_r}^2 (VI - MF)$$

$$VGp = \hat{h}_f^2 (MF - MG) + \hat{h}_{d_a}^2 (VI - MF),$$

onde:

$$\hat{h}_f^2 = \frac{1}{4} \frac{\hat{\sigma}_A^2}{Q_2 / b}$$

herdabilidade no sentido restrito ao nível de médias de famílias (Q_2 é referente à Tabela 2).

$$\hat{h}_{d_r}^2 = \frac{3}{4} \frac{\hat{\sigma}_A^2}{Q_4 / b}$$

herdabilidade no sentido restrito ao nível de médias de indivíduos dentro de progênies (Q_4 é referente à Tabela 2).

$$\hat{h}_{d_a}^2 = \frac{1}{4} \frac{\hat{\sigma}_A^2 + \hat{\sigma}_D^2}{Q_4 / b}$$

herdabilidade no sentido amplo ao nível de médias de indivíduos dentro de progênies (Q_4 é referente à Tabela 2).

VI = valor individual

MF = média da família

MG = média geral da população

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1. MÉDIAS E RESULTADOS GERAIS DO EXPERIMENTO

As médias do caráter enraizamento, com os respectivos erros padrões e intervalos de confiança para cada procedência, encontram-se na Tabela 5.

TABELA 5. Médias do caráter enraizamento (%), erro padrão e intervalos de confiança, em estacas de três procedências de erva-mate (dados não transformados).

PROCEDÊNCIA	MÉDIAS	ERRO PADRÃO	INTERVALOS DE CONFIANÇA*
SOLEDADE	28,67	2,25	22,27 - 35,07
CAMPO MOURÃO	42,50	2,14	36,67 - 48,33
TOLEDO	42,67	1,52	38,64 - 46,70

t = 2,845 - Soledade; t = 2,727 - Campo Mourão; t = 2,652 - Toledo;

* a 99% de probabilidade.

Para o enraizamento de estacas encontraram-se diferenças significativas entre a procedência do município de Soledade do estado do Rio Grande do Sul e as duas procedências do estado do Paraná (Campo Mourão e Toledo), conforme corroborado pelos intervalos de confiança. Estas duas últimas tiveram desempenhos similares (estatisticamente iguais), apresentando cerca de 14% a mais de enraizamento do que a procedência Soledade. A média geral do experimento foi de 38,61% de estacas enraizadas. Estes resultados demonstraram a presença de variabilidade fenotípica entre procedências.

As médias de enraizamento das progênies de cada procedência, encontram-se na

Tabela 6.

TABELA 6. Médias do caráter enraizamento de estacas (%), de progênies de três procedências de erva-mate (dados não transformados).

PROCEDÊNCIAS					
SOLEDADE		CAMPO MOURÃO		TOLEDO	
PROG.	MÉDIA	PROG.	MÉDIA	PROG.	MÉDIA
55	38,25	1	35,00	1	40,00
57	13,51	2	38,33	4	46,67
58	31,29	3	36,67	6	38,33
59	28,43	4	45,00	9	66,67
61	31,87	5	50,00	10	26,67
		6	63,33	11	30,00
		7	46,67	12	28,33
		8	25,00	13	75,00
				14	51,67
				15	50,00
				16	48,33
				17	55,00
				18	30,00
				20	35,00
				22	18,33

A amplitude de enraizamento das progênies obtida no experimento, foi de 13,51% (progênie 57 - Soledade) a 75,00% (progênie 13 - Toledo), confirmando a larga faixa de variação encontrada por GRAÇA et al. (1988) e TAVARES et al. (1992), trabalhando com plantas do mesmo jardim clonal de erva-mate do presente estudo. As médias do enraizamento e caracteres associados por procedência, encontram-se na Tabela 7.

Tabela 7. Médias do enraizamento e caracteres associados, em estacas de três procedências de erva-mate (dados não transformados).

CARACTERES	SOLEDADE	CAMPO MOURÃO	TOLEDO
ESTACA FUNCIONAL (%)	9,66	20,41	20,88
ENRAIZAMENTO (%)	28,66	42,50	42,67
ALTURA DA MAIOR BROTAÇÃO (mm)	16,59	21,44	14,87
NÚMERO DE BROTAÇÕES (unid.)	1,15	1,22	1,08
DIÂMETRO DA ESTACA (mm)	4,93	4,90	3,67
NÚMERO DE RAÍZES (unid.)	9,34	12,95	16,25
FOLHAS RETIDAS (unid.)	1,01	1,34	1,28
PESO DE MATÉRIA SECA DE RAÍZES (mg)	6,94	7,13	9,27
ESTACAS BROTADAS (%)	31,33	47,75	36,88
ESTACAS MORTAS (%)	37,00	25,83	30,00

4.2. ANÁLISE DE VARIÂNCIA

4.2.1. Caráter Enraizamento de Estacas

Verifica-se na Tabela 8, uma expressiva variação genética entre progênies e entre indivíduos dentro de progênies para o enraizamento de estacas na população de erva-mate estudada, conforme indicado pelas significâncias dos quadrados médios para os efeitos de famílias e de clones dentro de famílias.

TABELA 8. Valores e significâncias dos quadrados médios obtidos da análise de variância do caráter enraizamento de estacas (%), em três procedências de erva-mate (dados não transformados).

F.V.	PROCEDÊNCIAS		
	SOLEDADE	CAMPO MOURÃO	TOLEDO
Blocos (B)	0,0325	0,0325	0,0333
Famílias (F)	0,0520*	0,0795**	0,1463**
F x B	0,0152	0,0220	0,0208
Clones/Família (C/F)	0,4429**	0,5333**	0,5053**
(C/F) x B	0,1540	0,1652	0,1728
—	0,2867	0,4250	0,4267
CV _e	43,00	34,90	33,80

* = significativo a 5 % de probabilidade de erro.

** = significativo a 1% de probabilidade de erro.

Para as três procedências, a variação foi significativa ao nível de 1% de probabilidade para clones dentro de famílias e para famílias dentro de procedências (exceto a variação entre famílias da procedência Soledade, significativa a 5%). A presença desta variabilidade genética permite maior flexibilidade das estratégias de melhoramento, na seleção para a característica enraizamento (RESENDE e ARAÚJO, 1993). Resultados semelhantes, foram encontrados por WILCOX e FARMER (1968), YING e BAGLEY (1977), DONALD (1987), ROJAS et al. (1987) e WYLLIAMS et al. (1992), para o enraizamento de estacas em populações de outras espécies florestais.

4.2.2. Caracteres Associados ao Enraizamento de Estacas

Ao ser retirada da planta-mãe e levada ao enraizamento, a estaca desenvolve processos fisiológicos específicos, que em seu conjunto caracterizam a manutenção de seu estado vital, entre eles a emissão e crescimento de raízes, brotações e retenção ou abscisão de folhas originais. O presente estudo quantificou o comportamento destes caracteres a nível de sua variabilidade genética entre famílias.

Os resultados referentes à análise de variâncias são apresentados nas Tabelas 9, 10 e 11, para cada procedência.

a) Procedência Soledade

Verifica-se na Tabela 9 que, ao nível de médias de famílias, os caracteres enraizamento, altura da maior brotação, retenção de folhas e número de raízes e peso de matéria seca de raízes, apresentaram diferenças significativas entre famílias ao nível de 5% de probabilidade, revelando assim, a presença de variabilidade genética.

Os caracteres diâmetro das estacas e estacas mortas, não apresentaram variação significativa.

No caráter emissão de brotações, enquanto a medida de sua intensidade representada pela altura da maior brotação e número de brotações, tiveram variação significativa a nível de 5 e 10% respectivamente, o mesmo não ocorreu com a presença/ausência de brotações (estacas brotadas), que não apresentou variação significativa.

Na procedência Soledade, apenas o caráter "estaca funcional" teve variação significativa ao nível de 1% de probabilidade.

Tabela 9. Valores e significâncias dos quadrados médios obtidos da análise de variância dos caracteres: estaca funcional (%); enraizamento (%); altura da maior brotação (mm); número de brotações (unid.); diâmetro da estaca (mm); número de raízes (unid.); número de folhas na estaca (unid.); peso de matéria seca de raízes (mg); estacas brotadas (%) e estacas mortas (%). Procedência Soledade-RS (dados transformados).

F.V.	G.L.	Q.M.									
		ESTACA FUNCIONAL	ENRAIZA- MENTO	ALTURA DA MAIOR BROTAÇÃO	NÚMERO DE BROTAÇÕES	DIÂMETRO DA ESTACA	NÚMERO DE RAÍZES	NÚMERO DE FOLHAS NA ESTACA	PESO DE MATÉRIA SECA DE RAÍZES	ESTACAS BROTADAS	ESTACAS MORTAS
BLOCOS (B)	5	50,9215	139,1637	0,6081	0,0093	0,5199	0,5088	0,2077	1,0137	81,0036	120,5045
FAMÍLIAS(F)	4	249,1311**	267,1150*	3,6028*	0,0111 ^x	0,4164 ^{ns}	4,7394*	0,2595*	5,8788*	84,0112 ^{ns}	228,5575 ^{ns}
FxB	20	45,4080	70,8691	1,1791	0,0047	0,2629	1,2403	0,0689	1,4510	75,0588	108,5479
\bar{X}	-	9,66	28,66	16,59	1,15	4,93	9,34	1,01	6,94	31,33	37,00
Cv _e	-	38,53	27,15	27,41	5,39	10,38	38,69	24,15	51,39	25,83	28,20

** = significativo a 1%.

* = significativo a 5%.

^x = significativo a 10%.

ns = não significativo.

b) Procedência Campo Mourão

Conforme a Tabela 10, os caracteres “estaca funcional”, enraizamento, altura da maior brotação, número de raízes e retenção de folhas, apresentaram variação significativa a nível de 1% de probabilidade, caracterizando uma ampliação do número de caracteres com forte variabilidade genética e possibilidades de seleção, comparada com a procedência Soledade. A variação do caráter “estacas brotadas” (presença/ausência de brotações) foi significativa ao nível de 5% de probabilidade e o número de brotações, a 10%. À semelhança da procedência Soledade, os caracteres diâmetro e estacas mortas, não apresentaram variação significativa. Nesta procedência, o peso de matéria seca de raízes não apresentou variação significativa.

Tabela 10. Valores e significâncias dos quadrados médios obtidos da análise de variância dos caracteres: estaca funcional (%); enraizamento (%); altura da maior brotação (mm); número de brotações (unid.); diâmetro da estaca (mm); número de raízes (unid.); número de folhas na estaca (unid.); peso de matéria seca de raízes (mg); estacas brotadas (%) e estacas mortas (%). Procedência Campo Mourão-PR (dados transformados).

F.V.	G.L.	Q.M.									
		ESTACA FUNCIONAL	ENRAIZA- MENTO	ALTURA DA MAIOR BROTAÇÃO	NÚMERO DE BROTAÇÕES	DIÂMETRO DA ESTACA	NÚMERO DE RAÍZES	NÚMERO DE FOLHAS NA ESTACA	PESO DE MATÉRIA SECA DE RAÍZES	ESTACAS BROTADAS	ESTACAS MORTAS
BLOCOS (B)	5	75,8099	126,2658	1,1229	0,0040	0,1160	0,8036	0,1158	0,5932	94,6298	142,0950
FAMÍLIAS(F)	7	354,2944**	311,7140**	2,2733**	0,0176 ^x	0,9853 ^{ns}	3,1410**	0,2200**	1,7480 ^{ns}	211,8634*	290,7594 ^{ns}
FxB	35	98,9917	83,9486	0,7102	0,0080	0,2514	0,8913	0,0605	0,9741	69,8628	65,3550
\bar{X}	-	20,41	42,50	21,44	1,22	4,90	12,95	1,34	7,13	43,75	25,83
Cv _e	-	37,88	22,63	18,41	6,89	10,22	26,98	18,33	38,46	20,21	27,35

** = significativo a 1%.

* = significativo a 5%.

^x = significativo a 10%.

ns = não significativo.

c) Procedência Toledo

De acordo com a Tabela 11, à exceção dos caracteres número de brotações e peso de matéria seca de raízes, que não tiveram variação significativa, todos os outros caracteres nesta procedência, tiveram uma variação significativa entre famílias, ao nível de 1% de probabilidade. Assim, o efeito de famílias pode contribuir para o progresso genético da seleção nesta procedência.

Tabela 11. Valores e significâncias dos quadrados médios obtidos da análise de variância dos caracteres: estaca funcional (%); enraizamento (%); altura da maior brotação (mm); número de brotações (unid.); diâmetro da estaca (mm); número de raízes (unid.); número de folhas na estaca (unid.); peso de matéria seca de raízes (mg); estacas brotadas (%) e estacas mortas (%). Procedência Toledo-PR (dados transformados).

F.V.	G.L.	Q.M.									
		ESTACA FUNCIONAL	ENRAIZA- MENTO	ALTURA DA MAIOR BROTAÇÃO	NÚMERO DE BROTAÇÕES	DIÂMETRO DA ESTACA	NÚMERO DE RAÍZES	NÚMERO DE FOLHAS NA ESTACA	PESO DE MATÉRIA SECA DE RAÍZES	ESTACAS BROTADAS	ESTACAS MORTAS
BLOCOS (B)	5	64,6802	125,2243	1,1487	0,0227	0,3311	0,4906	0,0855	0,5373	155,5632	152,5854
FAMÍLIAS(F)	14	579,8873**	566,9213**	3,2522**	0,0066 ^{ns}	0,8735**	7,2137**	0,2956**	4,3414 ^{ns}	512,1693**	329,3222**
FxB	70	61,6046	82,5506	0,9154	0,0084	0,3381	0,8830	0,0813	0,8854	90,8801	87,6827
\bar{X}	-	20,88	42,67	14,87	1,08	3,67	16,25	1,28	9,27	36,88	30,00
Cv _e	-	30,10	22,39	25,52	7,35	12,98	24,17	21,89	32,55	26,25	28,84

** = significativo a 1%.

* = significativo a 5%.

x = significativo a 10%.

ns = não significativo.

Os resultados obtidos nesta população de erva-mate, são similares aos relatados por FOSTER et al. (1984), que encontrou variação genética significativa ao nível de 1% de probabilidade, para as características de número de raízes por estacas por parcela, número de raízes principais e maior comprimento de raiz, associados ao enraizamento de estacas de *Tsuga heterophylla*.

4.3. COEFICIENTES DE HERDABILIDADE E GANHOS GENÉTICOS PARA O CARÁTER ENRAIZAMENTO

Na Tabela 12 são apresentadas as estimativas dos coeficientes de herdabilidade associados ao caráter enraizamento de estacas.

TABELA 12. Estimativas dos coeficientes de herdabilidade (%), a nível de indivíduos (\hat{h}_i^2) e a nível de indivíduos dentro de famílias (\hat{h}_d^2) no sentido amplo e restrito e a nível de médias de famílias (\hat{h}_r^2) no sentido restrito, para o caráter enraizamento de estacas, em três procedências de erva-mate (dados não transformados).

PROCEDÊNCIAS	SENTIDO AMPLO		SENTIDO RESTRITO		
	\hat{h}_{ai}^2	\hat{h}_d^2	\hat{h}_{ri}^2	\hat{h}_d^2	\hat{h}_r^2
SOLEDADE	24,32	62,25	2,58	5,36	15,21
CAMPO MOURÃO	27,51	69,02	5,85	11,64	26,02
TOLEDO	28,64	65,80	24,88	54,77	63,06

Os coeficientes de herdabilidade representam a proporção da variância fenotípica que é de natureza genética, indicando assim, o grau de controle genético dos caracteres. (VENCOVSKY, 1969; FALCONER, 1987). Os coeficientes de herdabilidade a nível de indivíduo, tanto no sentido amplo quanto no sentido restrito apresentaram baixas magnitudes para todas as procedências. Assim, o caráter enraizamento de estacas em erva-mate, no sentido restrito a nível de indivíduo, pode ser considerado como de baixa herdabilidade. Isto significa que

os efeitos ambientais são preponderantes na manifestação deste caráter e portanto, a melhoria da metodologia de enraizamento poderá resultar de fato em maiores taxas deste caráter.

Do ponto de vista da seleção, o coeficiente de herdabilidade, (h^2) pode ser definido como a fração do diferencial de seleção (ds) que é retido na descendência. A herdabilidade no sentido amplo corresponde à fração retida após propagação assexuada do material selecionado e a herdabilidade no sentido restrito à fração retida após propagação sexuada (VENCOVSKY, 1969; FONSECA, 1979; ZOBEL e TALBERT, 1984). Desta forma, a estratégia de propagação assexuada conduzirá a maiores ganhos genéticos ($G = ds \times h^2$), visto que os valores da herdabilidade no sentido amplo foram superiores aos da herdabilidade no sentido restrito (Tabela 12).

Em termos práticos, a seleção pode ser realizada das seguintes formas (FALCONER, 1987; RESENDE, 1991): a nível individual, entre progênies, dentro de procedências e de forma combinada. Para estes métodos a herdabilidade adequada a cada caso é: h_i^2 para a seleção individual, h_d^2 para a seleção dentro de progênies e h_f^2 para a seleção entre progênies. Por outro lado, a seleção combinada explora simultaneamente as herdabilidades entre famílias e dentro de famílias. Verifica-se então que o método mais adequado de seleção, na presente situação, é a seleção combinada, pois as herdabilidades ao nível de médias de famílias e médias de indivíduos dentro de família foram superiores às herdabilidades a nível de indivíduo (Tabela 12).

Optando-se pela seleção combinada, duas estratégias de melhoramento podem ser comparadas: propagação vegetativa e sexuada. Trabalhando-se com a procedência Toledo, os resultados da seleção dos 10 melhores indivíduos encontram-se na Tabela 13.

Tabela 13. Seleção dos 10 melhores indivíduos da procedência Toledo, pelo método da seleção combinada, através de duas estratégias de propagação do material selecionado: vegetativa e sexuada. Caráter enraizamento de estacas.

PROGÊNIE	INDIVÍDUO	VALOR GENÉTICO(%) (SEXUADA)	VALOR GENOTÍPICO(%) (VEGETATIVA)
13	1	76,74	79,50
13	2	76,74	79,50
13	7	76,74	79,50
9	7	76,05	79,73
9	9	76,05	79,73
14	1	68,82	72,28
14	10	68,82	72,28
15	2	-	69,00
15	7	-	69,00
15	9	-	69,00
9	3	66,74	-
9	4	66,74	-
9	6	66,74	-
GANHO GENÉTICO (MÉDIA DA POPULAÇÃO MELHORADA) (%)		71,98	74,95

Constata-se pela Tabela 13 que a seleção dos 10 melhores indivíduos para propagação sexuada e vegetativa conduz a um considerável ganho no caráter, elevando a média do enraizamento de 42,67% para 71,98% e 74,95%, respectivamente. Pelos dados obtidos, não houve diferença apreciável entre a propagação vegetativa e a sexuada.

A estratégia da seleção combinada foi muito eficiente em produzir ganho genético, pelo fato desta seleção ter-se baseado nos níveis de médias de progênies e médias de indivíduos dentro de progênies. Constata-se também que o valor genético das famílias foi preponderante na definição dos 10 melhores indivíduos, pois estes adviram apenas das 4 melhores famílias, dentre as 15 avaliadas.

4.4. CORRELAÇÕES GENÉTICAS ENTRE PARES DE CARACTERES

Os coeficientes de correlação genética aditiva e fenotípica envolvendo todas as combinações de caracteres são apresentados nas Tabelas 14, 15 e 16, para as procedências Soledade-RS, Campo Mourão-PR e Toledo-PR, respectivamente.

Tabela 14. Estimativas das correlações genéticas (G) e fenotípicas (F) para o caráter enraizamento e caracteres associados ao enraizamento de estacas em progênies de erva-mate da procedência Soledade-RS (dados transformados).

F \ G	EF	ER	HB	NB	DE	NR	NF	PS	EB	EM
EF	-	0,70	0,06	0,05	-0,46	0,99	-0,05	0,94	0,51	0,00
ER	0,83	-	-0,47	-0,56	-0,10	0,75	-0,58	0,51	-0,15	-0,64
HB	0,18	-0,74	-	0,78	0,02	0,08	-0,55	0,39	0,84	0,45
NB	0,15	-0,83	1,00	-	0,54	-0,02	-0,93	0,24	0,64	0,83
DE	-0,75	-0,45	-0,20	-1,00	-	-0,34	0,69	-0,34	-0,16	-0,63
NR	1,00	0,83	0,05	-0,00	-0,95	-	0,07	0,95	0,51	-0,12
NF	-0,12	0,70	-0,82	-1,00	1,00	0,10	-	-0,16	-0,51	-0,97
PS	1,00	0,53	0,54	0,46	-0,74	0,96	-0,20	-	0,76	-0,09
EB	1,00	-0,88	-	1,00	-1,00	1,00	-1,00	1,00	-	0,47
EM	0,03	-0,87	0,92	1,00	-1,00	-0,20	-1,00	0,14	-	-

onde: EF = estaca funcional; ER = enraizamento; HB = altura da maior brotação; NB = número de brotações; DE = diâmetro da estaca; NR = número de raízes; NF = número de folhas retidas; PS = peso de matéria seca de raízes; EB = estacas brotadas; EM = estacas mortas.

Tabela 15. Estimativas das correlações genéticas (G) e fenotípicas (F) para o caráter enraizamento e caracteres associados ao enraizamento de estacas em progênies de erva-mate da procedência Campo Mourão-PR (dados transformados).

G \ F	EF	ER	HB	NB	DE	NR	NF	PS	EB	EM
EF	-	0,86	0,42	0,62	0,47	0,61	0,35	0,56	0,45	-0,36
ER	1,00	-	0,44	0,64	0,64	0,73	0,46	0,73	0,62	-0,39
HB	0,67	0,67	-	0,83	0,54	0,07	-0,08	0,16	0,45	0,07
NB	1,00	0,90	1,30	-	0,39	0,36	0,44	0,41	0,50	-0,42
DE	0,65	0,82	0,69	0,54	-	0,39	-0,21	0,31	0,11	0,24
NR	0,58	0,97	0,16	0,62	0,50	-	0,40	0,97	0,21	-0,15
NF	0,38	0,42	-0,08	0,73	-0,29	0,50	-	0,42	0,38	-0,91
PS	0,54	1,00	0,47	0,85	0,49	1,00	0,66	-	0,38	-0,15
EB	0,59	0,68	0,65	0,70	0,02	0,24	0,37	0,66	-	-0,45
EM	-0,41	-0,32	0,07	-0,63	0,38	-0,18	-0,92	-0,21	-0,43	-

onde: EF = estaca funcional; ER = enraizamento; HB = altura da maior brotação; NB = número de brotações; DE = diâmetro da estaca; NR = número de raízes; NF = número de folhas retidas; PS = peso de matéria seca de raízes; EB = estacas brotadas; EM = estacas mortas.

Tabela 16. Estimativas das correlações genéticas (G) e fenotípicas (F) para o caráter enraizamento e caracteres associados ao enraizamento de estacas em progênies de erva-mate da procedência Toledo-PR (dados transformados).

G \ F	EF	ER	HB	NB	DE	NR	NF	PS	EB	EM
EF	-	0,91	0,29	0,30	-0,10	0,93	0,69	0,96	0,51	-0,76
ER	0,96	-	0,21	0,17	-0,11	0,85	0,71	0,91	0,40	-0,78
HB	0,38	0,30	-	0,81	0,72	0,32	0,03	0,21	0,49	-0,04
NB	0,00	0,00	0,00	-	0,64	0,34	0,13	0,26	0,62	-0,01
DE	-0,19	-0,12	1,00	0,00	-	-0,11	-0,24	-0,18	0,29	0,31
NR	0,98	0,95	0,39	0,00	-0,13	-	0,52	0,97	0,38	-0,58
NF	0,77	0,74	0,02	0,00	-0,28	0,64	-	0,64	0,42	-0,96
PS	1,00	1,00	0,27	0,00	-0,21	0,99	0,81	-	0,39	-0,71
EB	0,55	0,42	0,62	0,00	0,39	0,44	0,40	0,47	-	-0,41
EM	-0,84	-0,83	0,10	0,00	0,37	-0,69	-0,97	-0,88	-0,38	-

onde: EF = estaca funcional; ER = enraizamento; HB = altura da maior brotação; NB = número de brotações; DE = diâmetro da estaca; NR = número de raízes; NF = número de folhas retidas; PS = peso de matéria seca de raízes; EB = estacas brotadas; EM = estacas mortas.

As estimativas dos coeficientes de correlação não foram coincidentes para as três procedências, possivelmente em função das diferentes propriedades genéticas das populações e dos diferentes erros de estimação associados a cada procedência.

Desta forma, as inferências práticas no presente estudo, serão baseadas nas estimativas obtidas para a procedência Toledo-PR, visto que a mesma teve o triplo do número de progênies da procedência Soledade-RS e praticamente o dobro do número de progênies da procedência Campo Mourão-PR.

Para efeito de discussão, as correlações genéticas deste trabalho podem ser analisadas em dois grupos principais: a) enraizamento e caracteres de associação direta com o enraizamento (estaca funcional, número de raízes e peso de matéria seca de raízes); b) caracteres em associação com o enraizamento através de processos fisiológicos da estaca (estacas brotadas, altura da maior brotação, número de brotações e folhas retidas na estaca).

Para os caracteres de associação direta, os coeficientes de correlação foram extraídos da Tabela 16 (procedência Toledo), e apresentados na Tabela 17.

Tabela 17. Estimativas das correlações genéticas aditivas entre os caracteres: estaca funcional (EF); enraizamento (ER); número de raízes (NR) e peso de matéria seca de raízes (PS), ao nível de médias de famílias, na procedência Toledo-PR (dados transformados).

CARACTERES	TOLEDO
EF/ER	0,96 ± 0,02*
EF/NR	0,98 ± 0,01
EF/PS	1,00 ± 0,00
ER/NR	0,95 ± 0,02
ER/PS	1,00 ± 0,00

* erro padrão do coeficiente de correlação.

Pelos dados da Tabela 17, verifica-se que todos os quatro caracteres são altamente correlacionados. Estes resultados indicam que, para a população estudada, na seleção do caráter enraizamento pode-se esperar respostas positivas nos caracteres que determinam a intensidade do processo (número de raízes e peso de matéria seca de raízes) e

no número de estacas aptas para o plantio (estaca funcional). A recíproca também é verdadeira. Estes resultados indicam que a seleção para o enraizamento pode ser efetuada eficientemente, com base em qualquer um destes caracteres, devendo ser preferido aquele de maior herdabilidade. Neste sentido verifica-se que esses caracteres apresentaram coeficientes de herdabilidade bastante similares (Tabela 19), mas como o caráter estaca funcional reflete melhor o enraizamento efetivo da espécie, sugere-se tomá-lo como critério preferencial de seleção. Deve-se ressaltar, no entanto, que em um programa de melhoramento genético da espécie ou desta população, o enraizamento de estacas não seria o objetivo prioritário, mas sim a produção de biomassa foliar (folhas e galhos finos). Neste contexto, torna-se relevante conhecer a magnitude da correlação entre produção de biomassa foliar e o caráter enraizamento de estacas. Empregando-se os resultados apresentados por STURION e RESENDE (1994) referentes ao trabalho de melhoramento genético em andamento, com o mesmo material genético de erva-mate do presente estudo, foi calculado o coeficiente de correlação de Pearson entre estes dois caracteres, encontrando-se o valor -0,20, o qual não é significativo pelo teste t. Adicionalmente calculou-se o coeficiente de correlação de Spearman, entre as ordens de progênies para os dois caracteres, encontrando-se o valor 0,05. Assim, na erva-mate, não existe correlação entre produção de biomassa foliar e enraizamento de estacas. Isto significa que a seleção para um caráter não afeta o outro. Desta forma, recomenda-se inicialmente a seleção para a produção de biomassa foliar e posteriormente a seleção para enraizamento dentre as famílias e indivíduos selecionados para o primeiro caráter.

Para os caracteres associados ao enraizamento através de processos fisiológicos (brotações e retenção de folhas), as correlações genéticas aditivas foram extraídas da Tabela 16 e apresentadas na Tabela 18.

Os resultados obtidos, indicaram que na procedência Toledo-PR, o número de folhas retidas nas estacas apresentou uma alta correlação genética com o enraizamento, sua intensidade de ocorrência (número de raízes e peso de matéria seca de raízes) e com "estaca funcional", indicando uma vinculação entre os dois processos fisiológicos em erva-mate.

Tabela 18. Estimativas das correlações genéticas aditivas entre os caracteres: enraizamento (ER); número de folhas retidas nas estacas (NF); estaca funcional (EF); número de raízes (NR); estacas brotadas (EB) e peso de matéria seca de raízes (PS), ao nível de médias de famílias, na procedência Toledo-PR (dados transformados)

CARACTERES	TOLEDO
NF/ER	0,74 ± 0,17*
NF/EF	0,77 ± 0,14
NF/NR	0,64 ± 0,21
NF/PS	0,81 ± 0,14
EB/ER	0,42 ± 0,25
EB/EF	0,55 ± 0,19
EB/NR	0,44 ± 0,23
EB/PS	0,47 ± 0,26

* erro padrão do coeficiente de correlação.

Neste sentido, TAVARES et al. (1992), verificaram que a presença de folhas nas estacas, foi fator determinante para o enraizamento de estacas de erva-mate, mas que a área foliar total não provocou diferenças significativas no seu enraizamento. Assim, a característica destacada neste experimento, foi a capacidade da estaca reter as folhas durante o enraizamento, ligado portanto ao processo de abscisão das folhas deixadas em cada estaca, o que efetivamente independe do número inicial de folhas. A emissão de brotações (estacas brotadas), apresentou uma correlação genética de média magnitude com o enraizamento na procedência Toledo-PR. Quanto à intensidade de brotações representada pelo seu número (NB), e altura da maior brotação (HB), os dados das Tabelas 14, 15 e 16 não são suficientes para se identificar as tendências de comportamento de suas correlações genéticas com o enraizamento. Para o diâmetro das estacas, o presente estudo desconsiderou seus parâmetros genéticos, uma vez que seu valor quantitativo foi imposto pela seleção das estacas que integraram o experimento, no sentido de sua menor amplitude de variação.

As correlações genéticas encontradas neste trabalho, são similares às obtidas por WILCOX e FARMER (1968), que relataram coeficientes de correlações genéticas e fenotípicas de 0,94 a 1,00 (significativo ao nível de 0,05%) entre número, comprimento e peso de matéria

seca de raízes, no enraizamento de estacas de *Populus deltoides*. Também FOSTER et al. (1984), encontraram correlações genéticas altas e positivas (ao nível de 1% de probabilidade), entre os caracteres número de raízes por estaca, número de raízes principais, maior comprimento de raízes e somatório do comprimento das raízes principais, no enraizamento de estacas de *Tsuga heterophylla*.

4.5. COEFICIENTES DE HERDABILIDADE REFERENTES AOS CARACTERES ASSOCIADOS AO ENRAIZAMENTO

Na Tabela 19, para efeito comparativo, são apresentados os coeficientes de herdabilidade, ao nível de médias de famílias, referentes aos caracteres associados ao enraizamento de estacas. De maneira geral, os coeficientes apresentaram altas magnitudes e verifica-se para a procedência Toledo, que os caracteres de mais alta correlação com o enraizamento (estaca funcional, número de raízes, peso de matéria seca de raízes e número de folhas retidas nas estacas (Tabelas 17 e 18) apresentaram altas herdabilidades confirmando a possibilidade de uso de qualquer um deles, inclusive o enraizamento, como critério de seleção.

Tabela 19. Coeficientes de herdabilidade no sentido amplo a nível de médias de famílias, do caráter enraizamento e caracteres associados, em três procedências de erva-mate (dados transformados).

CARACTERES	SOLEDADE	CAMPO MOURÃO	TOLEDO
ESTACA FUNCIONAL	0,81 ± 0,12**	0,72 ± 0,15	0,89 ± 0,04
ENRAIZAMENTO	0,73 ± 0,17	0,73 ± 0,14	0,85 ± 0,06
ALTURA DA MAIOR BROTAÇÃO	0,67 ± 0,21	0,68 ± 0,17	0,71 ± 0,11
NÚMERO DE BROTAÇÕES	0,57 ± 0,28	0,54 ± 0,24	-
DIÂMETRO DA ESTACA	0,36 ± 0,42	0,74 ± 0,14	0,61 ± 0,15
NÚMERO DE RAÍZES	0,73 ± 0,17	0,71 ± 0,15	0,87 ± 0,05
FOLHAS RETIDAS	0,73 ± 0,17	0,72 ± 0,15	0,72 ± 0,11
PESO DE MATÉRIA SECA DE RAÍZES	0,75 ± 0,16	0,44 ± 0,29	0,79 ± 0,08
ESTACAS BROTADAS	0,10 ± 0,59	0,67 ± 0,17	0,82 ± 0,07
ESTACAS MORTAS	0,52 ± 0,31	0,77 ± 0,12	0,73 ± 0,10
ENRAIZAMENTO*	0,70 ± 0,19	0,72 ± 0,15	0,85 ± 0,06

* = dados não transformados.

** = erro padrão do coeficiente de herdabilidade.

No aspecto geral dos parâmetros genéticos obtidos por este estudo, em que foram

utilizados propágulos vegetativos para sua quantificação, a possibilidade de sua influência na super-estimação dos parâmetros genéticos (efeito "C"), foi minimizada pelo uso de ramos da mesma idade, estacas do mesmo tamanho e distribuição uniforme pela área do experimento na casa de vegetação (WILCOX e FARMER (1968); FOSTER et al. (1984); FARMER et al. (1988).

4.6. AVALIAÇÃO DO NÚMERO DE ESTACAS APTAS PARA O PLANTIO

Para a formação de uma muda de erva-mate em condições de plantio no campo, através do enraizamento de estacas, são necessários cerca de seis meses, sendo dois meses para a indução do enraizamento e quatro meses após o transplantio em saquinhos plásticos para o crescimento e adaptação. Esta é a principal vantagem comparativa deste processo, em contraponto à formação de mudas por sementes, que demanda 20 meses (GRAÇA et al. (1988), ZANON (1988), STURION (1989) e TAVARES et al. (1992). Neste contexto, o índice médio de estacas enraizadas que a espécie alcança com a metodologia de enraizamento testada é um dos principais condicionantes da viabilidade da propagação vegetativa como método de formação de mudas, em escala comercial. Neste experimento, foi obtido um índice médio de 38,61% de estacas enraizadas, semelhante ao encontrado por GRAÇA et al. (1988) e TAVARES et al. (1992) em repetidos testes com plantas do mesmo jardim clonal e a mesma metodologia de enraizamento. Dentro das procedências, o índice médio ficou em 28,66% para Soledade, 42,50% para Campo Mourão e 42,67% para a procedência Toledo. No presente experimento foi introduzida uma variável denominada estaca funcional, de quantificação valorativa, que expressa um julgamento de possibilidade de sobrevivência da estaca, ao ser transplantada para o saquinho plástico e formar uma muda em condições de plantio. A viabilidade da estaca para o plantio foi determinada com base no número e comprimento de suas raízes, prática esta de uso corrente no manejo de produção de mudas de erva-mate por estaquia. RADOSTA et al. (1994) para classificar o nível de enraizamento de estacas de híbridos de *Larix* sp., usou as seguintes notas: 0 = enraizamento de má qualidade; 1 = enraizamento de boa qualidade. O contraste da porcentagem de enraizamento com a porcentagem de estacas funcionais é apresentado na

Tabela 20.

TABELA 20. Médias referentes ao enraizamento (%) e estaca funcional (%) em três procedências de erva-mate (dados não transformados).

ÍNDICES	PROCEDÊNCIAS	SOLEDADE	CAMPO MOURÃO	TOLEDO	MÉDIA DO EXPERIMENTO
Enraizamento		28,66	42,50	42,67	38,61
Estaca Funcional		9,66	20,41	20,88	16,98

Pelos dados da Tabela 20 verifica-se que as estacas enraizadas, sob o ponto de vista operacional, foram reduzidas a cerca de um terço na procedência Soledade e à metade nas duas outras procedências e no total do experimento. Não foi possível testar o índice de sobrevivência das estacas, face à metodologia destrutiva das raízes utilizada no experimento. Entretanto, a Tabela 21 mostra a relação de estacas “funcionais” e “não funcionais” quanto ao número e peso de matéria seca de suas raízes. Os resultados permitem aferir que nestes termos, as probabilidades de sobrevivência a campo, das estacas classificadas como não funcionais, são muito pequenas.

TABELA 21. Médias do número de raízes e peso de matéria seca de raízes (mg) de estacas classificadas como “funcionais” e “não funcionais” em três procedências de erva-mate (dados não transformados).

	ESTACA FUNCIONAL	ESTACA NÃO FUNCIONAL	MÉDIA DO EXPERIMENTO
Número de raízes	24,6	4,6	12,8
Peso de matéria seca de raízes (mg)	17,8	1,6	7,8

Os resultados apresentados na Tabela 20, revelam que o índice médio de enraizamento útil de estacas em erva-mate foi de 16,98% e não 38,61%. Assim, os trabalhos de melhoramento visando a seleção de genótipos mais promissores para o enraizamento tomam-se essenciais em programas de estabelecimento de plantios clonais com a espécie.

Além disso, pode-se atuar na metodologia de enraizamento testada, para melhorar o

seu desempenho, principalmente quanto à mortalidade das estacas, uma vez que há uma lógica relação inversa do índice de mortalidade com as progênes de melhor desempenho de enraizamento, e estacas funcionais, conforme o contraste mostrado pela Tabela 22.

TABELA 22. Médias do enraizamento (%), estaca funcional (%) e estacas mortas (%) em famílias de três procedências de erva-mate (dados não transformados).

PROCEDÊNCIAS	PROGÊNIES	ESTACA FUNCIONAL	ENRAIZAMENTO	MORTALIDADE
SOLEDADE	55	15,00	38,25	38,33
	57	0,00	13,51	50,00
	58	16,66	31,25	36,66
	59	13,33	28,43	43,33
	61	3,33	31,87	21,66
CAMPO MOURÃO	1	11,66	35,00	40,00
	2	25,00	38,33	36,66
	3	25,00	36,67	25,00
	4	18,33	45,00	20,00
	5	21,66	50,00	35,00
	6	41,66	63,33	13,33
	7	23,33	46,67	15,00
	8	5,00	25,00	21,66
TOLEDO	1	13,33	40,00	23,33
	4	30,00	46,67	38,33
	6	16,66	38,33	28,33
	9	48,33	66,67	8,33
	10	8,33	26,67	45,00
	11	13,33	30,00	35,00
	12	6,66	28,33	51,66
	13	51,66	75,00	15,00
	14	25,00	51,67	26,66
	15	16,66	50,00	28,33
	16	21,66	48,33	23,33
	17	23,33	55,00	25,00
	18	11,66	30,00	35,00
	20	20,00	35,00	35,00
22	6,66	18,33	33,33	

Uma das causas da mortalidade de estacas de erva-mate, é o ataque de fungos, os quais a metodologia de enraizamento testada não consegue controlar em níveis adequados TAVARES et. al. (1992). ALBINO GRIGOLETTI (Comunicação pessoal, 1994), isolou e comprovou a reinfecção dos patógenos *Colletotrichum* e *Fusarium*, em estacas de erva-mate durante o enraizamento. Deste modo, estudos no sentido de se aprimorar o controle destes patógenos, poderão melhorar o desempenho do enraizamento de estacas da espécie.

5. CONCLUSÕES

- Constatou-se a existência de variabilidade genética para o caráter enraizamento de estacas de erva-mate, nos níveis entre progênies e entre indivíduos dentro de progênies e variabilidade fenotípica entre procedências.
- Verificou-se uma taxa média de enraizamento, de 38,61%, porém, em termos de estacas aptas para o plantio, esta média caiu para 16,98%.
- As herdabilidades para o caráter enraizamento de estacas, tanto no sentido amplo quanto restrito a nível de indivíduo, apresentaram baixas magnitudes (inferiores a 30%). Entretanto as herdabilidades a nível de médias de família e médias de indivíduo dentro de famílias apresentaram altas magnitudes. Estes resultados indicaram que o enraizamento de estacas pode ser melhorado tanto geneticamente através de seleção, quanto ambientalmente através da melhoria do método de enraizamento.
- No método de enraizamento testado, o índice de mortalidade das estacas afigura-se como a variável mais passível de melhoramento ambiental.
- Os caracteres estaca funcional, número de raízes, peso de matéria seca de raízes, número de folhas retidas nas estacas, altura da maior brotação, número de brotações e número de estacas brotadas, apresentaram variabilidade genética entre famílias e altos coeficientes de herdabilidade a nível de médias de famílias.
- Os caracteres número de raízes, peso de matéria seca de raízes, estacas funcionais e número de folhas retidas na estaca apresentaram altas correlações genéticas com o caráter enraizamento, indicando que a seleção em qualquer deles conduz ao melhoramento genético

em todos.

- Dentre os caracteres avaliados recomenda-se a utilização da variável estaca funcional como critério preferencial de seleção, em função de sua alta correlação com o caráter enraizamento e seus componentes (peso de matéria seca de raízes e número de raízes) e de sua alta herdabilidade.
- Estratégias sexuada e assexuada de melhoramento no caráter enraizamento, baseadas na seleção dos 10 melhores indivíduos, conduzirão a ganhos genéticos de 68,68% e 75,65%, respectivamente.
- A seleção clonal dos 10 melhores indivíduos para enraizamento, elevará a média de enraizamento de 42,67% para 74,95% na procedência Toledo-PR.
- Na estratégia de melhoramento genético da erva-mate, recomenda-se a seleção para a biomassa foliar em uma primeira etapa e a seguir, dentro dos indivíduos selecionados e com base na variável estaca funcional, a seleção para capacidade de enraizamento.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ANUÁRIO ESTATÍSTICO DO BRASIL. Rio de Janeiro: IBGE, v.51, 1991. p.505 e 522.
- BORRALHO,N.M.G.; WILSON, Ph.J. Inheritance of initial survival and rooting ability in *Eucalyptus globulus* Labill. stem cuttings. Silvae Genetica, Frankfurt, v.43, n.4, p.238-242, 1994.
- BRASIL. Ministério da Agricultura. Departamento Nacional de Pesquisa Agropecuária. Levantamento de reconhecimento dos solos do Estado do Rio Grande do Sul. Recife, 1973. 431p. (DNPA. Boletim Técnico, 30),
- BURDON,R.D.; SHELBOURNE,C.J.A. The use of vegetative propagules for obtaining genetic information. New Zealand Journal of Forestry Science, Rotorua, v.4, n.2, p.418-425, 1974.
- CARVALHO,P.E.R. Espécies florestais brasileiras: recomendações silviculturais, potencialidades e uso da madeira. Colombo: EMBRAPA-CNPQ, 1994. 640p.
- CURCIO,G.R. Levantamento semi-detalhado do CNPF/EMBRAPA. Escala 1:8.000 (no prelo).
- DONALD,D.G.M. Vegetative propagation of pines, using cuttings. South African Forestry Journal, Pretoria, n.140, p.16-23, 1987.
- EMBRAPA. Serviço Nacional de Levantamento e Conservação de Solos (Rio de Janeiro-RJ) . Levantamento de reconhecimento dos solos do Estado do Paraná. Londrina, 1984. v.1. (EMBRAPA-SNLCS. Boletim Técnico, 57).
- FALCONER,D.S. Introdução à genética quantitativa. Viçosa: Universidade Federal de Viçosa, 1987. 279p.
- FARMER JR.,R.E.; FREITAG,M.; GARLICK,K. Genetic variance and "C" effects in balsam poplar rooting. Silvae Genetica, Frankfurt, v.38, n.2, p.62-65, 1989.
- FARMER JR.,R.E.; GARLICK,K.; WATSON,S.R. Heritability and "C" effects in a 3-year-old balsam poplar clonal test. Canadian Journal of Forest Research, Ottawa, v.18, n.8, p.1059-1062, 1988.
- FARMER JR.,R.E.; DURST,J.T.; SHAOTANG,D.; JUN-TAO,Y. Effects of clones, primary ramets, and age of stock plants on Tamarack rooting. Silvae Genetica, Frankfurt, v.41, n.1, p.22-24, 1992.
- FONSECA,S.M. Estimativa e interpretação dos componentes da variação total em experimentos de melhoramento florestal. In: CURSO DE PRÁTICAS EXPERIMENTAIS EM SILVICULTURA (1979: Piracicaba). Piracicaba: IPEF, 1979.
- FOSTER,G.S.; CAMPBELL,R.K.; ADAMS,W.T. Heritability, gain, and C effects in rooting of western hem lock cuttings. Canadian Journal of Forest Research, Ottawa, v.14, n.5, p.628-638, 1984.
- FOSTER,G.S. Genetic control of rooting ability of stem cuttings from loblolly pine. Canadian

- Journal of Forest Research, Ottawa, v.20, n.9, p.1361-1368, 1990.
- GRAÇA, M.E.C.; COOPER, M.A.; TAVARES, F.R. Estaquia da erva-mate. Curitiba: EMBRAPA-CNPQ, 1988. 6p. (EMBRAPA-CNPQ. Circular Técnica, 18).
- HARTMANN, H.T.; KESTER, D.E. Propagacion de plantas - principios y practicas. 5.ed. México: Compañía Editorial Continental, 1985. 814p.
- HIGA, R.C.V. Propagação vegetativa da erva-mate (*Ilex paraguariensis* St. Hill.) por estaquia. In: SEMINÁRIO SOBRE ATUALIDADES E PERSPECTIVAS FLORESTAIS: Silvicultura da erva-mate (*Ilex paraguariensis* St. Hill.) (10: 1983: Curitiba). Anais ... Curitiba: EMBRAPA-CNPQ, 1985. p.119-123 (EMBRAPA-CNPQ. Documentos, 15).
- IRITANI, C. Ação de reguladores de crescimento na propagação vegetativa por estaquia de *Ilex paraguariensis* Saint Hilaire e *Araucaria angustifolia* (Bert.) O.Ktze. Curitiba, 1981. Dissertação (Mestrado em Silvicultura) - Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná.
- JOHNSON, L.P.V. A note on inheritance in F₁ and F₂ hybrids of *Populus alba* L. x *P. grandidentata* Michx. Canadian Journal of Research. Section C, Ottawa, v.24, n.6, p.313-317, 1946.
- KAGEYAMA, P.Y. Varição genética em progênies de uma população de *Eucalyptus grandis* (Hill.) Maiden. Piracicaba, 1980. Tese. (Doutorado em Genética e Melhoramento de Plantas) - Departamento de Genética, Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz da Universidade de São Paulo".
- LEPREVOST, A. Química e tecnologia da erva-mate (*Ilex paraguariensis* St. Hill.). Curitiba: Instituto Tecnológico do Paraná, 1987. (TECPAR. Boletim Técnico, 53).
- LIBBY, W.J. The use of vegetative propagules in forest genetics and tree improvement. New Zealand Journal of Forestry Science, Rotorua, v.4, n.2, p.440-447, 1974.
- LIBBY, W.J. A summary statement on the 1973 vegetative propagation meeting in Rotorua, New Zealand. New Zealand Journal of Forestry Science, Rotorua, v.4, n.2, p.454-458, 1974a.
- MELLO, V.D.C. Morfologia e germinação da semente de erva-mate (*Ilex paraguariensis* St. Hill.). Pelotas, 1980. Dissertação (Mestrado em Tecnologia de Sementes) - Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal de Pelotas.
- MYERS, J.F.; HOWE, G.E. Vegetative propagation of Rocky Mountain Douglas-fir by stem cuttings. Tree Planter's Note, Washington, v.41, n.3, p.3-6, 1990.
- OLIVEIRA, Y.M.M. de; ROTTA, E. Área de distribuição natural de erva-mate. In: SEMINÁRIO SOBRE ATUALIDADES E PERSPECTIVAS FLORESTAIS: Silvicultura da erva-mate (*Ilex paraguariensis* St. Hill.) (10.: 1983: Curitiba) Anais ... Curitiba: EMBRAPA-CNPQ, 1985. p.17-35. (EMBRAPA-CNPQ. Documentos, 15).
- RADOSTA, P.; PAQUES, L.E.; VERGER, M. Estimation of genetic and non-genetic parameters for rooting traits in hybrid larch. Silvae Genetica, Frankfurt, v.43, n.2/3, p.108-114, 1994.
- REDIG, A.P.L. A importância econômica atual da erva-mate. In: SEMINÁRIO SOBRE ATUALIDADES FLORESTAIS: Silvicultura da erva-mate (*Ilex paraguariensis* St. Hill.) (10.:1983: Curitiba). Anais ... Curitiba: EMBRAPA-CNPQ, 1985. p.4-7. (EMBRAPA-CNPQ. Documentos, 15).
- RESENDE, M.D.V. de. Correções nas expressões do progresso genético com seleção em função da amostragem finita dentro de famílias e populações e implicações no melhoramento florestal. Boletim de Pesquisa Florestal, Colombo, n.22/23, p.61-67, jan./dez. 1991.

- RESENDE, M.D.V. de; ARAUJO, A.J. de. Modelo genético-estatístico para estimação de componentes da variação genética e parâmetros genéticos em testes de progênies com indivíduos repetidos clonalmente. Floresta, v.3, p.1-8, 1993.
- RESENDE, M.D.V. de; HIGA, A.R.; HELLER, J.B. Análise quantitativa da resistência genética ao serrador (*Oncideres impluviata*) em acácia-negra (*Acacia mearnsii* De Wild). Revista Brasileira de Genética, Ribeirão Preto, v.16, n.3, p. 369, 1993a. Suplemento.
- RESENDE, M.D.V. de; STURION, J.A.; CARPANEZZI, A.A.; MENDES, S. Genética e melhoramento da erva-mate para a produção de massa verde na região de Curitiba. Sistema EMBRAPA de Pesquisa - Projeto de Pesquisa, EMBRAPA/CNPF, Colombo, 1993b.
- RESENDE, M.D.V. de; HIGA, A.R. Estimação de valores genéticos no melhoramento do eucalipto. I, Seleção em um caráter com base em informações dos indivíduos e seus parentes. Boletim de Pesquisa Florestal, v.28/29, p.11-36, 1994.
- RESENDE, M.D.V. de; OLIVEIRA, E.B. de; MELINSKI, L.C.; GOULART, F.S.; Oaida, G.R. SELEGEN-Seleção genética computadorizada - Best Prediction; manual do usuário. Colombo: EMBRAPA-CNPF, 1994. 31p.
- RIBAS, L.L.F.; ZANETTE, F. Enraizamento "in vitro" de brotações de macieira (*Malus domestica* Borkh) CV GALA CLONE F2. Revista do Setor de Ciências Agrárias, Curitiba, v.11, n.1/2, p.107-113, 1991.
- ROJAS, P.V.; ARCE, P.J.; ARRIGADA, M.B. Propagación vegetativa por estacas en *Eucalyptus camaldulensis* Dehn. Ciencia e Investigation Forestal, Santiago, v.1, n.2, p.1-9, dic. 1987.
- STURION, J.A. Produção de mudas e implantação de povoamentos com erva-mate. Curitiba: EMBRAPA-CNPF, 1988. 10p. (EMBRAPA-CNPF. Circular Técnica, 17).
- STURION, J.A.; RESENDE, M.D.V. de. Genética e melhoramento da erva-mate para produção de massa verde na região de Curitiba, Colombo: EMBRAPA-CNPF, 1994. 10p. (EMBRAPA. Subprojeto 08.0.94.501.02).
- SHIMIZU, J.Y.; KAGEYAMA, P.Y.; HIGA, A.R. Procedimentos e recomendações para estudo de progênies de essências florestais. Curitiba: EMBRAPA-URPFCS, 1982. 32p. (EMBRAPA-URPFCS. Documentos, 11).
- TAVARES, F.R.; PICHET, J.A.; MASCHIO, L.M. de A. Alguns fatores relacionados com a estaquia da erva-mate (*Ilex paraguariensis* St. Hil.). In: CONGRESSO FLORESTAL ESTADUAL - Florestas: Desenvolvimento e Conservação (7.: 1992: Nova Prata). Anais... Santa Maria: Universidade Federal de Santa Maria, 1992. vol.2, p.626-640.
- VELLO, N.A.; VENCOSKY, R. Variâncias associadas às estimativas de variâncias genéticas e coeficientes de herdabilidade. Relatório Científico do Departamento de Genética-ESALQ, Piracicaba, n.8, p.238-248, 1974.
- VENCOSKY, R. Genética quantitativa. In: KERR, W.C. Coord. Melhoramento e genética. São Paulo: Edições Melhoramentos, 1969. p.17-37.
- VENCOSKY, R.; BARRIGA, P. Genética biométrica no fitomelhoramento. Ribeirão Preto: Revista Brasileira de Genética, 1992. 486p.
- WILCOX, J.R.; FARMER, R.E. Heritability and C effects in early root growth of eastern cottonwood cuttings. Heredity, Edinburgh, v.23, n.2, p.239-245, 1968.

- WILLYAMS,D.; WHITEMAM,P. ; CAMERON, J. Inter and intra-family variability for rooting capacity in micropropagated *Eucalyptus globulus* and *Eucalyptus nitens*. In: SYMPOSIUM MASS PRODUCTION TECHNOLOGY FOR GENETICALLY IMPROVED FAST GROWING FOREST TREE SPECIES (1992: Bordeaux). Anais ... Nangys: AFOCEL, 1992. v.2, p.177-181.
- YING,Ch.Ch.; BAGLEY,W.T. Variation in rooting capability of *Populus deltoides*. Silvae Genetica, Frankfurt, v.26, n.516, p.204-207, 1977.
- ZANETTE,F. Efeito de algumas temperaturas de estocagem sobre a quebra de dormência das gemas e a regeneração do sistema radical de porta-enxertos de macieira. Revista do Setor de Ciências Agrárias, Curitiba, v.4, n.1/2, p.43-47, 1982.
- ZANETTE,F. Propagação da pereira (*Pirus comunis* var. Garber) por estaquia lenhosa, Curitiba, 1994. Tese (Concurso de Professor Titular de Fitotecnia) - Departamento de Fitotecnia e Fitossanitarismo, Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná.
- ZANON,A. Produção de sementes de erva-mate. Curitiba: EMBRAPA-CNPFF, 1998. 7p. (EMBRAPA-CNPFF. Circular Técnica, 16).
- ZOBEL,B.J.; TALBERT,J. Applied forest tree improvement. New York: J. Wiley, 1984. 505p.

APÊNDICE I: CONTRASTE DE ESTACAS “FUNCIONAIS” E “NÃO FUNCIONAIS”

A: estaca “funcional”; B: Estaca “não funcional”.