

*Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
Embrapa Florestas
Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento*

Documentos 179

Programa de Melhoramento Genético da Erva-Mate Conduzido pela *Embrapa Florestas*: Situação Atual e Perspectivas Futuras

José Alfredo Sturion

Embrapa Florestas
Colombo, PR
2009

Exemplares desta publicação podem ser adquiridos na:

Embrapa Florestas

Estrada da Ribeira, Km 111, Guaraituba,

83411 000 - Colombo, PR - Brasil

Caixa Postal: 319

Fone/Fax: (41) 3675 5600

Home page: www.cnpf.embrapa.br

E-mail: sac@cnpf.embrapa.br

Comitê de Publicações da Unidade

Presidente: Patrícia Póvoa de Mattos

Secretária-Executiva: Elisabete Marques Oaida

Membros: Antonio Aparecido Carpanezi, Cristiane Vieira Helm,

Dalva Luiz de Queiroz, Elenice Fritzsos, Jorge Ribaski, José

Alfredo Sturion, Marilice Cordeiro Garrastazu, Sérgio Gaiad

Supervisão editorial: Patrícia Póvoa de Mattos

Revisão de texto: Mauro Marcelo Berté

Normalização bibliográfica: Elizabeth Denise Câmara Trevisan

Editoração eletrônica: Mauro Marcelo Berté

Fotos da capa: Ivar Wendling

1ª edição

1ª impressão (2009): sob demanda

Todos os direitos reservados

A reprodução não-autorizada desta publicação, no todo ou em parte, constitui violação dos direitos autorais (Lei no 9.610).

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)

Embrapa Florestas

Sturion, José Alfredo.

Programa de melhoramento genético da erva-mate conduzido pela *Embrapa Florestas* : situação atual e perspectivas futuras [recurso eletrônico] / José Alfredo Sturion. - Dados eletrônicos. - Colombo : Embrapa Florestas, 2009.

1 CD-ROM. - (Documentos / Embrapa Florestas, ISSN 1679-2599 ; 179)

1. *Ilex paraguariensis*. 2. Mate - Melhoramento genético. 3. Teste de progenie. 4. Seleção recorrente. 5. Híbridação. I. Título. II. Série.

CDD 634.97385 (21. ed.)

© Embrapa 2009

Autor

José Alfredo Sturion

Engenheiro Florestal, Doutor,

Pesquisador da *Embrapa Florestas*

sturion@cnpf.embrapa.br

Apresentação

O presente documento estabelece as bases para a continuidade do programa de melhoramento genético da erva-mate, coordenado pela *Embrapa Florestas*. Esse programa fundamenta-se na seleção de indivíduos com base em seus valores genéticos em testes combinados de procedência e progênie. São discutidos, entre outros, os planos de ação componentes do projeto, a estratégia utilizada e as ações requeridas para a sua continuidade, como: a) seleção recorrente com base na produtividade e características de qualidade da biomassa foliar; b) hibridação intraespecífica entre populações; c) cruzamentos controlados para a geração de progênies de irmãos germanos; d) necessidade de Instalação de novos testes com novos germoplasmas; e) estudo do controle genético de características ligadas à qualidade da biomassa foliar e f) desenvolvimento de novos produtos. Cumpre ressaltar que a continuidade desse programa é essencial para o aprimoramento da produtividade e da qualidade da biomassa foliar produzida para os diferentes seguimentos. Ademais, a condução de programas de melhoramento como este representa um importante passo no cultivo racional da erva-mate, o que vem, em última instância, beneficiar toda a sua cadeia produtiva, bem como a conservação de recursos genéticos da espécie.

Ivar Wendling
Chefe de Pesquisa e Desenvolvimento
Embrapa Florestas

Sumário

Introdução	9
Material Genético	10
Locais dos Testes Combinados de Procedência e Progenie de Erva-Mate	12
Estratégia de Ação	16
Condução dos testes	16
Desenvolvimento de técnicas de propagação vegetativa.....	17
Desenvolvimento de técnicas de micropropagação	19
Desenvolvimento de técnicas de coleta, manuseio e armazenamento de pólen	20
Análises sensoriais via NIR	21
Produção de uma bebida de erva-mate com soja	22
Modelagem do crescimento para o manejo de ervais.....	23
Caracterização química da biomassa foliar da erva-mate.....	23
Recomendações de Ações Futuras Visando à Continuidade do Programa de Melhoramento Genético da Erva-Mate	24
Seleção recorrente com base na produtividade e características de qualidade de biomassa foliar	24
Hibridação intraespecífica entre populações.....	25
Cruzamentos controlados para a geração de progênies de irmãos germanos.....	27

Instalação de testes combinados de procedências e progênies com novos germoplasmas	30
Determinação do controle genético de características ligadas à qualidade da biomassa foliar	30
Desenvolvimento de novos produtos a partir da biomassa foliar ...	33
Referências	34

Programa de Melhoramento Genético da Erva-Mate Conduzido pela *Embrapa Florestas*: Situação Atual e Perspectivas Futuras

José Alfredo Sturion

Introdução

O cultivo da erva-mate é realizado por empresas ervateiras e também por pequenos produtores que visam ao consumo próprio e à comercialização da produção excedente. No caso específico da erva-mate, no Sul do Brasil, o material genético utilizado constitui-se, basicamente, de sementes colhidas de árvores matrizes selecionadas fenotipicamente nas matas nativas e, em poucos casos, de matrizes existentes em áreas produtoras de sementes (RESENDE et al., 1995). Com a evolução das relações mercadológicas, o consumidor passou a exigir um produto altamente padronizado e de qualidades específicas em função do objetivo de consumo.

O programa de melhoramento da erva-mate, no âmbito da *Embrapa Florestas*, foi concebido ao final do ano de 1993. Aproveitando apenas um teste de progênie já estabelecido em 1988, em área da *Embrapa Florestas*, tal programa enfatizou inicialmente a coleta de germoplasma e a produção de mudas visando ao estabelecimento de uma rede experimental. Em 1994, foram coletadas sementes nos municípios paranaenses de Bocaíuva do Sul, Cascavel e Colombo, dando início aos trabalhos de estratificação de sementes e produção de mudas, ações que culminaram com a instalação de dois testes combinados de

procedência e progênie em Ponta Grossa, também no Paraná (*Embrapa Negócios Tecnológicos*). Em 1995, foram coletadas sementes nos municípios de Barão de Cotegipe, RS; Cascavel, PR; Ivaí, PR, Quedas do Iguaçu, PR, Pinhão, PR, Antônio Olinto, PR, e Colombo, PR, as quais, após a estratificação, geraram as mudas para a implantação, em 1997, de testes em Ivaí, PR (Chimarrão Bitumirim), Guarapuava, PR (Erva-mate Shier), Rio Azul, PR (em propriedade de Ângelo Ulbrich – pequeno produtor), Pinhais, PR (UFPR), Três Barras, SC (Epagri) e Chapecó, SC (Epagri).

Os resultados obtidos com o estabelecimento de testes combinados de procedência e progênie, com esse material, forneceram subsídios para um melhor embasamento dos programas de melhoramento, tendo em vista o comportamento do germoplasma em diferentes ambientes (principalmente solos) e as informações sobre o controle genético de caracteres como produção de massa foliar e teores de cafeína e de teobromina das folhas. Adicionalmente, os próprios resultados da avaliação genética nortearão a seleção para a obtenção de cultivares adaptados aos diferentes ambientes. Neste sentido, as perspectivas são ótimas, tendo em vista os ganhos estimados em produtividade. É importante ressaltar que a seleção e recombinação do material genético conduzirão à formação de populações de melhoramento propriamente ditas, populações estas com bom nível de produtividade e com ampla variabilidade genética. Estas populações deverão prover o melhoramento gradativo da espécie para plantio com fins industriais. A coleta e avaliação de novos germoplasmas também é recomendável. É importante relatar que a condução de programas de melhoramento como este representa um importante passo no cultivo racional da erva-mate, o que vem, em última instância, beneficiar toda a sua cadeia produtiva, bem como a conservação de recursos genéticos da espécie.

Material Genético

O material genético consiste de testes combinados de procedências e progênies de meios irmãos de erva-mate instalados em sete locais: Ponta Grossa, PR, cuja implantação deu-se em novembro de 1995,

com 59 progênies de três procedências (Bocaiúva do Sul, PR; Colombo, PR, e Cascavel, PR), no delineamento de blocos ao acaso, com cinco repetições de parcelas lineares com seis plantas, no espaçamento de 3 m x 2 m. Os demais testes foram instalados durante o ano de 1997, nas seguintes regiões: Guarapuava; Ivaí; Rio Azul e Pinhais (no Paraná); Chapecó e Três Barras, em Santa Catarina. O número de progênies, num total de 156, de sete procedências (Ivaí, PR; Colombo, PR; Barão de Cotegipe, RS; Quedas do Iguaçu, PR; Pinhão, PR; Antônio Olinto, PR, e Cascavel, PR), variou em cada localidade, em função da quantidade de sementes disponibilizadas para cada instituição participante. O delineamento foi de blocos ao acaso, parcelas lineares com seis plantas, no espaçamento de 3 m x 2 m. O número de repetições variou de cinco a dez, de acordo com a área disponível. Esses testes combinados de procedência e progênie, após a seleção dos melhores indivíduos, com base em seus valores genéticos, foram transformados em pomares de sementes por mudas.

A partir de um teste de progênie plantado em Colombo, PR, em dezembro de 1988, com 36 progênies oriundas de quatro procedências (Cascavel, PR; Toledo, PR; Campo Mourão, PR, e Soledade, RS), no delineamento de blocos ao acaso, com seis repetições de parcelas lineares com cinco plantas, no espaçamento de 3 m x 2 m, foram selecionados, com base em valores genéticos, os 50 melhores indivíduos da procedência de Toledo, PR, que foi a mais produtiva para massa foliar. Em seguida, o teste de progênie foi desbastado, deixando-se os 50 indivíduos de maior valor genético e cerca de 20 indivíduos das demais procedências, selecionados por seleção massal. No ano de 1994, foram coletadas sementes de 30 matrizes, visando à instalação de um teste de progênie de segunda geração desse material em Ponta Grossa, PR. A avaliação deste novo teste servirá para estimar o ganho genético realizado com a seleção e verificar a respectiva adaptação do material. Em todos os testes, numa primeira etapa, em virtude do grande número de indivíduos, a principal característica avaliada foi a produção de massa foliar. Numa etapa subsequente, também serão avaliadas características associadas à qualidade dos produtos, por meio de análises químicas e sensoriais.

Locais dos Testes Combinados de Procedência e Progênie de Erva-Mate

Rio Azul

No teste combinado de procedência e progênie de erva-mate instalado no Município de Rio Azul, PR, com área total de 4,5 ha, ocorre predominantemente NITOSSOLO HÁPLICO Distrófico (SISTEMA...., 1999). Os solos desta classe caracterizam-se por apresentarem perfis profundos, acentuadamente drenados, porosos, de coloração bruno avermelhada escura na superfície e vermelha em profundidade. Ocorrem em relevo suave ondulado, com declives em torno de 5 % e em altitudes entre 800 m e 830 m. Estão incluídas nesta área pequenas manchas não representativas da classe de Solos Orgânicos (ORGANOSSOLOS). O teste instalado em Rio Azul está sob a influência do tipo climático Cfb – clima subtropical úmido mesotérmico, com verões frescos, com ocorrência de geadas freqüentes, sem estação seca definida, temperatura média anual entre 17 °C e 18 °C, precipitação pluviométrica média anual de 1.500 mm e excedente hídrico anual variando de 500 mm a 800 mm.

Ivaí

Na área do teste instalado em Ivaí, PR, ocorrem predominantemente solos da classe LATOSSOLO VERMELHO Distrófico (SISTEMA...., 1999). Estes solos caracterizam-se por serem profundos, acentuadamente drenados, porosos, muito argilosos (72 % de argila) e de coloração bruno avermelhada – escura. Quimicamente, são ácidos com saturação de bases baixa e saturação com alumínio elevada. Ocorrem em relevo suave ondulado, originados de rochas sedimentares (argilito), com declives em torno de 4 % e em altitudes variando de 700 m a 750 m. A área do teste está sob a influência do tipo climático Cfa – clima subtropical úmido mesotérmico, com verões quentes e geadas pouco freqüentes, com concentração das chuvas nos meses de verão, sem estação seca definida. A média das temperaturas dos meses mais quentes é superior a 22 °C e a dos meses mais frios é

inferior a 18 °C, com temperatura média anual entre 17 °C e 18 °C. A precipitação pluviométrica média anual é aproximadamente 1.500 mm e o excedente hídrico varia de 500 mm a 800 mm/ano.

Guarapuava

No teste instalado em Guarapuava, PR, existe a predominância de CAMBISSOLO HÚMICO Alumínico (SISTEMA..., 1999). Esta classe compreende solos minerais não hidromórficos, com horizonte B incipiente, moderadamente profundos (50 cm a 80 cm), bem drenados, com seqüência de horizontes A, Bi, C. São solos com um certo grau de evolução, porém não o suficiente para meteorizar completamente minerais primários de mais fácil intemperização, como feldspato, mica, augita e outros. Não possuem acumulações significativas de óxidos de ferro, húmus e argilas, que permitam identificá-los como detentor de B textural ou B espódico. São solos ácidos, derivados do derrame do Trapp. Por ocorrerem em clima frio e com precipitações abundantes e bem distribuídas, e em altitudes elevadas, favorecem o acúmulo de matéria orgânica na camada superficial, imprimindo à mesma uma tonalidade escura no horizonte A (7,5YR3/2) e bruna escura no B (8,5YR3/3). Nessa área, observa-se ainda a ocorrência de 5 % de NEOSSOLOS LITÓLICOS (Solos Litólicos). O teste está sob a influência do tipo climático Cfb – clima subtropical úmido mesotérmico de verões frescos, com ocorrência de geadas freqüentes, não apresentando estação seca definida. A temperatura média anual varia de 16 °C a 17 °C, a precipitação pluviométrica média anual é 1.500 mm e o excedente hídrico varia de 800 a 1.100 mm/ano.

Ponta Grossa

Foram instalados dois testes em solos distintos desse município. No primeiro, ocorre predominantemente o LATOSSOLO VERMELHO Distrófico (SISTEMA..., 1999). Nesta classe, estão compreendidos solos minerais com B latossólico, de textura média no horizonte A (33 % de argila) e argilosos no B (39 % de argila), ricos em sesquióxidos, porém com teores menores que aqueles observados no LATOSSOLO ROXO.

São muito profundos, de seqüência de horizontes A, B, C, sendo a espessura de A + B superior a dois metros, muito porosos e permeáveis, acentuadamente drenados e de coloração bruno avermelhada escura no A e vermelho escura no B. São desenvolvidos a partir de rochas sedimentares. São solos preponderantemente álicos e distróficos, portanto forte a extremamente ácidos. Encontram-se em relevo suave ondulado com 5 % a 7 % de declive e em altitudes ao redor de 750 m.

O segundo teste em Ponta Grossa foi instalado em solos da classe CAMBISSOLO HÁPLICO Distrófico (SISTEMA..., 1999). Compreende solos minerais medianamente profundos, moderadamente a bem drenados, com seqüência de horizontes A,(B),C, de coloração bruno escura (7,5YR3/2) no horizonte A e brunada no B (7,5YR4/5). São solos com certo grau de evolução, porém não o suficiente para meteorizar completamente minerais primários facilmente intemperizáveis, como feldspato, mica, augita e outros; não possuem acumulações significativas de óxidos de ferro, húmus e argilas, que permitam identificá-los como detentor de B textural ou B podzol. Encontram-se em relevo praticamente plano, com declives em torno de 2 % e são desenvolvidos a partir de rochas sedimentares.

Os testes de Ponta Grossa estão sob a influência climática do tipo Cfb – clima subtropical úmido mesotérmico, de verões frescos e com ocorrência de geadas severas e frequentes, sem estação seca definida. A média das temperaturas dos meses mais quentes é inferior a 22 °C, as dos meses mais frios é inferior a 18 °C e a temperatura média anual está entre 17 °C e 18 °C. A precipitação pluviométrica média anual está entre 1.600 mm e 1.700 mm e o excedente hídrico varia de 500 a 800 mm/ano.

Região Metropolitana de Curitiba (Colombo e Pinhais)

Na região metropolitana de Curitiba, predominam solos da classe CAMBISSOLO, principalmente das Subordens CAMBISSOLO HÚMICO E CAMBISSOLO HÁPLICO (SISTEMA..., 1999). Na área, os solos são pouco profundos, bem drenados, argilosos, ácidos (pH \cong 5,0),

dessaturados e com elevados teores de alumínio trocável ao longo do seu perfil. O horizonte superficial (A) varia muito de um local para outro, sendo geralmente mais espesso e escuro e com maiores teores de matéria orgânica nos CAMBISSOLOS HÚMICOS.

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

Três Barras

Três Barras, SC, localizada na latitude 26° 12' Sul e longitude 50° 17' Oeste, está sob a influência do tipo climático Cfb – clima subtropical úmido mesotérmico, com verões frescos e geadas frequentes, com tendência de concentração das chuvas nos meses de verão, sem estação seca definida. A média das temperaturas dos meses mais quentes é inferior a 22 °C e a dos meses mais frios é inferior a 18 °C, temperatura média anual entre 16 °C e 17 °C, precipitação pluviométrica média anual de 1.650 mm e excedente hídrico variando de 500 mm a 800 mm/ano. No local onde foi instalado o teste, ocorrem predominantemente solos da classe LATOSSOLO BRUNO Distrófico típico, textura muito argilosa, fase relevo suave ondulado (SISTEMA..., 1999). Estes solos caracterizam-se por serem profundos, acentuadamente drenados, porosos, muito argilosos e de coloração bruno avermelhada – escura. Quimicamente, são ácidos com saturação de bases baixa e saturação com alumínio elevada. Ocorrem em relevo suave ondulado, com declives em torno de 4 % e em altitudes variando de 700 m a 800 m e originados de rochas sedimentares (argilito).

Chapecó

Chapecó, SC, está localizada na latitude de 27° 07' Sul, longitude de 52° 37' Oeste, altitude de 679 m, precipitação pluviométrica média anual de 1.900 mm a 2.000 mm, estando sob a influência do tipo climático Cfa – clima subtropical úmido mesotérmico, com verões quentes e geadas pouco freqüentes, com tendência de concentração das chuvas nos meses de verão, sem estação seca definida. A média das temperaturas dos meses mais quentes é superior a 22 °C e a dos meses mais frios é inferior a 18 °C, sendo que a temperatura média anual oscila entre 18 °C e 19 °C. No teste de progênie instalado nessa região, ocorrem predominantemente solos da classe LATOSSOLO VERMELHO Distrófico (SISTEMA..., 1999), textura muito argilosa, fase relevo suave ondulado. Estes solos caracterizam-se por serem profundos acentuadamente drenados, porosos, muito argilosos (72 % de argila) e de coloração bruno avermelhada – escura. Quimicamente, são ácidos com saturação de bases baixa e saturação com alumínio elevada. Ocorrem em relevo suave ondulado, originados de rochas sedimentares (argilito), com declives em torno de 4 % e em altitudes variando de 650 m a 750 m.

Estratégia de Ação

Condução dos testes

Ilex paraguariensis é uma espécie diplóide ($2n = 40$) (SCHERER, 1997), de forma que os modelos básicos de genética quantitativa, baseados em diploidia, podem ser aplicados. As estratégias de melhoramento de espécies perenes resultam basicamente da combinação entre delineamentos de cruzamento, métodos de seleção e estrutura de populações. Aspectos técnicos referentes a estes temas, no contexto do melhoramento da erva-mate, foram relatados por Resende et al. (1995, 1997). Nesse sentido, a avaliação genética é um processo fundamental para a seleção de indivíduos em plantas perenes (RESENDE, 2002).

Os testes combinados de procedências e progênies de erva-mate estão sendo avaliados pela produção de massa foliar, obtidas em podas bienais de cada indivíduo, com o propósito de classificá-los por meio do SELEGEN – REML/BLUP – Sistema Estatístico e Seleção Genética Computadorizada, via Modelos Lineares Mistos (RESENDE, 2007), de acordo com seus valores genéticos aditivos, quando o interesse é a propagação sexuada dos indivíduos selecionados, e genotípicos quando o interesse é a propagação assexuada dos indivíduos selecionados. Com base nessa classificação, os testes são desbastados e transformados em pomares de sementes.

É importante destacar que parte dos testes combinados de procedências e progênies, integrantes da rede experimental da *Embrapa Florestas*, foi desbastada, mantendo-se na área os indivíduos selecionados para massa foliar com base em valores genéticos aditivos preditos para a produção de massa foliar. Contudo, a seleção nessas áreas necessita ser aprimorada por meio de desbastes sucessivos, com o propósito de aumentar a intensidade de seleção. Também, em parcelas com mais de uma árvore selecionada, é preciso esperar pelo florescimento dessas árvores, para a identificação do sexo, sendo necessário manter nas parcelas árvores de apenas um único sexo, com o intuito de evitar que ocorra a polinização entre indivíduos aparentados, já que a erva-mate é uma espécie dióica.

Desenvolvimento de técnicas de propagação vegetativa

Estudos de miniestaquia dos indivíduos adultos de erva-mate são necessários para o estabelecimento de plantios clonais, sendo um passo importante para a silvicultura clonal da espécie, já que isto permite a implantação de povoamentos com indivíduos altamente produtivos e com a qualidade exigida pelo mercado consumidor, além da obtenção de uma matéria-prima padronizada para a industrialização. Estudos que visem ao refinamento da técnica, buscando definir substratos adequados para a utilização em escala comercial, avaliação da influência de fatores ambientais (temperatura, umidade e luz) e a

avaliação da enxertia seriada no rejuvenescimento de materiais adultos sobre os processos de enraizamento e vigor radicular são extremamente necessários. Para tanto, no teste de progênes e procedências instalado em Ivaí, PR, serão selecionadas 30 matrizes (20 fêmeas e 10 machos), com características de alta produção de massa foliar e baixo teor de cafeína. Estas matrizes serão resgatadas e multiplicadas por enxertia diretamente em porta-enxertos estabelecidos no campo. No final desta etapa, objetiva-se a obtenção de, no mínimo, dez clones (três machos e sete fêmeas) em pomar clonal de sementes. Este pomar clonal visa também à continuidade dos programas de melhoramento genético da espécie na *Embrapa Florestas*, além de possibilitar estudos sobre o crescimento e produtividade dos clones enxertados no campo. O ajuste de granulometrias (macro e microporosidade) da casca de arroz carbonizada será definido por meio de quatro peneiras (2 mm, 1 mm, 0,5 mm e 0,25 mm), onde serão obtidas as granulometrias a serem usadas nos testes de produção de mudas. De posse das quatro granulometrias, diferentes misturas serão feitas, constituindo-se os tratamentos, estando a casca de arroz carbonizada pura ou em associação com a fibra de coco e a vermiculita média. Mudanças serão produzidas por miniestaquia em tubetes plásticos, visando à avaliação do enraizamento e vigor radicular, em função dos tratamentos. É importante a avaliação da sobrevivência e crescimento das mudas produzidas por miniestaquia, com o objetivo de compará-las com as mudas obtidas de sementes e, conseqüentemente, confirmar o potencial silvicultural clonal da espécie.

A viabilidade da técnica da espectroscopia no infravermelho próximo (NIR), como metodologia para a avaliação das propriedades físicas dos diferentes substratos, será avaliada, com vistas à obtenção de um método barato e eficiente de determinação. Para tanto, amostras de cada tratamento formulado serão submetidas à avaliação pelo NIR, visando à confecção de uma curva padrão a ser correlacionada com os valores das propriedades físicas obtidas com base nos resultados de análises tradicionais de laboratório. Para avaliar a influência dos fatores ambientais: luz, temperatura e umidade no processo de miniestaquia de erva-mate, mudas de clones obtidas pela técnica de estaquia

convencional serão plantadas em sistema semi-hidropônico (minicepas) e manejadas de acordo com a metodologia descrita por Wendling et al. (2007). Quando as brotações atingirem tamanhos de 7 cm a 10 cm, miniestacas serão coletadas periodicamente para seu enraizamento. Os valores de luz, temperatura e umidade serão coletados automaticamente, de forma ininterrupta, em intervalos de cinco minutos, por intermédio de um *Field Logger*, para, posteriormente, serem correlacionados com a capacidade produtiva do minijardim clonal e enraizamento das miniestacas das diferentes coletas. Com vistas à avaliação em campo das mudas produzidas pela técnica de miniestaquia, mudas de no mínimo cinco clones de erva-mate serão estabelecidas, visando avaliar a sobrevivência e crescimento dessas em comparação com aquelas oriundas de sementes. O espaçamento de plantio será de 2 m x 2,5 m, totalizando 2.000 plantas/ha. As avaliações de sobrevivência e o crescimento em diâmetro e altura serão realizadas aos seis meses, um e dois anos após o plantio. No tocante ao rejuvenescimento, será avaliada a influência do número de subcultivos de enxertia seriada sobre a capacidade de enraizamento das estacas coletadas da parte aérea dos enxertos resultantes. De brotações de enxerto de cinco subcultivos de enxertia já estabelecidos no campo, oriundos de duas matrizes adultas de erva-mate, serão coletadas estacas na mesma época e colocadas para enraizamento em casa-de-vegetação, conforme metodologia descrita por Correa (1995). Nestes materiais, serão avaliados a capacidade de enraizamento e o vigor radicial (número comprimento total e vigor das raízes) aos 90 e 120 dias após a estaquia.

Desenvolvimento de técnicas de micropropagação

O desenvolvimento de técnicas de micropropagação de material selecionado de erva-mate permitirá a multiplicação massal de material genético com qualidade superior. Além disso, possibilitará o rejuvenescimento de material adulto, o que será de suma importância para a propagação clonal de erva-mate, por estaquia, técnica que proporciona mudas com custo mais acessível em relação à micropropagação.

Com o propósito de definir uma metodologia que permita o estabelecimento e conseqüente sobrevivência dos explantes *in vitro*, o que se constituirá no passo inicial para a obtenção de um protocolo de micropropagação de erva-mate, será utilizado material genético juvenil selecionado, proveniente de minicepas produzidas de sementes e material adulto oriundo de estaquia convencional, de teste de progênie e procedência da *Embrapa Florestas* (de árvores estabelecidas diretamente no campo, de brotações de mudas de estaquia e de enxertia). Posteriormente, serão coletadas brotações, das quais serão obtidos segmentos nodais a serem inoculados *in vitro*. Estes serão submetidos aos diversos tratamentos de assepsia, testando-se agentes desinfestantes e diferentes concentrações. Normalmente, uma a duas semanas após a inoculação dos explantes, já é possível quantificar as taxas de sobrevivência, contaminação e oxidação. Visando ao controle de contaminações, serão utilizadas amostras obtidas de árvores estabelecidas diretamente no campo e de brotações de mudas de estaquia e de enxertia. Após a coleta do material vegetal, todas as atividades serão desenvolvidas no Laboratório de Cultura de Tecidos Vegetais da *Embrapa Florestas*, com o objetivo de definir uma metodologia que permita o estabelecimento de explantes *in vitro*, livres de contaminação endógena (bactéria e fungos), o que se constituirá no passo inicial para a obtenção de um protocolo de micropropagação de erva-mate.

Desenvolvimento de técnicas de coleta, manuseio e armazenamento de pólen

A obtenção de híbridos intra-específicos de materiais geneticamente superiores identificados nesse projeto é de fundamental importância. Com essa finalidade, serão desenvolvidas técnicas de polinização controlada, incluindo: métodos de isolamento floral, determinação do estágio ideal para polinização, avaliação da eficiência de polinização, dentre outros. Os estudos de métodos de coleta, manuseio e armazenamento de pólen estão sendo conduzidos em uma área de produção de sementes de erva-mate instalada na *Embrapa Florestas*, facilitando o acompanhamento detalhado dos processos

e o desenvolvimento de metodologia de polinização controlada. Para a coleta, extração, armazenamento e testes de viabilidade de pólen, serão considerados os seguintes fatores: estágio adequado de desenvolvimento do botão floral para coleta de pólen, necessidade de secagem prévia, temperatura ideal para o armazenamento, como refrigerador, freezer e nitrogênio líquido, além de meio de cultura adequado para a germinação *in vitro* e técnicas para uso de corantes específicos como o tetrazólio, carmim acético e corante de Alexander. Vários tipos de extração serão observados: a seco, com água e solventes orgânicos (éteres, acetona, xileno, benzeno e tolueno). O método de secagem será definido empregando-se inicialmente vácuo, estufa e liofilização. Serão desenvolvidas técnicas de polinização controlada, incluindo: métodos de isolamento floral, determinação do estágio ideal para polinização, avaliação da eficiência de polinização, dentre outros.

Análises sensoriais via NIR

Com a finalidade de se efetuar análises sensoriais por espectroscopia no infravermelho próximo (NIR), amostras de erva-mate serão obtidas de plantas adultas selecionadas em quatro procedências que se destacaram para produção de biomassa foliar, em teste combinado de procedência e progênie instalado em Ivaí, PR. As coletas serão realizadas nas épocas da safra (maio a setembro), classificadas por degustadores, entre amargas e suaves, a partir de folhas verdes ou secas. A viabilidade do uso da espectroscopia NIR será averiguada em grupo de matrizes abrangendo folhas secas, amargas e suaves, por processo industrial ou em microondas. O desenvolvimento dessa técnica auxiliará na seleção de matrizes em amargas e suaves para a multiplicação clonal, bem como para a avaliação comercial de ervas e seleção de matrizes para a produção de bebidas e para chimarrão. A viabilidade do uso da espectroscopia NIR será averiguada no grupo de matrizes coletadas e os dados confrontados com a classificação dos peritos.

Produção de uma bebida de erva-mate com soja

Progenies de três procedências, identificadas pela *Embrapa Florestas* como as mais produtivas para massa foliar, serão amostradas para a produção de extratos de erva-mate, com três concentrações distintas, com o propósito de obter uma bebida misturada com extratos de soja. As determinações dos compostos fenólicos e físico-químicos das amostras serão efetuadas no laboratório do Programa de Pós-Graduação em Tecnologia de Alimentos da Universidade Federal do Paraná (UFPR). As análises sensoriais da bebida serão realizadas no Setor de Ciências Agrárias da UFPR. As análises microbiológicas serão realizadas por instituição privada. Para produzir o extrato, amostras de erva-mate serão obtidas de plantas adultas do teste de progênie instalado em Ivaí, PR. As amostras serão coletadas, transportadas e beneficiadas conforme técnica descrita por Donaduzzi et al. (2000). A produção dos extratos será efetuada conforme metodologia descrita por Burgardt (2000). A purificação, identificação e quantificação dos componentes presentes no extrato de erva-mate serão efetuadas por Cromatografia Líquida de Alta Eficiência (HPLC). A análise dos compostos definidos será realizada por meio de metodologia específica (CLIFFORD; RAMIREZ-MARTINEZ, 1990; RIBANI, 2006). Os constituintes de interesse serão os compostos fenólicos (ácido 5-cafeoilquínico, ácido cafeico e rutina). Prevê-se, também, a obtenção de uma bebida utilizando extrato de erva-mate em três níveis de concentração e o extrato da soja em dois níveis, totalizando seis distintas composições de bebidas. Estas combinações serão submetidas à análise sensorial, para seleção de duas bebidas de melhor aceitação. As bebidas serão analisadas quanto aos teores de compostos fenólicos, características físico-químicas e microbiológicas. A estabilidade do produto será verificada pelo estudo da vida de prateleira, controlada pela análise físico-química e microbiológica da bebida.

Modelagem do crescimento para o manejo de ervais

Atualmente, o manejo das plantações de erva-mate está baseado em escalas de colheitas sem critérios. Assim, está sendo desenvolvido um sistema computacional para a prognose da produção presente e futura de plantios desta espécie. Este sistema servirá de base para a quantificação da produtividade, avaliação da exportação de nutrientes e do estoque de carbono seqüestrado. A modelagem de crescimento e da produção, apesar de ser matematicamente complexa, será viabilizada aos produtores por meio do programa computacional gerado. Os dados necessários para a elaboração dos modelos de crescimento e da produção de biomassa serão provenientes de plantações comerciais de erva-mate de empresas produtoras. Serão utilizados registros históricos e novas medições, especialmente de material melhorado. O programa a ser elaborado fornecerá tabelas com prognose da produção presente e futura de ervais, em função de características indicadoras da qualidade dos sítios e idade das plantações, e deverá subsidiar as tomadas de decisão sobre práticas adequadas para a condução dos ervais, indicando intensidade adequada de colheitas para a sustentabilidade da produção.

Caracterização química da biomassa foliar da erva-mate

A erva-mate é explorada pela poda de suas folhas, normalmente a cada dois anos, exportando grande quantidade de nutrientes, tornando-se necessários estudos para a correta recomposição da fertilidade dos solos. A coleta das folhas, para a caracterização química, será efetuada no terço médio da copa de árvores selecionadas, em duas procedências cuja produtividade de massa foliar foi destacada no teste de progênie de Ivaí, PR. Na análise do material vegetal, serão utilizadas a digestão nitro-perclórica para os elementos P, Ca, Mg, Cu, Fe, Mn e Zn, e digestão sulfúrica micro Kjeldal para nitrogênio. As determinações serão realizadas utilizando-se destilação e titulação para nitrogênio, colorimetria para P, fotometria de chama para K e espectrofotometria de absorção atômica, para Ca, Mg, Cu, Fe, Mn e Zn. A coleta de solos

será efetuada por meio de amostras não deformadas de solo, as quais serão levadas para o laboratório e as raízes separadas manualmente, a fim de se efetuar a partição entre o solo rizosférico e não rizosférico. O solo facilmente desprendido das raízes das mudas componentes de uma parcela será coletado em bandeja e considerado o solo não rizosférico. As raízes, com solo ainda aderido, serão colocadas em outra bandeja e submetidas a uma ação mais vigorosa, até que todo o solo aderido às mesmas tenha se soltado. Esta fração será denominada de fração rizosférica do solo. As análises físicas do solo seguirão a metodologia descrita no Manual de Métodos e Análise de Solos (MANUAL..., 1979). O pH será medido em CaCl_2 ; o fósforo disponível e o potássio trocável serão extraídos com HCl 0,05 N + H_2SO_4 0,025 N; o cálcio, o magnésio e o alumínio trocáveis serão extraídos com KCl 1N. Os dados coletados serão submetidos à análise de variância e as médias dos parâmetros analisados comparadas pelo teste de Tukey, em nível de até 5 % de probabilidade.

Recomendações de Ações Futuras Visando à Continuidade do Programa de Melhoramento Genético da Erva- Mate

Seleção recorrente com base na produtividade e características de qualidade de biomassa foliar

O aspecto perene de uma espécie conduz a um impacto direto nos esquemas de melhoramento, os quais devem ser capazes de produzir resultados práticos dentro de um período de tempo relativamente curto. Dessa forma, cultivares melhoradas devem ser criadas durante os diferentes estágios dos melhoramentos populacional e interpopulacional propriamente ditos. A maneira mais adequada de conciliar a rápida obtenção de cultivares melhoradas e o melhoramento das espécies perenes, no longo prazo, é a adoção de esquemas de seleção recorrente. Em termos genéricos, as duas principais formas de seleção recorrente são a seleção recorrente intrapopulacional (SRI) e a seleção recorrente recíproca (SRR) (GALLAIS, 1978; 1989). A SRI capitaliza

os efeitos aditivos dos alelos e, portanto, é uma ferramenta muito poderosa para o melhoramento populacional (seleção para capacidade geral de combinação). A SRR enfatiza o melhoramento do híbrido interpopulacional, por meio do melhoramento do valor genético aditivo e também da heterose (RESENDE, 2002). Outra modalidade de seleção muito empregada em espécies perenes é a seleção clonal, a qual deve estar relacionada à seleção para a capacidade específica de combinação (CEC), constituindo, muitas vezes, o limite máximo da seleção para a CEC, por meio da clonagem dos melhores indivíduos dentro dos melhores cruzamentos específicos. No programa de melhoramento genético da erva-mate, conduzido pela *Embrapa Florestas*, recomenda-se a adoção da SRI para o melhoramento dos caracteres produção de biomassa e qualidade da bebida. Esses caracteres apresentam forte controle genético aditivo e, portanto, recomenda-se o seu melhoramento contínuo por várias gerações ou ciclos seletivos, empregando-se testes de progênies de polinização aberta ou controlada.

Hibridação intraespecífica entre populações

Do ponto de vista genético, a hibridação é a união de quaisquer dois gametas que diferem na sua constituição alélica em um ou mais locos (ALLARD, 1971). A hibridação pode ocorrer tanto entre espécies e populações distintas dentro das espécies, como entre gêneros ou entre indivíduos de uma mesma população (ASSIS, 1996). A heterose ou o vigor híbrido está associada à CEC entre os genitores, sendo função da diversidade genética entre os progenitores e da dominância alélica nos locos que controlam o caráter de interesse. Dessa forma, um fator primordial na opção pela seleção da capacidade geral de combinação (seleção recorrente intrapopulacional para os efeitos aditivos) ou capacidade específica de combinação (seleção recorrente recíproca enfatizando o híbrido interpopulacional) é o conhecimento da base genética do caráter de interesse, sobretudo quanto ao grau médio de dominância e, portanto, para o melhoramento destes, não se justifica a seleção para CEC (RESENDE, 2002). A viabilidade do aproveitamento comercial da heterose, bem como a perpetuação e

multiplicação de combinações híbridas superiores por intermédio da propagação clonal, possibilita a adoção da hibridação como ferramenta importante à produção de povoamentos superiores. A hibridação tem sido um método de melhoramento que proporciona resultados altamente significativos, em termos de aumento da produtividade, da melhoria da qualidade de produtos e da resistência às doenças, pragas, estiaagens e ao frio (ASSIS, 1996). Devido à ampla área de distribuição da erva-mate, entre as populações existentes, pares que produzam híbridos heteróticos e que possam ser perpetuados e multiplicados por propagação vegetativa devem ser buscados. Desse modo, novas combinações podem ser selecionadas e incorporadas aos programas de seleção recorrente. A heterose tem sido verificada para a maioria dos caracteres produtivos (baixos valores de herdabilidades) em espécies perenes. Uma vez manifestada no cruzamento entre populações distintas, ela pode ser continuamente aumentada, mediante o melhoramento das populações envolvidas. Nesse caso, o método de melhoramento mais eficiente é o que utiliza a seleção recorrente recíproca na definição dos indivíduos a serem intercruzados. Por este método, os indivíduos puros, a serem utilizados no melhoramento de cada população individualmente, são definidos de acordo com a sua capacidade de produzir bons híbridos em cruzamento com um conjunto de indivíduos da outra população. Desse modo, as árvores das duas espécies são selecionadas, geração após geração, de acordo com a sua capacidade de produzir bons híbridos, em cruzamentos com árvores da outra população, obtendo-se maior heterose a cada geração de seleção. A seleção recorrente recíproca normalmente é utilizada no melhoramento de algum híbrido que já seja conhecido e que apresenta atributos específicos de interesse. Em erva-mate, a existência de heterose para a produção de massa foliar não tem sido ainda estudada. Por outro lado, a hibridação visando à reunião de características de diferentes espécies tem sido experimentada na Argentina. Belingheri e Prat Kricun (1992) relatam a realização de cruzamentos entre *Ilex paraguariensis* e *Ilex dumosa*, visando à transferência da resistência à praga ampola-da-erva-mate (*Gyropsyla spegazziniana*) de *I. dumosa* para *I. paraguariensis* ou para o híbrido. Todavia, é necessário ressaltar que a hibridação envolvendo espécies de *Ilex* carece de maiores

estudos. Dentro do presente programa de melhoramento, recomenda-se produzir e testar híbridos que agreguem a alta produção de massa foliar de indivíduos das procedências de Ivaí, PR, e Barão de Cotegipe, RS, com indivíduos da procedência de Pinhão, PR, cujas características da massa foliar são desejáveis para a produção de chimarrão. Outra forma de explorar a possível heterose em erva-mate é a realização de cruzamentos interprocedências divergentes. Face à divergência genética e ao bom desenvolvimento das procedências Barão de Cotegipe, RS, e Ivaí, PR, recomenda-se a obtenção de progênies interpopulacionais desses materiais para a experimentação. Nesse sentido, recomenda-se o uso de 30 genitores de cada procedência, sendo que cada genitor deve ser cruzado com três genitores da população recíproca, perfazendo um total de 90 cruzamentos (progênies) a serem avaliados.

Cruzamentos controlados para a geração de progênies de irmãos germanos

A geração de famílias de irmãos germanos pode advir da realização de cruzamentos preferenciais positivos, onde indivíduos com os maiores valores genéticos para um mesmo caráter são cruzados. Pode advir, também, da realização de cruzamentos preferenciais corretivos, onde indivíduos superiores em valores genéticos, para diferentes caracteres, são cruzados, visando à correção de determinados defeitos da população. Os delineamentos de cruzamento referem-se aos tipos de progênies a serem avaliadas na população experimental e, portanto, relacionam-se com a eficiência seletiva. Os principais objetivos dos testes de progênies são a avaliação genética de genitores e a geração da população base para nova seleção.

Para a avaliação da capacidade geral de combinação dos genitores, um número de quatro a cinco cruzamentos com outros genitores tem sido relatado como adequado. Por outro lado, os seguintes requisitos devem ser observados na geração de uma população base adequada: (i) grande número de indivíduos e razoável número de cruzamentos para propiciar uma alta intensidade de seleção; (ii) possibilidade de gerenciamento do parentesco entre indivíduos através de informações

de genealogia, geradas por cruzamentos controlados; (iii) tamanho efetivo alto; (iv) garantia de que cada genitor não tenha sido cruzado apenas com genitores bons ou ruins. Este último requisito é importante, sobretudo, para evitar que os melhores genitores sejam cruzados apenas com genitores ruins, pois cruzamentos deste tipo resultariam na não seleção das progênes geradas por estes genitores melhores. Neste sentido, alguma forma de seleção de cruzamentos ou a utilização de policruzamentos (polinização aberta) são desejáveis. Em nível de eficiência e facilidade operacional, os delineamentos de cruzamento mais recomendados são o dialélico parcial, o fatorial desconexo e o meio dialélico desconexo. Por outro lado, mesmo delineamentos mais simples como os de polinização aberta e pares simples (progênes de irmãos germanos) podem ser muito eficientes se associados aos métodos elaborados de seleção (RESENDE, 1999). Abordagens mais completas referentes aos métodos elaborados de seleção são feitas por Resende et al. (1994) e Resende (1997a, 1997b).

No caso da erva-mate, a realização de cruzamentos controlados é especialmente importante em função da dioiccia, ou seja, da necessidade de se selecionar machos e fêmeas com base em testes de progênes e de se avaliar machos e fêmeas em cruzamentos específicos visando ao estabelecimento de pomares biclonais. Neste sentido, o uso de progênes de irmãos germanos é muito útil, embora seja restritivo por não permitir a avaliação adequada de genitores. Para a avaliação de genitores, os delineamentos mencionados acima (dialélico parcial, fatorial desconexo e dialélico desconexo) são também adequados. O delineamento de polinização aberta só é adequado para a avaliação de genitores femininos.

Uma ótima opção é o delineamento em V apresentado por Resende (2002), que deve ser usado para os genitores de maiores valores genéticos aditivos na população de melhoramento da erva-mate (Tabela 1). Tal delineamento permite cruzar os melhores genitores mais vezes. Isto é uma forma de aumentar a probabilidade de obtenção de indivíduos excepcionalmente superiores nas progênes. Considerando os dez melhores genitores da população, ordenados de acordo com os

seus valores genéticos preditos, o delineamento em V, apresentado a seguir, permite definir os cruzamentos a serem realizados, quando o número total deles é fixado em 25.

Tabela 1. Delineamento em V conforme Resende (2002).

Genitor	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1		X	X	X	X	X	X	X	X	X
2			X	X	X	X	X	X	X	
3				X	X	X	X	X		
4					X	X	X			
5						X				
6										
7										
8										
9										
10										

Neste caso, apenas os melhores cruzamentos são realizados e os números de cruzamentos por genitor são (Tabela 2):

Tabela 2. Resultados dos melhores cruzamentos e o número de genitores por cruzamento.

Genitor	Nº Cruzamentos	Genitor	Nº de Cruzamentos
1	9	6	5
2	8	7	4
3	7	8	3
4	6	9	2
5	5	10	1

No caso do melhoramento de espécies dióicas, os 25 melhores cruzamentos seguem o esquema acima, com dez fêmeas e dez machos, ou são dados por um delineamento fatorial 5 x 5, envolvendo os cinco melhores genitores de cada sexo.

Instalação de testes combinados de procedência e progênies com novos germoplasmass

A abrangência geográfica da erva-mate estende-se desde a latitude 21° até 30° Sul e longitudes de 48° 30' até 56° 10', o que corresponde a uma área de 540 mil km² (MAZUCHOWSKI, 1988). No Brasil, estima-se em 450 mil km² a área de distribuição da erva-mate, equivalendo a 5 % do território brasileiro e a 3 % do território sul-americano (DA CROCE; FLOSS, 1999). Sua ocorrência abrange os estados do Mato Grosso do Sul, Paraná, Santa Catarina, Rio grande do Sul, a região nordeste da Argentina e grande parte do Paraguai. Dentro da área de dispersão natural, a erva-mate encontra-se associada às matas com ocorrência de araucária (*Araucaria angustifolia*), sendo que, no Mato Grosso do Sul, é encontrada no Cerrado. A erva-mate não é encontrada em zonas com vegetação natural de campos e também não é encontrada em zonas de mata branca (caracterizadas pela ausência de *Araucaria angustifolia*). Na Argentina e Paraguai, a erva-mate ocorre, principalmente, nos sub-bosques das matas do Rio Paraná e afluentes, onde a araucária não é encontrada (OLIVEIRA; ROTTA, 1985). Frente à amplitude de sua área de ocorrência natural, fica evidente que novas populações, além das 14 testadas no âmbito do programa da *Embrapa Florestas*, devem ser amostradas e novos testes de progênies instalados e avaliados para as características de interesse do mercado consumidor.

Determinação do controle genético de características ligadas à qualidade da biomassa foliar

Estudos básicos subsidiando programas eficientes de melhoramento genético da erva-mate praticamente inexistem para características relacionadas à qualidade da biomassa foliar, contemplando as várias épocas e idades de colheita. As pesquisas realizadas têm se concentrado no estudo do controle genético associado principalmente ao caráter produção de massa foliar. Assim, é imprescindível estudos que busquem informações básicas para o estabelecimento da melhor estratégia de melhoramento e método de seleção, considerando a produtividade e a qualidade do produto (STURION; RESENDE, 1997; STURION; RESENDE, 1999; STURION et al., 1999; STURION et al.,

2000; STURION; RESENDE, 2001; STURION et al., 2002). Análises da composição química do gênero *Ilex* demonstraram a presença de fenóis e de ácidos fenólicos, metilxantinas, aminoácidos e outros compostos nitrogenados, ácidos graxos, antocianinas, flavonóides, compostos terpênicos, alcanos e álcoois, carboidratos, vitaminas e carotenóides. Dentre estes compostos, os mais conhecidos são as metilxantinas (ALIKARIDIS, 1987). A principal metilxantina encontrada na erva-mate é a cafeína, seguida da teobromina e de pequenas quantidades de teofilina (CLIFFORD e RAMIRES-MARTINES, 1990). Metilxantinas possuem importantes propriedades farmacológicas entre as quais se citam: a estimulação do sistema nervoso central, vasoconstrição periférica, relaxamento da musculatura lisa e estimulação miocárdica (KIKATANI et al., 1993; LORIST; TOPS, 2003). A fração saponínica em *Ilex paraguariensis* é constituída basicamente de compostos triterpênicos, onde são encontrados derivados glicosilados do ácido ursólico e do ácido oleanólico, com predominância do primeiro (SCHENKEL, et al. 1995). Outro grupo de interesse, na espécie, são os flavonóides. Estes compostos sofrem pouca variação estrutural e relacionam-se principalmente à quercetina livre e seus derivados glicosilados, além da presença de kaemferol (RICCO et al., 1995; FILIP et al., 2001). Os compostos fenólicos parecem ter importância nas propriedades da planta, bem como de seus produtos comerciais.

O mercado consumidor vem paulatinamente tornado-se exigente com relação à qualidade do produto, principalmente quanto ao sabor do chimarrão produzido. Assim, os estudos estão sendo direcionados para a verificação de quais substâncias químicas estão relacionadas com essa característica. Análises químicas foram feitas por Cardoso Júnior (2006) em material oriundo de um teste combinado de procedências e progênies de erva-mate, localizado em Ivaí, PR, integrante da rede da *Embrapa Florestas*, concluindo que os teores de teobromina, cafeína, ácido cafeico e ácido clorogênico variam entre procedências, progênies e indivíduos dentro de progênies. Esse autor verificou que o controle genético dos teores de cafeína e teobromina, duas das principais metilxantinas das folhas de erva-mate, foi de alta magnitude, o que

evidencia altas possibilidades de ganho por meio de seleção. Sturion et al. (2004) estimaram a herdabilidade no sentido restrito, em nível de média, por ocasião da segunda poda, aos quatro anos de idade, para teores de polifenóis totais, cafeína e tanino de 16 progênies meio-irmãos de erva-mate, plantadas em três classes distintas de solo. As estimativas foram de alta magnitude, indicando que as características avaliadas podem ser melhoradas pela seleção de progênies. Friedrich et al. (2006) verificaram o controle genético dos teores de ácido clorogênico e cafeico em 51 progênies de erva-mate, provenientes de cinco procedências (Ivaí, PR, Cascavel, PR, Pinhão, PR, Quedas do Iguaçu, PR, e Barão de Cotegipe, RS) por Cromatografia Líquida de Alta Eficiência. Não ocorreram diferenças significativas entre as procedências estudadas. A herdabilidade individual no sentido restrito foi de baixa magnitude para ambas as características. Utilizando esse mesmo método, Cassol et al. (2006) observaram que os valores encontrados, nesse mesmo material genético, para cafeína e teobromina, foram inversamente proporcionais, sendo possível que a seleção para aumentar o teor de teobromina acarrete numa diminuição do teor de cafeína. Existe um mercado crescente pela procura de produtos, tanto com teores baixos como altos (energéticos) de cafeína. Cumpre ressaltar que o mercado consumidor brasileiro, em geral, prefere consumir o chimarrão com sabor suave. Com relação à possibilidade de seleção para os teores de alguns elementos químicos encontrados na erva-mate, Cardoso Júnior (2006) encontrou alto controle genético para os teores de cafeína e de teobromina, o que possibilitou concluir que a seleção pode ser direcionada com maior possibilidade de ganhos para essas variáveis. Cardoso Júnior (2006) e Cassol et al. (2006) verificaram a ocorrência de alta variação para o teor de cafeína entre indivíduos, em um teste combinado de procedência e progênie de erva-mate da *Embrapa Florestas*. Portanto, é necessário conduzir estudos visando ao controle do teor dessa importante metilxantina em futuros plantios dessa espécie, levando-se em conta as diferentes populações, idades e épocas de poda dos ervais. Com base nessas considerações, propõe-se a continuidade de estudos químicos levando-se em conta essas diferentes variáveis e a

instalação de pomares clonais a partir de indivíduos já identificados, para a geração de sementes destinadas à implantação de povoamentos que produzam tanto altos como baixos teores de cafeína em suas folhas.

Desenvolvimento de novos produtos a partir da biomassa foliar

Da produção brasileira de erva-mate, 80 % destinam-se ao mercado interno, sendo 96 % na forma de chimarrão e 4 % como chás e refrigerantes (WINGE et al., 1996). Apesar desta alta concentração em uma única forma de consumo, a erva-mate apresenta grande potencial para outros usos, devido à diversidade de sua composição fitoquímica. A presença de compostos fenólicos na infusão da erva-mate e o papel destes, com reconhecida ação antioxidante na saúde humana, confirmam as vantagens do uso da erva-mate na composição de uma dieta saudável (MACCARI JÚNIOR, 2005). Pesquisas com extrato de erva-mate identificaram substâncias polifenólicas que apresentam atividades antioxidantes, inclusive no LDL, com ações anti-inflamatórias e anticancerígenas e a presença de metilxantinas que estimulam o sistema nervoso central. Recentemente, observou-se a ação da erva-mate como suplemento alimentar, auxiliando na redução de peso corporal e do colesterol, a qual reverteu em ação tonificante para o coração (VALDUGA, 2006). O forte mercado de chás e o surgimento de outras bebidas derivadas da erva-mate mostram possibilidades para ampliação do consumo. Em vista da composição química da planta, recomenda-se o seu aproveitamento para alimentos ou novos produtos comerciais, sendo que, essa diversificação pode viabilizar a conquista de novos mercados (MACCARI JÚNIOR, 2005).

Referências

- ALIKARIDIS, F. Natural constituents of *Ilex* species. **Journal of Ethnopharmacology**, v. 20, p. 121-144, 1987.
- ALLARD, E. W. **Princípios do melhoramento genético das plantas**. São Paulo: Edgard Blucher, 1971. 381 p.
- ASSIS, T. F. Melhoramento genético do eucalipto. **Informe Agropecuário**, Belo Horizonte, v. 18, n. 185, p. 32-51, 1996.
- BELINGHERI, L. D.; PRAT KRICUN, S. D. Evaluación preliminar de clones y progenies policlonales de yerba mate en San Vicent, Misiones, Argentina. In: REUNIÃO TÉCNICA DO CONE SUL SOBRE A CULTURA DA ERVA-MATE, 1., 1992, Porto Alegre. **Resumos**. Porto Alegre: UFRS, 1992. p. 45.
- BURGARDT, A. C. **Desenvolvimento de uma bebida utilizando extrato de erva-mate verde (*Ilex paraguariensis* St. Hil.)**. 2000. 113 f. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal do Paraná, Curitiba.
- CARDOSO JÚNIOR, E. L. **Teores de metilxantinas e compostos fenólicos em extratos de erva-mate (*Ilex paraguariensis* St. Hil.)**. 2006. 142 f. Tese (Doutorado em Agronomia) - Universidade Estadual de Maringá, Maringá.
- CASSOL, G. H.; FRIEDRICH, E. L.; CARDOZO JUNIOR, E. L.; DONADUZI, C. M.; STURION, J. A.; FERRARESE FILHO, O.; MITSUI, M.; CARDOSO FILHO, L. Parâmetros genéticos dos teores de metilxantinas em progênies de erva-mate (*Ilex paraguariensis* A. St. Hil.) cultivadas no Brasil. In: CONGRESSO SUDAMERICANO DE LA YERBA MATE, 4.; REUNIÃO TÉCNICA DE LA YERBA MATE, 4.; EXPOSICIÓN DE AGRONEGÓCIOS DE LA YERBA MATE, 2., 2006, Posadas. **Actas**. Posadas: Instituto Nacional de la Yerba Mate, 2006. p. 232-237.
- CLIFFORD, M. N.; RAMIREZ-MARTINEZ, J. R. Chlorogenic acids and purine alkaloids contents of mate (*Ilex paraguariensis*) leaf and beverage. **Food Chemistry**, v. 35, p. 13-21, 1990.
- CORREA, G. **Controle genético do enraizamento de estacas de erva-mate (*Ilex paraguariensis* Saint Hilaire)**. 1995. 55 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) - Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná, Curitiba.
- DA CROCE, D. M.; FLOSS, P. A. **Cultura da erva-mate no Estado de Santa Catarina**. Florianópolis: EPAGRI, 1999. 81 p. (EPAGRI. Boletim técnico, 100).
- DONADUZZI, C. M.; COELHO, S. R. M.; CARDOZO JÚNIOR, E. L.; GALLO, A. G.; HUPPES, G. K.; KUHN, I. M. V.; SCHICHEL, C. Teores de cafeína, polifenóis totais e taninos em amostras de erva-mate comercializadas na região de Toledo, Paraná. In: CONGRESSO SUL-AMERICANO DA ERVA MATE, 2.; REUNIÃO TÉCNICA DA ERVA MATE, 3., 2000, Encantado. **Anais**. Porto Alegre: Universidade do Rio Grande do Sul: Fundação Estadual de Pesquisa Agropecuária, 2000. p. 158-161. Pôster.
- FILIP, R.; LÓPEZ, P.; GIBERTI, G.; COUSSIO, J.; FERRARO, G. Phenolic compounds in seven South American *Ilex* species. **Fitoterapia**, v. 72, p. 774-778, 2001.

FRIEDRICH, E. L.; CASSOL, G. H.; CARDOZO JUNIOR, E. L.; DONADUZI, C. M.; STURION, J. A.; MITSUI, M.; FERRARESE FILHO, O.; CARDOSO FILHO, L. Parâmetros genéticos da concentração de compostos fenólicos em progênies de erva-mate (*Ilex paraguariensis* A. St. Hil.) cultivadas no Brasil. In: CONGRESSO SUDAMERICANO DE LA YERBA MATE, 4.; REUNIÓN TÉCNICA DE LA YERBA MATE, 4.; EXPOSICIÓN DE AGRONEGÓCIOS DE LA YERBA MATE, 2., 2006, Posadas. **Actas**. Posadas: Instituto Nacional de la Yerba Mate, 2006. p. 227-231.

GALLAIS, A. Amélioration des populations, méthodes de sélection et création des variétés: III bases theoriques pour l'étude de la sélection récurrente réciproque. **Annales des Améliorations des Plants**, v. 23, p. 637-660, 1978.

GALLAIS, A. **Théorie de la sélection en amélioration des plantes**. Paris: Masson, 1989. 588 p.

KIKATANI, T.; WATANABE, Y.; SHIBUYA, T. Different effects of methylxanthines on central serotonergic postsynaptic neurons in a mouse behavioral model. **Pharmacology Biochemistry and Behavior**, v. 44, p. 457-461, 1993.

LORIST, M. M.; TOPS, M. Caffeine, fatigue and cognition. **Brain and Cognition**, v. 53, p. 82-94, 2003.

MACCARI JÚNIOR, A. **Análise do pré-processamento da erva-mate para chimarrão**. 2005. 215 f. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola) - Universidade Estadual de Campinas, Campinas.

MANUAL de métodos de análise de solo. Rio de Janeiro: EMBRAPA-SNLCS, 1979. Não paginado.

MAZUCHOWSKI, J. Z. **Manual da erva-mate (*Ilex paraguariensis* St. Hil.)**. Curitiba: EMATER-PR, 1989. 104 p.

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

RESENDE, M. D. V. de. Avanços da genética biométrica florestal. In: ENCONTRO SOBRE TEMAS DE GENÉTICA E MELHORAMENTO, 14., 1997, Piracicaba. **Genética biométrica vegetal**: anais. Piracicaba: ESALQ, 1997a. v.14, p. 20-46.

RESENDE, M. D. V. de. **Genética biométrica e estatística no melhoramento de plantas perenes**. Brasília, DF: Embrapa Informação Tecnológica, 2002. 975 p.

RESENDE, M. D. V. de. Melhoramento de essências florestais. In: BORÉM, A. (Ed.). **Melhoramento de espécies cultivadas**. Viçosa, MG: Ed. da UFV, 1999. p. 589-647.

RESENDE, M. D. V. de. Melhoramento genético de essências florestais. In: SIMPÓSIO SOBRE ATUALIZAÇÃO EM GENÉTICA E MELHORAMENTO DE PLANTAS, 1997, Lavras. **Anais**. Lavras: UFLA, 1997b. p. 59-93.

RESENDE, M. D. V. de. **SELEGEN-REML/BLUP**: sistema estatístico e seleção genética computadorizada via modelos lineares mistos. Colombo: Embrapa Florestas, 2007. 359 p.

RESENDE, M. D. V. de; HIGA, A. R.; LAVORANTI, O. J. Regressão geno-fenotípica multivariada e maximização do progresso genético em programas de melhoramento de *Eucalyptus*. **Boletim de Pesquisa Florestal**, Colombo, n. 28/29, p. 57-71, 1994.

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

RESENDE, M. D. V. de; STURION, J. A.; SIMEÃO, R. M. Estratégias para o melhoramento genético da erva-mate. In: CONGRESSO SUL-AMERICANO DA ERVA-MATE, 1.; REUNIÃO TÉCNICA DO CONE SUL SOBRE A CULTURA DA ERVA-MATE, 2., 1997, Curitiba. **Anais**. Colombo: EMBRAPA-CNPQ, 1997. p. 243-266. (EMBRAPA-CNPQ. Documentos, 33).

RIBANI, R. H. **Compostos fenólicos em erva-mate e frutas**. 2006. 157 f. Tese (Doutorado em Ciências de Alimentos) - Universidade Estadual de Campinas, Campinas.

RICCO, R. A.; WAGNER, M. L.; GURNI, A. A. Estudio comparativo de flavonóides en especies austrosudamericanas del genero *Ilex*. In: WINGE, H.; FERREIRA, A. G.; MARIATH, J. E. de A.; TARASCONI, L. C. (Org.). **Erva-mate: biologia e cultura no Cone Sul**. Porto Alegre: Ed. da UFRGS, 1995. p. 243-249. I Reunión Técnica do Cone Sul sobre a Cultura da Erva-mate, 1992, Porto Alegre.

SCHENKEL, E. P.; GOSMANN, G.; HEINZMANN, B. M.; MONTANHA, J. A.; ATHAYDE, M. L.; TAKETA, A. C. Saponinas em espécies do gênero *Ilex*. In: WINGE, H.; FERREIRA, A. G.; MARIATH, J. E. de A.; TARASCONI, L. C. (Org.). **Erva-mate: biologia e cultura no Cone Sul**. Porto Alegre: Ed. da UFRGS, 1995. p. 251-259. I Reunión Técnica do Cone Sul sobre a Cultura da Erva-mate, 1992, Porto Alegre.

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

SISTEMA Brasileiro de Classificação de Solos. Brasília, DF: Embrapa Produção de Informação; [Rio de Janeiro]: Embrapa Solos, 1999. 412 p.

STURION, J. A.; CORREA, G.; RESENDE, M. D. V. de; CARDOZO JUNIOR, E. L.; DONADUZZI, C. M. **Controle genético dos teores de polifenóis totais, taninos e cafeína em progênies de erva-mate (*Ilex paraguariensis* St. Hil.) cultivadas em três classes de solos**. Colombo: Embrapa Florestas, 2004. 16 p. (Embrapa Florestas. Boletim de pesquisa e desenvolvimento, 16).

STURION, J. A.; RESENDE, M. D. V. de. **Comparação da produção de massa foliar entre clones de erva-mate**. Colombo: EMBRAPA-CNPQ, 1999. 4 p. (EMBRAPA-CNPQ. Comunicado técnico, 36).

STURION, J. A.; RESENDE, M. D. V. de. Produção de massa foliar de três procedências de erva-mate e eficiência de seleção em dois tipos de solos na região de Ponta Grossa, PR. **Boletim de Pesquisa Florestal**, Colombo, n. 43, p. 87-98, 2001.

STURION, J. A.; RESENDE, M. D. V. de. Programa de melhoramento genético da erva-mate no Centro Nacional de Pesquisa de Florestas da Embrapa. In: CONGRESSO SUL-AMERICANO DA ERVA-MATE, 1.; REUNIÃO TÉCNICA DO CONE SUL SOBRE A CULTURA DA ERVA-MATE, 2., 1997, Curitiba. **Anais**. Colombo: EMBRAPA-CNPQ, 1997. p. 285-298. (EMBRAPA-CNPQ. Documentos, 33).

STURION, J. A.; RESENDE, M. D. V. de; CARPANEZZI, A. A. Controle genético para peso de massa foliar em erva-mate (*Ilex paraguariensis* St. Hil.). **Boletim de Pesquisa Florestal**, Colombo, n. 38, p. 5-12, 1999.

STURION, J. A.; RESENDE, M. D. V. de; ULBRICH, A. L. **Estimativas de herdabilidade para peso foliar de erva-mate (*Ilex paraguariensis* St. Hil.) por ocasião da primeira poda de produção**. Colombo: EMBRAPA-CNPQ, 2002. 3 p. (EMBRAPA-CNPQ. Comunicado técnico, 73).

STURION, J. A.; RESENDE, M. D. V. de; ULBRICH, A. L. **Seleção para massa foliar em erva-mate com base no coeficiente de repetibilidade**. Colombo: EMBRAPA-CNPQ, 2000. 3 p. (EMBRAPA-CNPQ. Comunicado técnico, 40).

VALDUGA, A. T.; CICHOSKI, A. J.; MORGAN, F. Estudo preliminar da utilização de extrato de erva-mate na produção de iogurte. In: CONGRESO SUDAMERICANO DE LA YERBA MATE, 4.; REUNIÓN TÉCNICA DE LA YERBA MATE, 4., EXPOSICIÓN DE AGRONEGOCIOS DE LA YERBA MATE, 2., 2006, Posadas. **Actas**. Posadas: INTA, 2006. p. 322-328.

WENDLING, I.; DUTRA, L. F.; GROSSI, F. Produção e sobrevivência de miniestacas e minicepas de erva-mate cultivadas em sistema semi-hidropônico. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, DF, v. 42, n. 2, p. 289-292, fev. 2007. Nota científica.

WINGE, H.; DA CROCE, D. M.; MAZUCHOWSKI, J. Z. **Diagnóstico e perspectivas da erva-mate no Brasil**. Chapecó: Comissão Organizadora do Estudo sobre Diagnóstico e Perspectivas da Erva-Mate no Brasil, 1996. 27 p.