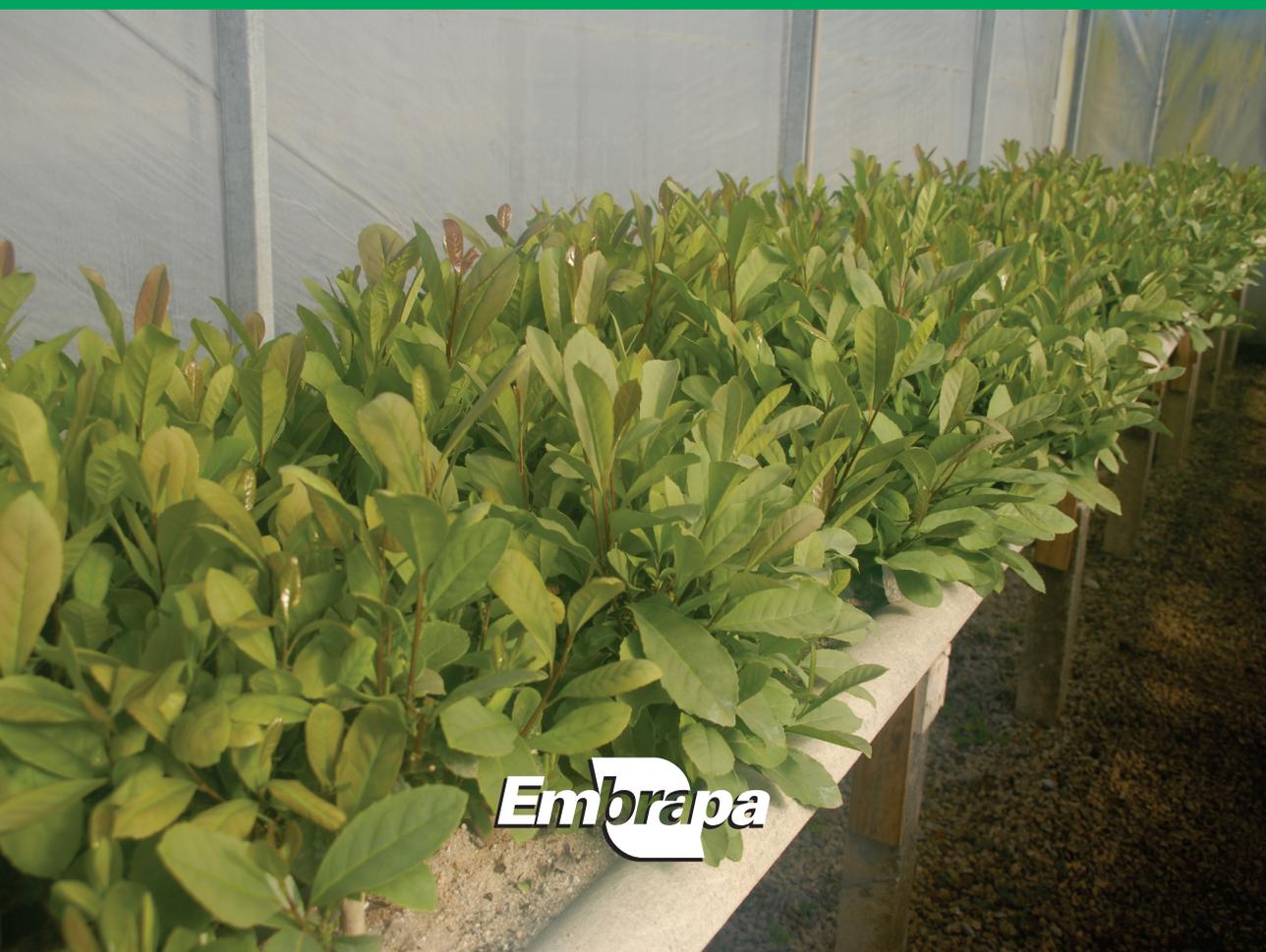




Propagação e Nutrição de Erva-mate

Ivar Wendling . Delmar Santin



Embrapa

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

Propagação e nutrição de erva-mate

*Ivar Wendling
Delmar Santin*
Editores Técnicos

Embrapa
Brasília, DF
2015

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
<https://www.embrapa.br/fale-conosco/sac/>

Unidade responsável pelo conteúdo e edição

Embrapa Florestas

Comitê de Publicações da Unidade

Presidente: *Patrícia Póvoa de Mattos*
Secretária-Executiva: *Elisabete Marques Oaida*
Membros: *Alvaro Figueredo dos Santos, Claudia Maria Branco de Freitas Maia, Elenice Fritzsos, Guilherme Schnell e Schuhli, Jorge Ribaski, Luis Claudio Maranhão Froufe, Maria Izabel Radomski, Susete do Rocio Chiarello Penteado*

Supervisão editorial: *Patrícia Póvoa de Mattos*
Revisão de texto: *Patrícia Póvoa de Mattos*
Normalização bibliográfica: *Francisca Rasche*
Projeto gráfico e editoração: *Rafaele Crisostomo Pereira*
Capa: *Rafaele Crisostomo Pereira*
Fotos da capa: *Delmar Santin*

1ª edição

1ª impressão (2015): 1000 exemplares

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

Propagação e nutrição de erva-mate / editores técnicos, Ivar Wendling, Delmar Santin.
– Brasília, DF : Embrapa, 2015.
195 p. : il. color. ; 17 cm x 23 cm.

ISBN 978-85-7035-365-8

1. Mate. 2. *Ilex paraguariensis*. 3. Propagação. 4. Muda. 5. Nutrição. I. Wendling, Ivar. II. Santin, Delmar. III. Embrapa Florestas.

CDD 634.97385 (21. ed.)

© Embrapa 2015

Autores

em ordem alfabética

Carlos Bruno Reissmann

Engenheiro florestal, Doutor em Nutrição Florestal,
Colaborador do Departamento de Solos e Engenharia
Agrícola da Universidade Federal do Paraná

Delmar Santin

Engenheiro florestal, Pós-doutor em Ciência do Solo,
Autônomo

Eliziane Luiza Benedetti

Engenheira-agrônoma, Doutora em Solos e Nutrição de
Plantas, Professora do Curso de Agroecologia do Instituto
Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Santa
Catarina

Gilvano Ebling Brondani

Engenheiro florestal, Doutor em Recursos Florestais,
Professor do Departamento de Engenharia Florestal na
Universidade Federal de Mato Grosso

Ivar Wendling

Engenheiro florestal, Pós-doutor, Pesquisador da Embrapa
Florestas

Apresentação

A erva-mate é uma cultura de grande importância social, econômica, ambiental e cultural para os participantes de sua cadeia produtiva. Com a crescente descoberta de novos produtos derivados da espécie, cresce também o interesse pela cultura como parte de um dos sistemas florestais e agroflorestais mais equilibrados do Brasil. Diante de um cenário atraente para a erva-mate também ser utilizada como alimento e fármacos, o sistema produtivo deverá atender a critérios de sustentabilidade, competitividade e de qualidade até então pouco considerados, o que será possível somente com a inserção de novas tecnologias em seu sistema produtivo.

Mudas de padrão genético e fisiológico superior juntamente com a nutrição adequada são fatores de grande importância no estabelecimento de ervais de alto padrão produtivo e de qualidade. Assim, este livro reúne os principais resultados de trabalhos relacionados à propagação de mudas e nutrição da cultura da erva-mate. Este apresenta uma série de tecnologias disponíveis, suas aplicações, vantagens e desvantagens no tocante à produção de mudas por via sexuada e assexuada, bem como aspectos relacionados a uma nutrição adequada de plantios de erva-mate, visando contribuir para o desenvolvimento de uma silvicultura sustentável, bem como para a profissionalização do setor produtivo da erva-mate. Sua apresentação, tanto atende ao público que interage com pesquisa e desenvolvimento pela significativa quantidade de referências, como a extensionistas e produtores, dentre outros.

Sergio Gaiad
Chefe de Pesquisa e Desenvolvimento
Embrapa Florestas

Sumário

Capítulo I: Produção de mudas de erva-mate

1. Introdução.....	11
2. Produção de mudas de erva-mate por sementes.....	12
2.1. Produção e coleta das sementes.....	13
2.2. Beneficiamento e armazenamento das sementes.....	15
2.3. Dormência e sua quebra em sementes.....	15
2.4. Semeadura e germinação.....	17
2.5. Repicagem das mudas.....	17
2.6. Substratos e recipientes.....	18
2.7. Adubação das mudas.....	21
3. Produção de mudas de erva-mate por propagação vegetativa.....	24
3.1. Estaquia.....	25
3.1.1. Índices de enraizamento.....	26
3.1.2. Tipo de propágulo e tratamento asséptico.....	26
3.1.3. Reguladores de crescimento e cofatores para o enraizamento.....	31
3.1.4. Substratos e recipientes para o enraizamento.....	32
3.1.5. Ambiente de enraizamento.....	33
3.1.6. Aclimação, rustificação e adubação das mudas.....	35
3.1.7. Sequência esquemática da técnica de estaquia.....	36
Seleção da planta matriz.....	36
Resgate da planta matriz.....	37
Coleta e transporte das brotações e preparo das estacas.....	40
Desinfestação das estacas e equipamentos.....	42
Enraizamento, aclimação, crescimento e rustificação.....	43
3.1.8. Fluxograma geral da técnica de estaquia de erva-mate.....	46

Sumário

3.2. Miniestaquia.....	48
3.2.1. <i>Minijardim clonal</i>	48
3.2.2. <i>Índices de enraizamento</i>	51
3.2.3. <i>Tipo de propágulo e tratamento asséptico</i>	52
3.2.4. <i>Reguladores de crescimento</i>	52
3.2.5. <i>Recipientes e substratos para o enraizamento</i>	53
3.2.6. <i>Ambiente de enraizamento</i>	54
3.2.7. <i>Aclimação, rustificação e adubação das mudas</i>	54
3.2.8. <i>Seqüência esquemática da técnica de miniestaquia</i>	55
<i>Formação do minijardim clonal</i>	55
<i>Coleta e transporte das brotações e preparo das miniestacas</i>	57
<i>Desinfestação das miniestacas e equipamentos</i>	58
<i>Enraizamento, aclimação, crescimento e rustificação</i>	59
3.2.9. <i>Fluxograma geral da técnica de miniestaquia de erva-mate</i>	60
3.3. <i>Enxertia</i>	62
3.3.1. <i>Estudos com enxertia de erva-mate</i>	63
3.3.2. <i>Seqüência esquemática da técnica de enxertia por garfagem</i>	64
<i>Seleção da planta matriz e formação dos porta-enxertos</i>	64
<i>Coleta e transporte das brotações</i>	65
<i>Locais e estruturas para realização da enxertia</i>	67
<i>O processo da enxertia por garfagem</i>	68
<i>Cuidados e tratos culturais pós-enxertia</i>	70
<i>Fatores que influenciam o sucesso da enxertia</i>	71

Sumário

3.3.3. Fluxograma geral da enxertia por garfagem em erva-mate.....	71
3.3.4. Enxertia de substituição de copa.....	73
3.3.5. Minienxertia.....	75
3.4. Micropropagação.....	79
3.4.1. Estabelecimento <i>in vitro</i>	80
3.4.2. Meio de cultura e regulador de crescimento.....	81
3.4.3. Enraizamento e aclimatização.....	82
3.5. Avaliação em campo de mudas produzidas por propagação vegetativa.....	84
4. Considerações finais.....	88
Agradecimentos.....	89
Referências.....	89

Capítulo II: Nutrição e recomendação de adubação e calcário para a cultura da erva-mate

1. Introdução.....	99
2. Peculiaridades e características da erva-mate.....	101
2.1. Potencial de cultivo à sombra e a pleno sol.....	102
2.2. Particularidades químicas e morfológicas.....	104
3. Fatores relevantes na elaboração de uma recomendação de adubação.....	114
3.1. Diversidade de cultivo e manejo de ervais.....	116
3.2. Aspectos nutricionais do solo.....	123
3.3. Aspectos nutricionais da planta.....	128
3.4. Aspectos relacionados à eficiência de utilização dos nutrientes pela planta.....	137
3.5. Ciclagem de nutrientes.....	139

Sumário

4. Resposta à adubação e calagem pela erva-mate.....	145
4.1. Resposta da erva-mate à calagem.....	145
4.2. Resposta da erva-mate à adubação NPK.....	147
5. Recomendação e manejo da adubação e calagem para a erva-mate.....	155
5.1. Recomendação de adubação e calagem.....	155
5.1.1. Calagem para as fases de plantio, formação de copa e produção.....	159
5.1.2. <i>Adubação de plantio e de formação de copa.....</i>	<i>160</i>
5.1.3. <i>Adubação de produção.....</i>	<i>163</i>
5.2. Dinâmica de nutrientes no solo.....	167
5.3. Fontes de nutrientes.....	170
5.4. Manejo da adubação e calagem.....	172
5.4.1. <i>Manejo da calagem</i>	<i>172</i>
5.4.2. <i>Manejo da adubação.....</i>	<i>174</i>
5.5. Calagem e adubação em erval com diferentes fases de crescimento.....	180
6. Considerações finais.....	181
Agradecimentos.....	184
Referências.....	184

Capítulo I

Produção de mudas de erva-mate

*Ivar Wendling
Gilvano Ebling Brondani*

1. Introdução

A formação de plantios de erva-mate depende, dentre outros fatores, da utilização de mudas com qualidade genética e fisiológica, o que proporcionará maiores índices de sobrevivência no plantio e resistência a estresses ambientais, resultando em ganhos em produtividade e em qualidade da matéria-prima.

A produção de mudas de erva-mate é comumente realizada por sementes, devido à maior facilidade de produção, ao maior domínio da tecnologia pelos produtores, à necessidade de estruturas mais baratas e ao menor custo de produção em relação à propagação vegetativa. Contudo, a ocorrência de plantas que produzem poucas ou não produzem sementes, a produção de mudas com características diferentes da planta matriz, além de uma série de dificuldades para a quebra de dormência e para a germinação e do longo período de produção das mudas têm constituído desvantagens à produção via sexuada.

Buscando superar as limitações da produção sexuada, estudos de propagação vegetativa da erva-mate por estaquia foram iniciados na década de 1930 e a maior dificuldade constatada relaciona-se ao enraizamento, inviabilizando o processo em escala comercial. Por sua vez, a técnica de miniestaquia, desenvolvida a partir de 2000, promoveu grande avanço na propagação vegetativa, pois maiores índices de enraizamento foram obtidos, com consequente diminuição

ou mesmo eliminação do uso de reguladores de crescimento para enraizamento (hormônios), além de um aumento considerável na taxa de multiplicação de genótipos selecionados.

As técnicas de produção de mudas a serem adotadas devem atender às necessidades de cada produtor, em termos de disponibilidade e localização da área do viveiro, da quantidade de mudas a serem produzidas, do grau de tecnologia e dos recursos financeiros disponíveis. Independentemente do método utilizado para produção das mudas de erva-mate, existem uma série de fatores e etapas que determinam o seu sucesso. Em vista da sua importância, o presente capítulo visa descrever os principais estudos desenvolvidos disponíveis na literatura, relacionados à produção de mudas de erva-mate. Além disso, sintetiza os resultados obtidos e em desenvolvimento durante os 10 anos de pesquisa dos autores com a espécie, objetivando dar detalhes sobre as tecnologias desenvolvidas para viveiristas, estudantes e pesquisadores do tema.

2. Produção de mudas de erva-mate por sementes

A propagação sexuada tem como base a utilização de sementes para a produção de mudas, permitindo que determinadas características genéticas da planta-mãe sejam herdadas para a próxima geração. Contudo, deve-se levar em consideração a presença de variabilidade genética entre as mudas produzidas por esse método (ocorrência de meiose durante as divisões celulares), o que pode conferir maior amplitude adaptativa a determinados genótipos da nova geração, porém menor qualidade e uniformidade das mudas produzidas (XAVIER et al., 2013).

A produção de mudas de erva-mate é comumente realizada por sementes (CARVALHO, 2003; WENDLING, 2004), devido às vantagens associadas a este tipo de multiplicação, tais como facilidade de produção, maior domínio da tecnologia pelos produtores, necessidade

de estruturas mais baratas em relação à propagação vegetativa, não ser necessária a aplicação de reguladores de crescimento, além de envolver menor custo de produção. Quanto às desvantagens, destacam-se: baixa qualidade genética e fisiológica das sementes (CUQUEL et al., 1994; STURION, 1988); dormência das sementes e longo tempo destinado à sua estratificação (de quatro a seis meses); germinação demorada, desuniforme (de 100 a 360 dias) e com baixo percentual (em geral, inferior a 20%) (CUQUEL et al., 1994; MENNA, 1995; PRAT KRIKUN, 1993; STURION, 1988); longo período de produção das mudas (GRIGOLETTI JÚNIOR et al., 1997; STURION, 1988), necessidade de repicagem das mudas (WENDLING, 2004), necessidade de produção em épocas específicas no ano, ocorrência de plantas que produzem poucas sementes ou não produzem, além de se promover a produção de mudas com características genéticas e fenotípicas diferentes da planta matriz.

Em termos de qualidade das sementes de erva-mate, devem-se priorizar as características fenotípicas da planta matriz, além de sua qualidade fitossanitária, e demais características de interesse (COSTA et al., 2009; STURION et al., 1999). Diversos autores ressaltam a importância da seleção das árvores matrizes produtoras de sementes de erva-mate em relação ao vigor, forma de tronco, ramificação, idade e tipo de folha (COSTA et al., 2009; RESENDE et al., 1995; 2000; STURION et al., 1999; ZANON, 1988), os quais estão relacionados com o interesse comercial do produto final, que é a folha.

2.1. Produção e coleta das sementes

O sucesso da colheita de sementes depende não apenas da técnica a ser adotada, mas também de uma série de fatores imprescindíveis ao bom desempenho, como conhecimento dos aspectos fenológicos da espécie de interesse. A erva-mate é uma espécie dióica, que apresenta flores díclinas com um dos sexos abortivo, gerando indivíduos com flores pistiladas (estaminódios) e outros com flores

estaminadas (pistilódios) (CARVALHO, 2003; CATAPAN, 1998). A reprodução sexual inicia-se normalmente aos cinco anos de idade, com a ocorrência de fecundação cruzada, sendo que a polinização é predominantemente entomófila. O florescimento ocorre durante os meses de setembro a dezembro na região de ocorrência natural (CARVALHO, 2003; LIEBSCH; MIKICH, 2009).

A permanência da semente na árvore após a maturidade corresponde a um armazenamento no campo, submetendo-a às variações climáticas, o que pode afetar sua qualidade. A colheita das sementes deve ser realizada somente quando estas atingirem o ponto de maturação fisiológica (um pouco antes de sua queda natural), que coincide com o máximo poder germinativo e vigor, ficando praticamente desligadas da planta-mãe (LIEBSCH; MIKICH, 2009). Recomenda-se coletar os frutos maduros de erva-mate com coloração violeta e separá-los das sementes, três dias após a coleta, por ruptura mecânica sob água corrente com o uso de peneira (MEDRADO et al., 2000; MEDRADO; MOSELE, 2004; ZANON, 1988). Naturalmente, as sementes desprendem-se da planta-mãe antes de estarem morfológicamente maduras, ocorrendo o término da maturação do embrião após a dispersão das mesmas, a qual é realizada principalmente por pássaros (ornitocoria).

A maturação dos frutos geralmente ocorre nos meses de janeiro a abril (CARVALHO, 2003; LIEBSCH; MIKICH, 2009), sendo que a coleta pode ser realizada no chão ou diretamente nas árvores selecionadas (ZANON, 1988).

2.2. Beneficiamento e armazenamento das sementes

O beneficiamento das sementes de erva-mate deve ser realizado após a coleta, priorizando os frutos de coloração violeta-escuro e desprezando os que apresentam coloração verde (ZANON, 1988). No caso do beneficiamento imediato após a colheita (no mesmo dia ou no dia seguinte), os frutos selecionados são, inicialmente, separados das sementes por meio da maceração em peneiras. Em seguida, faz-se a imersão, em recipiente, da massa constituída de sementes e restos de polpa; com água corrente, executa-se a lavagem até que as sementes apresentem um mínimo de impurezas. As sementes sobrenadantes devem ser eliminadas. Frutos colhidos há mais de três dias iniciam o processo de fermentação e secagem, sendo necessária a imersão em água por 24 h para facilitar as operações de extração das sementes. Imediatamente após o beneficiamento, deve ser preparada a estratificação ou mesmo a semeadura direta das sementes (ZANON, 1988). Segundo Backes e Irgang (2002), as sementes de erva-mate podem ser armazenadas por um período superior a um ano.

2.3. Dormência e sua quebra em sementes

As sementes da erva-mate apresentam dormência em virtude do embrião se encontrar morfológicamente imaturo (dormência embrionária), requerendo período de estratificação para que ocorra o seu desenvolvimento e germinação (CATAPAN, 1998; CUQUEL et al., 1994; FOWLER; STURION, 2000), além de apresentarem endocarpo lenhoso (MEDEIROS, 1998), ou seja, dormência tegumentar (FOWLER; STURION, 2000). Tal fato constitui-se no principal problema para a avaliação da qualidade fisiológica de lotes de sementes e, conseqüentemente, da produção de mudas de erva-mate via sexuada (WENDLING, 2004). Geralmente, apenas 0,9% a 10% das sementes dessa espécie apresentam embrião maduro após

a coleta na planta matriz (CUQUEL et al., 1994; FOWLER; STURION, 2000), sendo necessária a realização de quebra de dormência a partir de procedimentos específicos, como o processo de estratificação.

No caso de se utilizar sementes de erva-mate que foram armazenadas, recomenda-se colocá-las de molho em água à temperatura ambiente por três dias, com a finalidade de promover a embebição do tegumento e facilitar o processo de estratificação (FOWLER; STURION, 2000). O processo de estratificação tem a função de evitar o dessecamento do tegumento das sementes e, ao mesmo tempo, promover a redução da tensão de oxigênio e aumentar a tensão de CO₂ no meio, proporcionando condições para a maturação ou para a superação de bloqueios mecânicos (como o tegumento muito duro) que impedem o embrião de completar a sua maturação fisiológica (CATAPAN, 1998; CUQUEL et al., 1994).

A técnica de estratificação de sementes de erva-mate consiste em alternar camadas de sementes imaturas com areia úmida por períodos de cinco a seis meses (CUQUEL et al., 1994; FOWLER et al., 2007; FOWLER; STURION, 2000; MEDEIROS, 1998; MEDRADO et al., 2000; MEDRADO; MOSELE, 2004). Este método consiste na distribuição de uma camada de sementes de até 2 cm, entre duas camadas de areia, com 8 cm a 10 cm cada uma, no recipiente de estratificação, que pode ser uma caixa de madeira ou uma lata com o fundo perfurado (ZANON, 1988). Cuquel et al. (1994) concluíram que dentre os métodos de estratificação, os que envolveram alternância de luz e temperatura e adição de nitrato de potássio foram os mais indicados para reduzir o período de dormência de sementes de erva-mate, sendo que outros substratos, como o composto de argila, solo orgânico e vermiculita também podem ser utilizados para a estratificação das sementes. Fowler e Sturion (2000) recomendaram como substrato para a estratificação das sementes um composto de argila, solo orgânico, esterco e areia, na proporção de 3:1:1:1.

2.4. Semeadura e germinação

Sturion (1988) recomenda sombreamento entre 50% a 70% (sombrite) da sementeira para a semeadura e germinação das sementes, com controle da umidade do substrato. Contudo, outros fatores podem interferir na emergência das plântulas após a semeadura. Catapan (1998) verificou que a temperatura alternada influenciou a germinação de sementes de erva-mate, sendo que a temperatura compreendida entre 20 °C a 30 °C foi a que apresentou os maiores percentuais de germinação.

O início da emergência das plântulas após a semeadura (sementes já estratificadas) geralmente ocorre entre 30 e 42 dias (CATAPAN, 1998), sendo que os maiores índices de germinação encontram-se ao redor dos 60 dias (CUQUEL et al., 1994) e estendem-se até os 120 dias (STURION, 1988). Porém, o tempo de germinação das sementes pode variar de acordo com a época de coleta, tempo de estratificação, temperatura, luminosidade, umidade e substrato utilizado para a germinação (CATAPAN, 1998; CUQUEL et al., 1994). Dessa forma, devem-se adequar as condições da sementeira para que essas estejam mais próximas das recomendadas, visando obter maiores índices de germinação em menor tempo.

2.5. Repicagem das mudas

A repicagem das mudas de erva-mate para os recipientes definitivos pode ser realizada quando essas atingirem altura entre 3 cm a 5 cm (STURION, 1988). As mudas são arrancadas individualmente e seguradas pelo colo, sendo selecionadas pelo vigor da parte aérea e do sistema radicular e colocadas em recipientes com água, à sombra, até serem repicadas (STURION, 1988). Medrado e Mosele (2004) salientam que a prática da repicagem tem prejudicado a qualidade das mudas de erva-mate, uma vez que muitas vezes não é executada de forma adequada, o que pode acarretar em aumento da mortalidade das mesmas. Os mesmos autores destacam a importância do

desenvolvimento de um protocolo de produção de mudas sem a etapa de repicagem, o que poderá reduzir significativamente as perdas no viveiro. Além disso, cabe destacar que a repicagem, quando mal feita, pode resultar em problemas com o sistema radicular das mudas formadas, uma vez que ocorre seu enovelamento.

2.6. Substratos e recipientes

O substrato para a produção de mudas deve apresentar boa textura e estrutura, a fim de permitir perfeita drenagem, arejamento e retenção de água para o adequado desenvolvimento radicular das mudas (KRATZ; WENDLING, 2013; STURION, 1988). Diversos substratos podem ser utilizados para a produção de mudas de erva-mate via sementes. A terra retirada das matas nativas não é recomendada, devido aos problemas ambientais que essa prática pode acarretar. Dessa forma, recomenda-se o uso de substratos comerciais florestais e demais formas de substratos alternativos, como misturas de compostos biodegradáveis e renováveis. Segundo Sturion (1988) e Lourenço et al. (2000), podem ser utilizadas misturas de esterco suíno, bovino e aviário com outros compostos orgânicos e/ou inorgânicos, visando aumentar a disponibilização de nutrientes para as mudas.

Wendling et al. (2007a) avaliaram diversos substratos em relação às características físicas e químicas para a produção de mudas de erva-mate em tubetes, testando substratos comerciais à base de casca de pinus, esterco bovino curtido de gado confinado, serragem semidecomposta, palito de erva-mate picado e peneirado de 1 mm a 3 mm, terra de subsolo e húmus de minhoca em diversas proporções e misturas. Os autores concluíram que os substratos contendo esterco bovino, serragem e palito de erva-mate se mostraram adequados para a produção de mudas de erva-mate, sendo que aquele formado por 40% de esterco bovino e 60% de serragem destacou-se, em vista da boa relação custo-benefício apresentada e da sua facilidade de preparo, embora necessite de ajustes na nutrição para maiores crescimentos.

Estudando diferentes substratos para o crescimento de mudas de erva-mate propagadas por sementes, Lourenço et al. (2000) verificaram que os formados pela mistura de esterco bovino favoreceram ao acúmulo de matéria seca da parte aérea e de raízes. Dentre os substratos avaliados, o formado pela mistura de terra de mata com esterco bovino (2:1) e terra de subsolo com esterco bovino (2:1) mostraram-se os mais adequados para o crescimento das mudas de erva-mate.

Uma série de outros materiais renováveis têm sido avaliados e recomendados para a produção de mudas de espécies florestais e deveriam ser avaliados para a erva-mate, tais como: fibra de coco, casca de arroz carbonizada, composto orgânico, entre outros. A melhor formulação de substrato será variável em função da disponibilidade de materiais passíveis de uso para composição dos mesmos, seu custo de produção e qualidade das mudas produzidas.

Os recipientes utilizados para produção de mudas de erva-mate podem variar em tamanho, formato e tipo de material constituinte. Historicamente, os sacos plásticos sempre foram os mais utilizados em vista, principalmente, de seu baixo custo, facilidade de produção das mudas, bem como, a possibilidade de uso em estruturas mais simples. No entanto, seu uso vem diminuindo gradualmente, devido à grande quantidade de substrato necessário ao seu enchimento, maior peso da muda pronta, menor produção de mudas por área de viveiro, maior necessidade de mão-de-obra, dificuldades de transporte, além de gerar resíduos no ato do plantio devido ao seu descarte. Em vista disso, cada vez mais tem-se avaliado e indicado os tubetes plásticos, com volume entre 75 cm³ e 110 cm³, acondicionados em bandejas próprias.

Os tubetes apresentam como vantagens o uso racional da área do viveiro, permitindo o acondicionamento de um maior número de mudas, automatização do sistema de produção, desde o seu enchimento até a semeadura e expedição das bandejas para a área de germinação.

Também podem ser reutilizados por vários anos, dependendo da qualidade do plástico utilizado na sua confecção e do armazenamento adequado. Uma limitação ao uso de tubetes, principalmente os de volumes menores, relaciona-se ao menor tempo que as mudas podem permanecer no viveiro, em vista do menor volume de substrato, o que pode ser resolvido com um cronograma mais refinado de produção e plantio em campo. Vale ressaltar que, quanto menor o volume do tubete ou de qualquer outro tipo de recipiente, mais sensíveis à falta de água as mudas serão no local de plantio definitivo.

Sistemas conjugados substrato/recipiente (blocos prensados, sacos biodegradáveis) são aqueles que funcionam como recipiente e substrato ao mesmo tempo. Esses são constituídos de materiais orgânicos (turfas ou outros) prensados, os quais, depois de umedecidos, se expandem. Quando a muda estiver no ponto de plantio definitivo, esta é levada ao campo onde é plantada com o material, não havendo necessidade de ser retirada da embalagem. Os sistemas conjugados reduzem o gasto com mão-de-obra, uma vez que não há necessidade de preparação do substrato, do enchimento das embalagens e da retirada da embalagem na hora do plantio. Além disso, segundo estudos realizados em eucalipto, as mudas produzidas nestes tipos de recipientes podem apresentar melhor desempenho de crescimento em campo, com menor deformação das raízes quando comparadas com mudas produzidas em tubetes plásticos (LELES et al., 2001). Para erva-mate, o sistema conjugado que vem sendo avaliado é o individualizado, envolto por tecido não tramado (TNT) (Figura 1), o qual permite que as raízes atravessem a parede do mesmo. No entanto, os primeiros resultados em campo indicam que o TNT apresenta dificuldades de decomposição, causando problemas nas plantas (Figura 1), demonstrando a necessidade de mais pesquisas para que este sistema seja eficiente em escala comercial.



Figura 1. Sistema conjugado substrato/recipiente: muda de erva-mate pronta para plantio definitivo com raízes atravessando o tecido não tramado (TNT) (à esquerda) e muda de erva-mate três anos após o plantio em campo, mostrando a não decomposição do TNT (à direita).

2.7. Adubação das mudas

A adubação das mudas em estágio inicial de desenvolvimento é muito importante e reflete diretamente na sua qualidade final, considerando o estado fisiológico da muda previamente ao plantio no campo. Em revisão realizada por Medrado et al. (2000) para a fertilização de mudas de erva-mate em viveiro, foi indicada a aplicação de 2 g de ureia por 100 litros de água, em aplicação a cada 20 dias, por meio de regadores, até a capacidade de campo. Em estudo realizado por Sturion (1988) foi observado melhor crescimento de mudas de erva-mate em terra de subsolo quando receberam adubação composta por 4 g de superfosfato triplo, NPK (6-15-6) ou NPK (14-10-5). Contudo, as mudas apresentaram coloração diferenciada quando adubadas com superfostato triplo, com uma coloração verde muito clara. As mudas adubadas com NPK (6-15-6) também apresentaram esses sintomas, embora em menor grau de expressão visual. As mudas

adubadas com NPK (14-10-5) apresentaram uma coloração verde-escura, característica da espécie. Doses desse adubo, iguais ou superiores a 4,0 g por recipiente tiveram influência negativa na sobrevivência.

Medrado et al. (2000) afirmam que viveiros de produção de mudas de erva-mate nos Estados do Paraná e Santa Catarina têm apresentado bons resultados com o uso de adubos formulados NPK, na dose de 3 kg de 4-14-8 ou de 4-30-10 ou 2 kg de 10-20-10 por m³ de terra de subsolo. Em estudo relacionado à exigência nutricional de N, P e K, Santin et al. (2008a) verificaram resposta positiva na produção de mudas de erva-mate ao P, apresentando o melhor crescimento na dose de 447,5 mg kg⁻¹ de P. Além disso, os autores verificaram que doses de N e K superiores a 100 mg kg⁻¹ de substrato, mostraram-se inviáveis para produção de mudas de erva-mate, demonstrando a sensibilidade dessa cultura a doses elevadas de N e K na fase de crescimento inicial das mudas. Baseado nesses resultados, Santin et al. (2013) estudaram a influência da adubação fosfatada quando combinada ao N e K em Latossolo Vermelho distrófico, constatando que o crescimento de mudas de erva-mate sob essas condições foi afetado pela interação entre os nutrientes P, N e K. Além disso, foi demonstrado que o P em concentrações variando de 18,5 mg dm⁻³ a 28,6 mg dm⁻³ resultou no melhor crescimento das mudas.

Na produção de mudas de erva-mate em tubetes, a adubação é muito variável em função do tipo de substrato utilizado, tipo de manejo do viveiro e sistema de produção, havendo uma limitação em relação a trabalhos técnico-científicos que avaliem as melhores adubações. Como recomendação prática geral, para cada m³ de substrato sem adubação de base (substrato formulado no viveiro), pode-se aplicar 4.000 g de super fosfato simples, 800 g de sulfato de amônia, 200 g de cloreto de potássio e 1.000 g de FTE BR 10 ou BR 12 (produto comercial que contém micronutrientes).

Para adubação de cobertura, recomenda-se aplicar, em cada fase de crescimento (plântula até a rustificação das mudas), solução nutritiva, com variação na composição e doses conforme a fase (Tabela 1).

Tabela 1. Recomendação de fontes de nutrientes e dose de solução nutritiva a ser aplicada em cada fase de crescimento de mudas de erva-mate.

Fonte	Dose (g L ⁻¹)
Fase de berçário¹	
Super fosfato simples	2,30
Sulfato de amônio	0,15
Cloreto de potássio ou nitrato de K	1,60
FTE BR 10 (ou BR 12)	0,25
Fase de crescimento²	
Ureia	4,00
Super fosfato simples	3,00
FTE BR 10	0,25
Cloreto potássio ou nitrato de K	3,00
Fase de rustificação³ (pleno sol)	
Sulfato de amônio	4,00
Super fosfato simples	10,00
Cloreto de potássio	4,00
FTE BR10	1,00

Aplicar: ¹6 L para cada 1.000 mudas; ²6 L para cada 1.000 mudas, a cada 7 dias; ³3 L para cada 1.000 mudas, a cada 7 dias. Para todas as fases, após 5 minutos a 10 minutos da aplicação da solução nutritiva, irrigar as mudas com água pura.

Os exemplos de adubações de substratos apresentados anteriormente apenas ilustram algumas possibilidades, devendo ser adaptados de acordo com as necessidades e especificidades de cada viveiro e sistema de produção. Uma alternativa eficiente se refere à utilização no substrato de fertilizantes de liberação controlada, eliminando-se a necessidade de adubações de cobertura. Caso o viveirista utilize substratos comerciais, estes em geral já vêm com adubação de base, devendo-se nestes casos reduzir os adubos aplicados. Estudos ainda deverão ser realizados, sobretudo em relação ao tipo de adubação para diferenciadas formulações de substratos, visando à produção de mudas de erva-mate com qualidade adequada.

3. Produção de mudas de erva-mate por propagação vegetativa

A produção sexuada de mudas de erva-mate apresenta uma série de limitações e dificuldades, conforme já destacado no item 2 deste capítulo. Todos estes fatores contribuem para elevar o custo de produção das mudas, além de limitar a sequência dos programas de melhoramento genético da espécie. Além disso, os plantios de erva-mate provenientes de sementes coletadas sem critérios técnicos apresentam desenvolvimento heterogêneo, com reflexos negativos na produtividade e qualidade do produto final. Esses problemas podem ser minimizados ou até solucionados através da obtenção de mudas por propagação vegetativa de indivíduos geneticamente superiores.

O grau de sucesso obtido na propagação vegetativa é influenciado pela espécie/clone (ELDRIDGE et al., 1994; THOMPSON, 1992; WENDLING; DUTRA, 2010), pela estação do ano, condições fisiológicas da planta-mãe, variações nas condições climáticas (BRONDANI et al., 2012a; XAVIER et al., 2013;), pela posição do propágulo na planta-mãe, pelo tamanho, tipo, armazenamento e hora de coleta do propágulo (BRONDANI et al., 2012a; FERREIRA et al., 2012; PIRES et al., 2013; THOMPSON, 1992), pelo meio de enraizamento, pelas substâncias de crescimento e pelos produtos químicos aplicados (DIAS et al., 2012; THOMPSON, 1992; WENDLING et al., 2010; XAVIER et al., 2013).

Os protocolos de estaquia desenvolvidos para a propagação de erva-mate têm apresentado uma série de limitações para sua adoção em escala comercial. Segundo Wendling (2004) estas limitações se referem a métodos eficientes de rejuvenescimento de material adulto, ao desenvolvimento das técnicas de manejo do ambiente de propagação (substratos, umidade na folha e no substrato, controle fúngico e hormonal), manejo das estacas pós-enraizamento em relação à nutrição (tipos de adubos, dosagens, intensidade de aplicação, relações de nutrientes), sistemas de enraizamento e condução que

não necessitem de repicagem das estacas enraizadas para outro recipiente, sombreamento, vigor do sistema radicial, bem como o estabelecimento de testes clonais, visando a estudos de comparação do crescimento de mudas clonais com mudas originárias de sementes.

A necessidade de desenvolvimento de protocolos específicos de macro e micropropagação por clone selecionado é fundamental, visto que a variação da capacidade de propagação vegetativa entre indivíduos é extremamente alta (PRAT KRIKUN et al., 1986; SAND, 1989; TAVARES et al., 1992). Neste sentido, torna-se importante ressaltar a necessidade dos programas de melhoramento da erva-mate estarem em perfeita sincronia com o desenvolvimento de protocolos de propagação vegetativa, específicos para cada clone selecionado.

3.1. Estaquia

A técnica de estaquia consiste na produção de mudas a partir de propágulos (galho, caule, ramo, raiz ou folha) coletados de uma planta matriz, selecionada de acordo com suas características de produtividade e qualidade. As mudas assim obtidas apresentam as mesmas características genéticas da planta matriz.

A vantagem dessa técnica refere-se à homogeneidade das plantas produzidas, transmissão das características da planta que se deseja propagar, possibilidade de multiplicação de plantas híbridas e de indivíduos resistentes a pragas e doenças, além de se evitar a possibilidade de rejeição, quando comparada com a técnica de enxertia (WENDLING, 2004). A estaquia também permite a multiplicação de plantas que não produzem ou produzem poucas sementes; de plantas nas quais as sementes são muito caras; de mudas em menor tempo do que por meio de sementes e durante todo o ano, dependendo das condições climáticas e estruturais disponíveis (DIAS et al., 2012; WENDLING, 2004). Em termos de desvantagens, pode-se destacar o risco excessivo de estreitamento da base genética dos plantios clonais, quando da utilização de pequeno número de clones, dificuldade de

obtenção de enraizamento em algumas árvores, custo de produção das mudas em geral mais elevado e dificuldade de enraizamento em plantas não juvenis (WENDLING; DUTRA, 2010).

Segundo Prat Krikun (1995), desde a década de 1930 a propagação de erva-mate por estaquia é um tema de interesse, sendo que vários autores fizeram menção à dificuldade de se encontrar uma técnica adequada, sendo os primeiros resultados satisfatórios obtidos por Fernandez e Lasserre (1969) citado por Prat Krikun (1995). Inúmeras pesquisas têm sido desenvolvidas com a espécie, visando ao desenvolvimento e disponibilização de protocolos eficientes para produção de mudas por estaquia (BITENCOURT et al., 2009; BRONDANI et al., 2009; CORRÊA, 1995; GRAÇA et al., 1988; IRITANI; SOARES, 1981; NIKLAS, 1988; PRAT KRICUN; ARANDA, 1980; PRAT KRICUN et al., 1983, 1986; SAND, 1989; STURION; RESENDE, 1997; TARRAGÓ et al., 2005; TAVARES et al., 1992; WENDLING et al., 2006b). Porém, os baixos índices de enraizamento obtidos comprometem o uso da técnica em escala comercial.

3.1.1. Índices de enraizamento

O enraizamento de estacas de erva-mate, em geral, tem sido baixo e depende de uma série de fatores, dentre os quais destacam-se o material genético, a idade e o sexo das plantas matrizes.

Em estudo de Tavares et al. (1992) o enraizamento variou de 0 a 100% entre procedências e progênies e o resumo dos resultados das investigações efetuadas pelo INTA (Argentina) entre os anos de 1958 e 1983 demonstrou que o enraizamento médio de clones selecionados variou de 0 a 88% (PRAT KRICUN et al., 1983). Em estudo de Prat Krikun e Aranda (1980), de um total de 106 clones selecionados de erva-mate, 22 foram eliminados por seus baixos índices de enraizamento, e os 84 clones restantes apresentaram média geral de 8,3% de enraizamento entre os anos de 1975 a 1978. Santos (2011) avaliou a estaquia de 16 genótipos de erva-mate, observando enraizamento de 5,7% a 63,7%, variável entre genótipos, estações do ano e uso ou não uso de AIB.

Corrêa (1995) avaliou o percentual de estacas enraizadas de erva-mate, bem como o respectivo percentual de estacas funcionais, de quantificação valorativa e determinada com base no número e comprimento de suas raízes. Obteve um percentual médio de enraizamento de 38,6%, e em torno de 17% de estacas funcionais, comprovando efeito marcante do material genético sobre o enraizamento e detectando variabilidade genética significativa para o caráter enraizamento de estacas entre procedências e entre indivíduos dentro de progênies. A herdabilidade do caráter enraizamento foi de baixa magnitude (inferior a 30%) em nível de indivíduo, porém alta em nível de médias de famílias e médias de indivíduos dentro de família, levando à conclusão de que o enraizamento pode ser melhorado, tanto geneticamente, pela seleção, como ambientalmente, por meio de técnicas de enraizamento.

Sturion e Resende (1997) selecionaram fenotipicamente 30 árvores de erva-mate, das quais foram retiradas estacas para seu posterior enraizamento. Conforme os autores, 27 das 30 árvores selecionadas forneceram estacas que emitiram raízes, sendo que o percentual de enraizamento variou de 1,1% a 60,1%, com média de 17,6%. Os autores concluíram que o aprimoramento das técnicas de propagação vegetativa é fundamental para o êxito de programas de melhoramento genético desta espécie, embasado em estratégias clonais.

Buscando avaliar a influência do sexo da planta matriz no enraizamento de estacas de erva-mate, Prat Krikun et al. (1986) realizaram uma série de estudos e obtiveram médias (anos de 1982 a 1985) de 19,8% e 6,6% de plantas obtidas aos 10-12 meses, respectivamente, para plantas femininas e masculinas, chegando à conclusão de que as primeiras tem maior propensão ao enraizamento, o que também já havia sido concluído por experimento de Prat Krikun et al. (1983). Conclusão similar foi obtida por Wendling et al. (2006b) avaliando clones masculinos (média de 24% de enraizamento) e femininos (média de 40% de enraizamento) com 12 anos de idade. Entretanto, ressalta-se que o foco mais relevante

é a clonagem de indivíduos selecionados e não a maximização do enraizamento *per se*, como no caso do indivíduo selecionado para massa foliar e, ou alta cafeína ser masculino.

Estudando a influência da idade da planta matriz de erva-mate na capacidade de enraizamento, Sand (1989) obteve enraizamento de 91,7% e 6,8%, respectivamente, de estacas provenientes de plantas de um e 60 anos de idade. Segundo conclusões do mesmo autor, o fator juvenildade se perde após três anos de idade das plantas, sem, no entanto, (os indivíduos) terem ainda alcançado a maturação reprodutiva, a qual iniciaria após o quinto e sexto ano de vida.

3.1.2. Tipo de propágulo e tratamento asséptico

Uma série de estudos foram realizados para definir o tipo de propágulo ideal para a estaquia de erva-mate. Em relação ao número de folhas, Prat Krikun et al. (1986) obtiveram médias de 45,8%, 47,1%, 42,8%, 32,5%, 40,5% e 26,4% de plantas obtidas aos 10-12 meses, respectivamente, com 1, 2, 3, 4, 5 e 6 folhas por estaca, não chegando, portanto a uma conclusão definitiva.

De forma geral, há uma grande variação em trabalhos de estaquia de erva-mate quanto ao propágulo adotado: estacas de ramos do ano, com redução da área foliar em 50% (TAVARES et al., 1992); estacas com 12 cm de comprimento (CORRÊA, 1995; GRAÇA et al., 1988); estacas com duas folhas e 10 cm a 15 cm de comprimento (HIGA, 1982; NIKLAS, 1988); estacas polifoliadas com 10-20 cm de comprimento (SAND, 1989), estacas com 16 cm de comprimento e 4 folhas reduzidas a 1/3 do tamanho original (IRITANI; SOARES, 1981), estacas com 11 cm (± 2 cm) contendo um par de folhas reduzidas a 50% da área total, com um corte em bisel na porção basal da estaca (BITENCOURT et al., 2009; BRONDANI et al., 2009).

Uma das possíveis causas da baixa porcentagem de enraizamento de estacas de erva-mate oriundas de árvores adultas é a baixa juvenilidade das brotações que lhe deram origem. Portanto, a utilização de técnicas que visem resgatar a juvenilidade de estacas é de fundamental importância para o sucesso da propagação vegetativa. Nessa linha de pesquisa, pode-se relatar estudos desenvolvidos por Bitencourt et al. (2009) que avaliaram o enraizamento de estacas de brotações do ano, provenientes da copa de árvores com 13 anos de idade e estacas de rebrota, provenientes de rebrota de decepa realizada em árvores de 17 anos de idade.

Outra técnica utilizada para obter brotos viáveis para aplicação na estaquia, micropropagação ou até mesmo para a enxertia refere-se à indução de brotações epicórmicas a partir de galhos podados. Essa técnica é executada a partir da coleta de galhos (tamanho entre 50 cm e 100 cm, com diâmetro variável) em diferentes posições da copa das árvores, sendo, posteriormente, acondicionados em casa de vegetação com nebulização intermitente para indução de brotações (HARTMANN et al., 2011). A indução de brotos a partir de ramos podados tem como vantagens a não necessidade de abate da árvore matriz, maior facilidade de transporte (tanto dos galhos quanto dos brotos), maior qualidade das brotações induzidas e facilidade de manejo, coleta e preparo dos brotos. Resultados positivos foram relatados por Wendling et al. (2013) ao avaliarem o enraizamento de estacas obtidas a partir de brotos epicórmicos em galhos de árvores de erva-mate de 19 anos de idade. Os autores verificaram a viabilidade da utilização dessa técnica para obter brotos em quantidade e qualidade para emprego na estaquia (não havendo necessidade de tratamentos adicionais, como aplicação de sacarose ou ácido indolbutírico), inclusive configurando em uma estratégia para o resgate de matrizes adultas selecionadas. Contudo, esse método ainda não foi testado em outras condições de trabalhos e em diferentes plantios de erva-mate, sendo necessário o desenvolvimento de estudos posteriores.

O anelamento de árvores matrizes adultas também é uma prática utilizada para a indução de brotações com maior grau de juvenildade, o que reflete em maiores índices de enraizamento dos propágulos em relação aos brotos do ano coletados diretamente da copa. A técnica de anelamento da região basal do tronco tem apresentado resultados satisfatórios para erva-mate (BITENCOURT, 2009; MEDRADO et al., 2002; SANTIN et al., 2006, 2008b; WENDLING, 2004), sendo recomendada em substituição ao corte raso da planta-matriz para a indução de brotos. Os brotos obtidos do anelamento apresentam características fisiológicas e ontogenéticas adequadas para serem utilizadas em diversas técnicas de propagação, como a estaquia, micropropagação e enxertia.

Santin et al. (2008b) verificaram que o anelamento foi eficiente para a indução de brotações basais de árvores adultas de erva-mate (plantas com idade estimada entre 30 a 50 anos), destacando a elevada capacidade de cicatrização do anel na região da casca removida durante o anelamento, o que denota a eficiência dessa técnica, por não ocasionar a mortalidade das árvores. Além disso, a técnica de anelamento pode ser utilizada para a recuperação e renovação de plantas de erva-mate debilitadas (BITENCOURT, 2009; SANTIN et al., 2006), sendo uma estratégia eficiente para a recuperação de plantios. Contudo, a eficiência do anelamento depende da idade da planta-matriz e estação do ano. Em árvores de erva-mate com mais de 80 anos de idade o inverno foi a estação mais favorável para a realização dessa prática, não sendo observada mortalidade dos indivíduos (BITENCOURT, 2009). Além disso, Santin et al. (2008b) recomendam a remoção de 70% da copa, para aumentar a eficiência do método.

Inúmeros tratamentos para desinfestação de estacas de erva-mate foram utilizados em trabalhos de estaquia: imersão das estacas em uma solução fúngica a base de Benlate por 1 hora e a imersão da base das estacas em solução de NaOH durante 2 minutos (IRITANI; SOARES, 1981); imersão em solução de fungicida Benomyl a 0,4 g L⁻¹, durante

30 minutos e, após a estaquia, aplicações semanais com Benomyl a $0,4 \text{ g L}^{-1}$ (HIGA, 1982); aplicações de fungicida (Zineb) e inseticida (Dimetoato) nas plantas matrizes antes da coleta de estacas e pulverização preventiva após o estaqueamento com Zineb (SAND, 1989); imersão das estacas em solução de NaOH durante 1 minuto (NIKLAS, 1988); imersão em hipoclorito de sódio a 1% v/v (5 minutos), lavagem em água corrente (5 minutos) e imersão em Benlate a 0,5% p/v (15 minutos) (GRAÇA et al., 1988); imersão das estacas durante 5 minutos em hipoclorito de sódio (20% em água), seguido de 5 minutos em água corrente e, por fim, 15 minutos em fungicida (BRONDANI et al., 2009).

3.1.3. Reguladores de crescimento e cofatores para o enraizamento

Na estaquia de erva-mate, as concentrações de reguladores de crescimento para promover o enraizamento em propágulos vegetativos geralmente são elevadas (acima de 5.000 mg L^{-1}), sendo que as auxinas são amplamente utilizadas. Iritani e Soares (1981) ao estudarem o efeito de reguladores de crescimento em estacas de erva-mate verificaram que o tratamento com auxinas induziu a formação de calos e iniciação de raízes adventícias nas estacas, sendo que o ácido indolbutírico (AIB) foi mais eficiente que o ácido indolacético (AIA). Embora os índices de enraizamento tenham sido considerados reduzidos, o uso desses reguladores de crescimento induziu a formação de raízes estruturalmente funcionais nas estacas com folhas de erva-mate.

Em outro estudo, Graça et al. (1988) concluíram que o tratamento basal com AIB foi necessário para o enraizamento de estacas de erva-mate e as concentrações entre 5.000 mg L^{-1} e 8.000 mg L^{-1} possibilitaram até 62% e 47% de enraizamento em estacas de brotações do ano de árvores adultas e de mudas, respectivamente. Brondani et al. (2009) utilizaram a concentração de 8.000 mg L^{-1} de AIB para o enraizamento de estacas de erva-mate coletadas de matrizes com 12 anos de idade.

Em 16 genótipos de erva-mate, Santos (2011) observou variações de enraizamento com ou sem uso de AIB (6000 mg L^{-1}), época do ano (primavera/verão e outono/inverno) e o genótipo, obtendo melhor resposta na primavera/verão, com o uso de AIB (17,5% a 63,6% de enraizamento).

Tarragó et al. (2005) verificaram elevada correlação entre a posição da folha e a regeneração de sítios de raízes adventícias em estacas de erva-mate coletadas de árvores de 20 anos de idade. A aplicação de quercetina (flavanóide natural) aumentou a porcentagem de enraizamento em mais de três vezes em comparação com o controle (isento de flavanóide). Todos os flavanóides testados melhoraram a distribuição de raízes em torno da haste, sem afetar o número de raízes regeneradas por estaca enraizada. Esses resultados sugerem a influência de inúmeros fatores nos processos de enraizamento adventício em estacas (não somente os níveis endógenos e exógenos de auxinas), sendo que as investigações devem ser mais aprofundadas para ampliar o conhecimento científico nesse campo de pesquisa.

Dependendo do grau de juvenilidade do tecido, a concentração de auxina pode ser reduzida, devido aos propágulos com maior grau de juvenilidade apresentarem maior competência para o enraizamento adventício. Essa observação é ressaltada por Bitencourt et al. (2009) que não verificaram efeito significativo em relação a aplicação do AIB para o enraizamento em estacas de erva-mate, porém ocorreu elevada correlação do tipo de estaca usada. Os propágulos mais juvenis pelo corte basal das matrizes apresentaram os melhores resultados quanto à porcentagem de enraizamento, assim como de número e comprimento de raízes.

3.1.4. Substratos e recipientes para o enraizamento

Quanto ao uso de substrato, a areia não foi adequada para o enraizamento de estacas de erva-mate, sendo que a vermiculita pode apresentar o dobro de enraizamento (GRAÇA et al., 1988). Tavares

et al. (1992) concluíram que a vermiculita média foi o substrato que propiciou maior enraizamento em bandejas de plástico, ou seja, 56%, enquanto que a casca de arroz carbonizada resultou em 27,5%, a mistura de terra e areia (proporção de 3:1) em 4,4% e, por último, a mistura de terra e vermiculita média (proporção de 3:1) em 0,6%.

Brondani et al. (2009) verificaram que os índices de enraizamento de erva-mate, além de dependerem significativamente do genótipo, também dependem do tipo de substrato empregado na estaquia. Segundo os mesmos autores, o uso da mistura de casca de arroz carbonizada com substrato para enraizamento à base de casca de pinus e vermiculita (1:1, v/v) em tubete cônico plástico (110 cm³) foi o mais aconselhado para estaquia de erva-mate. Bitencourt et al. (2009) recomendaram o uso de caixas plásticas contendo casca de arroz carbonizada e vermiculita de granulometria média como substrato (1:1, v/v).

Pesquisas sobre a adequação de diferentes recipientes à estaquia de erva-mate são escassas. Tavares et al. (1992) testaram sacos plásticos de polietileno (15 cm x 7,5 cm), tubetes plásticos de 55 cm³ e caixas de madeira (50 cm x 40 cm x 10 cm) com fundo de sombrite. Em torno de 60 dias após a estaquia, os autores verificaram que, apesar de o saco plástico ter resultado em maior enraizamento (25,4%) é de difícil acomodação e requer maior espaço na casa de vegetação do que as caixas de madeira (20% de enraizamento). Em tubetes os autores obtiveram em torno de 10,8% de enraizamento.

3.1.5. Ambiente de enraizamento

Em relação ao ambiente inicial de enraizamento, o sistema de nebulização é o mais adequado para estacas de erva-mate. A nebulização mantém a umidade das folhas, reduzindo a pressão de vapor, a temperatura e a taxa de respiração, mantendo as folhas funcionais por mais tempo, o que pode ser decisivo para o enraizamento de muitas espécies.

Para erva-mate, Brondani et al. (2009) avaliaram o enraizamento de estacas em dois tipos de estruturas: casa de vegetação automatizada, com umidade relativa do ar igual ou superior a 80% e temperatura entre 20 °C e 30 °C (Figura 2) e casa de vegetação simples, onde somente a irrigação foi controlada, com microaspersões a cada 10 segundos em intervalos de 10 minutos, das 8h às 18h (Figura 2). Não foi verificada diferença significativa entre as estruturas. Segundo os autores, o uso da casa de vegetação simples pode baratear os custos de produção de mudas clonais de erva-mate via estaquia.

Fotos: Ivar Wendling



Figura 2. Casas de vegetação para enraizamento de estacas: automatizada (acima) e modelo rústico (à direita).

3.1.6. Aclimação, rustificação e adubação das mudas

Na literatura existem poucas informações a respeito da aclimação, rustificação e adubação das mudas de erva-mate produzidas pela técnica de estaquia. Geralmente, o manejo adotado depende da estrutura do viveiro, como casa de vegetação, casa de sombra e área de crescimento e rustificação, bem como o tipo de adubação adotada em sistemas de produção de mudas clonais (WENDLING, 2004).

Dentre as informações existentes, Brondani et al. (2009) consideraram o tempo de 110 dias para permanência de estacas de erva-mate no ambiente de enraizamento adventício, seguida de transferência das estacas para casa de sombra com sombrite de 50% para aclimação durante 20 dias e, posteriormente, para uma área em pleno sol por mais 20 dias, visando a rustificação e crescimento. Da fase de aclimação até a rustificação, os autores adotaram adubação semanal de cobertura com 6 ml por muda da seguinte formulação: sulfato de amônio (4 g L^{-1}), superfosfato triplo (10 g L^{-1}), cloreto de potássio (4 g L^{-1}) e solução de micronutrientes (10 ml L^{-1}), composta por: 9% de Zn, 1,8% de B, 0,8% de Cu, 3% de Fe, 2% de Mn e 0,12% de Mo.

Uma série de estudos relacionados aos sistemas de manejo para o adequado crescimento e rustificação das mudas de erva-mate ainda serão necessários, principalmente em termos de casa de vegetação, casa de sombra e área de pleno sol, pois em cada ambiente, pode ser adotado um tipo específico de adubação e tempo de permanência das mudas enraizadas (WENDLING, 2004).

3.1.7. Sequência esquemática da técnica de estaquia

Visando facilitar o entendimento das etapas operacionais envolvidas na técnica de estaquia em erva-mate, será descrita uma sequência lógica e operacional do processo, com base nos melhores tratamentos e resultados das pesquisas realizadas na Embrapa Florestas.

Seleção da planta matriz

A seleção correta das plantas matrizes que servirão de base para a formação dos plantios clonais é de suma importância para a qualidade dos futuros plantios. Deve-se atentar para o fato de que a seleção de árvores superiores em termos de produtividade e de qualidade em um povoamento é somente o primeiro passo para a sua indicação em plantios comerciais. As matrizes selecionadas deverão ser submetidas a testes clonais em áreas similares em termos de clima e solo aos locais de plantio futuro para avaliar o efeito do ambiente no seu comportamento geral.

Para a seleção de matrizes (Figura 3), devem ser levados em consideração aspectos básicos, como produtividade, resistência a pragas e doenças e específicos como produção de galho fino, sabor, tamanho de folha, queda de folhas, capacidade de enraizamento, composição química, etc. Os critérios de seleção a serem usados são variáveis, em função dos objetivos de produção e, uma vez selecionada uma planta de má qualidade, as mudas deste clone terão sempre a mesma qualidade em condições similares de clima, solo e manejo, perdendo-se todas as possíveis vantagens do processo de clonagem. É importante ressaltar que, quando possível, devem ser selecionadas plantas sujeitas à competição por outras da mesma espécie, condição similar ao plantio comercial clonal futuro, bem como, plantas que foram avaliadas por, pelo menos, duas safras.

Foto: Ivar Wendling



Figura 3. Árvore matriz de erva-mate selecionada para estaquia em plantio por sua alta produtividade, boa sanidade e tamanho de folhas (quatro anos).

Resgate da planta matriz

Quando a árvore matriz de erva-mate atinge a maturidade (em geral após o terceiro ano de idade), torna-se difícil ou, às vezes, impossível a sua propagação por estaquia ou qualquer outro método de propagação vegetativa. Para superar isto, é preciso utilizar tratamentos na planta matriz para a indução de brotações juvenis.

Para a erva-mate, o método mais recomendado para a produção de brotos juvenis é o corte raso da árvore a aproximadamente 15 cm do solo (Figura 4), de preferência um pouco inclinado, para evitar o apodrecimento da cepa (tronco) provocado pelo acúmulo de água na área de corte. É recomendado que este corte seja efetuado no

final do inverno, para que a rebrota ocorra na primavera. Quando as brotações forem coletadas (com altura de 25 cm a 45 cm em torno de 3 a 5 meses após a decepa), deverão ser mantidos de um a três brotos na cepa, para evitar sua morte. As desvantagens deste método são a necessidade do corte da árvore e a possível perda da matriz selecionada, caso ela não rebrote, apesar de ser pouco provável em erva-mate (BITENCOURT et al., 2009; DA CROCE; FLOSS, 1999).

Fotos: Ivar Wendling



Figura 4. Cepa de erva-mate cortada (à esquerda) e com brotações aptas a serem coletadas para estaquia (à direita).

O anelamento de árvores matrizes para indução de brotações basais pode ser utilizado nos casos em que não seja possível o corte raso da planta matriz, embora a produção de brotos seja bem menor em comparação ao corte raso. Para tanto, retira-se um anel de casca com 1,5 cm a 3,0 cm de largura, em praticamente toda a circunferência da árvore. Em torno de 30 a 90 dias após o anelamento, dependendo das condições climáticas do local, as brotações podem ser coletadas (Figura 5). No que se refere a época indicada para este procedimento, vale a mesma recomendação para o corte raso da árvore matriz. Para melhorar a emissão de brotações nas plantas aneladas, sugere-se a remoção de 70% da copa das mesmas (SANTIN et al., 2008b).

Foto: Ivar Wendling



Figura 5. Planta de erva-mate anelada, mostrando brotações juvenis na base, no ponto de coleta para estaquia.

Outro método que pode ser usado para o resgate da planta matriz é a enxertia de brotos coletados da árvore matriz selecionada sobre mudas formadas por semente. Após o pegamento do enxerto, as brotações que se originarem acima da união do enxerto com o porta-enxerto são coletadas para enraizamento ou novas enxertias subsequentes (enxertia em série) até que mostrem aptidão ao enraizamento. Em geral, quando se trabalha com enxertia de plantas de idade mais avançada, há maior necessidade de enxertias em série para se conseguir induzir o rejuvenescimento a ponto das brotações apresentarem capacidade de enraizamento e bom vigor das raízes formadas. Resultados preliminares tem indicado que são necessárias, no mínimo, quatro enxertias seriadas para a recuperação da juvenilidade em erva-mate.

Coleta e transporte das brotações e preparo das estacas

A época do ano em que se procede a coleta das estacas é de grande importância para o enraizamento. Geralmente, as melhores épocas para a coleta são primavera ou verão. A coleta é feita com tesouras de poda e, sempre que possível, deve ser realizada nas primeiras horas da manhã, devido à menor temperatura e insolação, o que reduz as perdas de água por transpiração das brotações coletadas (murchamento).

Após a coleta, deve-se procurar manter a turgescência dos brotos, acondicionando-os em recipientes com água (caixas de isopor, baldes etc.), ou então fazendo-se pulverizações constantes de água sobre os mesmos. O transporte dos brotos deve ser realizado logo após a coleta, mantendo-se os mesmos em local sombreado. Alternativa interessante para transporte em maiores distâncias é a colocação das brotações dentro de caixa de isopor tampada e com gelo no fundo, recoberto com folhas de jornal umedecidas. Este sistema forma um microclima com alta umidade e baixa temperatura.

As estacas com aproximadamente 7 cm a 12 cm de comprimento são preparadas próximo ao local da estaquia, deixando-se um a dois pares de folhas recortadas ao meio, para evitar excesso de transpiração e sobreposição na área de enraizamento (efeito guarda-chuva). A tesoura de poda a ser utilizada deve estar sempre bem afiada para evitar amassar os tecidos da estaca no local de corte.

Geralmente, o ponteiro dos ramos é muito tenro e fino, devendo neste caso ser eliminado durante o preparo das estacas. Caso isto não seja feito, poderão ocorrer grandes taxas de mortalidade das estacas. Outro detalhe importante é a eliminação da parte basal dos ramos que se apresentarem muito lenhosos (Figura 6).

Fotos: Ivar Wendling

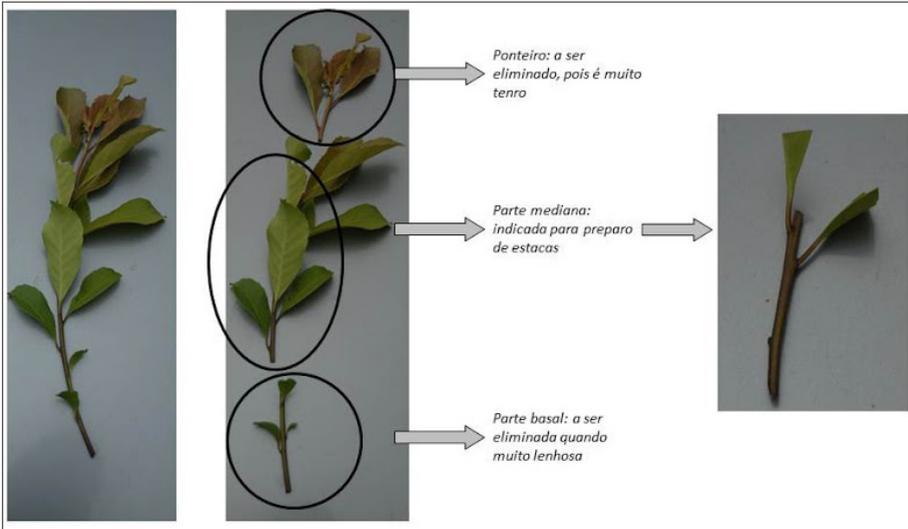


Figura 6. Parte da brotação recomendada para confecção de estacas quando da presença de ápice muito tenro e base muito lenhosa e estaca preparada.

A aplicação de indutores de enraizamento (hormônios) é importante para o aumento da velocidade de formação de raízes, aumento do número e melhoria da qualidade das raízes formadas, bem como, na maior uniformidade de enraizamento. O hormônio AIB (ácido indolbutírico) na forma líquida ou pó, na concentração de 6.000 mg por litro ou por kg (mg L^{-1} ou mg kg^{-1}), é o mais indicado para o uso no enraizamento de estacas de erva-mate. Na aplicação via líquida, as bases das estacas são imersas na solução do hormônio durante 10 segundos. Na aplicação via pó, as bases das estacas são introduzidas no pó, contendo o hormônio e levadas imediatamente para enraizamento (Figura 7).

Fotos: Ivar Wendling



Figura 7. Aplicação de hormônio em estacas de erva-mate: via líquida (à esquerda) e pó (à direita).

No mercado podem ser encontradas formulações de AIB preparadas em gel, embora ainda sejam necessários estudos para comprovar a sua eficiência técnica. Em termos gerais, a aplicação via gel tem como vantagens a maior facilidade de aplicação, pois não há necessidade de preparação, visto que já vem pronto para uso na concentração solicitada, e também pela maior durabilidade no armazenamento.

Desinfestação das estacas e equipamentos

Tendo em vista que as estacas são provenientes do campo e, conseqüentemente, estão expostas a diversos tipos de agentes patogênicos, antes e durante o período de enraizamento é importante promover sua proteção, resultando em maior sobrevivência. O método de desinfestação recomendado consiste em mergulhar as estacas durante 5 minutos em hipoclorito de sódio (20% em água) + 5 minutos em água corrente + 15 minutos em fungicida à base de Carbendazim 2 g L^{-1} , logo após as estacas serem preparadas.

Os materiais e equipamentos a serem utilizados no preparo das estacas devem estar totalmente livres de patógenos que podem prejudicar o enraizamento e o desenvolvimento das mesmas. Para isso, recomenda-se a desinfestação das caixas e recipientes com vapor ou água quente, a partir de 70 °C por 3 minutos ou a 80 °C por 1 minuto (ALFENAS et al., 2004).

Enraizamento, aclimação, crescimento e rustificação

Após os recipientes serem preenchidos e as estacas preparadas, as mesmas são inseridas no substrato (em torno de 1 cm a 2 cm de sua base), procurando-se fazer uma leve compactação ao seu redor. Tem-se obtido melhores resultados com bandejas de plástico (Figura 8), com posterior repicagem das estacas enraizadas para outros recipientes.

Os tubetes também podem ser utilizados para o enraizamento (Figura 8), apresentando a vantagem de não ser necessária repicagem após o enraizamento, embora, em geral, sejam obtidos menores percentuais de enraizamento.

Caso seja utilizado o hormônio via pó, é recomendável fazer furos na parte superior do substrato, para melhor acondicionamento da base da estaca, ou utilização de uma camada de substrato mais poroso, evitando-se a retirada do produto aplicado. Este procedimento não é necessário quando for utilizado o hormônio via líquida.

Como a erva-mate é uma espécie de difícil enraizamento, embora com exceções em termos de clones, suas estacas precisam ser enraizadas em casa de vegetação, com umidade acima de 80% e temperaturas relativamente constantes no seu interior, porém sempre inferiores a 30 °C. O tempo de permanência das estacas na casa de vegetação varia de 60 a 110 dias, dependendo da região, da época do ano e do clone. Quando forem usados tubetes como recipientes para enraizamento das estacas, uma indicação da hora de tirá-las da

casa de vegetação é a presença de raízes saindo no fundo desses recipientes e, no caso das bandejas, deve-se retirar algumas estacas para verificação da existência de raízes. Durante a permanência em casa de vegetação, devem ser realizadas operações que visem a retirada das folhas caídas e estacas contaminadas.

Fotos: Ivar Wendling



Figura 8. Estacas introduzidas no substrato para enraizamento: em bandeja (à esquerda) e em tubetes (abaixo).



Quando as estacas estiverem enraizadas em casa de vegetação, estas deverão ser levadas para aclimatação e crescimento em casa de sombra, com sombreamento em torno de 50% a 80%, obtido com o uso de sombrite ou outro material adequado. As estacas deverão permanecer nesta área por um período suficiente até que atinjam a altura ideal de plantio, variável em função do tipo e tamanho da embalagem utilizada. Na época de inverno é recomendada a colocação de cobertura plástica sobre a casa de sombra, com o intuito de evitar os efeitos adversos de geadas nas mudas em aclimatação.

Após a aclimatação, as mudas de estaquia são transferidas para uma área sob sol pleno, onde serão rustificadas, visando sua preparação para o plantio definitivo. Nesta fase, as mudas devem receber tratamentos de rustificação, diminuindo-se a irrigação e a concentração de nitrogênio das adubações. Caso estas mudas sejam utilizadas para formação do minijardim clonal (técnica de miniestaquia), as estacas poderão ser plantadas no sistema semi-hidropônico, quando tiverem raízes suficientes para possibilitar a sua retirada do recipiente (*ver item 3.2.8.*). Para facilitar a retirada das mudas dos recipientes sem danificar o sistema radicial, recomenda-se o plantio de 2 a 4 sementes de aveia nos mesmos, de 2 a 3 semanas antes, o que promove o crescimento de um vigoroso emaranhado de raízes, protegendo as raízes de erva-mate (Figura 9). Esta prática também é recomendada para facilitar a retirada de mudas produzidas via sementes em tubetes.

Foto: Ivar Wendling



Figura 9. Muda de erva-mate com aveia, para facilitar sua retirada do tubete.

Dentro da casa de vegetação onde as estacas serão enraizadas, e em todas as etapas subsequentes, é recomendável que sejam feitas pulverizações curativas, ou seja, quando ocorrer a presença de doenças. Para isso, pode-se usar uma série de fungicidas, variáveis em função do tipo de patógeno que esteja provocando o ataque, em aplicações alternadas, sendo recomendada a consulta a profissional habilitado para recomendações específicas.

3.1.8. Fluxograma geral da técnica de estaquia de erva-mate

Visando facilitar a compreensão das etapas envolvidas na produção de mudas de erva-mate por estaquia, a Figura 10 apresenta uma sequência esquemática resumida do processo.

Fotos: Ivar Wendling

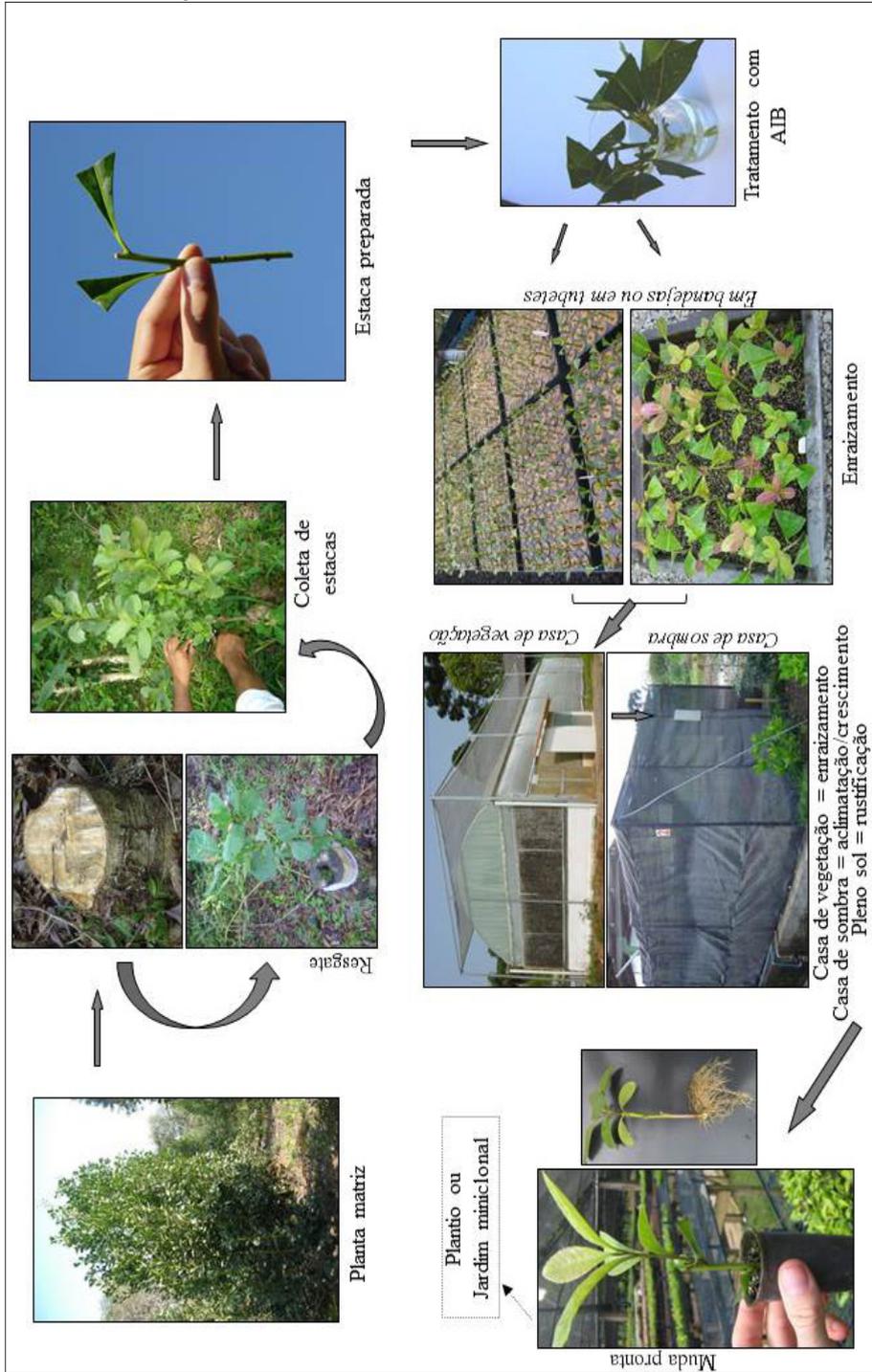


Figura 10. Fluxograma geral da técnica de estquia de erva-mate.

3.2. Miniestaquia

A técnica de miniestaquia consiste na utilização de brotações de mudas propagadas pelo método de estaquia ou de mudas produzidas por sementes como fonte de propágulos vegetativos (DIAS et al., 2012; WENDLING et al., 2010; XAVIER et al., 2013). Dentre as vantagens da miniestaquia em comparação à estaquia destaca-se o maior grau de juvenildade dos propágulos vegetativos, maior controle fitossanitário e da nutrição mineral das minicepas conduzidas em sistemas semi-hidropônicos automatizados, o que garante a obtenção de brotações com qualidade fisiológica mais adequada para o processo de enraizamento (FREITAS et al., 2013; PIRES et al., 2011; WENDLING; DUTRA, 2010; WENDLING et al., 2005, 2006a, 2006b; XAVIER et al., 2013).

A miniestaquia é a técnica de clonagem mais difundida entre as médias e grandes empresas florestais que trabalham com produção de mudas clonais de *Eucalyptus* sp. Para erva-mate, essa técnica de propagação apresentou aumento dos índices de enraizamento, ao comparar com a estaquia tradicional (BRONDANI et al., 2007, 2008; WENDLING et al., 2007b; WENDLING; DUTRA, 2008; WENDLING; SOUZA JUNIOR, 2003). O seu uso em larga escala é aconselhado para a multiplicação clonal de plantas matrizes de erva-mate, que apresentem características especiais de produção (produtividade e qualidade).

3.2.1. Minijardim clonal

O minijardim clonal ou área para produção de brotos pode ser definido como a área de multiplicação vegetativa formada por um conjunto de minicepas, objetivando fornecer brotações para o preparo de miniestacas para o processo de miniestaquia (XAVIER et al., 2013). Também tem sido encontrada na literatura a denominação jardim miniclinal (WENDLING, 1999; XAVIER, 2002).

Wendling e Souza Junior (2003) utilizaram sacos plásticos de 15,0 cm x 10,0 cm, com terra de subsolo, para formação e condução do minijardim clonal de erva-mate. Um ano após a primeira coleta obtiveram 100% de sobrevivência das minicepas e uma produção média de 2,2 miniestacas por minicepa a cada 35 dias, denotando estar em um patamar compatível com outras espécies, principalmente nativas.

Em erva-mate, Wendling et al. (2007b) recomendaram a condução de minicepas em sistema semi-hidropônico para a produção de brotações, sendo que o controle nutricional garante uma maior produção durante o ano para atender o enraizamento de miniestacas, bem como, maior facilidade de manejo. Segundo os autores, mudas com aproximadamente 15 cm de altura são transferidas para o sistema semi-hidropônico com areia média, sendo seus ápices podados à altura de 5 cm a 8 cm, após uma semana, para a conversão em minicepas.

A cada troca de solução (feita a cada três semanas), ou quando a condutividade elétrica da solução drenada se tornar maior que 3 mS cm^{-1} a $25 \text{ }^\circ\text{C}$, deve ser realizada irrigação com água pura para lavar o excesso de sais, com aproximadamente 11 L m^{-2} . O pH das soluções iniciais deverá ser ajustado para $5,5 \pm 1$. Ao final de 11 coletas, os autores observaram sobrevivência superior a 90% das minicepas no jardim miniclinal e uma produção média de 291 miniestacas por m^2 de minijardim clonal por coleta (WENDLING et al., 2007b).

A adubação das minicepas no minijardim clonal de erva-mate deve ser a mais adequada possível, visando proporcionar quantidade de brotações para atender a produção de mudas e em condições fisiológicas adequadas para a rizogênese. Nesse sentido, Wendling e Dutra (2008) apresentam uma solução nutritiva para o manejo de minicepas de erva-mate em sistemas semi-hidropônicos do tipo canaletão com areia, ajustada visando aumento da produção de brotos (Tabela 2), sendo que a mesma foi adotada para uma série de estudos básicos de miniestaquia. A solução nutritiva apresentada ainda necessita de ajustes específicos, visando a formação de brotos menos tenros, evitando a necessidade

de descarte do ápice no momento do preparo das miniestacas, bem como, aumentos na produtividade de brotos. Cabe ressaltar que se houver a retirada de mais de 50% da área foliar na poda de brotações das minicepas, deve-se reduzir a concentração da solução à metade por, pelo menos, uma semana após a coleta, para evitar queima das folhas novas.

Tabela 2. Nutrientes utilizados na formulação da solução nutritiva para a condução de minicepas de erva-mate (*Ilex paraguariensis*) em sistema semi-hidropônico.

Nutrientes	Quantidade a ser utilizada (mg L ⁻¹)	Nutrientes	Necessidade final da solução (ânion/cátion) (mg L ⁻¹)
N-NO ₃	156,00	N-NO ₃	156,00
N-NH ₄	50,00	N-NH ₄	50,00
P	25,00	P ₂ O ₅	39,09
K	200,00	K ₂ O	234,00
Ca	200,00	CaO	257,20
Mg	45,00	MgO	62,87
S	76,90	SO ₄	128,14
B	1,50	B	1,50
Cu	0,10	Cu	0,10
Fe	5,00	Fe	5,00
Mn	1,00	Mn	1,00
Zn	0,70	Zn	0,70
Mo	0,07	Mo	0,07

Fonte: Ajustado de Wendling e Dutra (2008).

Rosa et al. (2011) avaliaram a adubação nitrogenada na solução de fertirrigação em minijardim clonal de erva-mate conduzido em tubetes e concluíram que o manejo do minijardim clonal, principalmente do ponto de vista nutricional, é um fator fundamental para o sucesso da propagação por miniestaca.

3.2.2. Índices de enraizamento

Geralmente, os índices de enraizamento de miniestacas de erva-mate são superiores aos de estacas. Dentre os fatores que influenciam o enraizamento de miniestacas pode-se citar: controle nutricional da minicepa, condições ambientais (luminosidade, temperatura, fotoperíodo, umidade relativa do ar), controle fitopatológico, manejo do minijardim clonal, podas para coleta de propágulos e demais tratamentos culturais.

Diversos estudos foram conduzidos visando avaliar os índices de enraizamento de propágulos de erva-mate na técnica de miniestaquia. Wendling et al. (2006a) concluíram que tanto propágulos provenientes de minicepas produzidas por sementes (juvenis) quanto os provenientes de estacas de árvores adultas responderam positivamente ao aumento da concentração de ácido indolbutírico (AIB), sendo que a concentração de 6.000 mg L^{-1} de AIB resultou nos melhores índices de enraizamento e os propágulos provenientes de minicepas juvenis (enraizamento médio de 87,5%) apresentaram os melhores resultados em relação às adultas (enraizamento médio de 72,5%). Em outro estudo, desenvolvido por Pires et al. (2011), foi demonstrado que a idade das matrizes de erva-mate apresenta influência relevante no processo de miniestaquia, sendo que matrizes mais jovens resultam nos melhores índices de enraizamento.

Wendling et al. (2007b) empregaram a miniestaquia para a produção de mudas de erva-mate visando ao aumento dos índices de enraizamento adventício. Nesse estudo, os autores observaram elevada sobrevivência de minicepas de origem seminal (propágulos juvenis) em sistema semi-hidropônico, a qual foi de 95,6% após 11 coletas de brotações. Além disso, os altos índices de enraizamento de miniestacas, com média geral de 85,8%, repercutiram na viabilização do protocolo estabelecido como método de clonagem para a espécie.

Na mesma linha de pesquisa, Wendling e Souza Junior (2003) observaram média geral de 75% de enraizamento de miniestacas de erva-mate de origem seminal, com a condução das minicepas em sacos plásticos.

Quando se utilizam miniestacas provenientes de brotações de minicepas de matrizes adultas de erva-mate, os índices de enraizamento geralmente são inferiores aos de origem seminal, porém não inviabilizam a técnica de miniestaquia. Brondani et al. (2008) observaram variação da porcentagem de enraizamento de miniestacas de erva-mate (coletadas de minicepas produzidas pela estaquia de árvores de 12 anos) de 42,9% a 62,5%, variando de acordo com o material genético e ambiente de enraizamento. Cabe ressaltar que dados operacionais têm demonstrado enraizamentos superiores a 85% em alguns clones de erva-mate.

3.2.3. Tipo de propágulo e tratamento asséptico

Na miniestaquia de erva-mate, os propágulos são menores em comparação à técnica de estaquia. Geralmente são utilizadas miniestacas com tamanho de 6 cm (± 2 cm), com a remoção do ápice e contendo um par de folhas com redução de aproximadamente 50% da área total foliar (BRONDANI et al., 2007, 2008; WENDLING et al., 2007b; WENDLING; SOUZA JUNIOR, 2003). Um corte em bisel na porção basal também é aconselhado para facilitar a inserção da miniestaca no substrato de enraizamento. O tratamento asséptico geralmente não é necessário, devido ao maior controle de fitopatógenos no minijardim clonal e da nutrição mais adequada das minicepas, podendo-se inserir as miniestacas no substrato de cultivo logo após seu preparo e padronização.

3.2.4. Reguladores de crescimento

Devido ao grau de juvenilidade das miniestacas, o qual é maior que das estacas, as concentrações de reguladores de crescimento são menores, ou até mesmo desnecessárias em alguns materiais genéticos.

Wendling e Souza Junior (2003) concluíram que a miniestaquia de erva-mate com propágulos de origem seminal é tecnicamente viável na ausência de regulador de crescimento, tornando-se uma alternativa para a produção de mudas em menor tempo e durante todo o ano. Brondani et al. (2007) também não usaram regulador de crescimento na miniestaquia de erva-mate a partir de coleta de brotações de minicepas (produzidas por sementes) conduzidas em sistema de canaletão com areia (sistema semi-hidropônico).

Em outro estudo, Brondani et al. (2008) utilizaram 3.000 mg L⁻¹ de AIB durante 10 segundos para indução da rizogênese em miniestacas de erva-mate coletadas de minicepas conduzidas em sistema de canaletão com areia, as quais foram produzidas pela técnica de estaquia a partir de árvores matrizes com 12 anos de idade.

3.2.5. Recipientes e substratos para o enraizamento

Para a miniestaquia de erva-mate tem-se utilizado substratos compostos pela mistura de casca de arroz carbonizada, vermiculita fina e substrato comercial a base de casca de pinus decomposta (3,5:3,5:3,0 v/v/v) (WENDLING; SOUZA JUNIOR, 2003), vermiculita média, casca de arroz carbonizada e casca de pínus (1:1:1 v/v/v) (WENDLING et al., 2007b), casca de arroz carbonizada e vermiculita média (1:1 v/v) (BRONDANI et al., 2008). Em estudo avaliando diferentes tipos de substrato na miniestaquia de erva-mate, Brondani et al. (2007) recomendaram a mistura de casca de arroz carbonizada e casca de pinus com vermiculita (1:1 v/v) como a mais indicada para o enraizamento adventício. Os recipientes de cultivo mais aconselhados para a miniestaquia de erva-mate, principalmente em termos de manejo no sistema de produção de mudas clonais, são os tubetes cônicos de 55 cm³ a 110 cm³.

3.2.6. Ambiente de enraizamento

Independente da técnica empregada ser a estaquia ou a miniestaquia, o ambiente para o enraizamento inicial deve permitir a sobrevivência dos propágulos vegetativos, principalmente pelo controle da umidade relativa do ar e da temperatura. Wendling e Brondani (2006) e Brondani et al. (2007) avaliaram o enraizamento de miniestacas de origem seminal em dois tipos de estruturas: casa de vegetação automatizada, com umidade relativa do ar igual ou superior a 80% e temperatura entre 20 °C e 30 °C e casa de vegetação simples, onde somente a irrigação foi controlada, com microaspersões de 10 segundos em intervalos de 10 minutos, das 8h às 18h (Figura 2). Os resultados indicaram que, independente das variáveis analisadas, a casa de vegetação com controle de umidade e temperatura foi superior à casa de vegetação sem controle. Além disso, foi constatado elevado enraizamento em ambos os ambientes, em torno de 75%.

Em outro estudo, Brondani et al. (2008) não verificaram diferença significativa entre os clones de erva-mate quanto ao enraizamento, sendo que as médias variaram de 46,4% a 49,1%. Contudo, ao considerar o ambiente de enraizamento os autores verificaram maior enraizamento adventício em casa de vegetação automatizada, a qual favoreceu tanto o número de folhas quanto o número e comprimento das brotações emitidas das miniestacas. A miniestaquia de erva-mate foi considerada tecnicamente viável em ambos os ambientes de enraizamento testados, apresentando resultados semelhantes.

3.2.7. Aclimação, rustificação e adubação das mudas

Em termos de adubação, Brondani et al. (2007, 2008) adotaram na fase de aclimação até a fase de rustificação de miniestacas de erva-mate, adubações semanais de cobertura com 6 ml por muda da seguinte formulação: sulfato de amônio (4 g L^{-1}), superfosfato triplo (10 g L^{-1}), cloreto de potássio (4 g L^{-1}), e solução de micronutrientes (10 ml L^{-1}), composta por: 9% de Zn; 1,8% de B; 0,8% de Cu; 3% de Fe; 2% de Mn e 0,12% de Mo.

Apesar de todos os avanços proporcionados pela miniestaquia em termos de clonagem de matrizes de erva-mate selecionadas, alguns problemas relacionados com a dificuldade de enraizamento adventício e vigor radicial em determinados materiais genéticos ainda persistem. Para estes casos, quando se tratar de material genético de grande importância, torna-se necessário investigar alternativas relacionadas ao rejuvenescimento via miniestaquia e/ou enxertia seriada, bem como o rejuvenescimento *in vitro* via micropropagação, embora esta última técnica ainda não se encontre desenvolvida para erva-mate.

3.2.8. Sequência esquemática da técnica de miniestaquia

Visando facilitar o entendimento das etapas operacionais envolvidas na técnica de miniestaquia em erva-mate, será descrito uma sequência lógica e operacional do processo. Cabe reforçar que a técnica da miniestaquia pode ser iniciada com a utilização de brotações de mudas propagadas pelo método de estaquia ou de mudas produzidas por sementes como fonte de propágulos vegetativos. No entanto, para que se aproveitem todas as vantagens da propagação vegetativa, mudas oriundas de estaquia de matrizes selecionadas devem ser utilizadas para o início do processo e, conseqüentemente, a qualidade dos genótipos a serem multiplicados via miniestaquia depende da qualidade da seleção realizada na etapa da estaquia (ver item 3.1.7., subitem *Seleção da planta matriz*).

Formação do minijardim clonal

A etapa inicial de formação do minijardim consiste em podar o ápice da brotação da estaca enraizada, após esta ter passado pelo processo de aclimação em casa de sombra. Em intervalos de 20 a 50 dias haverá emissão de novas brotações, que são coletadas e postas para enraizar. Assim, a parte basal da brotação da estaca podada constitui uma minicepa, que fornecerá as brotações (miniestacas) para a formação das futuras mudas. O conjunto das minicepas forma um minijardim clonal. Após a obtenção das primeiras mudas, aplicando a técnica

de miniestaquia, é recomendável o plantio destas no minijardim, em substituição àquelas produzidas por estaquia, o que resultará em maiores índices de enraizamento e vigor de raízes das novas mudas a serem formadas por miniestaquia.

O minijardim clonal pode ser implantado em tubetes, vasos, sistema semi-hidropônico em areia (canaletão) ou bandejas no viveiro (Figura 11), dentro de estufas. Pelos resultados experimentais obtidos, o sistema semi-hidropônico é o mais indicado, pois apresenta maior produtividade, qualidade dos brotos e facilidade de manejo (Tabela 3).

Fotos: Ivar Wendling

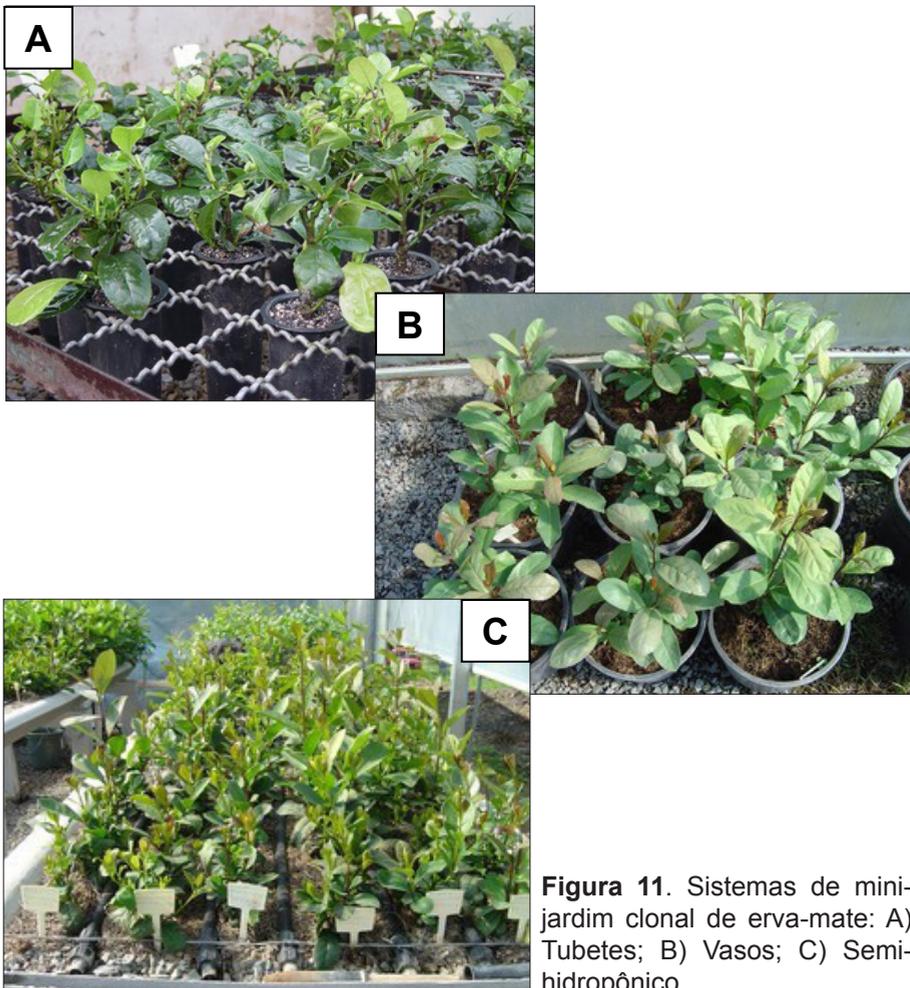


Figura 11. Sistemas de minijardim clonal de erva-mate: A) Tubetes; B) Vasos; C) Semi-hidropônico.

Tabela 3. Minijardim clonal: minicepas por metro quadrado (MC m⁻²), miniestacas produzidas por metro quadrado por mês (ME m⁻² mês⁻¹) e sobrevivência das minicepas após um ano de coletas (SOBMC).

Sistema de manejo	MC m ⁻²	ME m ⁻² mês ⁻¹	SOBMC (%)
Tubete médio ¹	125	150 a 200	98
Tubete grande ²	58	200 a 250	100
Saco plástico grande ³	100	150 a 200	100
Canaletão ⁴	70	300 a 750	98

¹Tubete de 110 cm³, substrato plantmax: vermiculita média (1:1); ²tubete de 310 cm³, substrato plantmax: vermiculita média (1:1); ³sacos plásticos de 15,0 cm x 10,0 cm, com terra de subsolo;

⁴areia média.

Coleta e transporte das brotações e preparo das miniestacas

A coleta de miniestacas no minijardim clonal é realizada de forma seletiva, em períodos a serem definidos conforme o vigor das brotações, colhendo-se todas aquelas que tenham, no mínimo, 5 cm de comprimento (Figura 12) e não se apresentem muito tenras.

As miniestacas são preparadas com 5 cm a 8 cm, contendo de um a três pares de folhas, as quais devem ser recortadas ao meio. Após preparadas, as miniestacas devem ser acondicionadas em recipientes com água, para que possam chegar ao local de enraizamento em perfeitas condições de turgor. O período entre o preparo e o estaqueamento das miniestacas no substrato, dentro da casa de vegetação, deverá ser o mais reduzido possível, sendo recomendados períodos inferiores a 15 minutos.

Fotos: Ivar Wendling



Figura 12. Coleta de miniestacas de erva-mate (acima) e miniestaca preparada (à direita).

Desinfestação das miniestacas e equipamentos

Tendo em vista a origem das miniestacas ser de ambiente razoavelmente protegido (estufa) e não do campo, como no caso da estaquia, não tem sido recomendada a sua desinfestação. Outro fator que contribui com a não necessidade de tratamentos de desinfestação das miniestacas é o fato das folhas das minicepas não serem molhadas durante as irrigações de gotejamento, dificultando o estabelecimento dos patógenos. A recomendação na miniestaquia é o acompanhamento pormenorizado das miniestacas na casa de vegetação, bem como, das minicepas no minijardim clonal, fazendo-se tratamentos curativos caso ocorra alguma doença.

Enraizamento, aclimação, crescimento e rustificação

As miniestacas são colocadas para enraizamento em casa de vegetação (permanência de 40 a 120 dias), seguindo, posteriormente, para a casa de sombra (permanência de 30 a 60 dias), para crescimento e aclimação, e, finalmente, para pleno sol, onde serão rustificadas para posterior plantio comercial. Os períodos de permanência das miniestacas em casa de vegetação e de sombra, conforme descrito anteriormente, dependem da época do ano, das condições climáticas no ambiente de propagação, do clone envolvido e do estado nutricional das miniestacas. Como a função da casa de sombra também é de acelerar o crescimento das mudas formadas, o tempo de permanência daquelas neste ambiente deve ser regulado com base na altura final das mudas para plantio definitivo, o que, em geral, não deve ultrapassar 1,5 vezes a altura do recipiente (Figura 13). Além disso, o sistema radicular deve ser vigoroso, tomando conta de todo substrato do recipiente. Em pleno sol o objetivo não é mais proporcionar o crescimento das mudas, porém somente sua rustificação, preparando-as para as condições ambientais adversas que irão encontrar no local de plantio definitivo.

Fotos: Ivar Wendling



Figura 13. Muda de erva-mate com padrão de altura (à esquerda) e sistema radicular (à direita) bom para plantio a campo.



Quanto a aplicação de hormônios promotores de enraizamento, recomenda-se concentrações de 0 (não aplicação) a 3.000 mg L⁻¹, variáveis em função do clone e da idade da planta matriz. Porém, essas concentrações devem ser avaliadas para cada clone, condição climática e manejo.

A miniestaquia a partir de brotações de mudas produzidas por sementes ao invés de mudas obtidas por estaquia (clonagem em nível de famílias) é uma ferramenta com potencial para melhoria da qualidade do produto final obtido, pois, mesmo que não se tenha certeza do genótipo a ser multiplicado, têm-se estimativas de superioridade das plantas matrizes, bem como, uma maior uniformidade dos plantios obtidos. Além disso, a clonagem de propágulos originários de mudas produzidas por sementes é importante no caso de se ter sementes caras, de qualidade genética superior e em pequena quantidade, além de possibilitar a produção de mudas durante todo o ano, sem dependência da semente.

Para facilitar a retirada das mudas dos recipientes sem danificar o sistema radicial, recomenda-se o plantio de 2 a 4 sementes de aveia nos mesmos, de 2 a 3 semanas antes, o que promove o crescimento de um vigoroso emaranhado de raízes, protegendo as raízes de erva-mate (Figura 9).

3.2.9. Fluxograma geral da técnica de miniestaquia de erva-mate

Visando facilitar a compreensão das etapas envolvidas na produção de mudas de erva-mate por miniestaquia, a Figura 14 apresenta uma sequência esquemática resumida do processo.

Fotos: Ivar Wendling

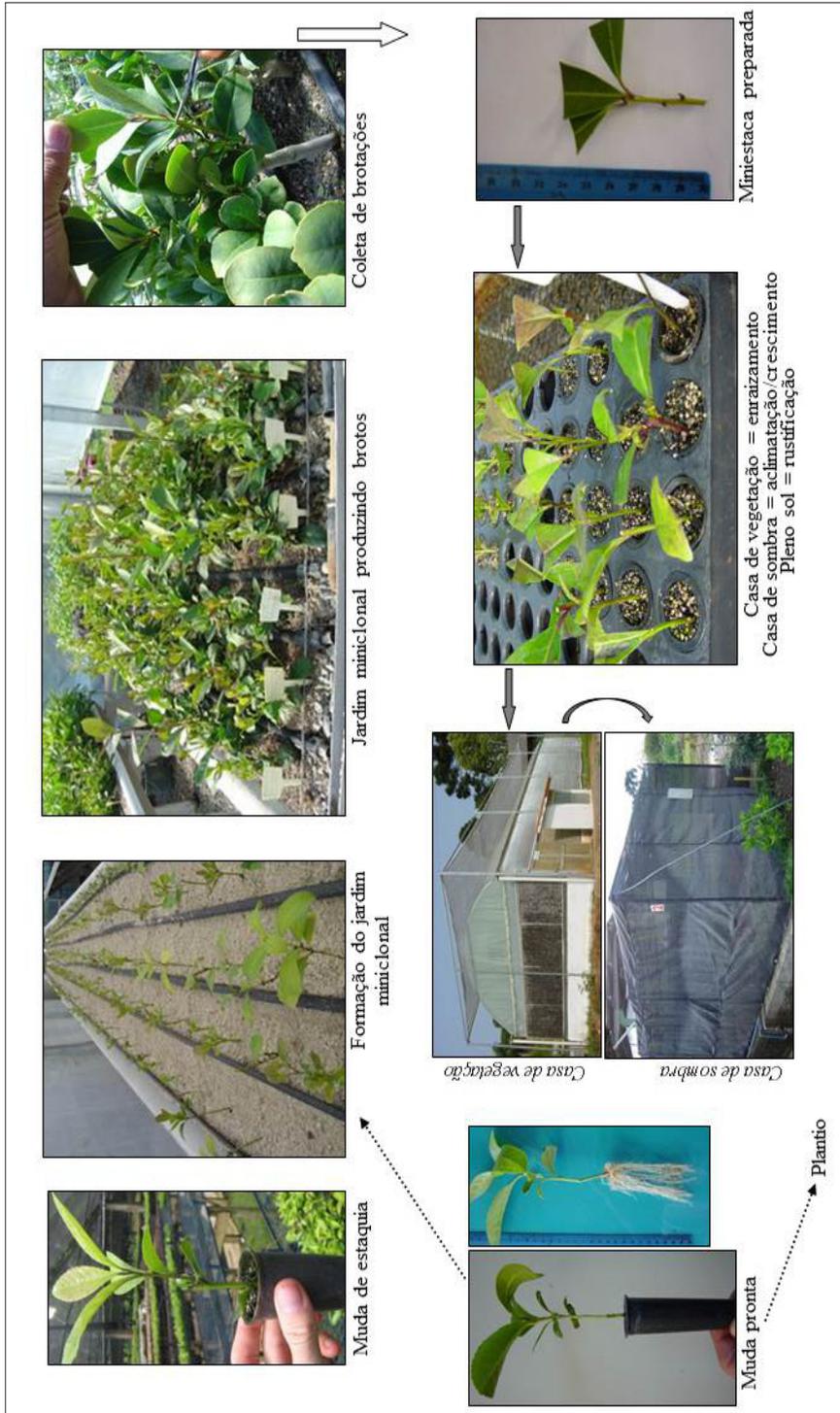


Figura 14. Fluxograma geral da técnica de miniestaqueira de erva-mate.

3.3. Enxertia

A enxertia consiste na união de partes de uma planta em outra, que lhe sirva de suporte e de estabelecimento de comunicação com o sistema radicial, de forma que as duas partes vegetativas passem a constituir apenas uma, embora em nível genotípico, cada uma delas mantenha sua individualidade (HARTMANN et al., 2011; ROCHA et al., 2002; XAVIER et al., 2013).

A porção vegetativa localizada abaixo da união, que representa o sistema radicial da planta enxertada, é denominada de porta-enxerto, cavalo ou hipobioto. A porção superior, a qual representa a parte aérea, é chamada de enxerto, cavaleiro ou epibioto (SIMÃO, 1971). O enxerto é a parte da planta que se pretende multiplicar (planta selecionada), ao passo que o porta-enxerto é, geralmente, representado por uma planta jovem vigorosa, proveniente de sementes ou de estacas e que apresente boa adaptabilidade e sistema radicial funcional (CÉSAR, 1975; HARTMANN et al., 2011).

Dentre as várias aplicações da enxertia na área florestal, Xavier et al. (2013) destacam: 1) perpetuação de clones que não podem ser propagados economicamente ou mantidos por outros métodos assexuados; 2) manutenção das características genéticas da planta que se quer multiplicar; 3) pode propiciar floração e frutificação precoces; 4) resistência a certas doenças e pragas em função do porta-enxerto; 5) formação de pomares de produção de sementes; 6) obtenção de formas especiais no crescimento da planta; 7) restauração de plantas, substituindo a copa; 8) possibilidade de fixação de híbridos; 9) possibilidade de transformar plantas estéreis em produtivas, inoculando-lhes ramos ou gemas frutíferas; 10) como técnica de resgate vegetativo de genótipos selecionados, visando atender aos objetivos de clonagem, principalmente para aqueles que não possuem a capacidade de emitir brotações basais ou que não podem ser podados drasticamente; 11) como técnica de rejuvenescimento de clones.

3.3.1. Estudos com enxertia de erva-mate

Os primeiros trabalhos com enxertia de erva-mate foram realizados por Niklas (1990), o qual não obteve sucesso com a técnica de borbulhia (enxerto de gema). Entretanto, a garfagem em agosto resultou em até 80% de pegamento quando, logo após a enxertia, o garfo era coberto com saco de polietileno. Oliszeski e Neiverth (2002) avaliaram o método de garfagem e a mergulhia. Segundo os autores, o melhor resultado foi obtido com a garfagem, onde obtiveram 80% de pegamento em condições de viveiro. Além disso, o método da mergulhia obteve 50% de pegamento em árvores de cinco anos e foi descartado devido à dificuldade de efetuá-lo em erveiras nativas adultas. Outros estudos também concluíram que a enxertia por garfagem é a que apresenta melhores resultados em erva-mate. Inúmeros fatores podem influenciar para o sucesso da cicatrização, como a juvenilidade dos propágulos, temperatura, luminosidade, época do ano, compatibilidade entre os tecidos e a aplicação de substâncias antioxidantes (BITENCOURT, 2009; DOMINGOS; WENDLING, 2006; FERRARI; WENDLING, 2004; WENDLING, 2004; WENDLING et al., 2004, 2009; WENDLING; HOFFMANN et al., 2005).

A enxertia por garfagem em fenda cheia apresentou os melhores resultados em campo, não sendo evidenciadas diferenças significativas em relação ao local de origem do propágulo dentro da planta matriz (WENDLING et al., 2004). Contudo, apesar da técnica ser viável para aplicação em campo, pode apresentar comportamento distinto quanto à porcentagem de sobrevivência dos enxertos após 90 dias e quanto ao crescimento dos brotos das plantas enxertadas (DOMINGOS; WENDLING, 2006). Em outro estudo, Wendling et al. (2009) reforçaram a aplicabilidade da enxertia em árvores adultas decepadas no campo, indicando que tanto a idade das plantas matrizes quanto o local de coleta dos enxertos dentro das mesmas são importantes fatores no pegamento da enxertia. Tratamentos adicionais com o uso de substâncias antioxidantes, como o ácido cítrico, também podem

apresentar efeitos positivos na cicatrização dos tecidos, aumentando inclusive a taxa de sobrevivência dos enxertos (FERRARI; WENDLING, 2004).

Santin et al. (2014b) avaliaram a enxertia seriada de erva-mate em viveiro e campo e concluíram que dois subcultivos resultam em maiores taxas de sobrevivência e vigor na enxertia de erva-mate. Além disso, a sobrevivência e o vigor dos enxertos são favorecidos quando a enxertia é realizada em campo (32% superior ao viveiro) e, principalmente, quando os propágulos são oriundos de matrizes fêmeas.

3.3.2. Sequência esquemática da técnica de enxertia por garfagem

Visando facilitar o entendimento das etapas operacionais envolvidas na técnica de enxertia por garfagem em erva-mate, será descrito a seguir uma sequência operacional do processo. A enxertia recomendada para erva-mate é a de garfagem em fenda cheia no topo do cavalo.

Seleção da planta matriz e formação dos porta-enxertos

A seleção correta das plantas matrizes que servirão de base para a formação das plantas enxertadas é de suma importância para a qualidade das mudas produzidas. Os critérios e cuidados para a seleção de uma planta matriz para obtenção de propágulos para a enxertia são os mesmos daqueles descritos para estaquia (ver subitem “*Seleção da planta matriz*”, do item 3.1.7. *Sequência esquemática da técnica de estaquia*).

Os porta-enxertos normalmente são formados a partir de mudas propagadas via sementes, embora o uso de mudas propagadas por estaquia ou miniestaquia também seja recomendado.

Coleta e transporte das brotações

Se a enxertia objetiva a formação de plantas aptas à produção precoce de sementes, deve-se retirar os brotos (enxertos) da parte mais alta da copa da planta matriz (Figura 15) e, caso o objetivo for o de resgate para a posterior produção de mudas por estaquia e/ou miniestaquia, deve-se preferir brotações mais próximas à base da planta, utilizando-se procedimentos e cuidados similares aos apresentados para a técnica de estaquia, item 3.1.7. *Sequência esquemática da técnica de estaquia*, subitem *Resgate da planta matriz*.

As brotações devem ser coletadas pela manhã ou em dias chuvosos / nublados, sendo acondicionadas em local protegido para seu transporte até o local da enxertia. A forma mais recomendada de transporte é em caixa de isopor com gelo ao fundo, recoberto com jornal umedecido (Figura 15), situação em que se consegue armazenar as brotações por até dois dias sem efeitos negativos sobre a enxertia. É importante observar que não deverá haver contato das brotações diretamente com o gelo, evitando queima das mesmas. O envolvimento das brotações em panos úmidos, dentro de sacos plásticos, também pode ser adotado.

Foto: Delmar Santin



Foto: Ivar Wendling



Figura 15. Coleta (acima) e transporte (à direita) de brotações de erva-mate para enxertia.

Locais e estruturas para realização da enxertia

A enxertia de erva-mate pode ser realizada em viveiro ou diretamente em campo em porta-enxertos previamente estabelecidos para este fim. A enxertia em campo é a mais recomendada, visto que tem resultado em maiores índices de pegamento e maior rapidez e vigor de crescimento dos enxertos após seu pegamento.

No caso da enxertia de viveiro, os enxertos devem ser colocados em casa de sombra ou outro ambiente sombreado para seu pegamento, com sombreamento em torno de 50% a 80%, obtido com o uso de sombrite ou outro material adequado (Figura 16). É recomendada a colocação de cobertura plástica sobre a casa de sombra com o intuito de evitar os efeitos adversos das baixas temperaturas nos enxertos em formação. Após o pegamento dos enxertos, a sombra deverá ser gradativamente removida, visando à aclimação das plantas enxertadas.

Antes de os enxertos serem plantados no local definitivo, deverão sofrer um processo de rustificação a pleno sol, visando sua preparação para o plantio definitivo. Nesta fase, as mudas devem ser rustificadas, diminuindo-se a irrigação.

Foto: Ivar Wendling



Figura 16. Enxertos em ambiente sombreado após a enxertia.

O processo da enxertia por garfagem

A enxertia por garfagem em fenda cheia no topo do cavalo consiste em decepar o porta-enxerto (altura variável conforme o vigor e lignificação) e neste fazer uma fenda central de 3 cm a 5 cm no sentido longitudinal, para encaixe do enxerto (Figura 17A), o qual deve ser preparado em forma de cunha (Figura 17B). O enxerto deve ter, no mínimo, três gemas (tamanho ao redor de 10 cm) e pelo menos um par de folhas, recortadas pela metade (Figura 17C). A época mais indicada para a enxertia é o inverno, embora resultados significativos também possam ser obtidos na primavera, desde que se tenham cuidados redobrados contra o excesso de calor.

Fotos: Ivar Wendling



Figura 17. Confeção da fenda central no porta-enxerto (A), cunha no enxerto (B) e enxerto preparado com folhas recortadas pela metade (C).

Após a preparação das duas partes, deve-se inserir o enxerto dentro da cunha do porta-enxerto (Figura 18A), tomando-se o cuidado de haver coincidência das cascas (câmbio) de pelo menos um dos lados. A união deve ser firmemente amarrada, para garantir a soldadura e calejamento de ambas as partes, garantindo o sucesso da técnica. Para a amarração podem ser usados diversos materiais, sendo o mais recomendado o fitilho de plástico de 1,2 cm de largura (Figuras 18B e C), que permite certa expansão com o aumento do diâmetro do enxerto, evitando a ocorrência de “enforcamento”. É também recomendado o uso de fitilhos biodegradáveis, uma vez que não necessitam ser removidos do enxerto.

Fotos: Ivar Wendling

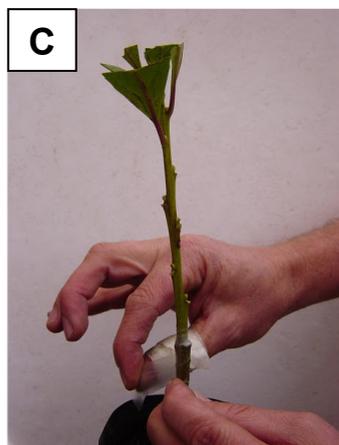
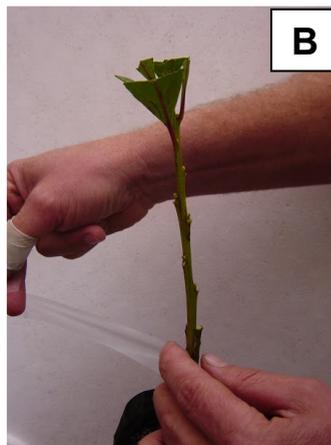


Figura 18. Cunha inserida dentro do porta-enxerto (A) e amarração com fitilho (B e C).

Após a enxertia deve-se cobrir o enxerto com um saco plástico (Figura 19) para minimizar a perda excessiva de umidade do enxerto. Caso a enxertia seja realizada diretamente em porta-enxertos estabelecidos em campo, além do saco plástico, deve ser colocado também um saco de papel pardo (Figura 19), visando propiciar melhor pegamento em vista do sombreamento proporcionado.

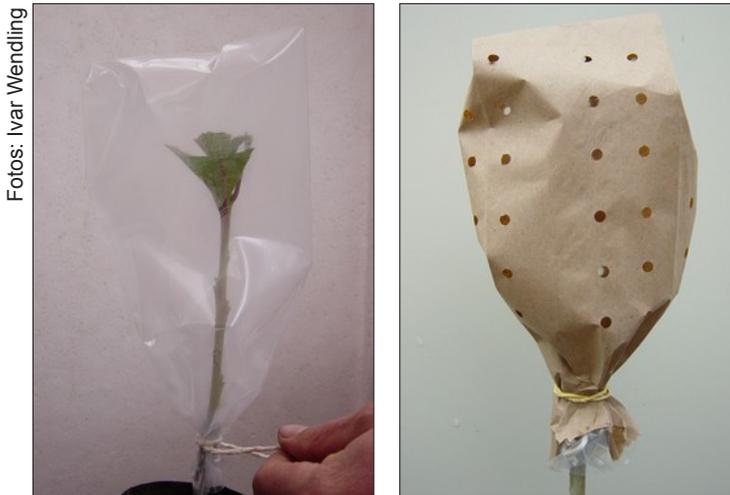


Figura 19. Enxerto coberto com um saco plástico, para minimizar a perda de umidade (à esquerda) e coberto também com um saco de papel para proporcionar sombreamento na enxertia em campo (à direita).

Cuidados e tratos culturais pós-enxertia

No caso da enxertia em campo, os sacos de papel devem ser parcialmente retirados quando os enxertos apresentarem brotações de, no mínimo, 3 cm de comprimento, ou seja, ao redor de 50 a 70 dias após a enxertia. No momento da retirada parcial dos sacos de papel, deverá ser feita uma abertura dos sacos plásticos visando a aclimação. Os dois tipos de sacos deverão ser completamente retirados 10 a 20 dias após. Durante todo o processo de enxertia deve ser realizada a retirada das brotações dos porta-enxertos. Os fitilhos devem ser retirados quando se perceber o crescimento da união enxerto e porta-enxerto, ou seja, ao redor de 90 a 120 dias após a enxertia.

Fatores que influenciam o sucesso da enxertia

Para que a enxertia tenha sucesso, alguns requisitos básicos devem ser observados. Deve ser respeitada certa semelhança em relação à morfologia e consistência dos tecidos entre enxerto e porta-enxerto. Plantas com tecidos lenhosos são incompatíveis com as de tecidos herbáceos e as plantas devem ser, tanto quanto possível, semelhantes morfológicamente e vigorosas, para melhor harmonizar o desenvolvimento. De modo geral, a enxertia é mais bem sucedida em plantas vigorosas, onde a cicatrização (soldadura) torna-se mais fácil.

A época do ano, temperatura, umidade, ventos e outros fatores ambientais influenciam o sucesso da enxertia e são básicos para a escolha da melhor época para a sua realização. Para erva-mate, a melhor época tem sido durante o inverno até o momento em que as gemas iniciam o processo de brotação. Os materiais (fitilho, sacolas plásticas, etc.) e instrumentos (canivetes, tesoura de poda, etc.) utilizados na execução da enxertia devem ser os mais adequados possível, sempre bem limpos e afiados. A habilidade do enxertador constitui-se em um dos principais fatores de sucesso da enxertia. O enxertador deve ser muito cuidadoso, trabalhar sempre com ferramentas bem afiadas, executar os cortes com firmeza, para deixá-los lisos e sem dilaceração dos tecidos, praticar a operação com rapidez para evitar exposição dos cortes e apertar o amarrilho firme e uniformemente.

3.3.3. Fluxograma geral da enxertia por garfagem em erva-mate

Visando facilitar a compreensão das etapas envolvidas na produção de mudas de erva-mate por enxertia por garfagem em fenda cheia no topo do cavalo diretamente em campo, a Figura 20 apresenta uma sequência esquemática resumida do processo.

Fotos: Ivar Wendling e Delmar Santin

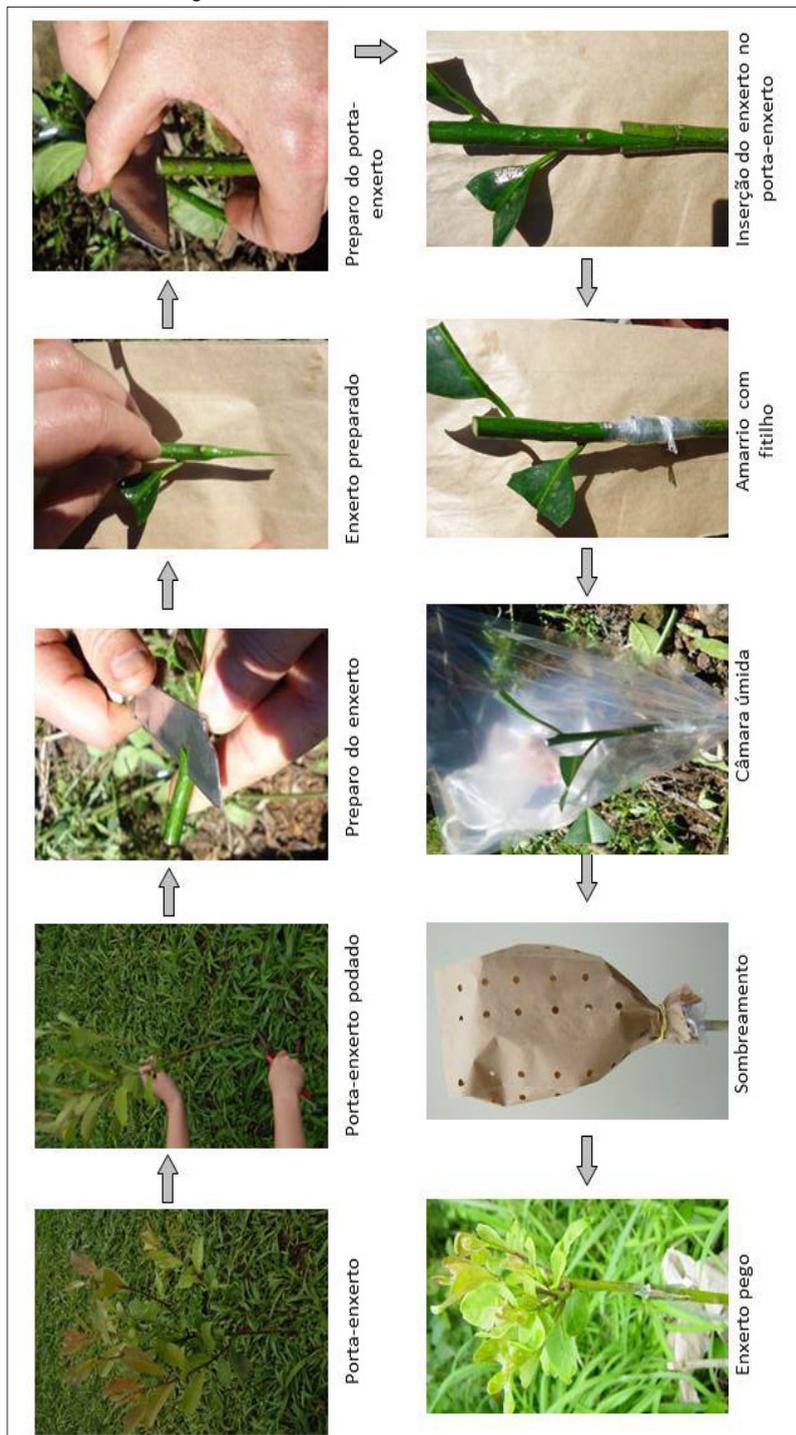


Figura 20. Fluxograma geral da técnica de enxertia por garfagem em fenda cheia no topo do cavalo diretamente em campo para erva-mate.

3.3.4. Enxertia de substituição de copa

A enxertia de substituição de copa, também conhecida por sobre-enxertia ou substituição da parte aérea é a operação que tem por finalidade o aproveitamento de plantas já formadas, com alteração da variedade da copa (PINHEIRO et al., 1988). O seu emprego mostra-se indicado para plantas de idade não muito avançada e sadias ou para plantas com problemas na parte aérea ou parte aérea sem interesse. Com a substituição de copa se ganha tempo, pois o porta-enxerto se encontra perfeitamente implantado, e as produções se tornam mais precoces. É uma técnica também muito importante no resgate de plantas matrizes adultas, visto que o crescimento dos enxertos resultantes é muito rápido.

Em erva-mate a enxertia de substituição de copa foi desenvolvida por Wendling et al. (2009), com enxertos coletados de árvores matrizes com idade de 10 anos até acima de 80 anos, observando-se a posição apical, mediana e basal dos enxertos dentro da planta matriz. Os autores concluíram que a enxertia de substituição de copa de erva-mate diretamente em campo é tecnicamente viável e que melhores taxas de pegamento são obtidas em árvores mais novas e com brotações apicais. Além disso, observaram que as matrizes apresentam respostas diferenciadas quanto ao pegamento.

Para a formação dos porta-enxertos, decepta-se a copa da árvore indesejável a 10-15 cm do solo com corte inclinado, deixando-se brotar de 3 a 4 ramos, sobre os quais, de 3 a 5 meses após, se fará a enxertia do material desejado (Figura 21). No caso de haver plantas indesejáveis com brotações de base aptas para serem porta-enxertos, pode-se realizar a enxertia logo após a decepta. Outra opção no caso de não haver brotações basais prévias é o uso do anelamento visando uma indução de brotações da base das plantas, previamente ao seu corte raso (SANTIN et al., 2008b).

Fotos: Ivar Wendling



Figura 21. Decepa da árvore indesejável (à esquerda) e com brotação apta para enxertia de substituição de copa em erva-mate após o corte (à direita).

Sugere-se que o procedimento de decepa seja realizado durante o inverno, época de dormência das plantas, resultando em maior percentual de brotações, embora outras épocas também possam ser utilizadas, caso haja necessidade. Os procedimentos de enxertia são os mesmos apresentados no item 3.3.2. *Seqüência esquemática da técnica de enxertia por garfagem* (Figura 22).



Figura 22. Enxerto realizado sobre brotação da árvore indesejável decepada (à esquerda) e protegido contra insolação com papel pardo (à direita).

3.3.5. Mini enxertia

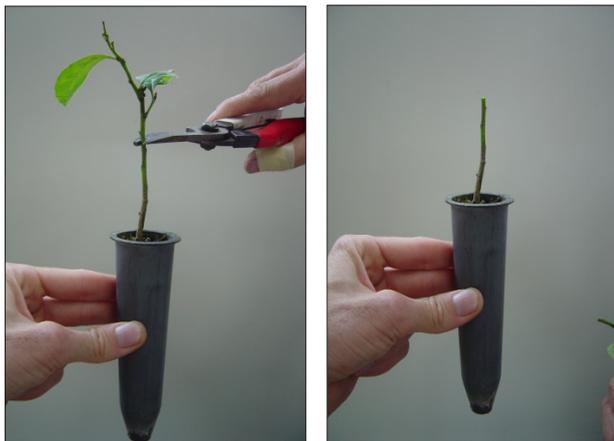
A mini enxertia é uma variação da enxertia tradicional por garfagem, variando desta pelo fato de ser feita com porta-enxertos mais novos e a fase inicial do processo ser realizada em casa de vegetação (HORBACH et al., 2006; WENDLING; HOFFMAN, 2005). O processo de mini enxertia ora apresentado foi desenvolvido e está descrito em Wendling e Hoffman (2005).

Os porta-enxertos, com diâmetros variando de 2 mm a 6 mm, podem ser produzidos em sacos ou tubetes de plástico a partir de sementes. As brotações da planta matriz são coletadas, de preferência, pela manhã, e transportadas em caixa de isopor sobre uma camada de gelo recoberto por papel umedecido. Outra alternativa é o transporte em baldes com água, onde as brotações deverão ter suas bases imersas. As brotações deverão ficar armazenadas em local sombreado, com as folhas mantidas úmidas por irrigações finas e frequentes. As brotações não devem ser armazenadas por mais de 24h.

Para melhores resultados de sobrevivência, a minienxertia deve ser realizada em local sombreado e protegido de ventos. O sucesso da técnica depende em muito da qualidade dos materiais, do seu estado de limpeza e da sua conservação geral. A fixação dos enxertos nos porta-enxertos pode ser feita usando-se canudinhos de plástico ou grampos de cabelo.

Para o uso de canudinhos, os procedimentos são descritos e ilustrados a seguir:

Fotos: Ivar Wendling



a) Poda do porta-enxerto: a poda deverá ser realizada entre 5 cm a 15 cm de altura do porta-enxerto, dependendo da grossura do enxerto. É aconselhável que os diâmetros do enxerto e porta-enxerto sejam similares.

Foto: Ivar Wendling



b) Colocação do canudinho: deverá ser colocado sobre o porta-enxerto, englobando o mesmo. O diâmetro do canudinho deverá ser variável em função do diâmetro do porta-enxerto, para que faça uma leve pressão, visando melhor fixação do enxerto com o porta-enxerto.

Foto: Ivar Wendling



c) Fenda no porta-enxerto: é aberta uma fenda de cima para baixo, com aproximadamente 1 cm de profundidade, a partir do centro do caule do porta-enxerto.

Foto: Ivar Wendling



d) Preparação do enxerto: deverá ser recortado em forma de cunha, ou seja, com cortes nos dois lados. Caso não seja inserido no porta-enxerto imediatamente após seu preparo, deverá ser mantido em água pura para que não oxide.

Fotos: Ivar Wendling



e) Fixação: após a colocação do enxerto no porta-enxerto, o canudinho deverá ser puxado para cima, cobrindo firmemente a união.



Fotos: Ivar Wendling



f) Acondicionamento: os minienxertos preparados deverão ser mantidos em casa de vegetação, ou seja, em ambiente com alta umidade relativa do ar. Neste ambiente os enxertos deverão permanecer até que se verifique a indução de brotações, com, no mínimo, 1 cm de comprimento, e um bom calejamento da união do enxerto com o porta-enxerto.



Foto: Ivar Wendling



g) Aclimação: depois de verificada a indução de brotações e um bom calejamento da união do enxerto com o porta-enxerto, os minienxertos deverão ser aclimatados em casa de sombra. Nesta, deverão permanecer durante, no mínimo, duas semanas, sendo posteriormente repassados para uma área a pleno sol, onde completarão seu crescimento e rustificação final.

Fotos: Ivar Wendling



h) Manejo dos minienxertos: durante toda fase de pegamento e aclimação dos minienxertos deverão ser retiradas as brotações do porta-enxerto. Após sua saída da casa de vegetação, poderão receber adubações de cobertura. O canudinho de fixação deverá ser retirado quando iniciar o estrangulamento.

No caso da fixação dos enxertos com os porta-enxertos utilizando grampo de cabelo todos os procedimentos são similares aos descritos anteriormente, com exceção feita para a colocação do canudinho que é substituído pelo grampo, sendo este colocado após a inserção do enxerto sobre o porta-enxerto.

3.4. Micropropagação

A micropropagação consiste basicamente no cultivo de células de plantas, tecidos ou órgãos diferenciados (caule, broto, gema ou raiz) em meio nutritivo apropriado e em condições controladas de laboratório (GEORGE et al., 2008). É uma técnica que oferece excelentes possibilidades para propagação de plantas, possibilitando a obtenção de grande número de indivíduos a partir de poucas matrizes, em curto espaço de tempo e em reduzida área de laboratório (BONGA; ADERKAS, 1992). Entretanto, segundo Bonga e Aderkas (1992) e Xavier e Wendling (1998), o uso da micropropagação na produção comercial de mudas de espécies florestais ainda não se justificou técnica e economicamente, embora Ratnieks e Assis (1993) tenham recomendado sua utilização, neste caso, para espécies e híbridos de *Eucalyptus* de alto valor comercial e de difícil propagação por outro método.

Entre as desvantagens e limitações da técnica de micropropagação podem ser citadas a alta possibilidade de contaminação, o alto custo, a variação das condições de cultura entre e dentro de clones e a dificuldade de encontrar o meio adequado para a espécie desejada (GEORGE et al., 2008). Com o avanço das técnicas de propagação vegetativa de plantas, a micropropagação torna-se cada vez mais uma poderosa ferramenta para programas de melhoramento genético, por meio de técnicas como a embriogênese somática, cultura de órgãos, fusão de protoplastos e cultura de embriões (RATNIEKS; ASSIS, 1993).

O sucesso na propagação de material adulto de várias espécies lenhosas indica que a micropropagação pode ser usada para o rejuvenescimento de material adulto (BONGA; ADERKAS, 1992; ELDRIDGE et al., 1994; GUIMARÃES et al., 1997). Para erva-mate, esta técnica tem merecido especial atenção, visando ao seu desenvolvimento, de forma semelhante aos resultados obtidos para *Eucalyptus* (TITON, 2001; WENDLING, 2002).

3.4.1. Estabelecimento *in vitro*

O desenvolvimento de técnicas de resgate de material adulto de erva-mate é de extrema importância, aliado ao desenvolvimento de métodos eficientes de desinfestação de propágulos adultos e diminuição ou eliminação da oxidação fenólica no meio de cultura *in vitro* (LUNA et al., 2013; WENDLING, 2004). Contudo, um dos principais entraves ao desenvolvimento de protocolos eficientes de propagação clonal *in vitro* de genótipos selecionados de erva-mate refere-se aos elevados índices de contaminação durante a fase de estabelecimento de explantes, que por sua vez acarreta em baixa porcentagem de estabelecimento. Esse efeito pode ser verificado em estudo realizado por Dutra e Silva (2009), onde os autores não verificaram diferença significativa entre diferentes meios de cultura utilizados para o estabelecimento de segmentos nodais *in vitro*, porém, ocorreu elevada taxa de contaminação (bacteriana e fúngica) e a porcentagem máxima de estabelecimento foi de apenas 5,25%.

Devido a essa dificuldade de estabelecimento, a maioria dos trabalhos referentes ao cultivo *in vitro* de erva-mate tem se limitado ao cultivo de embriões zigóticos (FERREIRA et al., 1991; FERREIRA; SILVEIRA, 1992; HORBACH et al., 2011; HU et al., 1978; REY et al., 2002), cultura de suspensão de células (KRAEMER et al., 2002) e de segmentos nodais oriundos de mudas produzidas por semente, ou seja, materiais juvenis (KRYVENKI, 1997; MROGINSKI et al., 1997; SANSEBRO et al., 1997a, 1997b, 1998, 1999, 2001; ZANIOLO; ZANETTE, 2001).

Rey e Mroginski (1988) avaliaram a capacidade de regeneração *in vitro* de explantes obtidos de mudas de sementes e estacas de plantas jovens e adultas de erva-mate. Evidenciaram que explantes obtidos de mudas de árvores adultas não são adequados para culturas *in vitro*, uma vez que apresentaram altas taxas de contaminação e não multiplicaram (recalcitrância *in vitro*). Contudo, Stachevski et al. (2013) estabeleceram explantes foliares *in vitro* coletados de plantas de erva-

mate cultivadas em vasos sob condições de casa de vegetação. O protocolo de assepsia consistiu na imersão das folhas em solução de fungicida tiofanato-metílico a 1g L^{-1} por 10 minutos, seguida de imersão em 0,05% de HgCl_2 por 5 minutos e 5% de NaClO por 20 minutos, sendo então lavadas três vezes em água destilada e autoclavada. Os explantes foliares apresentaram resposta organogênica quanto ao meio de cultura, sendo que o meio de cultura MS (MURASHIGE; SKOOG, 1962) foi o mais eficiente para a indução de calos e o WPM (LLOYD; MCCOWN, 1981), para a rizogênese. Apesar do HgCl_2 ter sido utilizado como composto químico, visando eliminar microorganismos para a introdução *in vitro*, o seu uso não é aconselhado, devido à natureza tóxica, sendo possível substituir por outros compostos químicos com efeitos semelhantes para a desinfestação de explantes (BRONDANI et al., 2012b, 2013; LUNA et al., 2013).

3.4.2. Meio de cultura e regulador de crescimento

Os meios de cultura mais utilizados para o cultivo *in vitro* de erva-mate tem sido o MS (MURASHIGE; SKOOG, 1962) e o WPM (Wood Plant Medium, LLOYD; MCCOWN, 1981), os quais são suplementados com diferentes reguladores de crescimento vegetais e variam em relação à concentração de sais minerais e vitaminas (DUTRA; SILVA, 2009; HORBACH et al., 2011; MROGINSKI et al., 1997; REY; MROGINSKI, 1988; SANSEBRO et al., 1998, 1999; ZANIOLO; ZANETTE, 2001;).

Em extensa revisão sobre o assunto, Mroginski et al. (1997) concluíram que é possível micropropagar plantas de erva-mate com menos de dois anos de idade, mediante o cultivo de segmentos nodais em meio constituído pelos sais minerais e vitaminas de $\frac{1}{4}$ MS, 3% de sacarose e $0,1\text{ mg L}^{-1}$ de ácido naftalenoacético (ANA). Porém, propágulos obtidos de árvores adultas (acima de 10 anos de idade) somente podem ser estabelecidos *in vitro* caso os explantes provenham de plantas obtidas por estaquia, mantidas em condições de estufa, e sejam cultivados em $\frac{1}{4}$ MS sem o emprego de reguladores de crescimento. No caso do

estabelecimento de explantes de plantas matrizes adultas diretamente *in vitro*, as únicas respostas que se obtém, segundo os mesmos autores, são o seu escurecimento e sua contaminação com fungos e bactérias, não sendo possível, portanto, induzir sua brotação.

Sansberro et al. (1998) verificaram que concentrações reduzidas de BAP ($4,4 \cdot 10^{-8}$ M), KIN ($4,6 \cdot 10^{-8}$ M), ZEA ($4,5 \cdot 10^{-8}$ M) e 2iP ($4,9 \cdot 10^{-8}$ M) promoveram o crescimento embrionário. O TDZ ($9,9 \cdot 10^{-9}$ M; $9,9 \cdot 10^{-8}$ M ou $9,9 \cdot 10^{-7}$ M) induziu taxas de crescimento embrionário similares. Apesar das taxas de crescimento obtidas, a percentagem máxima de embriões convertidos em plantas foi alcançada quando o meio foi suplementado com ZEA ($4,5 \cdot 10^{-7}$ M). No entanto, devido aos baixos índices de regeneração, serão necessários novos estudos para aumentar a frequência de regeneração de plantas completas a partir de embriões imaturos de erva-mate.

Em outro estudo, Sansberro et al. (1999) demonstraram que as técnicas de cultivo *in vitro* podem ser usadas para propagar plantas de erva-mate. Os autores recomendaram o meio de cultura $\frac{1}{4}$ MS suplementado com $4,4 \mu\text{M}$ de BA seguido de seis semanas de subcultivo para obtenção de brotações múltiplas. Zaniolo e Zanette (2001) registraram as maiores taxas de multiplicação de gemas em explantes de erva-mate durante três subcultivos em meio WPM suplementado com $8,87 \mu\text{M}$ de BAP. Recentemente, Horbach et al. (2011) definiram protocolo de micropropagação de erva-mate a partir de embriões zigóticos com o uso do meio $\frac{1}{4}$ MS suplementado com $8,88 \mu\text{M}$ de BAP, promovendo o maior número e comprimento de brotações adventícias.

3.4.3. Enraizamento e aclimatização

A fase de enraizamento e aclimatização das mudas micropropagadas (microplântulas) pode limitar o sucesso da micropropagação de uma espécie florestal, por serem consideradas as fases finais e de maior dificuldade (GEORGE et al., 2008).

Os protocolos de enraizamento e aclimatização para erva-mate diferem em termos de operacionalidade. Mroginski et al. (1997) salientam que explantes juvenis de erva-mate podem ser enraizados em $\frac{1}{4}$ MS, mais 1 mg L^{-1} de ácido indolbutírico (AIB). Quando os explantes são oriundos de plantas adultas o percentual de enraizamento geralmente é reduzido. Sansberro et al. (1999) enraizaram microplântulas de erva-mate em $\frac{1}{4}$ MS suplementado com $7,4 \text{ }\mu\text{M}$ de AIB, seguido de transferência em 10 dias para $\frac{1}{4}$ MS isento de reguladores de crescimento. As microplântulas enraizadas foram transferidas para potes contendo perlita, turfa e areia (1:1:1 v/v/v) onde observaram 70% de aclimatização. Zaniolo e Zanete (2001) enraizaram brotações de erva-mate em $\frac{1}{2}$ WPM suplementado com $14,7 \text{ }\mu\text{M}$ de AIB em 12 dias, seguindo para outro meio de cultura com $\frac{1}{2}$ WPM isento de regulador de crescimento e contendo 1 g L^{-1} de carvão ativo. Horbach et al. (2011) enraizaram *in vitro* ápices caulinares de erva-mate em 30 dias de cultivo em meio $\frac{1}{4}$ MS, acrescido de $7,38 \text{ }\mu\text{M}$ de AIB. As microplântulas apresentaram alta porcentagem de sobrevivência durante a aclimatização, obtendo plantas com elevado vigor.

Contudo, esses protocolos tem se limitado ao enraizamento *in vitro* de explantes obtidos por sementes ou plantas juvenis com posterior aclimatização. Estudos envolvendo o enraizamento *ex vitro* são necessários, uma vez que poderiam maximizar a micropropagação de erva-mate, principalmente por realizar o enraizamento e aclimatização ao mesmo tempo, com redução de custos, além da necessidade de menor número de repicagens das mudas.

Em função dos resultados obtidos com a micropropagação de erva-mate até o presente momento, evidencia-se a necessidade de um aperfeiçoamento desta técnica para a clonagem massal de indivíduos adultos geneticamente superiores. Estudos visando definir o potencial da micropropagação como método de rejuvenescimento e sua influência em função de vários subcultivos *in vitro*, necessitam ser desenvolvidos, visando tornar possível a propagação *ex vitro* de materiais adultos da

espécie e resultando no desenvolvimento da técnica de microestaquia (enraizamento *ex vitro*), a qual, segundo Xavier e Comério (1997), é uma maximização da micropropagação. Aliado a isto, torna-se necessário avaliar outros métodos de resgate de indivíduos adultos selecionados previamente à sua introdução *in vitro*, como a enxertia (DOMINGOS; WENDLING, 2006; OLISZESKI; NEIVERTH, 2002; WENDLING et al., 2009), brotações epicórmicas, brotações basais (ROSA et al., 2003; SANTIN et al., 2008b; WENDLING et al., 2013), entre outras, uma vez que existem materiais genéticos de erva-mate nos quais não se consegue obter enraizamento pela técnica de estaquia convencional.

3.5. Avaliação em campo de mudas produzidas por propagação vegetativa

Para qualquer tecnologia de propagação, um dos passos mais importantes é a avaliação do crescimento e desenvolvimento das mudas em campo. No caso da erva-mate, a avaliação da produtividade e qualidade comparativa de mudas produzidas por propagação sexuada e vegetativa é de fundamental importância para a validação da silvicultura clonal da espécie.

Um dos primeiros estudos neste sentido foi realizado por Belingheri e Prat Krikun (1994), que avaliaram a produtividade e sobrevivência em campo de diferentes clones e progênies, entre os anos de 1987 e 1993, e concluíram pela superioridade das progênies em relação aos clones. Segundo Resende et al. (1997), pela base teórica, espera-se rendimento superior ou pelo menos igual do material propagado vegetativamente em relação ao propagado sexualmente. Assim sendo, pode-se atribuir como possível causa da baixa performance dos clones em campo no estudo de Belingheri e Prat Krikun (1994) a problemas fisiológicos (como por exemplo, vigor do sistema radicular das mudas formadas) associados à técnica de propagação vegetativa, o que estaria de acordo com suposições de Resende et al. (1997), além daqueles de ordem genética, o que estaria de acordo com Correa (1995).

Segundo Greenwood e Hutchison (1993), uma vez que a capacidade de enraizamento decresce com o aumento da maturação, menores taxas de crescimento em altura e diâmetro de mudas oriundas de propágulos mais maduros podem ser função de um menor vigor do sistema radicial. Para erva-mate Sand (1989), avaliou o comprimento médio das maiores raízes de estacas oriundas de plantas de seis meses, 18 meses e 60 anos de idade em comparação com estacas de rebrotes oriundos de plantas de 60 anos. Obteve 11,5 cm, 10,6 cm, 8,4 cm e 5,8 cm, respectivamente, para os quatro tratamentos, ressaltando a importância do fator juvenilidade dos propágulos no vigor do sistema radicial.

Resende et al. (2000) foram os primeiros a avaliar clones de erva-mate em campo no Brasil, com experimento instalado em 1995, em Colombo, PR. Os autores avaliaram a produção de massa verde de 7 clones masculinos e 6 femininos na primeira poda de produção (55 meses). A produção de massa verde variou de 7.000 kg ha⁻¹ a 13.500 kg ha⁻¹, o que pode ser considerado bom em termos de produtividade para a espécie.

Santin et al. (2014a) avaliaram a produtividade comercial de duas colheitas (2008 e 2010) de teste estabelecido em 2005 com clones propagados por miniestaquia de material juvenil (procedências) em comparação com sementes, no Município de São Mateus do Sul, PR (Tabela 4). Os autores concluíram que os métodos de propagação não influenciaram a sobrevivência e as plantas propagadas por miniestaquia produziram mais erva-mate comercial na segunda colheita (em média 13,4 t ha⁻¹), quando comparadas às mudas propagadas por sementes (em média 10,7 t ha⁻¹). Neste mesmo experimento, na terceira avaliação (2012), concluiu-se que não houve diferença entre os métodos de propagação e, na quarta avaliação (2013), plantas propagadas por miniestaquia novamente produziram mais erva-mate comercial (em média 21,6 t ha⁻¹), quando comparadas às mudas propagadas por sementes (em média 17,6 t ha⁻¹) (dados não publicados).

Tabela 4. Produtividade de massa verde de erva-mate comercial em erval estabelecido com mudas propagadas por miniestaquia e por sementes.

Procedência/ material ¹	Produtividade de erva-mate comercial verde ²			
	2008 ³	2010 ³	2012 ⁴	2013 ⁴
	----- t ha ⁻¹ -----			
Semente	1,5 A	10,7 C	15,6 AB	17,6 C
ME-BI	1,6 A	12,8 B	14,5 B	20,4 B
ME-PI	1,8 A	13,3 AB	15,1 B	21,6 AB
ME-SMS	1,8 A	14,0 A	16,5 A	22,9 A

¹Mudas propagadas por miniestaquia (ME) em nível de progênies oriundas de três procedências, sendo: BI = Bituruna, PI = Pinhalão e SMS = São Mateus do Sul; ²colheita de 2008 realizada 36 meses após o plantio, colheitas de 2010, 2012 e 2013 realizadas, respectivamente, com intervalos de 24, 18 e 18 meses. ³Santin et al., (2014a) e ⁴dados não publicados. Médias seguidas por mesma letra não diferem entre procedências para o mesmo ano de colheita ao nível de 5% de probabilidade.

Em agosto de 2012 foi estabelecido um teste clonal em São Mateus do Sul, PR, com 5 clones machos, 11 clones fêmeas e mudas de vários clones na forma de mistura (misto clones), obtidos de árvores adultas de mais de 80 anos, selecionadas em campo com base em produtividade e qualidade. Estas matrizes foram resgatadas via enxertia de campo e estaquia e multiplicadas em escala comercial via miniestaquia. Como testemunha, foram plantadas mudas de sementes de 5 materiais genéticos diferentes. Na primeira poda (poda de formação), realizada aos dois anos após o plantio (agosto de 2014), o teste mostrou desempenho excepcional, comparado com mudas produzidas por semente (testemunha), com alta sobrevivência e excelente crescimento (Figura 23). Avaliações de produção de massa foliar, embora ainda precoces, indicam um bom comportamento dos clones avaliados, principalmente, dos clones fêmeas (Tabela 5).

Foto: Ivar Wendling



Figura 23. Teste clonal de erva-mate estabelecido em São Mateus do Sul, PR, dois anos após o plantio (agosto de 2013).

Tabela 5. Produtividade de massa verde de erva-mate comercial em teste clonal estabelecido em São Mateus do Sul, PR, com mudas propagadas por miniestaquia e por sementes, aos 24 meses após o plantio.

Material genético	Produção média (kg planta ⁻¹) ¹	Produção média (kg ha ⁻¹) ¹
Clone fêmea 1	0,5209	992,2
Clone fêmea 2	0,4606	877,3
Clone fêmea 3	0,4517	860,4
Média de clones fêmeas	0,4777	910,0
Clone macho 1	0,3988	759,6
Clone macho 2	0,3923	747,2
Clone macho 3	0,3617	689,0
Média de clones machos	0,3843	731,9
Misto de clones	0,3834	730,3
Mudas de semente 1	0,3778	719,6
Mudas de semente 2	0,3688	702,5
Mudas de semente 3	0,3672	699,4
Média de mudas de sementes	0,3713	707,2

¹Média dos três melhores materiais genéticos (clones fêmeas, clones machos e mudas de sementes) e mistura de clones (misto de clones).

4. Considerações finais

A produção de mudas de erva-mate é um tema que tem sido alvo de uma série de pesquisas e desenvolvimentos científicos e tecnológicos. No entanto, uma série de questões ainda carecem de maiores estudos, visando o pleno aproveitamento do potencial desta importante espécie florestal.

Em relação à produção de mudas por via sexuada, o grande desafio ainda é o desenvolvimento de métodos mais eficientes de quebra de dormência, que acelerem e uniformizem a germinação das sementes, bem como de sistemas de produção eficientes que dispensem o uso da repicagem em vista dos problemas associados a esta técnica, quando não realizada de maneira adequada. A viabilidade de produção de mudas em tubetes plásticos e recipientes biodegradáveis também precisa ser avaliada, tanto em nível de viveiro quanto em campo.

Quanto à produção de mudas por propagação vegetativa, pode-se afirmar que a técnica de estaquia encontra-se desenvolvida como ferramenta para o resgate de árvores selecionadas, embora com problemas para alguns clones de difícil enraizamento (baixo enraizamento e alta variação de matriz para matriz). A miniestaquia, como técnica de multiplicação massal também já foi desenvolvida, embora ainda esteja em fase inicial de implementação em viveiros comerciais, o que pode ser considerado um grande desafio e oportunidade no momento. A micropropagação, por outro lado, apresenta-se como uma técnica de grande potencial para uso futuro, quando alguns gargalos tecnológicos forem suplantados, como os relacionados a fase de introdução e multiplicação *in vitro* de propágulos adultos. É uma técnica que poderá ser usada para o rejuvenescimento de propágulos de erva-mate de materiais de grande valor nos quais outras técnicas de propagação vegetativa não sejam eficientes.

Agradecimentos

Às empresas Baldo e Bitumirim, pelas contribuições no desenvolvimento dos estudos relativos à propagação de erva-mate.

Referências

- ALFENAS, A. C.; ZAUZA, E. A. V.; MAFIA, R. G.; ASSIS, T. F. de. **Clonagem e doenças do eucalipto**. Viçosa, MG: Ed. da UFV, 2004. 442 p.
- BACKES, P.; IRGANG, B. **Árvores do sul**: guia de identificação e interesse ecológico. Rio Grande do Sul: Pallotti, 2002. 326 p.
- BELINGHERI, L. D.; PRAT KRIKUN, S. D. **Evaluacion de los rendimientos de clones y progenies de yerba mate (*Ilex paraguariensis* St. Hil.)**. Cerro Azul: INTA, Estación Experimental Agropecuaria Cerro Azul, 1994. 17 p.
- BITENCOURT, J. **Otimização do enraizamento de estacas de plantas adultas de erva-mate**. 2009. 162 f. Tese (Doutorado em Agronomia) - Universidade Federal do Paraná, Curitiba.
- BITENCOURT, J.; ZUFFELLATO-RIBAS, K. C.; WENDLING, I.; KOEHLER, H. S. Enraizamento de estacas de erva-mate (*Ilex paraguariensis* A. St.-Hill.) provenientes de brotações rejuvenescidas. **Revista Brasileira de Plantas Mediciniais**, Botucatu, v. 11, n. 3, p. 277-281, 2009.
- BONGA, J. M.; ADERKAS, P. von. **In vitro culture of trees**. Dordrecht: Kluwer Academic Public, 1992. 236 p. (Forestry science, 38).
- BRONDANI, G. E.; ARAUJO, M. A.; WENDLING, I.; KRATZ, D. Enraizamento de miniestacas de erva-mate sob diferentes ambientes. **Pesquisa Florestal Brasileira**, Colombo, n. 57, p. 29-38, 2008.
- BRONDANI, G. E.; BACCARIN, F. J. B.; WIT ONDAS, H. W.; STAPA, J. L.; GONÇALVES, A. N.; ALMEIDA, M. Low temperature, IBA concentrations and optimal time for adventitious rooting of *Eucalyptus benthamii* mini-cuttings. **Journal of Forestry Research**, Tokyo, v. 23, n. 4, p. 583-592, 2012a.
- BRONDANI, G. E.; OLIVEIRA, L. S.; BERGONCI, T.; BRONDANI, A. E.; FRANÇA, F. A. M.; SILVA, A. L. L.; GONÇALVES, A. N. Chemical sterilization of culture medium: a low cost alternative to in vitro establishment of plants. **Scientia Forestalis**, Piracicaba, v. 41, n. 98, p. 257-264, 2013.
- BRONDANI, G. E.; WENDLING, I.; ARAUJO, M. A.; SANTIN, D.; BENEDETTI, E. L.; ROVEDA, L. F. Composições de substratos e ambiente de enraizamento na estaquia de *Ilex paraguariensis* A. St.-Hil. **Floresta**, Curitiba, v. 39, n. 1, p. 41-49, 2009.

BRONDANI, G. E.; WENDLING, I.; SANTIN, D.; BENEDETTI, E. L.; ROVEDA, L. F.; ORRUTÉA, A. G. Ambiente de enraizamento e substratos na miniestaquia de erva-mate. **Scientia Agraria**, Curitiba, v. 8, n. 3, p. 257-267, 2007.

BRONDANI, G. E.; WIT ONDAS, H. W.; BACCARIN, F. J. B.; GONÇALVES, A. N.; ALMEIDA, M. Micropropagation of *Eucalyptus benthamii* to form a clonal micro-garden. **In Vitro Cellular and Developmental Biology. Plant**, Columbia, v. 48, n. 5, p. 478-487, 2012b.

CARVALHO, P. E. R. **Espécies arbóreas brasileiras**. Brasília, DF: Embrapa Informação Tecnológica; Colombo: Embrapa Florestas, 2003. v. 1. 1039 p.

CATAPAN, M. I. S. **Influência da temperatura, substrato e luz na germinação de sementes de *Ilex paraguariensis* St. Hil.** 1998. 109 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) - Universidade Federal do Paraná, Curitiba.

CÉSAR, H. P. **Manual prático do enxertador e criador de mudas de árvores frutíferas e dos arbustos ornamentais**. 7. ed. São Paulo: Nobel, 1975. 158 p.

CORRÊA, G. **Controle genético do enraizamento de estacas de erva-mate (*Ilex paraguariensis* Saint Hilaire)**. 1995. 55 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) - Universidade Federal do Paraná, Curitiba.

COSTA, R. B.; RESENDE, M. D. V.; ROA, R. A. R.; BUNGENSTAB, D. J.; MARTINS, W. J.; ROEL, A. R. Melhoramento genético da erva-mate nativa do estado do Mato Grosso do Sul. **Bragantia**, Campinas, v. 68, n. 3, p. 611-619, 2009.

CUQUEL, F. L.; CARVALHO, M. L. M.; CHAMMA, H. M. C. P. Avaliação de métodos de estratificação para a quebra de dormência de sementes de erva-mate. **Scientia Agricola**, Piracicaba, v. 51, n. 3, p. 415-421, 1994.

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).

DIAS, P. C.; OLIVEIRA, L. S.; XAVIER, A.; WENDLING, I. Estaquia e miniestaquia de espécies florestais lenhosas do Brasil. **Pesquisa Florestal Brasileira**, Colombo, v. 32, n. 72, p. 453-462, 2012. DOI: 10.4336/2012.pfb.32.72.453

DOMINGOS, D. M.; WENDLING, I. Sobrevivência e vigor vegetativo de plantas de erva-mate (*Ilex paraguariensis* A. St.-Hill.) enxertadas diretamente a campo. **Ciência Florestal**, Santa Maria, RS, v. 16, n. 1, p. 107-112, 2006.

DUTRA, L. F.; SILVA, N. D. G. **Estabelecimento *in vitro* de erva-mate (*Ilex paraguariensis* St. Hil.)**. Pelotas: Embrapa Clima Temperado, 2009. 7 p. (Embrapa Clima Temperado. Comunicado técnico, 215).

ELDRIDGE, K.; DAVIDSON, J.; HARDWIID, C.; WYK, G. van. Mass vegetative propagation. In: _____. **Eucalypt domestication and breeding**. Oxford: Clarendon Press, 1994. p. 228-246.

FERRARI, M. P.; WENDLING, I. **Influência da utilização de antioxidantes na enxertia de erva-mate (*Ilex paraguariensis* Saint Hilaire)**. Colombo: Embrapa Florestas, 2004. 3 p. (Embrapa Florestas. Comunicado técnico, 109).

FERREIRA, A. G.; CUNHA, G. G.; SILVEIRA, T. S.; HU, C. Y. *In vitro* germination of immature embryos of *Ilex paraguariensis* St. Hil. **Phyton**, Buenos Aires, v. 52, n. 1, p. 27-32, 1991.

FERREIRA, A. G.; SILVEIRA, T. S. Crescimento *in vitro* de embriões de 4 espécies de *Ilex*. In: REUNIÃO TÉCNICA DO CONE SUL SOBRE A CULTURA DA ERVA-MATE, 1., 1992, Porto Alegre. **Programa e resumos**. Porto Alegre: FAPERGS, 1992. p. 2.

FERREIRA, D. A.; BARROSO, D. G.; SILVA, M. P. S.; SOUZA, J. S.; FREITAS, T. A. S.; CARNEIRO, J. G. A. Influência da posição das miniestacas na qualidade de mudas de cedro australiano e no seu desempenho inicial no pós-plantio. **Ciência Florestal**, Santa Maria, RS, v. 22, n. 4, p. 715-723, 2012.

FOWLER, J. A. P.; STURION, J. A. **Aspectos da formação do fruto e da semente na germinação da erva-mate**. Colombo: Embrapa-CNPf, 2000. 5 p. (Embrapa-CNPf, Comunicado técnico, 45).

FOWLER, J. A. P.; STURION, J. A.; ZUFFELLATO-RIBAS, K. C. Variação do desenvolvimento embrionário das sementes de erva-mate. **Pesquisa Florestal Brasileira**, Colombo, n. 54, p. 105-108, 2007.

FREITAS, J. A. A.; MARINHO, C. S.; FREITAS, I. L. J. Goiabeiras Paluma, Pedro Sato e Cortibel 6 propagadas por miniestaquia e miniestaquia seriada. **Ciência Rural**, Santa Maria, RS, v. 43, n. 8, p. 1351-1356, 2013.

GEORGE, E. F.; HALL, M. A.; KLERK, G. J. **Plant propagation by tissue culture**. 3rd ed. Netherlands: Springer, 2008. v. 1. 551 p.

GRAÇA, M. E. C.; COOPER, M. A.; TAVARES, F. R.; CARPANEZZI, A. A. **Estaquia de erva-mate**. Curitiba: EMBRAPA-CNPf, 1988. 6 p. (EMBRAPACNPf. Circular técnica, 18).

GREENWOOD, M. S.; HUTCHISON, K. W. Maturation as an developmental process. In: AHUJA, M. R.; LIBBY, W. J. **Clonal forestry: genetics and biotechnology**. Budapest: Springer-Verlag, 1993. p. 14-33.

GRIGOLETTI JÚNIOR, A.; RODIGHERI, H. R.; MOSELE, S. H.; WIELEWSKI, P. **Estimativa de danos causados por doenças em viveiros de erva-mate, nos estados do Paraná e Rio Grande do Sul**. Colombo: EMBRAPA-CNPf, 1997. 3 p. (EMBRAPA-CNPf. Comunicado técnico, 21).

GUIMARÃES, M. P.; CORREIA, F.; COUCEL, F. Integração de um laboratório de micropropagação de *Eucalyptus globulus* no viveiro de uma empresa do sector papelero português. In: IUFRO CONFERENCE ON SILVICULTURE AND IMPROVEMENT OF EUCALYPTS, 1997, Salvador. **Proceedings...** Colombo: EMBRAPA-CNPf, 1997. v. 4. p. 79.

HARTMANN, H. T.; KESTER, D. E.; DAVIES JUNIOR, F. T.; GENEVE, R. L. **Plant propagation: principles and practices**. 8th ed. Boston: Prentice-Hall, 2011.

HIGA, R. C. V. Estaquia de erva-mate (*Ilex paraguariensis* Saint Hilaire): resultados preliminares. In: CONGRESSO FLORESTAL BRASILEIRO, 4, 1982, Belo Horizonte. **Anais...** Belo Horizonte, 1982. p. 304-305.

HORBACH, M. A.; BISOGNIN, D. A.; KIELSE, P.; QUADROS, K. M.; FICK, T. A. Micropropagação de plântulas de erva-mate obtidas de embriões zigóticos. **Ciência Rural**, Santa Maria, RS, v. 41, n. 1, p. 113-119, 2011.

HORBACH, M.; WENDLING, I.; BISOGNIN, D. A.; HOFFMANN, H. A. Sistemas de fixação de minienxertos de erva mate (*Ilex paraguariensis* St. Hil.) 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. 167-171.

HU, C. Y.; OCHS, J. D.; MANCINI, F. M. Further observations on *Ilex* embryoid production. **Zeitschrift fur Pflanzenphysiologie**, v. 89, p. 41-49, 1978.

IRITANI, C.; SOARES, R. V. Ação de reguladores de crescimento em estacas de *Ilex paraguariensis* St. Hilaire. **Floresta**, Curitiba, v. 2, n. 12, p. 59-67, 1981.

KRAEMER, K. H.; SCHENKEL, E. P.; VERPOORTE, R. *Ilex paraguariensis* cell suspension culture characterization and response against ethanol. **Plant Cell, Tissue and Organ Culture**, Dordrecht, v. 68, p. 257-263, 2002.

KRATZ, D.; WENDLING, I. Produção de mudas de *Eucalyptus dunnii* em substratos renováveis. **Floresta**, Curitiba, v. 43, n. 1, p. 125-136, 2013.

KRYVENKI, M. A. Micropropagación de la yerba mate (*Ilex paraguariensis* St. Hil.): efecto de la bencilaminopurina y la kinetina sobre el cultivo *in vitro* de segmentos nodales. In: CONGRESO 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. 424. (EMBRAPACNPQ. Documentos, 33).

LELES, P. S. S.; CARNEIRO, J. G. A.; NOVAES, A. B.; BARROSO, D. G. Crescimento e arquitetura radicial de plantas de eucalipto oriundas de mudas produzidas em blocos prensados e em tubetes, após o plantio. **Cerne**, Lavras, v. 7, n. 1, p. 10-19, 2001.

LIEBSCH, D.; MIKICH, S. Fenologia reprodutiva de espécies vegetais da Floresta Ombrófila Mista do Paraná, Brasil. **Revista Brasileira de Botânica**, São Paulo, v. 32, n. 2, p. 375-391, 2009.

LLOYD, G.; McCOWN, B. Commercially feasible micropropagation of montain laurel, *Kalmia latifolia*, by use of shoot tip culture. **International Plant Propagation Society**, v. 30, p. 421-327, 1981.

LOURENÇO, R. S.; MEDRADO, M. J. S.; FOWLER, J. A. P.; MOSELE, S. H. Influência do substrato no desenvolvimento de mudas de erva-mate (*Ilex paraguariensis* St. Hil.). **Perspectiva**, Erechim, v. 24, n. 88, p. 81-99, 2000.

LUNA, C.; ACEVEDO, R.; COLLAVINO, M.; GONZÁLEZ, A.; MROGINSKI, L.; SANSBERRO, P. Endophytic bacteria from *Ilex paraguariensis* shoot cultures: localization, characterization, and response to isothiazolone biocides. In **Vitro Cellular & Developmental Biology. Plant**, Columbia, v. 49, n. 3, p. 326-332, 2013.

MEDEIROS, A. C. S. **Dormência de sementes de erva-mate (*Ilex paraguariensis* St. Hil.)**. Colombo: EMBRAPA-CNPQ, 1998. 24 p. (Embrapa-CNPQ. Documentos, 36).

MEDRADO, M. J. S.; DALZOTO, D. N.; OLIZESKI, A.; MOSELE, S. H. **Recuperação de ervais degradados**. Colombo: Embrapa Florestas, 2002. 6 p. (Embrapa Florestas. Comunicado técnico, 86).

MEDRADO, M. J. S.; LOURENÇO, R. S.; RODIGHERI, H. R.; DEDECEK, R. A.; PHILIPPOVSKY, J. F.; CORREA, G. **Implantação de ervais**. Colombo: Embrapa Florestas, 2000. 26 p. (Embrapa Florestas. Circular técnica, 41).

MEDRADO, M. J. S.; MOSELE, S. H. **O futuro da investigação científica em erva-mate**. Colombo: Embrapa Florestas, 2004. 64 p. (Embrapa Florestas. Documentos, 92).

MENNA, A. B. Proposta para ação extensionista na cultura da erva-mate. In: WINGE, H.; FERREIRA, A. G.; MARIATH, J. E. A.; TARASCONI, L. C. (Org.). **Erva-mate: biologia e cultura no cone sul**. Porto Alegre: Ed. da UFRGS, 1995. p. 235-239.

MROGINSKI, L.; SANSBERRO, P.; REY, H.; COLLAVINO, M. Micropropagacion de la yerba mate (*Ilex paraguariensis* St. Hil.): estado actual y perspectivas. In: CONGRESO SUL-AMERICANO DA ERVA-MATE, 1.; REUNIÃO TÉCNICA DO CONE SUL SOBRE A CULTURA DA ERVA-MATE, 2., 1997, Curitiba. **Anais...** Colombo: EMBRAPA-CNPF, 1997. p. 141-151. (EMBRAPA-CNPF. Documentos, 33).

MURASHIGE, T.; SKOOG, F. A revised medium for rapid growth and bioassays with tobacco tissues cultures. **Physiologia Plantarum**, Copenhagen, v. 15, n. 3, p. 473-497, 1962.

NIKLAS, C. O. Empleo de sustancias promotoras de enraizamiento en estacas de yerba mate (*Ilex paraguariensis* St. Hil.). **Citrusmisiones**, n. 18, p. 12-19, 1988.

NIKLAS, C. O. **Injertacion de yerba mate**. Citrusmisiones, n. 20, p. 7-9, 1990.

OLISZESKI, A.; NEIVERTH, D. D. Recuperação de erveiras nativas por enxertia. **Boletim de Pesquisa Florestal**, Colombo, n. 44, p. 133-134, 2002.

PINHEIRO, E.; LIBONATI, V. F.; CASTRO, C. de; PINHEIRO, F. S. V. **A enxertia de copa na formação de seringais de cultivo nos trópicos úmidos da Amazônia**. Belém: FCAP, 1988. 27 p. (Informe técnico, 13).

PIRES, P. P.; WENDLING, I.; BRONDANI, G. E. Ácido indolbutírico e ortotropismo na miniestaquia de Araucaria angustifolia. **Revista Árvore**, Viçosa, MG, v. 37, n. 3, p. 393-399, 2013.

PIRES, P. P.; WENDLING, I.; BRONDANI, G. E.; KRATZ, D. Miniestaquia de erva-mate em relação a matrizes com diferentes idades. In: CONGRESO SUDAMERICANO DE LA YERBA MATE, 5., 2011, Posadas. **Actas...** Posadas: Instituto Nacional de la Yerba Mate, 2011. p. 49-54. CD-ROM.

PRAT KRIKUN, S. D.; ARANDA, D. **Plan de trabajo: selección clonal de la yerba mate: progresos y resultados año 1979**. [S.l.: s.n.], 1980. 2 p.

PRAT KRIKUN, S. D.; BELINGHERI, L. D.; PICCOLO, G. A.; FLORES, S. E. R.; FONTANA, H. P. **Yerba mate: informe sobre investigaciones realizadas, período 1984-85**. Cerro Azul: INTA, Estación Experimental Agropecuaria Cerro Azul, 1986. 32 p. (INTA. Publicación Miscelánea, 15).

PRAT KRIKUN, S. D.; BELINGHERI, L.D.; PICCOLO, G. A.; MAGRAN, E.; SWIER, R.; FLORES, S.E.R.; ACUÑA, D. O.; ABELARDO, S. **Yerba mate**: informe sobre investigaciones realizadas, período 1982-83. Cerro Azul: INTA, Estación Experimental Agropecuaria Cerro Azul, 1983. 32 p. (INTA. Publicación Miscelánea, 7).

PRAT KRIKUN, S. D. Propagación vegetativa de plantas adultas de yerba mate. In: WINGE, H.; FERREIRA, A. G.; MARIÍTA, J. E. A.; TARASCONI, L. C. (Org.). **Erva-mate**: biología e cultura no Cone Sul. Porto Alegre: Ed. da UFRGS, 1995. p. 137-150.

PRAT KRIKUN, S. D. **Yerba mate**: técnicas actualizadas de cultivo. Cerro Azul: INTA, Estación Experimental Agropecuaria Cerro Azul, 1993. 14 p. (INTA. Publicación Miscelánea, 27).

RATNIEKS, E.; ASSIS, T. F. O que há adiante da árvore? **O papel**, v. 54, n. 1, p. 41-48, 1993.

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).

RESENDE, M. D. V.; STURION, J. A.; CARVALHO, A. P.; SIMEÃO, R. M.; FERNANDES, J. S. C. **Programa de melhoramento da erva-mate coordenado pela Embrapa**: resultados da avaliação genética de populações, progênies, indivíduos e clones. Colombo: Embrapa Florestas, 2000. 65 p. (Embrapa Florestas. Circular técnica, 43).

RESENDE, M. D.V.; 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).

REY, H. Y.; MROGINSKI, L. A. Regeneración de plantas de yerba mate (*Ilex paraguariensis*) por cultivo *in vitro* de ápices caulinares y de segmentos nodales. **Phyton**, Buenos Aires, v. 48, n. 1/2, p.139-145, 1988.

REY, H. Y.; SANSBERRO, P. A.; COLLAVINO, M. M.; DAVIÑA, J. R.; GONZÁLEZ, A. M.; MROGINSKI, L. A. Colchicine, trifluralin, and oryzalin promoted development of somatic embryos in *Ilex paraguariensis* (Aquifoliaceae). **Euphytica**, Wageningen, v. 123, p. 49-56, 2002.

ROCHA, M. das G. de B. **Melhoramento de espécies arbóreas nativas**. Belo Horizonte: Instituto Estadual de Florestas, Diretoria de Desenvolvimento Florestal Sustentável, 2002. 173 p.

ROSA, L. S.; GROSSI, F.; WENDLING, I.; BRONDANI, G. E. Adubação nitrogenada na fertirrigação de minicepas de *Ilex paraguariensis* St. Hil. In: CONGRESSO SUDAMERICANO DE LA YERBA MATE, 5., 2011, Posadas. **Actas**. Posadas: Instituto Nacional de la Yerba Mate, 2011. p. 77-82.

ROSA, L. S., WENDLING, I., SOUZA JUNIOR, L. Brotações epicórmicas no resgate vegetativo de árvores selecionadas de *Ilex paraguariensis* St. Hil. In: CONGRESSO SUL-AMERICANO DA ERVA-MATE, 3., 2003, Chapecó. **Anais...** [Chapecó]: EPAGRI, 2003. s. 3-2. CD-ROM.

SAND, H. A. **Propagación agamica de la yerba mate (*Ilex paraguariensis* St. Hil.)**. Cerro Azul: INTA. Estación Experimental Agropecuaria Misiones, 1989. 11 p. (INTA. Nota tecnica, 40).

SANSBERRO, P. A.; MROGINSKI, L. A.; BOTTINI, R. In vitro morphogenetic responses of *Ilex paraguariensis* nodal segments treated with different gibberellins and Prohexadione-Ca. **Plant Growth Regulation**, Netherlands, v. 34, n. 2, p. 209-214, 2001.

SANSBERRO, P. A.; REY, H. Y.; MROGINSKI, L. A.; COLLAVINO, M. M. In vitro culture of rudimentary embryos of *Ilex paraguariensis*: responses to exogenous cytokinins. **Journal of Plant Growth Regulation**, New York, v. 17, p. 101-105, 1998.

SANSBERRO, P. A.; REY, H. Y.; MROGINSKI, L. A.; COLLAVINO, M. M. Obtención de plantas mediante el cultivo in vitro de embriones de yerba mate (*Ilex paraguariensis* St. Hil.). In. CONGRESSO SUL-AMERICANO DA ERVAMATE, 1.; REUNIÃO TÉCNICA DO CONE SUL SOBRE A CULTURA DA ERVAMATE, 2., 1997, Curitiba. **Anais...** Colombo: EMBRAPA-CNPQ, 1997a. p. 422. (EMBRAPA-CNPQ. Documentos, 33).

SANSBERRO, P. A.; REY, H. Y.; MROGINSKI, L. A.; COLLAVINO, M. M. Regeneración de plantas de yerba mate por cultivo in vitro de segmentos uninodales de plantas jóvenes. In. CONGRESSO SUL-AMERICANO DA ERVAMATE, 1.; REUNIÃO TÉCNICA DO CONE SUL SOBRE A CULTURA DA ERVAMATE, 2., 1997, Curitiba. **Anais...** Colombo: EMBRAPA-CNPQ, 1997b. p. 423. (EMBRAPA-CNPQ. Documentos, 33).

SANSBERRO, P.; REY, L.; MROGINSKI, L.; COLLAVINO, M. In vitro plant regeneration of *Ilex paraguariensis* (Aquifoliaceae). **In Vitro Cellular & Developmental Biology. Plant**, Columbia, v. 35, n. 5, p. 401-402, 1999.

SANTIN, D.; BENEDETTI, E. E.; BRONDANI, G. E.; REISSMANN, C. B.; ORRUTÉA, A. G.; ROVEDA, L. F. Crescimento de mudas de erva-mate fertilizadas com N, P e K. **Scientia Agraria**, Curitiba, v. 9, n. 1, p. 59-66, 2008a.

SANTIN, D.; BENEDETTI, E. L.; BASTOS, M. C.; KASEKER, J. F.; REISSMANN, C. B.; BRONDANI, G. E.; BARROS, N. F. Crescimento e nutrição de erva-mate influenciados pela adubação nitrogenada, fosfatada e potássica. **Ciência Florestal**, Santa Maria, RS, v. 23, n. 2, p. 363-375, 2013.

SANTIN, D.; WENDLING, I.; BENEDETTI, E. L.; BRONDANI, G. E.; REISSMANN, C. B.; MORANDI, D.; ROVEDA, L. F. Poda e anelamento em erva-mate (*Ilex paraguariensis*) visando à indução de brotações basais. **Pesquisa Florestal Brasileira**, Colombo, n. 56, p. 97-104, 2008b.

SANTIN, D.; WENDLING, I.; BENEDETTI, E. L.; MORANDI, D.; DOMINGOS, D. M. Sobrevivência, crescimento e produtividade de plantas de erva-mate produzidas por miniestacas juvenis e por sementes. **Ciência Florestal**, Santa Maria, RS, 2014a. No prelo.

SANTIN, D.; WENDLING, I.; BENEDETTI, E. L.; MORANDI, D. Enxertia seriada de erva-mate em viveiro e campo. **Ciência Florestal**, Santa Maria, RS, 2014b. No prelo.

SANTIN, D.; WENDLING, I.; MORANDI, D.; BRONDANI, G. E. Anelamento e intensidade de poda em *Ilex paraguariensis* St. Hil. visando a recuperação de erveiras debilitadas. 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. 290-294.

SANTOS, S. R. F. **Multiplicação de genótipos de erva-mate pelo processo de estaquia**. Dissertação. 2011. 86 f. (Mestrado em Agronomia) - Universidade de Passo Fundo, Passo Fundo.

SIMÃO, S. **Manual de fruticultura**. São Paulo: Ceres, 1971. 530 p.

STACHEVSKI, T. W.; FRANCISCON, L.; GOLDBACH, J. D. Efeito do meio de cultura na calogênese in vitro a partir de folhas de erva-mate. **Pesquisa Florestal Brasileira**, Colombo, v. 33, n. 75, p. 339-342, 2013. doi: 10.4336/2013.pfb.33.75.441

STURION, J. A. **Produção de mudas e implantação de povoamentos com erva-mate**. Curitiba, EMBRAPA-CNPQ, 1988. 10 p. (EMBRAPA-CNPQ. Circular técnica, 17).

STURION, J. A.; RESENDE, M. D. 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. 285-297. (EMBRAPA-CNPQ. Documentos, 33).

STURION, J. A.; RESENDE, M. D. V.; NEIVERTH, D. D.; OLISZESKI, A.; BASTOS, R. **Métodos de produção de sementes melhoradas de erva-mate**. Colombo: Embrapa Florestas, 1999. 17 p. (Embrapa Florestas. Circular técnica, 34).

TARRAGÓ, J.; SANSBERRO, P.; FILIP, R.; LÓPEZ, P.; GONZÁLEZ, A.; LUNA, C.; MROGINSKI, L. Effect of leaf retention and flavonoids on rooting of *Ilex paraguariensis* cuttings. **Scientia Horticulturae**, Amsterdam, v. 103, p. 479-488, 2005.

TAVARES, F. R.; PICHET, J. A.; MASCHIO, L. M. A. Alguns fatores relacionados com a estaquia da erva-mate (*Ilex paraguariensis* St. Hil.). In: CONGRESSO FLORESTAL ESTADUAL, 7., 1992, Nova Prata. **Florestas: desenvolvimento e conservação: anais**. Santa Maria, RS: UFSM, 1992. v. 2. p. 626-640.

THOMPSON, D. G. Current state-of-the-art of rooting cuttings and a view to the future. In: SYMPOSIUM MASS PRODUCTION TECHNOLOGY FOR GENETICALLY IMPROVED FAST GROWING FOREST TREE SPECIES, 1992, Bordeaux. **Syntheses...** Bordeaux: AFOCEL: IUFRO, 1992. p. 159-172. (Colloque AFOCEL-IUFRO).

TITON, M. **Propagação clonal de *Eucalyptus grandis* por miniestaquia e microestaquia**. 2001. 65 f. Dissertação (Mestrado em Ciência Florestal) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG.

WENDLING, I.; BRONDANI, G. E. Ambiente inicial e composição de substratos no enraizamento de miniestacas juvenis de *Ilex paraguariensis* St. Hil. 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. 200-206.

WENDLING, I.; BRONDANI, G. E.; BIASSIO, A.; DUTRA, L. F. Vegetative propagation of adult *Ilex paraguariensis* trees through epicormic shoots. **Acta Scientiarum**. Agronomy, Maringá, v. 35, n. 1, p. 117-125, 2013.

WENDLING, I.; BRONDANI, G. E.; DUTRA, L. F.; HANSEL, F. A. Mini-cuttings technique: a new ex vitro method for clonal propagation of sweetgum. **New Forests**, Netherlands, v. 39, n. 3, p. 343-353, 2010.

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, 2007a.

WENDLING, I.; DUTRA, L. F. **Produção de mudas de eucalipto**. Colombo: Embrapa Florestas, 2010. 184 p.

WENDLING, I.; DUTRA, L. F. **Solução nutritiva para condução de minicepas de erva-mate (*Ilex paraguariensis* St. Hil.) em sistema semi-hidropônico**. Colombo: Embrapa Florestas, 2008. 4 p. (Embrapa Florestas. Circular técnica, 157).

WENDLING, I.; FERRIANI, A. P.; BIASSIO, A.; HEBERLE, M. Miniestaquia de propágulos juvenis e adultos de erva-mate sob diferentes concentrações de ácido indol butírico. 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, 2006a. p. 189-193.

WENDLING, I.; GUASTALA, D.; DEDECEK, R. Características físicas e químicas de substratos para produção de mudas de *Ilex paraguariensis* St. Hil. **Revista Árvore**, Viçosa, MG, v. 31, n. 2, p. 209-220, 2007b.

WENDLING, I.; HOFFMANN, H. A. **Minienxertia em casa de vegetação: nova metodologia para propagação vegetativa de erva-mate**: resultados preliminares. Colombo: Embrapa Florestas, 2005. 6 p. (Embrapa Florestas. Comunicado técnico, 132).

WENDLING, I.; HOFFMANN, H.; LIRA, A. Influência da técnica e da origem do propágulo na enxertia de campo em erva-mate (*Ilex paraguariensis* Saint Hilaire). **Boletim de Pesquisa Florestal**, Colombo, n. 49, p. 47-60, 2004.

WENDLING, I.; LAVORANTI, O.; RESENDE, M. D. V.; HOFFMANN, H. A. Seleção de matrizes e tipo de propágulo na enxertia de substituição de copa em *Ilex paraguariensis*. **Revista Árvore**, Viçosa, MG, v. 33, n. 5, p. 811-819, 2009.

WENDLING, I.; PAIVA, H. N.; GONÇALVES, W. **Técnicas de produção de mudas de plantas ornamentais**. Viçosa, MG: Aprenda Fácil, 2005, v. 3. 223 p. (Coleção jardinagem e paisagismo. Série produção de mudas ornamentais).

WENDLING, I. **Propagação clonal de híbridos de *Eucalyptus* spp. por miniestaquia**. 1999. 70 f. Dissertação (Mestrado em Ciência Florestal) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG.

WENDLING, I. **Propagação vegetativa de erva-mate (*Ilex paraguariensis* Saint Hilaire)**: estado da arte e tendências futuras. Colombo: Embrapa Florestas, 2004. 46 p. (Embrapa Florestas. Documentos, 91).

WENDLING, I. **Rejuvenescimento de clones de *Eucalyptus grandis* pela técnica de miniestaquia e micropropagação seriada**. 2002. 98 f. Tese (Doutorado em Ciência Florestal) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG.

WENDLING, I.; ROSA, L. S.; DUTRA, L. F. Estaquia da erva-mate (*Ilex paraguariensis* St. Hil.): efeito da planta matriz e da dioícia. 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, 2006b. p. 156-160.

WENDLING, I.; SOUZA JUNIOR, L. Propagação vegetativa de erva-mate (*Ilex paraguariensis* Saint Hilaire) por miniestaquia de material juvenil. In: CONGRESSO SUL-AMERICANO DA ERVA-MATE, 3.; FEIRA DO AGRONEGÓCIO DA ERVA-MATE, 1., 2003. Chapecó. **Anais...** Chapecó: Epagri, 2003. 8 p. CD-ROM.

XAVIER, A.; COMÉRIO, J. Enraizamento “ex vitro” de gemas de *Eucalyptus* spp. multiplicadas e alongadas “in vitro”. **Scientia Forestalis**, Piracicaba, n. 51, p. 29-36, 1997.

XAVIER, A. **Silvicultura clonal I**: princípios e técnicas de propagação vegetativa. Viçosa, MG: Ed. da UFV, 2002. 64 p. (Cadernos didáticos; 92).

XAVIER, A.; WENDLING, I. **Miniestaquia na clonagem de *Eucalyptus***. Viçosa, MG: SIF, 1998. 10 p. (Informativo técnico SIF, 11).

XAVIER, A.; WENDLING, I.; SILVA, R. L. **Silvicultura clonal**: princípios e técnicas. 2 ed. Viçosa, MG: Ed. da UFV, 2013. 279 p.

ZANIOLO, S. R.; ZANETTE, F. Micropropagação de erva-mate a partir de segmentos nodais. **Scientia Agraria**, Curitiba, v. 2, n. 1/2, p. 39-44, 2001.

ZANON, A. **Produção de sementes de erva-mate**. Curitiba: EMBRAPA-CNPQ, 1988. 7 p. (EMBRAPA-CNPQ. Circular técnica, 16).

Capítulo II

Nutrição e recomendação de adubação e calcário para a cultura da erva-mate

*Delmar Santin
Eliziane Luiza Benedetti
Carlos Bruno Reissmann*

1. Introdução

O entendimento dos principais fatores de produção é fundamental quando se almeja cultivar uma espécie, seja ela agrícola ou florestal, anual ou perene, a fim de torná-la uma cultura de sucesso, que possa ser explorada de forma sustentável e gerar renda. A luz, a água, a temperatura e o ar são relativamente mais estáveis ao longo dos anos, tendo valores médios já estabelecidos para a maioria das regiões. Os nutrientes são, provavelmente, o fator com maior variação, tanto entre regiões como em nível local, tendo em condições naturais grandes diferenças entre classes de solos.

Atualmente, o setor produtivo da erva-mate carece de informações básicas, o que tem limitado a produção e a disponibilidade de matéria-prima. Por outro lado, o setor farmacêutico e medicinal tem comprovado o potencial dessa cultura como alimento funcional. Esse cenário poderá estimular o uso de erva-mate em novos produtos, estimulando o aumento da demanda por matéria-prima. Contudo, para atender aos novos mercados, faz-se necessário inovar na criação de ferramentas que auxiliem na melhoria da produtividade dos ervais, ao mesmo tempo que se avança no conhecimento sobre o crescimento da planta.

O crescimento ótimo ou máximo da planta ocorre quando todos os fatores relacionados a essa variável encontram-se disponíveis de forma adequada. No que se refere ao fator nutricional, sabe-se que a demanda de nutrientes da planta varia de acordo com a sua fase de crescimento, potencializando o crescimento quando da disponibilidade adequada no solo. Nos estudos de nutrição de plantas, busca-se o entendimento da exigência nutricional de uma determinada espécie para obter a máxima produção, seja de grãos, madeira, folha ou outros componentes, conforme a finalidade da cultura. Em culturas tradicionais, onde a demanda da planta por nutrientes normalmente é maior que a disponibilidade natural do solo, o suprimento destes é realizado externamente, sendo a quantidade baseada na recomendação de adubação para a cultura. Mesmo com vasta informação sobre um determinado nutriente, variações constantes dos fatores de crescimento e a diversidade de classes de solos, dificultam o entendimento da real disponibilidade do nutriente do solo para a planta.

Como os vegetais apresentam diferentes fases de crescimento, ao se tratar de culturas de ciclo longo, como a erva-mate, as incertezas são ainda maiores. O ciclo de vida ou a idade produtiva da erva-mate ainda é baseado no conhecimento empírico. Através de informações de produtores, há registros de indivíduos nativos com mais de 100 anos de idade com boa produtividade. Atualmente, a Argentina detém os plantios mais antigos de erva-mate, com mais de 80 anos de produção. Se por um lado, o longo tempo em que a espécie pode permanecer produtiva é uma característica desejável, por outro, cada fase de crescimento se estende por um longo período de tempo, dificultando seu estudo.

A erva-mate é reconhecida por ocorrer em solos de baixa fertilidade natural, podendo ser considerada uma planta rústica, que no modelo de erval nativo é produzida em ambientes pobres em nutrientes, devido às suas características ecofisiológicas. Por outro lado, quando a maioria dos macronutrientes se encontram disponíveis no solo em

nível baixo ou muito baixo, a cultura responde à adubação e aumenta a produtividade até os nutrientes elevarem seu nível a médio, alto e até muito alto no solo. Isso permite inferir que a erva-mate em sistemas de produção intensiva pode ser muito mais exigente nutricionalmente do que até então tem sido. Assim, a recomendação de adubação deve permitir que a cultura expresse seu potencial produtivo.

Na elaboração da recomendação para adubação da erva-mate, além de suas peculiaridades, os diferentes modelos de ervais e o manejo do resíduo da colheita (se o galho grosso (GG) permanece ou é retirado do erval), devem ser levados em consideração. Atualmente, os dados existentes relacionados à nutrição são escassos para elaborar uma recomendação de adubação condizente com a importância dessa cultura. Porém, a informação atual permite propor uma recomendação para suprimento dos nutrientes exportados pela colheita e, para solos muito exauridos nutricionalmente, recomendam-se adubações visando à melhoria da fertilidade dos mesmos.

2. Peculiaridades e características da erva-mate

A erva-mate, espécie clímax tolerante à sombra, que cresce naturalmente nas associações mais evoluídas dos pinhais (CARVALHO, 2003), apresenta mecanismos morfofisiológicos que permitem seu cultivo a pleno sol. Os solos de sua ocorrência foram caracterizados como de fertilidade baixa e muito ácidos (CARVALHO, 2003), fato que levou alguns pesquisadores a investigarem essa característica, permitindo que a erva-mate seja considerada tolerante ao (BASTOS et al., 2008; BENEDETTI et al., 2011a, 2011b; REISSMANN et al., 1999) e Mn (REISSMANN; CARNEIRO, 2004).

Na área de ocorrência natural de erva-mate, a variabilidade genética da espécie ocorre entre e dentro de populações, assim como entre procedências e progênies (WENDT et al., 2003; 2007). Contudo,

características morfológicas entre indivíduos, denominadas de morfotipos (BOEGER et al., 2003; DÜNISCH et al., 2004; REISSMANN et al., 2003), têm chamado a atenção de alguns pesquisadores quanto à questão nutricional. Essas características fazem com que a erva-mate apresente algumas peculiaridades que podem interferir na nutrição da cultura.

2.1. Potencial de cultivo à sombra e a pleno sol

A erva-mate é uma espécie perenifólia, que pode atingir até 30 m de altura, típica da Floresta Ombrófila Mista Montana (Floresta com Araucária) (CARVALHO, 2003). É esciófila, tolerando sombreamento de intensidade média em qualquer idade, e mais luz na fase adulta (GALVÃO, 1986; INOUE, 1983), regenerando-se com facilidade quando os estratos arbóreo superior, arbustivo e herbáceo são raleados (CARVALHO, 2003). No entanto, a ocorrência de estômatos apenas na região abaxial das folhas classifica a erva-mate no grupo de espécies que evitam a sombra e protegem o aparelho fotossintético do excesso de radiação solar (RAKOCEVIC et al., 2003, 2011), indicando sua adaptação para cultivo a pleno sol. A exploração da erva-mate se dá em vários tipos de ervais, predominando os nativos adensados (incluindo os nativos e os nativos adensados), solteiros (somente erva-mate a pleno sol) e em transformação (erva-mate a pleno sol sendo sombreada).

Uma das peculiaridades da erva-mate é sua adaptação, tanto a pleno sol quanto sob sombreamento. Plantas adaptadas à sombra, de maneira geral, apresentam folhas com maior superfície, maior concentração de clorofilas e pigmentos acessórios. Nas plantas adaptadas a altas intensidades luminosas, as folhas possuem várias camadas de células do mesófilo e células com abundantes cloroplastos. O padrão de resposta de uma planta e seu potencial de adaptação são características geneticamente determinadas. Assim, plantas de sombra podem se adaptar parcialmente a um gradual aumento de radiação e, conseqüentemente, sofrer poucas injúrias sob elevadas intensidades luminosas (LARCHER, 2004).

Como a erva-mate se desenvolve tanto em condições de sombra quanto de sol, seu sistema de produção pode ser em monocultura, consórcio com culturas agrícolas ou espécies florestais ou em sombra de sub-bosque. No entanto, há consideráveis questionamentos a respeito da qualidade do produto entre os diferentes sistemas de cultivo. Atualmente, ainda perdura a ideia de que, para chimarrão, a erva-mate a pleno sol é mais amarga que a sombreada. No entanto, Rakocevic et al. (2008) constataram o contrário, obtendo menor amargor em folhas de plantas cultivadas a pleno sol quando comparada às sombreadas. Os autores comentam a limitação da generalização desses resultados, devido às avaliações terem sido realizadas em apenas uma colheita.

Na determinação de compostos em folhas de erva-mate, com 18 meses, em condição de sombra (75% de luminosidade retida) e pleno sol, Jacques et al. (2007a) constataram que plantas cultivadas a pleno sol apresentaram menor concentração de cafeína, ácido palmítico, fitol e vitamina E, ao passo que maior intensidade luminosa aumentou a concentração de ácido esteárico e esqualeno. Mazzafera (1994) também observou maiores concentrações de cafeína em folhas parcialmente sombreadas. Porém, segundo Andrade (2004), o maior teor foliar de cafeína em mudas de erva-mate ocorre nos extremos máximos de luz e sombra.

Embora a erva-mate em seu habitat natural encontre-se parcialmente sombreada, cultivos a pleno sol ou com baixo nível de sombreamento são mais produtivos do que os com alto nível de sombra. Em cultivo em ambientes sombreados, o potencial fotossintético é menor que os de pleno sol (RAKOCEVIC et al., 2008; RAKOCEVIC; MARTIM, 2011) e, conseqüentemente, a produtividade de erva-mate em cultivos sombreados é bem menor (RACHWAL et al., 2002; RAKOCEVIC et al., 2006a). Em alguns casos, quando a luminosidade relativa do erval passa de 77% para 19%, a produtividade de erva-mate comercial reduz-se a mais de 75% (RACHWAL et al., 2002).

Apesar do estímulo da indústria ligada ao chimarrão em valorizar a matéria-prima de ervais sombreados, este ainda é o modelo de cultivo menos interessante para o produtor. Isso porque, principalmente na presença de altos níveis de sombra, a menor incidência de luz limita o potencial fotossintético da planta, o que, conseqüentemente, reduz o crescimento e produção de biomassa. Neste caso, o maior preço pago pela matéria-prima de ervais mais sombreados ainda não compensa economicamente a forte redução da produtividade. No entanto, modelos de cultivo com intensidades moderadas de sombra poderão proporcionar matéria-prima mais atraente em termos de produtividade para o produtor, e com características desejáveis para a indústria.

Há claras evidências de que o nível de luz pode alterar os compostos da matéria-prima de erva-mate. Assim, o fato da cultura ser adaptada e crescer tanto em ambiente a pleno sol como de sombra, permite seu cultivo de forma direcionada, conforme a finalidade do produto. Se por um lado a maior demanda da matéria-prima de erva-mate ainda é destinada ao mercado do chimarrão e tererê, que requer um produto mais suave, por outro, há um mercado promissor voltado a chás, fármacos e alimentos funcionais que exige matéria-prima com maior concentração de compostos do metabolismo secundário.

2.2. Particularidades químicas e morfológicas

As variações na composição química e morfológica das folhas da erva-mate chamaram a atenção tanto dos usuários de seus produtos, quanto dos pesquisadores envolvidos no seu estudo.

Uma antiga descrição metodológica na química da erva-mate se destaca por estar registrada nas últimas páginas de um boletim do Ministério da Agricultura (INSTITUTO DE QUÍMICA AGRÍCOLA, 1944). Pertinente à química mineral, o texto destaca o teor de cinzas totais e insolúveis em ácido clorídrico a 10%. Descreve também, resumidamente, um método de obtenção do extrato aquoso a 100 °C. O fato chamou a atenção, tendo em vista que

os autores daquele texto aparentemente não serem especialistas em fitoquímica. O maior aporte do boletim de número 6 “Contribuição para o estudo da região ervateira”, diz respeito à caracterização do meio físico, química de solos e geologia na área ervateira no Sul do Brasil. Deduz-se do texto, no entanto, que havia uma preocupação evidente com a necessidade de complementar a informação com a fitoquímica, ou a análise mineral das folhas da erva-mate, dada à importância que estes componentes representam para a saúde humana. Esta expectativa parece ter encontrado eco oito anos mais tarde em um artigo de título muito similar: “Contribuição ao estudo da erva-mate” (CECCON et al., 1952). Este sim, predominantemente dedicado à química mineral, mas acrescido de duas preocupações: o recuo da produção ervateira no Estado do Paraná, devido ao avanço da cafeicultura, e à baixa penetração no mercado exportador. Segundo os autores, uma das causas seria o desconhecimento do verdadeiro valor alimentício em sais minerais da erva-mate. No entanto, os autores enfatizaram os teores expressivos de K, Mn, Ca, Mg, Fe, Al, P, Na, Si e Ba. Apesar da riqueza de detalhes na descrição das metodologias analíticas, os autores não referenciaram os teores dos elementos determinados. Essa prática analítica refere-se à análise de tecidos da planta, que, na área das Ciências Agrárias, é conhecida como análise foliar. No caso particular da erva-mate, é preciso distinguir dois processos analíticos, cada um com objetivos distintos. Para fins de produção, considera-se a análise foliar como instrumento de avaliação do estado nutricional da planta e, para fins de consumo humano, a análise foliar serve como metodologia de caracterização de um tipo de alimento ou bebida para o consumidor humano.

Relativamente aos estudos nutricionais da erva-mate, existe relativamente pouca informação na literatura quando comparada com outras espécies cultivadas. Bellotte e Sturion (1985) pesquisaram a erva-mate em solução nutritiva completa e com omissão de nutrientes.

Em suas conclusões, salientam o N como o elemento mais limitante à produção de matéria seca, igualando-se à testemunha. Em ordem decrescente, seguem Ca, P, K, Mg, Zn, Cu e Fe. Na mesma década, uma das primeiras caracterizações do estado nutricional da erva-mate em campo foi desenvolvida em Mandirituba, PR, sobre Cambissolo álico, substrato migmatito (REISSMANN et al., 1983). Tratava-se de um povoamento nativo, associado à pastagem natural. Consta que este povoamento já havia sido submetido à exploração desde 1926. Neste trabalho, os altos teores de Al e Mn e baixos de P, foram os elementos que mais chamaram a atenção. Os altos teores de Mn e os relativamente baixos de Fe geraram uma das mais baixas relações Fe/Mn para essências florestais, contrastando com a mesma relação nas plantas cultivadas. Adicionalmente, os altos teores de Al e Mn (FOSSATI, 1997; RADOMSKI et al., 1992) situam a erva-mate entre as plantas tolerantes e/ou acumuladoras desses elementos. A análise de ramos e folhas, efetuada em separado, sugere uma diversidade química mineral bastante rica no componente ramo (Tabela 1), especialmente Ca e Zn, elementos de fundamental importância na alimentação e nutrição humana. Os altos níveis de B nas folhas é outro componente importante, especialmente no que tange à conformação óssea e das articulações (NEWNHAM, 1994).

Tabela 1. Teores de nutrientes em folhas e ramos de erva-mate nativa, adulta, na região de Mandirituba, PR.

Componente	Teor de nutrientes e Al										
	N	P	K	Ca	Mg	Fe	Mn	Cu	Zn	B	Al
	g kg ⁻¹					mg kg ⁻¹					
Folhas	18,5	1,1	16,2	6,8	4,0	100,0	1.970	22,0	30,0	80,0	980
Ramos	15,3	0,8	9,9	11,4	4,4	47,0	730	22,0	63,0	20,0	280

Fonte: Reissmann et al. (1983).

A condição nutricional da planta tem relação direta com o genótipo do indivíduo, forma, disposição, arquitetura, idade da folha e da planta, condições climáticas, tratos culturais, competição, origem e condição de solo, pragas e agentes patogênicos (JONES JUNIOR et al., 1991; MARSCHNER, 1986). Contudo, na erva-mate ainda predomina a generalização, sendo a atuação de cada um desses fatores na composição química de cada órgão da planta ainda pouco estudada.

Relacionando morfologia foliar e composição química, foi possível estabelecer uma forte correlação (BORILLE et al., 2005; REISSMANN et al., 2003; SCHERER et al., 2002), assim como entre morfologia foliar, procedência e composição química (OLIVA, 2007). Notadamente, no Estado do Paraná têm-se sobressaído morfologicamente três morfotipos (DÜNISCH et al., 2004; REISSMANN et al., 2003), sendo:

a) Morfotipo amarelinha: caracteriza-se por apresentar as folhas em tonalidade mais clara na região do limbo e as nervuras principais e secundárias em tonalidade amarela (Figura 1A).

b) Morfotipo cinza: as folhas apresentam o limbo com uma tonalidade cinza-esverdeada, e as nervuras não tão acentuadamente amareladas como no morfotipo anterior (Figura 1B).

c) Morfotipo sassafrás: as folhas apresentam o limbo verde escuro e as nervuras com tom mais claro. O que caracteriza este morfotipo é o aspecto brilhante do limbo, na face adaxial da folha, lembrando a cor do limbo da *Ocotea odorifera* (Figura 1C).

Fotos: Carlos Bruno Reissmann



Figura 1. Morfotipos de erva-mate localizados na região de Ivaí, PR, sendo: A) amarelinha; B) cinza; e C) sassafrás.

Convém salientar que a composição química pode variar sazonalmente, e que os períodos da safra e safrinha representam duas condições ecofisiológicas distintas, agindo na composição química dos tecidos. Considerando-se a colheita efetuada em julho, as folhas jovens possivelmente refletem as folhas formadas na brotação do verão, enquanto que as folhas maduras refletem com maior expressão as formadas na brotação da primavera.

Da mesma forma como esses morfotipos se diferenciam em termos de cafeína, teobromina, taninos e aspectos da morfologia e de pigmentos como a clorofila (Tabelas 2 e 3), a composição química é bastante diferenciada e oferece boas perspectivas para futuras investigações (Tabela 4). Estudos recentes sobre nutrição e alimentação humana têm demonstrado que os nutrientes têm sido penalizados. Isto porque a preocupação do melhoramento exclusivamente para ganho em produtividade tem desconsiderado a manutenção ou ganho em qualidade dos produtos (MORAES, 2008). É conveniente salientar que essa morfologia particularizada também se coaduna com determinadas procedências do material de origem. Por exemplo, o morfotipo amarelinha corresponde a determinadas progêneses de Ivaí, PR, enquanto que o morfotipo sassafrás corresponde a progêneses oriundas de Barão de Cotegipe, RS (OLIVA, 2007). Esses aspectos não representam, no entanto, uma exclusividade dessas matrizes.

Na composição química do tecido vegetal ocorre variação entre morfotipos, assim como, entre os diferentes anos de amostragem (Tabela 4). Sobressaem os elevados teores de Mn e Zn nos morfotipos amarelinha e cinza no verão de 2002. A prevalência do Mn continua no inverno de 2003 e, ainda, no verão de 2003 para esses dois morfotipos. Altos teores de Zn são também observados em janeiro de 2003. Os teores de Cu são notoriamente elevados em todos os levantamentos (Tabelas 4 e 5), situando-se sempre no limite médio a superior do bom suprimento para as plantas (AMBERGER, 1988). O pH baixo é um fator que influencia positivamente a solubilidade dos

micronutrientes, sendo que nestas áreas onde o levantamento foi efetuado, o pH varia de 3,1 - 4,8 (Tabela 6). Os níveis de P contrastam fortemente com os levantamentos anteriores, sugerindo uma nutrição bastante satisfatória.

Tabela 2. Valores médios das características morfológicas dos morfotipos de *Ilex paraguariensis*.

Variáveis ¹	Morfotipo		
	Amarelinha	Cinza	Sassafrás
Área foliar (cm ²)	26,60 B	33,20 A	33,80 A
Peso seco (g)	0,33 B	0,42 A	0,41 A
Área foliar específica (cm ² g ⁻¹)	80,00 A	79,10 A	83,30 A
Espessura total do limbo (mm)	419,90 A	451,60 A	451,40 A
Espessura da cutícula da epiderme na face adaxial (mm)	7,10 A	7,70 A	7,50 A
Clorofila total (nmol cm ⁻²)	73,20 A	115,80 B	94,70 C

Fonte: Adaptado de Reissmann et al. (2003); ¹Área foliar, massa foliar e área foliar específica n=20; espessura n= 10; clorofila n=5. Médias seguidas pela mesma letra na linha não diferem estatisticamente entre si pelo teste Tukey (p< 0,05).

Tabela 3. Teores de cafeína, teobromina e taninos em três morfotipos de erva-mate, na região de Ivaí, PR. Amostras coletadas em julho de 2003.

Morfotipo	Idade das folhas	Teor foliar ¹ de fitoquímicos		
		Cafeína	Teobromina	Taninos
----- g 100 g ⁻¹ -----				
Amarelinha	Jovem	1,72 A	0,47 A	13,7 C
	Madura	1,67 A	0,28 B	13,0 C
Cinza	Jovem	1,85 A	0,49 A	20,6 AB
	Madura	1,80 A	0,40 B	18,3 AB
Sassafrás	Jovem	2,20 A	0,47 A	22,1 A
	Madura	1,75 A	0,14 B	15,8 A

Fonte: Adaptado de Borille et al. (2005). ¹Médias seguidas pela mesma letra na coluna não diferem estatisticamente entre si pelo teste Tukey (p< 0,05).

Tabela 4. Composição química mineral de folhas maduras de três morfotipos de erva-mate, amarelinha (Am), cinza (Cz) e sassafrás (Ss), coletadas nos meses de janeiro de 2002 e 2003 e julho de 2003, em Latossolo Vermelho escuro álico, em Ivaí, PR.

Data	Morfotipo	Teor foliar de nutrientes ^{1,3}									
		N	P	K	Ca	Mg	Fe	Mn	Cu	Zn	Al
m/a		----- g kg ⁻¹ ----- mg kg ⁻¹ -----									
Jan/2002 ¹	Am	22,3	1,4	22,4	5,1	4,8	62,0	1.630	20,0	91,0	267
	Cz	22,8	1,3	22,3	5,8	5,2	69,0	2.150	21,0	80,0	317
	Ss	23,5	1,2	21,6	4,5	4,2	53,0	1.230	21,0	40,0	154
Jan/2003 ²	Am	21,8	1,8	16,6	5,0	4,2	22,0	806	12,0	29,0	246
	Cz	22,1	1,4	16,9	5,6	4,4	24,0	978	13,0	20,0	314
	Ss	26,1	1,6	17,3	5,1	4,3	31,0	743	14,0	29,0	257
Jul/2003 ²	Am	24,4	1,8	15,2	5,3	4,1	26,0	918	11,0	43,0	299
	Cz	26,3	1,5	16,1	4,8	3,6	30,0	809	12,0	27,0	394
	Ss	26,6	1,9	15,2	4,5	3,1	18,0	630	11,0	30,0	308

¹Cruz (2003).²Corréa (2003). ³Médias de 10 plantas, sendo 5 masculinas e 5 femininas.

Tabela 5. Variação estacional dos teores de micronutrientes e Al em folhas de erva-mate.

Data d/m/a	Teor de micronutrientes e Al					
	Fe	Mn	Cu	Zn	B	Al
----- mg kg ⁻¹ -----						
20/jul/1982	89,0	1.656	21,0	28,0	86,0	741
04/ago/1982	97,0	1.847	23,0	36,0	76,0	897
26/ago/1982	104,0	1.969	21,0	29,0	77,0	975
22/set/1982	176,0	1.931	18,0	26,0	79,0	1.235
25/out/1982	153,0	1.646	24,0	39,0	70,0	677
03/dez/1982	85,0	1.142	18,0	28,0	68,0	300
07/jan/1983	82,0	1.288	15,0	21,0	56,0	441
04/fev/1983	82,0	1.213	18,0	24,0	46,0	438
25/fev/1983	101,0	1.553	20,0	20,0	64,0	488
23/mar/1983	97,0	1.657	23,0	17,0	80,0	581
29/abr/1983	70,0	1.515	17,0	13,0	75,0	513
10/jun/1983	142,0	1.766	17,0	21,0	86,0	819
29/jun/1983	134,0	1.680	17,0	21,0	87,0	760

Fonte: Adaptado de Reissmann (1991).

Tabela 6. Propriedades químicas do solo na área experimental, Ivaí, PR.

pH	MO	Al	H+Al	Ca+Mg	Ca	K	P	Fe ¹	Mn ¹	Cu ¹	Zn ¹
CaCl ₂	%	----- cmol _c dm ⁻³ -----			----- mg dm ⁻³ -----						
3,9	3,9	3,9	13,0	1,6	0,9	87,0	4,9	28,0	7,3	1,0	0,9

Fonte: Adaptado de Reissmann et al. (2003). ¹Extraído com HCl 0,1 mol L⁻¹.

Notadamente, Mn e Zn são fortemente influenciados pelo teor e qualidade da matéria orgânica, e ainda para o Mn, as condições de óxido-redução atuam de forma expressiva na sua disponibilidade (DECHEN; NACHTIGALL, 2006). A absorção do Fe está fortemente condicionada à carga genética, sem desconsiderar as condições de disponibilidade do solo, como pH, e H e competição com outros íons. No entanto, independente deste fato, há inúmeros trabalhos relatando os altos teores de Mn nas folhas da erva-mate e, ao que tudo indica, há indícios de que estes teores tenham conotação genética. A Tabela 5

reproduz a variação estacional dos micronutrientes e Al em povoamento nativo de erva-mate na região de Mandirituba, PR, conduzida a pleno sol, associada a pastagem natural, e composta predominantemente pelo morfotipo amarelinha.

Conforme observado, para os morfotipos (REISSMANN et al., 2003), os dados de Reissmann (1991) também refletem os elevados teores de Mn e Cu, além do B, assim como a variação estacional de minerais (Tabela 5). No mês de setembro, o Al apresentou teores de 1.235 mg kg⁻¹, o que caracteriza a erva-mate como acumuladora (CHENERY; SPORNE, 1976) e pode significar um atributo relacionado ao primitivismo de algumas espécies tropicais (BRITZ et al., 1997).

O limite de 300 mg kg⁻¹ de Mn nos tecidos foliares é estipulado para caracterizar uma planta acumuladora e, na erva-mate, este limite tem sido superado em até 10 vezes (REISSMANN et al., 1999, 2003). Ao lado destes elevados teores de Mn, a erva-mate exibe uma das mais baixas relações Fe/Mn, sem manifestação de sintomas de deficiência de Fe ou toxidez de Mn. A condição de acúmulo e tolerância ao Mn pode estar associada a mecanismos no sistema radicular (LAVRES JUNIOR, 2008), ou mesmo, devido a mecanismos internos e relação com outros elementos, como o Si, por exemplo (MENGEL; KIRKBY, 1987). Neste aspecto, Marschner (1995) esclarece que o Si nos tecidos atua na dispersão do Mn, não permitindo seu acúmulo em pontos definidos, evitando assim as necroses típicas do seu excesso.

Estes aspectos, no entanto, além de levar em conta o estado nutricional da erva-mate, se tolerante ou não em relação ao Mn e Al, devem adicionalmente ser analisados quanto ao teor hidrossolúvel dos nutrientes. Mais especificamente, em se tratando de nutrição humana, estudos, como o manejo e o melhoramento, podem vir a influenciar nos teores absolutos de minerais e, conseqüentemente, em sua hidrossolubilidade. Neste contexto, Santin (2013), ao avaliar o efeito da calagem em plantios adultos de erva-mate em São Mateus do Sul e Prudentópolis, PR, e Anta Gorda, RS, obteve redução

média de 17% do teor foliar de Al, quando em disponibilidade ótima de Ca nas plantas. Ressalta-se que, o resultado mais interessante verificado neste trabalho, foi a obtenção de erva-mate comercial em Anta Gorda, com teor de Ca 50% superior e teor de Al 53% inferior à média obtida em São Mateus do Sul e Prudentópolis. O destaque para Anta Gorda é em razão do solo local ser naturalmente mais rico em Ca^{2+} e pobre em Al^{3+} , quando comparado ao dos demais locais. Isso indica que é possível obter matéria-prima de erva-mate com diferentes teores de minerais, conforme a composição do solo onde os ervais estão estabelecidos. Neste caso, a matéria-prima de Anta Gorda é diferenciada pelo maior teor de Ca e menor teor de Al. Isso não significa que somente nesse local seja possível obter matéria-prima de erva-mate com essas características, mas sim, em toda a região de ocorrência de erva-mate, desde que a cultura esteja estabelecida em solos naturalmente com disponibilidade de Ca^{2+} em nível alto e de Al^{3+} em nível baixo.

3. Fatores relevantes na elaboração de uma recomendação de adubação

A sustentabilidade de um sistema de produção compreende, dentre outros fatores, o equilíbrio entre entrada e saída de nutrientes do sistema, o qual é determinado pela intensidade e manejo de colheita e tratos culturais adotados no cultivo. Uma cultura pode ser considerada sustentável, sem necessidade de reposição de nutrientes, quando todas as entradas na forma natural forem maiores ou iguais às saídas. As saídas podem ser realizadas através de eventos climáticos, como a chuva, que causa lixiviação e/ou volatilização de alguns nutrientes e, principalmente, pela exportação dos nutrientes pelas colheitas.

Para sistemas nativos, onde não ocorreu manejo da mata, os nutrientes exportados pela colheita das poucas árvores de erva-mate, possivelmente, são compensados pela ciclagem de nutrientes das

demais espécies vegetais presentes. Já em cultivos nativos em que a mata foi manejada e ocorreu o adensamento de erva-mate, assim como nos demais modelos de cultivo com alta densidade de plantas por área, a ciclagem e a disponibilidade natural de nutrientes são incapazes de manter a sustentabilidade do sítio. Essa insustentabilidade, caracterizada pelo maior fluxo de saída de nutrientes do sistema, intensificada pelas sucessivas colheitas, culmina com a exaustão nutricional do solo. Isso, possivelmente, leva à constante redução da produtividade do erval, com consequente inviabilidade econômica da atividade ao produtor.

A erva-mate comercial (ECOM) é composta de folhas e galhos finos. A Portaria Normativa n.º 118-N/92, que classifica os produtos da cultura, considera que a erva-mate cancheada padronizada (CP) e beneficiada para chimarrão, passada em peneiras de tela nº 10 a 50, deve conter, no mínimo, 70% de folhas e, no máximo, 30% de palitos (IBAMA, 1992). O percentual de palitos é coerente com o que comumente é obtido na colheita de ECOM verde, variando de 26% a 27% (SANTIN et al., 2011a, 2011b).

O fato de o produto colhido ser composto por folhas, galhos finos, botões florais e sementes leva a uma grande exportação de nutrientes da área. Neste contexto, a manutenção da capacidade produtiva do sítio é dependente da reposição dos nutrientes retirados pela colheita. A reposição de nutrientes é determinada pela exigência da cultura, sendo que a demanda de nutrientes depende da taxa de crescimento e da eficiência com que converte o nutriente absorvido em biomassa (BARROS et al., 2005), que difere para cada fase de crescimento da planta. Esses fatores fazem da elaboração de recomendação de adubação para culturas de ciclos longos uma tarefa difícil. No caso específico da erva-mate, que possui capacidade de permanecer produtiva por mais de 100 anos (SANTIN, 2008), há uma imensa diversidade de modelos de cultivos. Esses fatores, aliados aos poucos estudos relacionados à adubação de ervais, dificultam a elaboração de uma recomendação baseada em perspectiva de produtividade.

Isso porque ainda é desconhecido o potencial produtivo de cultivos em diferentes espaçamentos, idades, níveis de sombreamento, intervalos entre colheitas e tipo de podas.

A alternativa para evitar contínuas colheitas de erva-mate sem reposição dos nutrientes exportados, ou reposição de forma desequilibrada, é a elaboração de uma recomendação de adubação baseada na exportação dos nutrientes pela colheita e na disponibilidade de nutrientes do solo. O intuito é o de elevar ou manter a disponibilidade de nutrientes no solo em níveis adequados para atender a demanda nutricional adequada da planta. Por outro lado, em ervais que receberam adubação, disponibilizando um determinado nutriente em nível alto e/ou muito alto, não será recomendado sua adição até que baixe para um nível no solo adequado à cultura.

3.1. Diversidade de cultivo e manejo de ervais

Há registros do uso da erva-mate desde 1592, quando os invasores da América encontraram índios consumindo-a moída, na forma de bebida, ou de forma mastigável (CARVALHO, 2003). Contudo, foram os jesuítas, no século XVII, os primeiros a orientar os índios a realizar plantios de erva-mate, sendo estes os precursores do cultivo sistemático, da coleta de sementes, produção de mudas e condução de plantas (BERKAI; BRAGA, 2000). Do século XVII até hoje, vários modelos de ervais surgiram, mas o extrativismo, em parte, ainda persiste.

Desde o início do seu ciclo, o cultivo da erva-mate foi realizado no sistema extrativista e, pela reduzida assistência técnica, a condução dos ervais era subjetiva, sem planejamento futuro para a cultura (MEDRADO et al., 2002). Atualmente, tem-se uma gama de possibilidades para seu cultivo, porém, ainda não há consenso sobre qual espaçamento e intervalo de tempo entre colheitas são mais adequados para cada modelo de erval.

Vários modelos de ervais podem ser utilizados para exploração da erva-mate: nativos, com plantas que nasceram na mata sem intervenção humana; homogêneos, com plantios solteiros a pleno sol; consorciados, onde o plantio é intercalado com espécies florestais, agrícolas e/ou com atividade pecuária; adensados, com plantio nas clareiras já existentes ou clareiras criadas pelo manejo da mata; e em transformação, com erval homogêneo, sendo diversificado com plantio de espécies florestais, tanto nativas como exóticas.

O modelo de erval predominante é variável para cada estado. No Paraná, cerca de 70% da produção ainda é oriunda de ervais nativos ou adensados (MACCARI JUNIOR et al., 2006). Em Santa Catarina, a colheita ocorre em cerca de 80% em ervais nativos e em 20% em ervais plantados (DA CROCE, 2000). Já no Rio Grande do Sul, a maioria dos ervais nativos foram substituídos por plantios de lavouras anuais. Assim, os ervais plantados representam cerca de 70% da área total, restando apenas 30% da área com ervais nativos remanescentes (ANDRADE, 1999). Como se pode observar, as informações quanto ao modelo de erval são muito antigas, sendo possível que grande parte dos ervais considerados nativos atualmente sejam áreas transformadas em ervais de adensamento.

Nas últimas décadas, houve um incremento significativo de áreas de ervais plantados em sistema de consórcio, principalmente com culturas anuais de inverno (trigo, aveia e coberturas verdes) e de verão (soja, milho e feijão) (MEDRADO et al., 2000) e com adensamento (GAIAD, 2010). Normalmente, o adensamento é realizado em áreas com ocorrência natural de erva-mate. Esta prática, também conhecida como formação de ervais em sub-bosque de florestas, pode ser praticada sem prejuízos às árvores com potencial madeireiro. Além de viabilizar o crescimento das plantas já existentes, o adensamento favorece também a formação de densas concentrações de erva-mate (DA CROCE; FLOSS, 1999). Atualmente, os modelos de ervais mais cultivados são os de adensamento, consorciados e a pleno sol (Figura 2).

Fotos: Delmar Santini

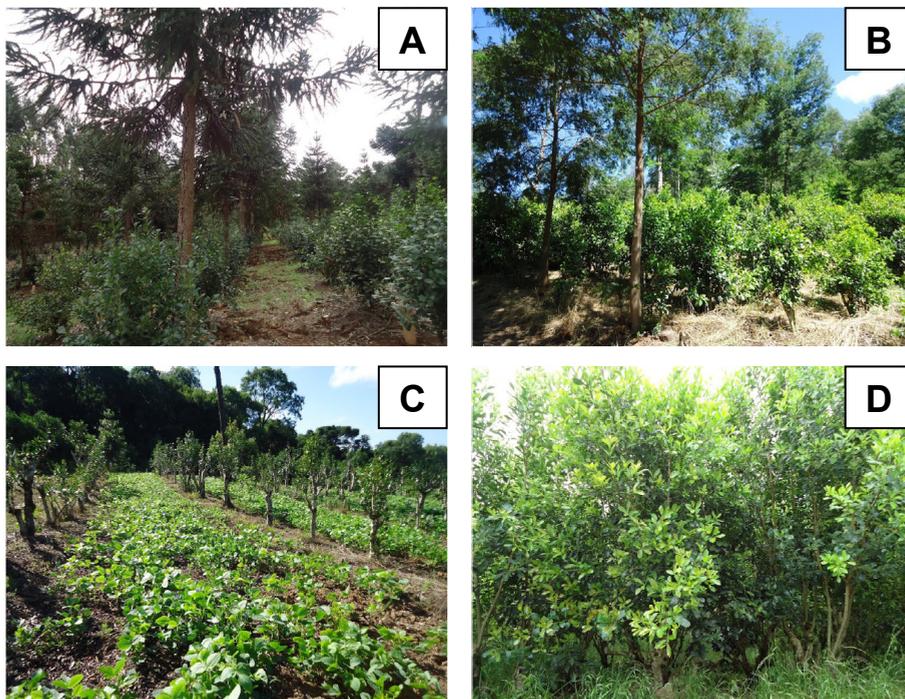


Figura 2. Modelos de cultivos de erva-mate mais utilizados. Ervais de adensamento (A); consorciados com espécies florestais (B) e culturas anuais (C); e solteiros a pleno sol (D).

A densidade de plantas por área está muito relacionada ao tipo de erval. Normalmente, ervais nativos não ultrapassam 500 plantas ha^{-1} , como pode ser verificado em alguns estudos (REISSMANN et al., 1983, 1985; LOURENÇO, 1997). Os espaçamentos recomendados para plantios homogêneos, normalmente não ultrapassavam 500 plantas ha^{-1} . Porém, nas últimas décadas, os plantios de alta densidade ultrapassam 3.300 plantas ha^{-1} (DA CROCE; FLOSS, 1999), e, em alguns casos, chegam a 4.000 plantas ha^{-1} (BERGER, 2006). Plantios homogêneos com alta densidade, quando adultos, tendem a dificultar algumas operações, como a colheita, além de que, ervais colhidos em intervalos maiores tendem a apresentar queda acentuada de folhas devido a baixa incidência de luz na base e centro da copa da planta. Isso faz com que, atualmente os espaçamentos mais comuns

sejam de 2,0 m x 2,0 m; 2,0 m x 2,5 m; 2,0 m x 3,0 m; 1,5 m x 2,8 m e 1,5 m x 3,0 m entre plantas, correspondendo, respectivamente, a densidades de 2.500, 2.000, 1.667, 2.381 e 2.222 plantas ha⁻¹.

A colheita da erva-mate pode ser realizada durante o ano todo. Contudo, o mais usual e recomendado é no período de maio a setembro, correspondendo à safra, visto que nesta época a erva se encontra com grande proporção de folhas maduras e fisiologicamente em baixa atividade. Entre os meses de dezembro a fevereiro é realizada a safrinha, mas poucos são os produtores que a praticam, pois geadas precoces ou insolação excessiva matam brotações e ressecam galhos e troncos, prejudicando o erval e, em alguns casos, provocando a morte de plantas.

O intervalo entre colheitas é um tema que ainda gera muita discussão entre produtores e indústria. Quando a produção era basicamente oriunda de ervais nativos, o intervalo entre colheitas normalmente era de 36 a 48 meses. Porém, com o aumento da área dos ervais plantados a pleno sol e de adensamento, o crescimento dos brotos após a poda passou a ser maior quando comparado ao de ervais nativos com nível elevado de sombreamento. A redução da área de ervais também contribuiu para uma intensificação de colheitas, visando manter o abastecimento do mercado. Assim, o intervalo entre colheitas ficou cada vez menor, sendo hoje comumente de 12, 18 e 24 meses. A colheita anual é economicamente mais viável para os produtores que a bienal (MEDRADO; MOSELE, 2004). Isso porque, à medida que aumenta a idade dos brotos após a colheita, diminui a proporção entre ECOM e o galho grosso (GG) que sobra da colheita. Ao testar doses de N, P e K em ervais colhidos com intervalos de colheitas de 12, 18 e 24 meses, Santin (2013) constatou que o aumento de uma unidade de ECOM é dependente do aumento de várias unidades de GG. Esse fato ocorre tanto no aumento da produtividade, pelo efeito da adubação, quanto pelo aumento do intervalo entre colheitas. Contudo, o aumento da produção de GG é muito mais expressivo em função do aumento do intervalo de colheita do que com a adubação (Tabela 7).

Tabela 7. Aumento da produtividade de erva-mate comercial (ECOM) e de galho grosso (GG) verde.

Intervalo de colheita	Aumento (%) entre intervalos de colheita na dose 0 de P ₂ O ₅		Relação entre aumentos
	GG	ECOM	GG/ECOM
meses			
12 para 18	104	11	9,07
18 para 24	131	75	1,74
	Aumento (%) da dose 0 para a dose de MET ¹ de P ₂ O ₅		Relação entre aumentos
12	113	61	1,85
18	136	86	1,59
24	144	87	1,66

¹Dose de máxima eficiência técnica para produtividade de ECOM nos intervalos de 12, 18 e 24 meses, respectivamente, de 219, 283 e 320 kg ha⁻¹ de P₂O₅. Fonte: Santin (2013).

A menor relação entre aumentos da produtividade GG/ECOM (1,59), pode ser indicativo de que com 18 meses de intervalo entre colheitas, a planta investe menos energia na produção de GG em detrimento da produção de ECOM (Tabela 7). Ao comparar plantios com cinco anos, estabelecidos com mudas propagadas via sexuada e assexuada e com colheitas a cada 24 meses, Santin et al. (2014) constataram relação ECOM/GG entre 1,0 e 1,2. Relação essa bem abaixo dos 6,9, 3,0 e 2,1, respectivamente, nos intervalos de 12, 18 e 24 meses na dose de P₂O₅ que proporcionou a máxima produtividade de ECOM verificada por Santin (2013). Ao que tudo indica, o aumento da GG/ECOM é uma reação natural da planta quando sujeita a aumentos de produtividade da copa. Isto pode ocorrer tanto em função do maior intervalo entre colheitas como pela adubação.

Mesmo em condição de solo com alta fertilidade, as frequentes reclamações de produtores da queda excessiva de folhas, principalmente nos seis meses que antecedem a colheita realizada com intervalo de 24 meses, normalmente está relacionada à idade da folha. Na erva-mate, o crescimento máximo da folha ocorre durante o primeiro ano após a poda (RAKOCEVIC; MARTIM, 2011), atingindo fotossíntese máxima entre 7 a 15 meses e, mínima, aos 21 meses

após a poda (RAKOCEVIC, 2011). Segundo o mesmo autor, com a senescência das folhas, ocorre forte queda das mesmas, principalmente em cultivos a pleno sol. Ou seja, em colheitas com intervalo de 24 meses, dificilmente na ECOM colhida haverá folhas com essa idade, pois, as que brotaram logo após a colheita já completaram seu ciclo fisiológico e caíram. O importante é buscar o intervalo entre colheitas que proporcione a maior produtividade de folhas em estágio fisiológico adequado para gerar produto final com qualidade.

A remoção da copa pela colheita provoca um forte impacto na planta, principalmente quando não adubada. Neste caso, mesmo com 18 meses de intervalo entre colheitas, a erva-mate não consegue recompor a copa para recuperar seu potencial produtivo. Contudo, quando o erval é adubado, 18 meses é tempo suficiente para a planta se recuperar do impacto da colheita anterior (SANTIN, 2013). Esses resultados foram obtidos com manejo de colheita com poda drástica, permanecendo na planta, aproximadamente, 5% das folhas da copa. Em manejos de colheita com remoção de poda menos intensa, a maior permanência de folhas favorecerá maior atividade fotossintética para indução da brotação, proporcionando maior crescimento da planta para um mesmo intervalo de colheita.

Nesse contexto, onde a planta necessita de um tempo mínimo para recompor sua copa e, considerando que, quanto maior o intervalo entre colheitas, maior o investimento da planta na produção de GG, deve-se obter um intervalo ótimo de colheita. O objetivo é colher grande proporção de folhas em relação ao GG, o que normalmente ocorre em colheitas com intervalos menores, mas que não são ideais para a planta (SANTIN, 2013). Por outro lado, colheitas com intervalos maiores, permitem boa recuperação da planta, mas a grande produção de GG (SANTIN et al., 2014; SANTIN, 2013) não agrada ao produtor. Desta forma, intervalo de 18 meses entre colheitas é suficiente para recuperar a capacidade produtiva da planta, sem que esta produza grandes quantidades de GG, desde que a disponibilidade de nutrientes às plantas seja adequada.

A influência da adubação e do intervalo entre colheitas sobre o rendimento e a qualidade do produto na indústria é bastante questionada. Isso porque se atribui que colheitas com intervalos menores e ervais adubados apresentariam menor rendimento (maior teor de água) na indústria. Da mesma forma que se relaciona a utilização de ureia nos ervais com produto final mais amargo. No entanto, Santin (2013) detectou pequeno aumento do teor de água na ECOM, com adubação nitrogenada para colheitas com intervalo de 12 meses e pela adubação potássica, para colheitas com intervalos de 12 e 24 meses em cultivos em fase produtiva. Por outro lado, o N, P e K reduziram o teor de água em colheitas com 18 meses, mesmo efeito proporcionado pela adubação nitrogenada para colheitas com intervalo de 24 meses. Em alguns casos, como a adubação fosfatada em colheitas com intervalo de 12 e 24 meses não houve alteração do teor de água na ECOM. Santin (2008) constatou que a adubação aumentou linearmente a produtividade de ECOM, assim como a massa verde de 100 folhas de erva-mate com o uso de NPK. Esses resultados podem elucidar, em parte, a hipótese defendida por grande parte da indústria, que ervais adubados produzem matéria-prima de baixa qualidade. Afirmar esta normalmente baseada na maior dificuldade de processamento da erva-mate adubada, quando comparada à não adubada. Contudo, a dificuldade no sapeco da ECOM proveniente de ervais adubados, possivelmente, está relacionada com a espessura da folha, por conter mais massa, quando comparada a de ervais desnutridos com folhas menos espessas. Isso requer uma adequação da quantidade de calor e de tempo durante os processos de sapeco e secagem da erva-mate com folhas mais espessas.

A menor qualidade do produto comercial tem sido atribuída a menores intervalos entre colheitas. De fato, normalmente folhas mais jovens tendem a apresentar maior teor de minerais do que brotos mais velhos (JACQUES et al., 2007a). Porém, esse mesmo comportamento não é verificado na extração de compostos, como cafeína, ácido palmítico, fitol, ácido esteárico e vitamina E. Em colheitas com intervalos de 6,

12, 18 e 24 meses, Jacques et al. (2007b) verificaram aumento desses compostos até os 18 meses e, após essa idade, a quantidade diminuiu consideravelmente, chegando aos 24 meses com rendimentos semelhantes aos das plantas com poda de 6 meses de idade.

Tem sido aceito por grande parte do setor ervateiro brasileiro que a erva-mate sombreada colhida com 24 meses é mais suave do que aquela a pleno sol, colhida com 18 e 12 meses de idade. No entanto, Rakocevic et al. (2006b, 2008) verificaram que folhas do ápice a pleno sol originaram produto mais suave que aquelas do interior de plantas a pleno sol e de plantas sombreadas, contradizendo esta afirmação.

Como a erva-mate é uma espécie que pode permanecer produzindo por mais de 100 anos, o tempo de vida produtiva está relacionado ao bem estar da planta. Desta forma, a definição do melhor intervalo de tempo entre colheitas e a nutrição adequada para a espécie baseadas na resposta da planta, minimizará em grande parte os problemas econômicos da cultura e qualitativos da matéria-prima.

Como ainda há contradições econômicas e qualitativas, resultantes do intervalo entre colheitas da erva-mate, a manifestação e o envolvimento do setor ervateiro é de suma importância para que esses questionamentos sejam sanados. Dificilmente essas contradições serão elucidadas sem que experimentos sejam conduzidos em longo prazo, com objetivo de sanar essas dúvidas.

3.2. Aspectos nutricionais do solo

O solo, além de servir como meio de sustentação, fornece às plantas os nutrientes para seu crescimento e desenvolvimento. Quando um dos nutrientes essenciais à planta não está disponível em quantidade adequada ou em combinações químicas que dificultem sua absorção, os processos metabólicos da planta são afetados e, conseqüentemente, seu crescimento reduzido (EPSTEIN; BLOOM, 2004). No entanto, a disponibilidade desses nutrientes às plantas depende de vários fatores, os quais podem ser classificados quanto à sua natureza em físicos, químicos e biológicos.

Em relação às características físicas do solo, a estrutura e textura influenciam acentuadamente o crescimento das plantas. Para erva-mate, há relatos de sua preferência por solos com textura franca a argilosa, sendo a espécie raramente encontrada em solos com teor de argila abaixo de 15%, solos hidromórficos (CARVALHO, 2003) e com deficiência hídrica (SAIDELLES et al., 2003), preferindo solos medianamente profundos a profundos (OLIVEIRA; ROTTA, 1985).

Quanto às características químicas do solo, há vários fatores que exercem influência, como composição mineralógica, disponibilidade de nutrientes, presença de elementos tóxicos, dentre outros. A composição mineralógica, resultante do material de origem e do grau de intemperismo do solo, determina a maior ou menor disponibilidade de elementos às plantas. Normalmente, para mesmo o material de origem, solos menos intemperizados têm maior potencial de suprimento natural de nutrientes às plantas, ao passo que solos em avançado estágio de intemperismo necessitam de maior intervenção humana para se tornarem produtivos. A área de ocorrência da erva-mate abrange variados tipos de solos, desde Neossolos até Latossolos. Esse fato já serve de indicativo de que, para a obtenção de produtividades semelhantes, a adubação deverá ser diferenciada para cada local. Considerando a adaptação das espécies, é provável que a erva-mate, que há centenas de anos cresce e se propaga naturalmente em solos com pH próximo de 5,0, onde o teor de Al^{3+} é baixo, a exigência por Ca e Mg seja diferente daquela que cresce e se propaga naturalmente em solos com pH menor que 4,0 e com teor de Al^{3+} muitas vezes maior que $5,0 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$. Isso pode ser verificado pela diversidade de pH e teor de Al^{3+} em solos com erva-mate (Tabela 8). Como a erva-mate ocorre naturalmente em solos com ampla variação de pH, mas, principalmente em condições de altos teores de Al^{3+} , este é um fator que merece atenção, pois, atua diretamente na disponibilidade e na dinâmica da maioria dos nutrientes no solo.

Tabela 8. Características do erval e propriedades do solo em erval em produção sem registro de adubação.

Nº	Densidade de plantas		Intervalo de colheita	Produtividade	pH	Argila	MO	V	Al ³⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	CTC _{pH7,0}	N	P	K	Fonte
	plantas ha ⁻¹	anos														
1	500	30 a 50 ^{1/1}	24	---	5,0 ²	---	2,9	---	---	1,2	0,4	---	---	1,5	115,5	Reissmann et al. (1983)
2	500	30 a 50 ^{1/1}	24	6,3	5,0 ²	---	2,9	---	---	1,2	0,4	---	---	1,5	115,5	Reissmann et al. (1985)
3	3.333	12	24	13,5 ⁴ 24,8 ⁵ 10,3 ⁴ 18,4 ⁵	4,0 ³	59	3,5	11,6	2,4	0,7	0,1	10,9	2,3	1,0	187,7	Campos (1991)
4	---	50 a 100	24	---	4,1 ³	---	---	73,7	---	---	---	---	---	0,2	---	Radomski et al. (1992)
5	2.500	7 ⁶ 7 ⁷ 7 ⁸	---	---	3,7 ³ 4,3 ³ 4,9 ³	36 a 56	4,7	38,7	2,2	3,7	3,1	18,2	---	1,2	86,0	Fossati (1997)
6	3.333 918 3.333 2.222 2.222 1.242 2.500 2.500	5 10 5 9 5 7 14 4	12 12 12 24 24	35,7 5,3 32,7 16,9 2,7 5,5 29,6 8,0	4,4 ³ 4,8 ³ 4,9 ³ 4,8 ³ 3,9 ³ 3,7 ³ 4,0 ³ 3,4 ³	---	2,1	49,7	0,4	3,6	1,4	11,0	---	30,0	183,8	Loureço (1997)
7	4.000	10 a 12	---	18,6	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	Berger (2006)
8	1.667	8	---	10,6 ⁹ 13,9 ¹⁰	3,7 ³	73	5,5	9,2	5,4	0,7	0,6	20,0	2,7	1,4	138,8	Oliva (2007)
9	1.111	15	---	---	4,6 ³	58	7,5	41,4	1,6	4,4	2,8	17,6	---	2,1	36,4	Brondani et al. (2008)
10	1.111	8	24	1,9 ¹¹	3,9 ³	69	2,0	14,8	3,2	1,2	1,0	17,3	3,1	1,8	94,8	Santos (2009)
M ¹²	2.062	15	21	14,2	4,3	61	4,6	33,0	2,3	2,6	1,3	15,7	2,7	3,6	99,3	

^{1/1}Erval nativo com idade informada pelo primeiro autor do trabalho; ^{2/2}pH em H₂O; ^{3/3}pH em CaCl₂; ^{4/4}safora; ^{5/5}saforina; ^{6/6} e ^{7/7} e ^{8/8}, respectivamente, sítios 2, 6 e 10 (FOSSATI, 1997); ^{9/9}procedência de Ivai, PR; ^{10/10}procedência de Barão de Cotegipe, RS; ^{11/11}erva-mate em sistema agroflorestal com Floresta Ombrófila Mista Montana, ^{12/12}média.

De maneira geral, os macronutrientes (N, P, K, Ca, Mg e S) e alguns micronutrientes (Mo, Cl e B) aumentam sua disponibilidade com o aumento do pH (de 5,0 para 6,0); já os demais micronutrientes (Fe, Cu, Zn e Mn) têm sua disponibilidade reduzida com o aumento do pH (SOUSA et al., 2007). Em pH baixo, o H^+ atua sobre os minerais liberando íons Al^{3+} , que ficam predominantemente retidos pelas cargas negativas das partículas de argila do solo, em equilíbrio com o Al^{3+} em solução. Na maioria das espécies, a toxicidade causada pelo Al^{3+} limita o crescimento vegetal e é verificada em valores de pH inferiores a 5,0 (FOY et al., 1978). Porém, a erva-mate parece ter algum mecanismo capaz de tolerar as condições de acidez do solo. A pequena resposta à calagem, até então verificada pela erva-mate, mesmo em solos muito ácidos, nos faz refletir sobre algumas questões, principalmente quanto ao manejo da adubação.

A biologia do solo é outro fator que deve ser considerado no que tange à disponibilidade de nutrientes e propriedades físicas do solo. O fator biológico está intimamente relacionado com a atividade de microorganismos do solo. As bactérias do gênero *Bradyrhizobium*, por exemplo, fixam N_2 atmosférico, suprimindo a demanda de N de algumas espécies, e os fungos micorrízicos podem aumentar a solubilidade de fontes menos solúveis de fosfatos, suprimindo as plantas com P (MEURER, 2007). Em mudas de erva-mate ocorre abundante associação com endomicorrizas, sendo os gêneros *Acaulospora* e *Glomus* os predominantes, com maior infestação em solo com baixo teor de P (GAIAD; LOPES, 1986). Isso é esperado, visto que a planta regula a colonização de acordo com sua necessidade nutricional. Em níveis elevados de P no solo, a colonização é inibida, e os benefícios da micorriza para a planta se reduzem progressivamente (MOREIRA; SIQUEIRA, 2006). Contudo, na cultura da erva-mate, a biologia do solo ainda foi pouco explorada.

Nos cultivos em produção, com longos anos de exploração sem adubação, a maioria das propriedades dos solos apresenta grande variação entre ervais (Tabela 8). Algumas propriedades, como a saturação por bases (V), varia de 5% a 74%. Variações na disponibilidade de P e K que atingem níveis desde muito baixo até muito alto também já foram relatadas. Isso demonstra a variabilidade de fertilidade dos solos em que se encontram distribuídos os cultivos de erva-mate. Como nesses trabalhos não constam relatos de adubação, questiona-se o quanto a erva-mate deve ser caracterizada como de ocorrência natural em solos de baixa fertilidade. Nesse sentido, na sobreposição do mapa de ocorrência da erva-mate (OLIVEIRA; ROTTA, 1985) com o mapa de solos de alguns estados, como o do Rio Grande do Sul (STRECK et al., 2002) e de Santa Catarina (LEVANTAMENTO..., 1998), é evidenciada a gama de classes de solos em que a espécie ocorre, desde Latossolos com caráter Alumínico e Distrófico até Neossolos com caráter Eutrófico. Pelo Sistema Brasileiro de Classificação de Solos (SANTOS et al., 2006), o caráter Alumínico e Distrófico comparado com o Eutrófico permite vislumbrar diferenças expressivas na fertilidade natural desses solos. Portanto, generalizar a ocorrência natural da erva-mate em solos de baixa fertilidade, talvez não seja o mais recomendado.

3.3. Aspectos nutricionais da planta

Cada espécie possui exigência nutricional específica, que deve ser levada em consideração quando da adoção de práticas de adubação, seja ela mineral ou orgânica. O crescimento ótimo da planta ocorre quando todos os fatores que atuam nessa variável estão disponíveis de forma adequada. O fator nutricional, por meio da disponibilidade adequada de nutrientes no solo, baseado principalmente no crescimento ótimo da planta, tenta definir uma faixa de teor foliar adequada, a qual pode ser variável para as diferentes fases de crescimento da planta. Contudo, grande parte dos dados nutricionais da erva-mate estão relacionados à caracterização nutricional (Tabelas 8 e 9), e poucos são resultantes de experimentos com adubação. Isso dificulta a obtenção do teor foliar ótimo para diferentes fases de crescimento da cultura.

A faixa do teor foliar adequada para a erva-mate ainda não está definida. Em plantas jovens, o crescimento máximo da parte aérea ocorreu quando a faixa de teor foliar de N, P e K era, respectivamente, de 26,0-27,0, 1,6-1,7, 15,8-16,0 g kg⁻¹ (SANTIN et al., 2013a) e de Ca e Mg, respectivamente, de 5,5-5,8 e 4,8-5,2 g kg⁻¹ (BENEDETTI et al., 2009). Em plantas adultas, sem registro de adubação, há grande variação do teor foliar de nutrientes, como ocorre com o N, que varia de 17,2 a 46,9 g kg⁻¹ (Tabela 9). O teor foliar dos principais macronutrientes, do maior para o menor, segue a sequência N, K, Ca, Mg e P.

Tabela 9. Relação entre massa verde e seca (MV/MS) e teor foliar de macronutrientes, micronutrientes e AI N na folha (FO), galho fino (GF), galho grosso (GG) e erva-mate comercial (ECOM= folha+galho fino) em cultivos sem registro de adubação.

Nº	Componente	MV/ MS	g kg ⁻¹										mg kg ⁻¹					Fonte
			N	P	K	Ca	Mg	S	Fe	Zn	Cu	Mn	B	AI				
1	FO	---	18,5	1,1	16,2	6,8	4,0	---	103,5	29,0	22,2	196	74,0	976	Reissmann et al. (1983)			
	GF	---	15,2	0,8	9,9	11,4	4,4	---	47,0	62,8	21,5	732	29,5	284				
2	FO	1,90 ¹	20,6	1,4	17,2	5,2	3,8	---	---	---	---	---	---	---	Reissmann et al. (1985)			
	GF	---	11,1	0,8	13,4	10,4	2,8	---	---	---	---	---	---	---				
3	FO ²	2,41	24,3	1,2	12,2	7,3	6,0	---	---	---	---	---	---	---	Campos (1991)			
	FO ³	2,59	21,9	1,0	13,4	5,7	5,0	---	---	---	---	---	---	---				
	GF ²	2,47	12,5	0,9	10,2	7,0	3,4	---	---	---	---	---	---	---				
	GF ³	2,54	9,5	1,0	12,8	6,5	3,1	---	---	---	---	---	---	---				
	GG ²	2,03	6,6	0,8	5,0	2,3	1,2	---	---	---	---	---	---	---				
	GG ³	2,17	5,3	0,5	5,8	3,4	1,3	---	---	---	---	---	---	---				
	ECOM ²	2,43	19,9	1,0	11,2	7,0	5,0	---	---	---	---	---	---	---				
	ECOM ³	2,58	18,4	1,0	13,2	5,9	4,4	---	---	---	---	---	---	---				
	FO ⁴	2,41	23,6	1,2	14,8	6,7	5,9	---	---	---	---	---	---	---				
	FO ⁵	2,59	24,2	1,0	14,9	6,0	5,0	---	---	---	---	---	---	---				
GF ⁴	2,38	11,8	1,0	11,3	9,9	3,6	---	---	---	---	---	---	---					
GF ⁵	2,58	9,4	0,8	11,5	8,7	2,6	---	---	---	---	---	---	---					
GG ⁴	2,08	7,8	0,7	4,4	3,8	1,4	---	---	---	---	---	---	---					
GG ⁵	2,10	5,6	0,5	6,6	2,7	1,2	---	---	---	---	---	---	---					
ECOM ⁴	2,40	20,0	1,2	13,7	7,7	5,2	---	---	---	---	---	---	---					
ECOM ⁵	2,59	19,2	0,9	13,7	6,9	4,2	---	---	---	---	---	---	---					

¹Valor referente a ECOM; ²safrã e ³safrinha de erval com 12 anos de idade; ⁴safrã e ⁵safrinha de erval com 9 anos de idade; ⁶, ⁷ e ⁸, respectivamente, sítios 2, 6 e 10 (FOSSATI, 1997); ⁹procedência de Ivaí, PR; ¹⁰procedência de Barão de Cotegipe, RS; ¹¹a pleno sol; ¹²com 70% de sombreamento; ¹³, ¹⁴, ¹⁵ e ¹⁶ respectivamente colheita da testemunha com intervalo de 6, 12, 18 e 24 meses; ¹⁷terço médio da copa de plantio com aproximadamente 15 anos de idade; ¹⁸Dados referente à testemunha sem adubação; ¹⁹erva-mate em sistema agroflorestal com Floresta Ombrófila Mista Montana.

Tabela 9. Continuação.

Nº	Componente	----- g kg ⁻¹ -----											----- mg kg ⁻¹ -----					Fonte
		MV/MS	N	P	K	Ca	Mg	S	Fe	Zn	Cu	Mn	B	AI				
4	FO	---	27,1	1,9	20,8	4,9	4,3	---	89,7	51,7	17,6	1,056	---	510	Radomski et al. (1992)			
5	FO	---	---	---	17,7	4,4	5,2	---	77,7	27,8	11,2	1,181	---	260	Reissmann et al. (1994)			
6	FO	2,39 ⁶	24,6	0,9	11,3	7,4	6,8	---	122,2	57,0	9,4	1,973	47,8	920	Fossati (1997)			
	FO	2,40 ⁷	19,9	0,8	9,7	10,9	9,7	---	145,0	130,2	6,4	2,368	62,6	1,272				
	FO	2,21 ⁸	17,2	2,0	10,1	10,1	9,0	---	201,8	129,4	7,8	1,531	73,6	998				
7	FO	---	25,7	1,5	16,3	6,9	3,3	---	36,0	67,0	---	658	---	---	Lourenço (1997)			
	FO	---	25,6	1,1	13,9	5,3	5,9	---	72,0	40,0	---	793	---	---				
	FO	---	25,9	0,9	10,7	5,7	4,2	---	149,0	12,0	---	1.826	---	---				
	FO	---	20,6	1,4	12,9	6,1	3,4	---	58,0	33,0	---	686	---	---				
	FO	---	20,9	0,8	13,7	4,3	4,2	---	75,0	27,0	---	1.345	---	---				
	FO	---	20,9	1,3	12,2	5,6	3,8	---	90,0	31,0	---	1.125	---	---				
8	FO	---	24,6	0,8	10,2	5,7	4,4	---	93,0	11,0	---	2.371	---	---	Berger (2006)			
	FO	---	26,5	1,3	---	2,5	1,1	---	68,0	34,0	---	2.428	---	---				
	FO	2,45	21,9	1,7	16,7	7,0	5,5	1,2	118,6	24,7	8,0	652	43,3	---				
9	GG	2,03	9,7	1,1	9,6	9,0	4,3	0,6	91,4	38,1	6,6	200	15,9	---				
	FO	---	17,8 ⁹	1,6	11,9	11,2	5,8	---	98,3	15,3	11,8	2.074	170,0	726	Oliva (2007)			
		---	20,1 ¹⁰	1,3	12,3	7,8	2,8	---	85,7	16,5	7,7	2.033	85,0	695				

¹Valor referente a ECOM; ²safrinha e ³safrinha de erval com 12 anos de idade; ⁴safrinha e ⁵safrinha de erval com 9 anos de idade; ⁶, ⁷ e ⁸, respectivamente, sítios 2, 6 e 10 (FOSSATI, 1997); ⁹procedência de Ivaí, PR; ¹⁰procedência de Barão de Cotegipe, RS; ¹¹a pleno sol; ¹²com 70% de sombreamento; ¹³, ¹⁴, ¹⁵ e ¹⁶, respectivamente, colheita da testemunha com intervalo de 6, 12, 18 e 24 meses; ¹⁷terço médio da copa de plantio com aproximadamente 15 anos de idade.

¹⁸Dados referente à testemunha sem adubaço; ¹⁹erva-mate em sistema agroflorestal com Floresta Ombrófila Mista Montana.

Para ervais em plena produção sob experimentos nutricionais, o teor foliar médio de N, P, K, Ca e Mg, respectivamente, de 33,5; 1,5; 17,4; 5,8 e 5,4 g kg⁻¹ (Tabela 10) está acima de ervais sem adubação (Tabela 9), com exceção para Ca e Mg. O teor médio no galho fino de N, P e K também apresentam maior teor quando oriundos de ervais nutridos desses elementos (Tabela 10), indicando que a maioria dos ervais conduzidos sem reposição de nutrientes encontram-se com déficit nutricional. Essa constatação fica evidente, pelo maior teor médio de N, P e K na folha e no galho fino dos ervais com adubação, quando comparado aos sem registro de adubação (Tabela 11).

Tabela 10. Teor de macronutrientes na folha (FO) e galho fino (GF) de erva-mate adulta em experimentos de adubação.

Componente	Intervalo colheita	N	P	K	Ca	Mg	Fonte
	Meses	----- g kg ⁻¹ -----					
FO	18	---	---	12,5	---	---	Lourenço et al. (1999)
	12	28,4	1,5	17,4	---	---	Pandolfo et al. (2003)
	18	31,2	1,5	22,9	---	---	Santin (2008)
FO	12	36,9	1,4		---	---	Santin (2013)
	18	37,1	1,6	16,8	---	---	
	24	33,7	1,3		---	---	
GF	12	15,2	1,4		---	---	
	18	13,8	1,1	13,0	---	---	
	24	15,4	1,8		---	---	
FO	18	---	---	---	5,1	5,1	
		---	---	---	5,1	5,4	
		---	---	---	7,3	5,6	
Média	FO	18	33,5	1,5	17,4	5,8	5,4
	GF		14,8	1,4	13,0	---	---

Tabela 11. Média do teor de macronutrientes na folha (FO) e galho fino (GF), e relação entre massa verde e seca (MV/MS) de erva-mate adulta não adubada e adubada.

Condição	Componente	N	P	K	Fator (MV/MS) ³
		g kg ⁻¹			
Ervais não adubados ¹	FO	23,4	1,3	13,0	2,49
	GF	11,6	0,9	11,5	
Ervais adubados ²	FO	33,5	1,5	17,4	3,13 ⁴
	GF	14,8	1,4	13,0	
Média	FO	28,5	1,4	15,2	2,81
	GF	13,2	1,1	12,3	

¹Média da Tabela 9; ²média da Tabela 10; ³para erva-mate comercial, composta em média por 70% a 80% de folhas, e de 20% a 30% de galhos finos (galho fino com diâmetro menor que 7 mm); e ⁴obtido da média das doses de máxima produtividade dos experimentos de N, P e K com colheitas com intervalos de 12, 18 e 24 meses (SANTIN, 2013).

No setor florestal, o desenvolvimento das árvores é dado pela relação crescimento e tempo, considerando constantes os fatores ambientais e genéticos. Quando se plota a dimensão de uma árvore, como diâmetro, altura e volume em relação à idade, constrói-se uma curva de crescimento, que é representada pela forma de sigmóide ou “S” (FINGER, 1992), caracterizando três fases de incremento de volume. Estas fases são bem conhecidas por inúmeros pesquisadores que, normalmente, relacionam taxa de crescimento, taxa de absorção ou demanda de nutrientes com produção de biomassa ou matéria seca (EPSTEIN; BLOOM, 2004; MARSCHNER, 1995).

O ciclo de vida das plantas varia amplamente de espécie para espécie. Na erva-mate, não é raro se deparar com indivíduos seculares ainda continuamente sendo submetidos a colheitas. Mas, até então, não se tem comprovado a idade média do ciclo de vida de plantas de erva-mate que continuamente são colhidas (Figura 3). Durante o ciclo de vida de uma planta de erva-mate, podem ocorrer vários ciclos produtivos (CP) e, em cada CP, ocorrem várias fases de crescimento da planta. A possibilidade de obter vários CPs para o ciclo de vida da erva-mate decorre do fato de que, quando a planta atinge a fase de

crescimento com declínio de produtividade, por meio de rebaixamento do troco, é possível renovar a planta, e, conseqüentemente, retomar seu crescimento. Contudo, o período de tempo de cada CP deve ser diferente, à medida que a idade da planta avança, sendo que, quanto mais velha, menor. Cada CP é formado por várias fases de crescimento, que culminam com produtividade diferenciada em cada fase (Figura 4). Para erva-mate, a partir do estabelecimento da muda em campo, podem ser identificadas pelo menos cinco fases de crescimento no CP I:

- 1) Fase de planta jovem: período que corresponde do plantio em campo até a primeira poda, variando de um a três anos após o plantio;
- 2) Fase de formação da copa: correspondente às duas primeiras podas, que normalmente varia do segundo ao sexto ano;
- 3) Fase de aumento da produtividade: normalmente da terceira colheita até a idade de 12 a 18 anos, dependendo do espaçamento entre plantas, modelo de erval e nível de fertilidade do solo;
- 4) Fase de máxima produtividade: corresponde ao período em que a produtividade entre colheitas apresenta, inicialmente, pequenos aumentos, seguida de algumas colheitas semelhantes, finalizando em quedas suaves. Essa fase acaba normalmente próxima ou a partir dos 30 anos de idade, acompanhada pela queda da produção;
- 5) Fase de declínio da produtividade: ocorre normalmente entre 30 e 40 anos de idade, quando o erval já apresenta um declínio acentuado de produtividade, normalmente causado pelo excessivo gasto de energia na manutenção de volumes consideráveis de biomassa de troncos e galhos grossos da estrutura da copa, formados ao longo de sucessivas colheitas. Essa estrutura também pode ser afetada pela insolação ou geadas, que ressecam a casca, provocando a morte de parte dela, favorecendo o ataque de fungos patogênicos ou decompositores nesses locais injuriados, em consequência da poda de colheita.

O relato de alguns produtores quanto à manutenção da produtividade em ervais com 26 anos sugere que a fase de máxima produtividade (4) pode ser mais prolongada, podendo avançar os 30 anos. Como atualmente não há definição de qual a melhor adubação e manejo para os ervais potencializarem a produtividade e o tempo de cada CP, não se descarta a hipótese de que, em condições adequadas de nutrição e manejo, a fase de máxima produtividade dos ervais possa ultrapassar os 35 anos. Nesta lógica, haveria retardamento das fases seguintes, de declínio da produtividade (5) e de produtividade de reforma, correspondente ao CP II (Figura 4). Na verdade, tanto o tempo de cada CP, como a vida útil da erva-mate, ainda é um mistério, pois, também há relatos de plantas centenárias com 70 anos de exploração ainda mantendo bom vigor de crescimento de brotos após a colheita (Figura 3b).

Fotos: Delmar Santin

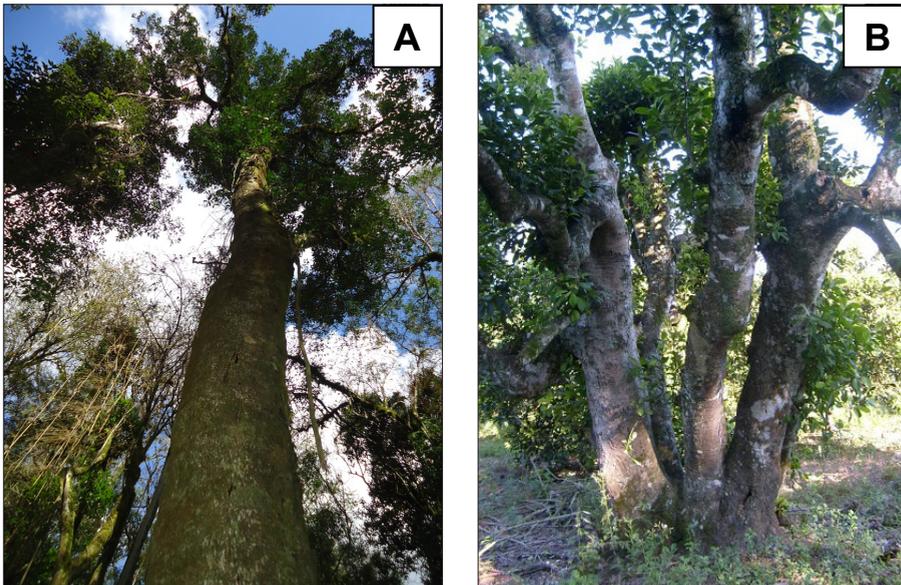


Figura 3. Matrizes de erva-mate (*Ilex paraguariensis*) com idade estimada de 180 anos. Matriz em estágio natural que nunca foi colhida, localizada em Itapuça, RS (A); e matriz com 70 anos em que é realizada colheita, localizada em Anta Gorda, RS (B).

Quando o erval se encontra na fase de declínio da produtividade (5), normalmente o produtor opta pela reforma através do rebaixamento das erveiras, dando início ao CP II. No entanto, pouco ainda se conhece sobre a formação de copa, produtividade de cada fase da reforma e número possível de reformas para o ciclo de vida da planta. Isso porque, entre cada reforma, hipoteticamente ocorrem fases de formação da copa (2), aumento de produtividade (3), máxima produtividade (4) e declínio da produtividade (5) (Figura 4). Semelhante insegurança ocorre para a produtividade máxima, que do CP II, hipoteticamente seria menor que a do CP I.

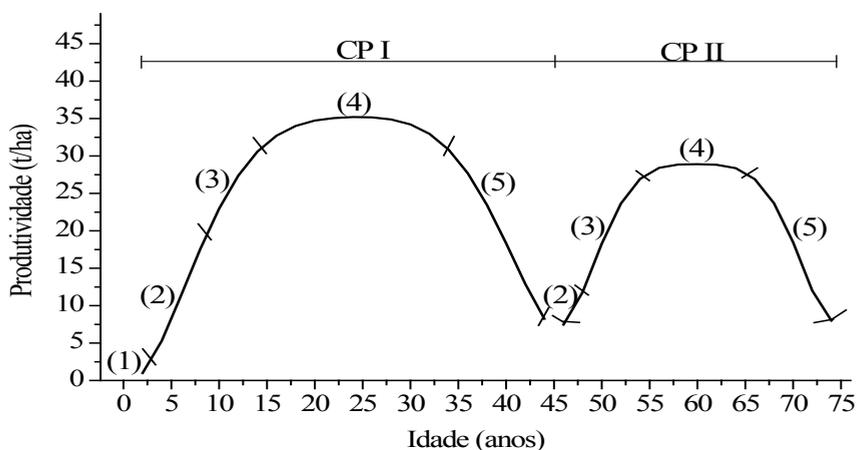


Figura 4. Fases hipotéticas de produtividade da erva-mate ao longo do tempo dentro de cada ciclo produtivo (CP). Fases de: planta jovem (1), formação da copa (2), aumento da produtividade (3), máxima produtividade (4) e declínio da produtividade (5).

3.4. Aspectos relacionados à eficiência de utilização dos nutrientes pela planta

Outro aspecto importante em relação à nutrição é a eficiência de utilização dos nutrientes (EUN) pelas plantas, que varia com a espécie e o nutriente avaliado. Sob regimes nutricionais não limitantes, as plantas normalmente apresentam maior crescimento e menor eficiência na utilização de nutrientes (SHAVER; MELILLO, 1984).

De acordo com Fageria e Baligar (1993), há características morfológicas e fisiológicas desejáveis que contribuem para o uso eficiente de nutrientes pelas plantas. Dentre as características morfológicas estão o sistema radicular eficiente e extenso (explorando maior volume de solo), alta relação entre raízes e parte aérea e colonização do sistema radicular por micorrizas e bactérias fixadoras de N_2 . As características fisiológicas, por sua vez, seriam habilidades do sistema radicular em modificar a rizosfera para superar a baixa disponibilidade de nutrientes, capacidade de manter o metabolismo normal, mesmo com baixo teor de nutrientes nos tecidos e alta taxa fotossintética.

A EUN para um determinado nutriente pode variar, à medida que sua disponibilidade no solo seja alterada; em geral, a EUN aumenta com a redução de sua disponibilidade no solo (BARROS et al., 1986), sendo que a alta eficiência para um dado nutriente não está associada à alta eficiência para os demais nutrientes (BARROS et al., 1990). Em condições nutricionais limitantes, normalmente com pequenas doses de fertilizantes as plantas aumentam a absorção de nutrientes e a produção de forma linear, condição de alta EUN (VAN KEULEN, 1982). Em condição de alta disponibilidade de nutrientes, não é raro as plantas absorvê-los além de sua demanda, consequentemente reduzindo a EUN (EPSTEIN; BLOOM, 2004).

Informações sobre EUN para erva-mate ainda são recentes. Com adição de doses de calcário em plantas jovens, a maior EUN para Ca e Mg foi obtida na testemunha, com 280,1 g e 439,4 g de matéria seca

g⁻¹ de nutrientes, respectivamente (SANTIN et al., 2013c), confirmando que em condições nutricionais restritas, a planta utiliza melhor os nutrientes. Oliva (2007) avaliou a eficiência nutricional de procedências e progênies de erva-mate. Em média, para duas procedências avaliadas (Ivaí e Barão do Cotegipe), foi observado maior eficiência nutricional para o P, seguido do Mg, Ca, K e N. Para os micronutrientes, destacam-se o Mn e o Cu, seguido por Zn. O comportamento do Fe e B diferiram entre as procedências, sendo que, para Ivaí, a eficiência de utilização do Fe foi maior que a do B; para a Barão do Cotegipe, as plantas foram mais eficientes na utilização do B que do Fe. Nesse caso, provavelmente o fator genético foi determinante para esse comportamento. Santin (2013) constatou que a redução da EUN ocorre pelo aumento da disponibilidade de nutrientes e pela redução do intervalo entre colheitas. Ervais colhidos com intervalos de 18 a 24 meses são mais eficientes no uso do nutriente, quando comparados aos colhidos a cada 12 meses. O mesmo autor ressalta que ervais com intervalo de 12 meses entre colheitas apresentam baixa resposta à adubação nitrogenada, fosfatada e potássica, quando comparados ao de intervalos de colheita mais longos (18 e 24 meses). A poda provoca um desequilíbrio entre folhas e raízes (MILANO; DALCIN, 2000). Na erva-mate, quando a poda é drástica, a recomposição da copa ocorre quando as colheitas priorizam intervalos de 18 e 24 meses (SANTIN, 2013). Neste caso, a menor produtividade de erva-mate em colheitas com menores intervalos (SANTIN, 2013) estaria mais relacionada à limitada taxa fotossintética, proporcionada pela pequena área foliar, do que a restrições nutricionais (EPSTEIN; BLOOM, 2004).

Na cultura da erva-mate, os fatores disponibilidade de nutrientes e intervalos entre colheitas atuam fortemente na EUN pela planta. O manejo da poda é um fator que poderia contribuir para melhorar a EUN, apesar de ainda ser pouco considerado no momento. Isto porque, atualmente, na colheita da erva-mate predominam manejos por meio de podas drásticas, onde permanecem, aproximadamente,

5% da área foliar da copa. Ou seja, com uma pequena área foliar, a brotação inicial pós-colheita é mais dependente de reservas armazenadas em outros órgãos da planta do que da fotossíntese das poucas folhas que permaneceram na copa. Entretanto, se o manejo de podas privilegiasse a permanência de folhas na copa entre 20% a 25%, proporcionaria uma maior participação da fotossíntese dessas para a brotação inicial pós-colheita, favorecendo à maior absorção e aproveitamento de nutrientes pela planta.

3.5. Ciclagem de nutrientes

Outro aspecto nutricional importante, principalmente para ervais nativos, é a ciclagem de nutrientes. Nessas condições, o aproveitamento de nutrientes ciclados por outras espécies pode favorecer nutricionalmente a erva-mate. A ciclagem de nutrientes em florestas, normalmente, abrange os ciclos geoquímico, bioquímico e biogeoquímico.

O ciclo geoquímico caracteriza-se pelas trocas de elementos entre um determinado ecossistema e seus componentes (POGGIANI; SCHUMACHER, 2005). Nesse ciclo, as entradas de nutrientes no ecossistema podem ocorrer pelo intemperismo das rochas, chuva e aplicação de fertilizantes, dentre outros. Quanto às saídas, estas podem ser decorrentes da erosão, lixiviação e, principalmente, pela colheita.

O ciclo biogeoquímico consiste nas trocas entre as plantas e o solo. As plantas retiram os nutrientes do solo para produção de biomassa e, posteriormente, a queda de folhas, galhos, cascas e frutos irão formar a serapilheira que, após sua mineralização, devolverá parte dos nutrientes ao solo, os quais poderão ser reaproveitados novamente pela planta.

O ciclo bioquímico é o mais simples e ocorre dentro da planta, com a translocação de nutrientes dos tecidos velhos para os tecidos novos, onde os processos de crescimento são mais ativos. Esse ciclo

torna-se mais importante para os nutrientes móveis na planta, como o N, P, K e Mg (POGGIANI; SCHUMACHER, 2005).

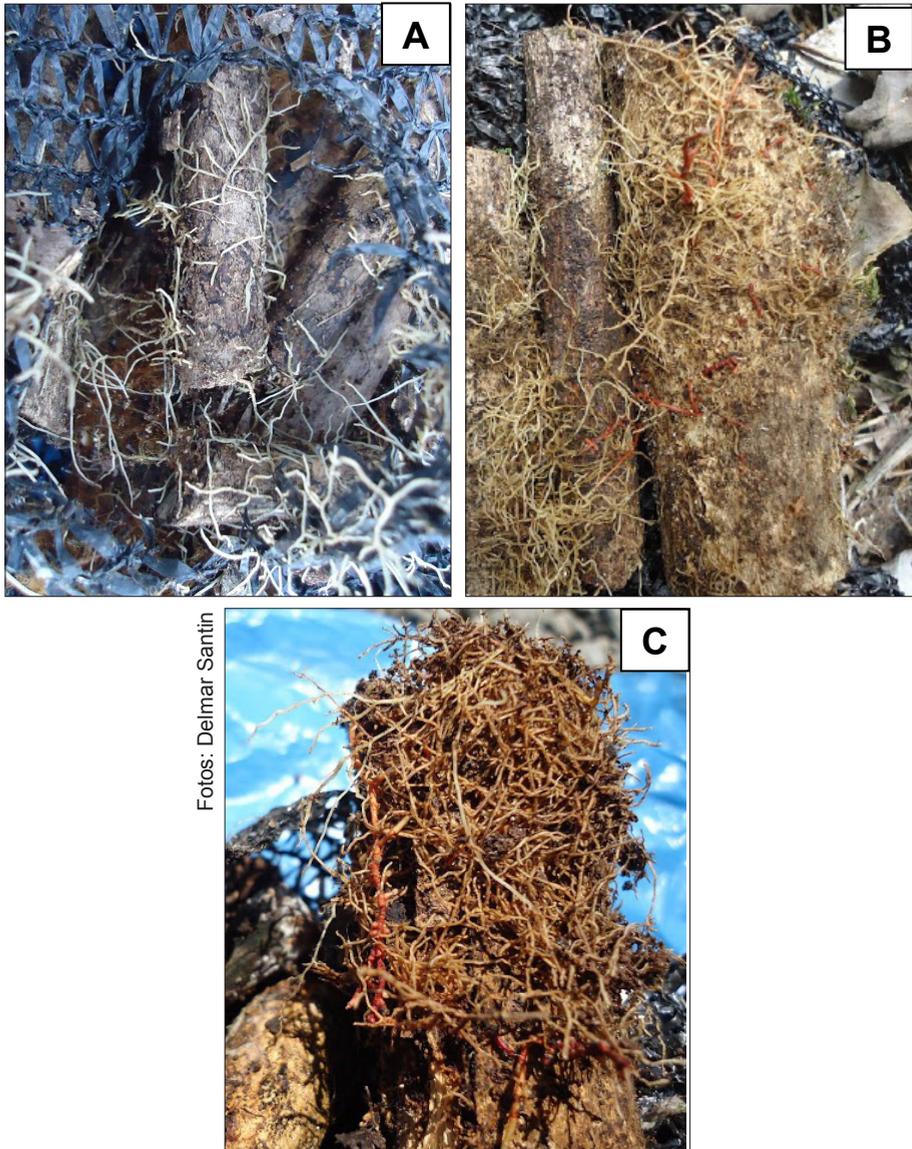
A erva-mate ocorre na Floresta Ombrófila Mista (Floresta com Araucária) (CARVALHO, 2003). Esse tipo de vegetação é caracterizado pela ocorrência de espécies como imbuia (*Ocotea porosa*), sassafrás (*Ocotea odorifera*), canela-lageana (*Ocotea pulchella*), além de diversas espécies conhecidas por canelas e a própria araucária (*Araucaria angustifolia*). Merecem destaque também a caúna (*Ilex theezans*), entre outras aquifoliáceas, como a erva-mate, além de diversas espécies de leguminosas e mirtáceas (KLEIN et al., 1992). A ciclagem de nutrientes das espécies que ocorrem com a erva-mate pode ser importante na nutrição de ervais nativos. Porém, informações da ciclagem de nutrientes em sistemas com erva-mate são escassas. Santos (2009), comparando produção de serapilheira em sistema agroflorestal (SAF) com erva-mate e fragmento de Floresta Ombrófila Mista (FOM), obteve maior quantidade para a FOM. Quanto aos teores de nutrientes, a serapilheira acumulada no SAF apresentou maior teor de K do que a da FOM. A quantidade de nutrientes acumulada na serapilheira do SAF foi de 109,0; 7,4; 9,6; 53,7 e 11,5 kg ha⁻¹, respectivamente, para N, P, K, Ca e Mg. Através da diferença entre o teor de N, P e K das folhas da copa e das folhas da serapilheira de erva-mate em plantio homogêneo, Brondani et al. (2008) obtiveram o índice de recuo (IR). A partir deste, observaram que o N possui maior IR, seguido pelo K e P, indicando a ordem de ciclagem de nutrientes para erva-mate de N > K > P.

Em consórcio de bracatinga com erva-mate, com densidades de 833, 1.250 e 2.500 plantas ha⁻¹ de bracatinga (dados não publicados), a produção de serapilheira foi, respectivamente, de 8, 13 e 20 t ha⁻¹ após 5 anos. Considerando a densidade de 1.250 plantas ha⁻¹, a quantidade de N, P, K, Ca e Mg na serapilheira foi equivalente, respectivamente, a 270,4, 11,7, 14,3, 213,2 e 20,8 kg ha⁻¹. Observe-se que a ordem de concentração dos nutrientes na serapilheira foi

$N > Ca > K > Mg > P$. Isso mostra que, quando a erva-mate é consorciada com espécies arbóreas, principalmente leguminosas, uma porção considerável dos nutrientes exportados pela colheita da erva-mate pode ser compensada pela ciclagem de nutrientes da serapilheira das demais espécies presentes.

O manejo do resíduo (galho grosso (GG)) da colheita da erva-mate pode ser a principal fonte de ciclagem de nutrientes, especialmente em ervais com baixa ou ausência de outras espécies arbóreas (Figura 5). Contudo, o intervalo entre colheitas influencia fortemente no conteúdo dos nutrientes presentes nos componentes, ECOM e GG, que são os produtos da colheita. Santin (2013), ao testar doses de N, P e K em cultivos de erva-mate em plena produção e colhidos com intervalos de 12, 18 e 24 meses, constatou que, à medida que aumenta o intervalo entre colheitas, também aumenta a exportação desses nutrientes pelo GG. Segundo o autor, isso é reflexo de que o aumento da produtividade de erva-mate com a idade é dependente de uma maior produtividade de GG para suportar o maior peso da copa proveniente das folhas e galhos finos. Assim, quanto maior o intervalo entre colheitas, maior também a produtividade de GG em relação à ECOM. Isso demonstra a importância da permanência na área do GG para a ciclagem de nutrientes, principalmente em ervais colhidos com maior intervalo entre colheitas (Tabela 12).

O K se destaca em proporção no GG, quando comparado a de N e P. Contudo, o maior conteúdo de N, P e K presente na ECOM, também reflete na maior percentagem destes nesse componente. O P apresenta o menor conteúdo na ECOM e GG. Por outro lado, o N com maior conteúdo, somando os dois componentes na colheita com intervalo de 24 meses, ultrapassa 300 kg ha^{-1} (Tabela 12).



Fotos: Delmar Santin

Figura 5. Decomposição do resíduo (galho grosso) da colheita da erva-mate em campo. Resíduo de colheita com intervalo de 18 meses, aos 12 meses após a colheita (A); resíduo de colheita com intervalo de 24 meses, aos 24 meses após a colheita (B); e 36 meses após a colheita (C). Infestação no resíduo por raízes com coloração esbranquiçada de *Ilex paraguariensis* (A, B, C); e com coloração avermelhada de *Araucaria angustifolia* (B, C).

Tabela 12. Conteúdo e proporção de N, P e K contidos na erva-mate colhida em diferentes intervalos de colheita.

Intervalo de colheita	Componente ¹	N	P	K	N	P	K
Meses		kg ha ⁻¹			%		
12	ECOM	98,1	4,6	58,3	96,7	92,0	93,1
	GG	3,3	0,4	4,3	3,3	8,0	6,9
18	ECOM	141,9	6,2	114,5	90,8	86,1	77,3
	GG	14,4	1,0	33,7	9,2	13,9	22,7
24	ECOM	263,2	10,2	140,6	86,7	80,3	71,5
	GG	40,3	2,5	56,0	13,3	19,7	28,5

Adaptado de Santin (2013), com valores referentes às doses de N, P e K em que ocorreram as máximas produtividades de erva-mate comercial em cada intervalo de colheita. ¹Erva-mate comercial (ECOM = folha + galho fino) e galho grosso (GG = resíduo que sobra da colheita).

Em modelos de ervais com baixa ocorrência de outras espécies arbóreas, a produção de pequena quantidade de serapilheira limita a capacidade de ciclagem de nutrientes do local. Neste caso, é possível intervir para aumentar a entrada de resíduo no local, tanto com espécies arbóreas como com culturas anuais. Baggio et al. (2008), em um consórcio de erva-mate com espécies arbóreas, constataram boa produtividade do erval, destacando a importância do resíduo da desrama dessas espécies como cobertura na conservação e fertilidade do solo. Floss et al. (2009) também relataram bom crescimento de erva-mate quando consorciada com cinamomo (*Melia azedarach* L.) e louro-pardo (*Cordia trichotoma* Vellozo Arrabida ex Steudel.), mantendo nas entre linhas culturas agrícolas anuais.

Outras coberturas, como culturas anuais ou perenes não florestais, também podem ser utilizadas na erva-mate. Curcio et al. (2002), ao avaliarem várias espécies de inverno, verificaram que o nabo forrageiro (*Raphanus sativus* L. var. *oleiferus* Metzg.) e misturas de várias espécies (nabo forrageiro + ervilhaca (*Vicia sativa*) + tremoço (*Lupinus angustifolius*)) se destacaram com produtividade de massa seca aérea, respectivamente, de 8,4 t ha⁻¹ e 7,4 t ha⁻¹.

Piccolo et al. (2004) constataram que o solo sob erva-mate, com mais de 50 anos de cultivo, apresentou grande redução dos estoques de C, e após 10 anos da introdução de capim elefante (*Pennisetum purpureum*, Schumach), entre as linhas de plantio, ocorreu aumento não somente do C, mas também da fertilidade do solo. Isso comprova que coberturas vegetais contribuem para melhorar a fertilidade do solo no sistema.

Estes resultados, embora ainda incipientes, demonstram que a ciclagem de nutrientes é importante em todos os sistemas florestais e deveria ser levada em consideração para recomendação de adubação em ervais consorciados com aquelas espécies. Para ervais a pleno sol ou com baixo índice de sombra, intervenções com plantios de espécies florestais para sombreamento e/ou culturas anuais para cobertura verde, são ações que podem aumentar a ciclagem de nutrientes.

A ciclagem torna-se incapaz de suprir a demanda nutricional da cultura da erva-mate com sucessivas colheitas, visto que o processo é lento e está em equilíbrio quando as condições são naturais. Quando há interferência humana, principalmente acelerando a exportação (através da colheita), a ciclagem não consegue manter o sistema produtivo por muito tempo. Assim, a reposição via adubação, seja ela orgânica ou mineral, torna-se necessária para manter a sustentabilidade produtiva do local.

O fato é que sem o conhecimento dos ciclos geoquímico, bioquímico e biogeoquímico nesses sistemas com tal complexidade e diversidade de espécies, não há como afirmar se a erva-mate colhida em ervais nativos sem a reposição dos nutrientes exportados pela colheita é sustentável. Isso será possível através de estudos de balanço nutricional no sistema de produção, ou seja, a partir da quantificação de todas as entradas e saídas de nutrientes do sistema de produção.

4. Resposta à adubação e calagem pela erva-mate

A resposta das culturas à fertilização está muito ligada ao nível de nutrientes no solo e sua disponibilidade natural para as plantas. Para solos com teores de nutrientes disponíveis acima do nível crítico, a resposta da planta é baixa ou nula. Em condições de solo onde ainda não foi atingido o teor e/ou nível crítico, a dependência da adubação será maior, quando comparado a solos com nutrientes próximos ao nível crítico (CERETTA et al., 2007), tendo em vista que a demanda de nutrientes pela planta é dependente de sua taxa de crescimento e da eficiência na conversão dos nutrientes absorvidos em biomassa (BARROS et al., 2005). Considerando a longevidade e a diversidade de modelos de cultivos da erva-mate, o entendimento da demanda nutricional da planta é dependente de trabalhos que contemplem suas diversas fases de crescimento.

4.1. Resposta da erva-mate à calagem

De maneira geral, as respostas da erva-mate à calagem são pouco expressivas. Isso fez com que Reissmann et al. (1997) e Reissmann e Carneiro (2004) a considerassem como uma espécie calcífuga. A resposta positiva da erva-mate a doses de Al (BASTOS et al., 2008; BENEDETTI, 2012; BENEDETTI et al., 2011a, 2011b) indica que a espécie é adaptada a solos muito ácidos, onde normalmente ocorre restrição de disponibilidade de Ca e Mg às plantas. No entanto, a tolerância diferenciada do Al entre clones em fase de mudas (BENEDETTI, 2012; BENEDETTI et al., 2011a, 2011b) e a resposta positiva diferenciada à calagem em plantios em fase de produção em diferentes locais (SANTIN, 2013), sinalizam que a demanda da planta por Ca e Mg pode depender da sua fase de crescimento e do solo em que o erval está estabelecido.

Em mudas com aplicação de doses variando de $0,0 \text{ t ha}^{-1}$ a $6,7 \text{ t ha}^{-1}$ de carbonato de Ca, o efeito no crescimento foi negativo (REISSMANN et al., 1991). No estabelecimento em campo em solo com 12% de saturação por bases (V), a redução do crescimento das plantas ocorreu já na dose de calcário equivalente a 25% de V (REISSMANN et al., 1997). Contudo, oito anos após, a produtividade entre tratamentos já se equivaliam (REISSMANN; CARNEIRO, 2004). Entretanto, há casos de resposta positiva da erva-mate à calagem. No estabelecimento de ervais em campo, plantas jovens apresentaram o maior crescimento e produtividade quando receberam $0,5 \text{ kg}$ de calcário por cova de 64 dm^3 (SCHLOSSMACHER NETO, 1994). Em testes em vasos, o crescimento máximo em altura de plantas jovens ocorreu quando o teor de Ca e Mg no solo eram de, respectivamente, $3,4 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$ e $1,5 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$, obtidos com dose de $3,8 \text{ t ha}^{-1}$ de calcário dolomítico (SANTIN et al., 2013c).

Em plantios adultos estabelecidos em São Mateus do Sul, Prudentópolis, PR, e Anta Gorda, RS, a máxima produtividade ocorreu quando foi aplicado na superfície, respectivamente, doses de $6,4$, $5,6$ e $3,4 \text{ t ha}^{-1}$ de calcário (SANTIN, 2013). O autor ressalta que o calcário contribuiu para aumento da produtividade de ECOM entre 21% e 27% e que, em Anta Gorda, mesmo com alta disponibilidade natural de Ca do solo ($5,6 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$) houve resposta positiva da cultura. Esses resultados positivos corroboram com as altas produtividades de $35,7$ e $32,7 \text{ t ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ obtidas em solos com teor de $3,6$ e $5,3 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$ de Ca e de $1,4$ e $2,4 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$ de Mg (LOURENÇO, 1997) correspondente aos níveis médio e alto de Ca e alto de Mg, respectivamente (MANUAL..., 2004). Deve-se considerar que mesmo com elevada acidez, muitos solos com erva-mate apresentam níveis elevados de Ca e Mg, em função da elevada CTC dos mesmos.

Nos poucos experimentos com calagem, a tendência é de maior resposta da erva-mate em ervais adultos, quando comparado a

plantas jovens. Assim, na cultura da erva-mate o uso do calcário deve ter como objetivo disponibilizar Ca e Mg em teores entre a faixa média e alta, sem pretensões de neutralizar o Al^{3+} do solo.

4.2. Resposta da erva-mate à adubação NPK

Estudos com adubação em plantas jovens de erva-mate cultivadas em vasos (Tabela 13), mesmo em solos com nutrientes abaixo do nível crítico, mostram que a resposta ao P e K é pouco expressiva e o N contribui para os melhores índices de crescimento das mesmas (PINTRO et al., 1998). Doses de N e K superiores a 100 mg dm^{-3} de solo, quando testadas isoladamente, tendem a afetar negativamente o crescimento de mudas de erva-mate (SANTIN et al., 2008). Porém, quando o N e K são testadas conjuntamente com o P, a resposta é positiva a doses de N e K_2O superiores a 100 mg dm^{-3} (SANTIN et al., 2013a). Para o P, quando o teor no solo se encontra em nível baixo ou muito baixo, a resposta positiva da erva-mate ocorre com doses de P_2O_5 entre 450 mg dm^{-3} (SANTIN et al., 2008) e 300 mg dm^{-3} , sendo o melhor crescimento obtido quando o teor de P no solo se situa na faixa de nível muito alto (SANTIN et al., 2013a). Assim, plantas jovens de erva-mate crescem bem em solos com altos teores de P e boa disponibilidade de N e K.

Em campo, mudas de erva-mate apresentam bom desenvolvimento quando aplicados 60 g cova^{-1} de NPK 10-20-10, além de 1 kg cova^{-1} de adubo orgânico (LOURENÇO, 1997). Em solo com baixa fertilidade, doses de $6,7 \text{ g dm}^{-3}$ de termofosfato Yoorin, em cova de 64 dm^3 , favoreceram o crescimento e produtividade com 100% de sobrevivência no estabelecimento de mudas em campo (SCHLOSSMACHER NETO, 1994). Há grande variação das doses de um determinado elemento a serem utilizadas em ambiente controlado e em campo. Isso porque, em vasos, a perda de nutrientes é praticamente nula. Em campo, o sistema é aberto e favorece perdas, necessitando-se de doses mais elevadas para atender à mesma demanda nutricional.

Tabela 13. Propriedades do solo no cultivo de plantas jovens de erva-mate, em experimentos com adubação.

Nº	Propriedades do solo utilizado como substrato										Dose de MET ¹					Teor no solo na dose de MET			
	pH	Argila	MO	V	Al ³⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	CTC _{pH7,0}	P	K	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	Calcário	P	K	Ca ²⁺	Mg ²⁺	
	H ₂ O	----- % -----			----- cmol _c dm ⁻³ -----			- mg dm ⁻³ -					----- g planta ⁻¹ -----	mg dm ⁻³	mg dm ⁻³	cmol _c dm ⁻³	cmol _c dm ⁻³		
1 ³	4,3 ²	5,0			3,2	0,3		2,6	31,4				500,0						
2 ⁴										80,0	20,0	80,0							
3 ⁵	5,0	0,5	48,4	0,2	3,9	1,0	10,5	1,0	74,3	0,3	0,8	0,9	11,5						
4 ⁶	4,8 ²	25	7,9	44,3	1,3	6,0	3,2	22,0	78,4	0,0									
5 ⁷	4,6	27	4,3	15,3	2,7	2,1	0,6	18,2	34,0	0,0	0,4	0,4							
6 ⁸	3,9	75	5,8	4,0	4,5	0,3	0,2	14,7	50,8	0,3	0,3	1,2		24,3	83,9	2,4			
7 ⁸	4,2 ²	83	6,0	4,1	3,9	0,3	0,1	12,6	46,9	0,4	0,8	0,6	5,7	13,4	87,3	3,7	1,5		
Média	4,5	52	4,9	23,3	2,6	2,2	0,9	15,3	52,6	10,2	2,5	9,5	108,0	18,8	85,6	3,1	1,5		

¹Dose de máxima eficiência técnica para produtividade de erva-mate comercial verde; ²pH em CaCl₂; ³plantas com 3 anos em que os tratamentos aplicados no plantio foram incorporados em cova com 64 cm³ (SCHLOSSMACHER NETO, 1994); ⁴plantas da primeira poda com três anos (LOURENÇO et al., 1998); ⁵plantas com 4 meses, conduzidas em vasos com 6 dm³ de solo (PINTRO et al., 1998); ⁶plantas com 12 meses, cultivadas em saco plástico com 8 dm³ de solo (MAZUCHOWSKI, 2004); ⁷plantas com 9 meses, cultivadas em vasos com 2 dm³ de solo (SANTIN et al., 2008); ⁸plantas com 7 meses, cultivadas em vasos com 3 dm³ de solo (SANTIN et al., 2013c); ⁹plantas com 7 meses, cultivadas em vasos com 3 dm³ de solo (SANTIN et al., 2013b).

No Brasil, até o momento, foram realizados poucos estudos com fertilização NPK em campo, em ervais em produção (Tabela 14), dificultando o entendimento da necessidade desses nutrientes pela cultura. Estudos pioneiros de Lourenço et al. (1997), testando N em erval com 12 anos de idade, verificaram resposta positiva, com produtividade de $15,0 \text{ t ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$, quando aplicado $186 \text{ kg ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ de N. Pandolfo et al. (2003), em plantio com nove anos, obtiveram produtividade anual próxima a 22 t ha^{-1} , com doses de $150 \text{ kg ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ de N. Alguns experimentos demonstram resposta linear da erva-mate ao N, como em plantio de adensamento com nove anos e doses variando de 0 a $75 \text{ kg ha}^{-1} \text{ 1,5 ano}^{-1}$ de N (SANTIN, 2008) e, na Argentina, ervais com 10 anos, com doses de 0 a $300 \text{ kg ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ (PRAT KRICUN; BELINGHERI, 1995). No entanto, em plantios jovens com três anos de idade, a máxima produtividade ocorreu em doses menores de N, ou seja, $53 \text{ kg ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ (RIBEIRO et al., 2008).

A resposta da erva-mate ao N também é influenciada pelo intervalo de colheita. Enquanto em colheitas com intervalo de 12 meses a máxima produtividade ocorreu na dose de 197 kg ha^{-1} de N, em colheitas com intervalos de 18 e 24 meses, ocorreu quando aplicados 278 kg ha^{-1} e 320 kg ha^{-1} de N, respectivamente (SANTIN, 2013). Isso demonstra que a dose de N, para ervais colhidos com maiores intervalos de tempo, deve ser maior. A boa resposta ao N obtida por Santin (2013), mesmo em solo com alto teor de carbono ($29,8 \text{ g kg}^{-1}$), indica que, mesmo em condição de solos com alto teor de matéria orgânica, essa disponibilidade natural de N do solo será insuficiente para o adequado suprimento de N à planta. Ou seja, quando o objetivo é obter ou manter altas produtividades, os ervais devem receber adubação nitrogenada, mesmo em solos com alto teor de matéria orgânica.

Em espécies florestais, como é o caso do eucalipto, a resposta máxima ao N se dá na fase jovem (até 3 anos), sendo pequena ou nula nas fases intermediária e adulta (PULITO, 2009). Para erva-mate, a resposta ao N é branda na fase jovem e bem pronunciada na fase de produção.

Isso porque ervais bem nutridos alcançam a máxima produtividade com idade acima de 15 anos, o que provavelmente leva ao aumento da demanda por N, coincidindo com a fase de maior produtividade da planta. Isso, sem considerar que a colheita representa um estresse à planta, exigindo a emissão de novos ramos, folhas e raízes, além da exportação de nutrientes.

Apesar de o P ser considerado um nutriente pouco exigido pela erva-mate (RADOMSKI et al., 1992; REISSMANN et al., 1983), até o momento os raros testes apontam boa resposta da cultura. Em erval com nove anos de idade, com disponibilidade de 4,2 mg dm⁻³ de P no solo, a dose anual de 48 kg ha⁻¹ de P₂O₅ foi suficiente para a produção máxima de 19 t ha⁻¹ ano⁻¹ (PANDOLFO et al., 2003). Porém, com teor de P no solo muito baixo (1,5 mg dm⁻³) em erval com sete anos de idade e colheitas com intervalos de 12, 18 e 24 meses, a respectiva produtividade máxima, de 10,4, 13,4 e 23,6 t ha⁻¹, foi obtida com doses de 219, 283 e 300 kg ha⁻¹ de P₂O₅. Nestas doses, os respectivos teores de P no solo na profundidade de 0-10 cm de 6,9, 10,5 e 10,1 mg dm⁻³ são classificados como nível alto (MANUAL..., 2004). Esses resultados evidenciam que a erva-mate é mais exigente em P do que até então era relatado. Contudo, como o teor de P no tecido vegetal da erva-mate bem nutrida com este nutriente, normalmente varia entre 1,6 a 1,7 g kg⁻¹, o conteúdo de P na ECOM é baixo. Isso reflete em altos valores da relação entre a dose de P adicionado para atingir a máxima produtividade de ECOM e a quantidade exportada do nutriente nesta mesma dose (SANTIN, 2013).

Quando o cultivo é estabelecido em solos mais intemperizados, o baixo pH e a elevada disponibilidade de Al³⁺ e Fe podem proporcionar uma elevada capacidade de adsorção de P nos solos (VILAR et al., 2010). Para cultivos de erva-mate em que, ao longo de sucessivas colheitas a reposição do P não ocorreu, a recuperação dos níveis deste nutriente no solo já exaurido pode requerer doses elevadas.

Nestas condições, inicialmente, o produtor poderá não ter um retorno econômico expressivo imediato, pois o erval expressará seu potencial produtivo referente ao fator nutricional quando a disponibilidade de P e a dos demais nutrientes estiver adequada para atender à demanda da planta.

Com relação ao K, o aumento linear da produtividade com doses anuais de 120 kg ha⁻¹ de K₂O foi obtido em ervais com seis anos de idade (LOURENÇO et al., 1999). Em plantio com nove anos, quando o teor de K no solo situava-se abaixo de 120 mg L⁻¹, a aplicação anual de 143 kg ha⁻¹ de K₂O resultou em uma produção de massa verde próxima à resposta máxima (PANDOLFO et al., 2003). Em solo com baixo nível de K, em erval com sete anos, a maximização da produtividade para colheitas com intervalos de 12, 18 e 24 meses, ocorreu pela adição de doses, respectivamente, de 203, 280 e 298 kg ha⁻¹ de K₂O (SANTIN, 2013). Nestas condições, a máxima produtividade ocorreu com nível alto de K no solo. Percebe-se que, em alguns casos, mesmo com disponibilidade de K no solo em nível médio, há boa resposta da erva-mate a este nutriente, o que permite considerar que este é o segundo elemento mais exportado pela colheita da erva-mate.

O teor de P e K no solo nos experimentos de adubação onde ocorreu o crescimento ou produtividade máxima de erva-mate, normalmente varia de nível médio a muito alto (Tabelas 13 e 14). Essa mesma tendência foi observada no levantamento de produtividade de ervais em diferentes regiões, realizado por Lourenço (1997), quando em dois ervais com alta produtividade (35,7 e 32,7 t ha⁻¹ ano⁻¹), em Nova Prata, RS, o teor de P no solo era, respectivamente, de 30,0 mg dm⁻³ e 7,0 mg dm⁻³ e para K de 184 e 129 mg dm⁻³ (Tabela 8). Esses dados permitem inferir que a cultura da erva-mate requer alta disponibilidade de P e K no solo para expressar seu potencial produtivo.

Tabela 14. Continuação.

Nº	Propriedades do solo utilizado										Dose de MET ¹					Teor no solo na dose de MET				Fonte
	pH	Argila	MO	V	Al ³⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	CTC _{pH7,0}	P	K	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	Calcário	P	K	Ca ²⁺	Mg ²⁺		
H ₂ O	-----%	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----		
08 ¹⁰										197										
09 ¹¹	3,7	76	5,1	7,6	4,8	0,9	0,3	17,7	1,5	54,9										
10 ¹²										320										
11 ¹³											219				4,1					
12 ¹⁴	3,9	77	5,3	8,6	4,5	1,0	0,4	17,3	1,3	56,8				5,8						
13 ¹⁵											320			5,4						
14 ¹⁶												203				95,6				
15 ¹⁷	3,7	76	5,1	7,6	4,8	0,9	0,3	17,7	1,5	54,9						94,7				
16 ¹⁸																71,4				
17 ¹⁹	3,7	76	5,1	7,6	4,8	0,9	0,3	17,7	1,5	54,9			6,4			1,7	1,2			
18 ²⁰	3,5	55	4,7	13,5	4,6	0,9	0,9	13,6	1,1	35,0			5,6			1,3	1,2			
19 ²¹	4,4	22	2,6	45,0	1,2	5,5	0,6	14,4	61,0	104,0			3,4			5,3	1,4			
Média	3,8	59	4,7	13,0	4,3	1,3	0,6	16,5	8,6	56,6	202	180	194	5,1	20,7	83,6	2,8	1,3		

¹Dose de máxima eficiência técnica para produtividade de erva-mate comercial verde; ²pH em CaCl₂; ³plântio com 1.842 plantas ha⁻¹, aos 18 anos de idade e produtividade de 15,0 t ha⁻¹ 1,5 ano⁻¹ na colheita do ano de 1995, talhão oito; ⁴plântio com 1.859 plantas ha⁻¹, com 6 anos de idade e produtividade de 17,7 t ha⁻¹ ano⁻¹ da colheita de 1998; ⁵plântio com 1.905 plantas ha⁻¹ e 9 anos de idade; ⁶, ⁷ e ⁸, respectivamente, produtividade anual de 24,8, 19,1 e 16,4 t ha⁻¹ da colheita do ano de 2000; ⁹plântio com 3.158 plantas ha⁻¹, aproximadamente 12 anos de idade e produtividade de 6,7 t ha⁻¹ 1,5 ano⁻¹; ¹⁰, ¹³ e ¹⁶, respectivamente, produtividade de 10,0, 10,4 e 13,3 t ha⁻¹ ano⁻¹; ¹¹, ¹⁴ e ¹⁷, respectivamente, produtividade de 14,3, 13,4 e 18,5 t ha⁻¹ 1,5 ano⁻¹; ¹², ¹⁵ e ¹⁸, respectivamente, produtividade de 25,9, 23,6 e 28,5 t ha⁻¹ 2 anos⁻¹; de ¹⁰ a ¹⁸, plântio com 7 anos de idade e 2.500 plantas ha⁻¹; ¹⁹plântio com 9 anos de idade, 2.500 plantas ha⁻¹ e produtividade de 25,4 t ha⁻¹ 1,5 ano⁻¹; ²⁰plântio com 18 anos de idade, 2.500 plantas ha⁻¹ e produtividade de 18,0 t ha⁻¹ 1,5 ano⁻¹; e ²¹plântio com 11 anos de idade, 2.500 plantas ha⁻¹ e produtividade de 229,3 t ha⁻¹ 1,5 ano⁻¹.

O uso de compostos orgânicos como fonte de nutrientes para a erva-mate pode ser boa alternativa para a melhoria da produtividade da cultura. Isso foi comprovado pela maior produtividade de erva-mate quando, juntamente com a adubação mineral, foi aplicado o palito resultante do beneficiamento da erva-mate (LOURENÇO et al., 1997). Resposta positiva da erva-mate também foi verificada por Pandolfo et al. (2003), com aumento linear da produtividade pela aplicação de doses de cama de aviário, que variaram de 0 a 4,5 kg planta⁻¹. Outros compostos, como o oriundo de resíduo de bagaço de uva, também apresentam bom potencial na substituição de fontes minerais para a cultura da erva-mate (SANTIN et al., 2013b). Considerando que o intervalo mínimo entre colheitas seja de 12 meses, compostos orgânicos de liberação lenta como fontes de nutrientes têm efeito prolongado, desejado para essa cultura.

A erva-mate é plantada em ampla gama de nível de fertilidade de solo (Tabelas 8, 13 e 14), densidade de plantas e intervalo de colheita, além de estarem em idades ou fases de desenvolvimento diferenciadas (Tabela 8), que associado aos inúmeros modelos de ervais, refletem em grande variação de produtividade. Com essas características, torna-se difícil definir níveis adequados de disponibilidade de nutrientes à cultura. Mas, de maneira geral, a resposta positiva da cultura ao N, P, K e ao calcário, demonstrada por alguns trabalhos (Tabelas 13 e 14), indica duas situações importantes para o setor produtivo ervateiro. A primeira dá uma noção da precária situação dos solos dos ervais em termos de fertilidade, ocasionada por um sistema de cultivo onde, na maioria das vezes, jamais receberam alguma reposição nutricional para compensar os exportados pelas colheitas. A segunda demonstra que, para obter altas produtividades, depende de solos com disponibilidade de P e K em nível alto a muito alto e de Ca²⁺ e Mg²⁺ em nível médio a alto.

5. Recomendação e manejo da adubação e calagem para a erva-mate

A prática de adubação complementa o que o solo disponibiliza às plantas, conforme características de material de origem e histórico de uso da área. Para que o manejo da adubação seja adequado, a definição das doses e das fontes de nutrientes, assim como as épocas e formas de aplicação de corretivos e adubo devem prever a máxima eficiência técnica e econômica em função da cultura (ANGHINONI; BAYER, 2004).

Apesar de distar alguns séculos da descoberta de seu consumo e ter sido marco político e econômico de vários municípios do Sul do Brasil (COSTA, 1995; DEITOS, 2007; LIMA, 2007), a evolução tecnológica na cultura da erva-mate tem mostrado avanços inexpressivos em termos de nutrição e adubação. Até o momento, os dados disponíveis quanto à demanda nutricional da planta ainda são insuficientes para uma recomendação de adubação condizente com a importância da cultura. Contudo, explorando os dados disponíveis é possível propor uma recomendação, que além de repor os nutrientes exportados pela colheita também eleve seus níveis quando estiverem baixo ou muito baixo no solo.

5.1. Recomendação de adubação e calagem

A Argentina foi o país pioneiro em plantios homogêneos de erva-mate. Na década de 1970, após vários ensaios em campo, recomendavam para colheitas anuais doses de 100, 25 e 25 kg ha⁻¹ ano⁻¹, respectivamente, de N, P₂O₅ e K₂O (PRAT KRICUN; BELINGHERI, 1995). Porém, em 1990, concluíram que o nível de fertilidade do solo e o estado nutricional das plantas são os principais componentes que determinam o rendimento e a sustentabilidade de ervais em médio e longo prazos.

Desta forma, passaram a considerar necessário ajustar a relação entre o rendimento dos plantios de erva-mate, com o nível nutricional do solo e da planta, para manter e incrementar a produtividade e a conservação dos recursos solo-planta (SOSA, 1994).

No Brasil, a recomendação de adubação existente para a cultura da erva-mate foi elaborada para os Estados do Rio Grande do Sul e Santa Catarina. A recomendação caracteriza-se em adubação de plantio, cobertura e de reposição. A adubação de reposição de N, P e K, além de basear-se, respectivamente, no teor de matéria orgânica (MO) e disponibilidade de P e K no solo, também considera uma expectativa de rendimento de massa verde por área, que varia de menos de 6 t ha⁻¹, até mais de 12 t ha⁻¹ de massa verde. A expectativa de rendimentos abaixo de 6 t ha⁻¹ é considerada para ervais de baixa tecnologia de manejo, baixa densidade de plantas e intervalo entre colheitas de 24 meses; a expectativa de colheita entre 6 a 12 t ha⁻¹ é para ervais com média tecnologia de manejo; a expectativa de rendimento maior de 12 t ha⁻¹ é para ervais com alta tecnologia de manejo e alta densidade de plantas (2.200 plantas ha⁻¹), com intervalos entre colheitas de 12 meses. Quanto à calagem, somente é recomendada 1 t ha⁻¹ de calcário quando o teor de Ca ou Mg for, respectivamente, menor ou igual a 2,0 e 0,5 cmol_c dm⁻³ (MANUAL..., 2004).

A atual recomendação de adubação de reposição para a cultura da erva-mate (MANUAL..., 2004) merece algumas considerações. Para solos com disponibilidade de P em nível muito baixo, a recomendação de 20 kg ha⁻¹ de P₂O₅ é questionável, quanto ao potencial de elevação do nível deste nutriente no solo com a dose recomendada, suficiente para melhorar a produtividade de ervais de baixa tecnologia. Para ervais de alta tecnologia, mesmo a máxima recomendação de N, P e K, respectivamente, de 90, 20 e 100 kg ha⁻¹ de N, P₂O₅ e K₂O, podem ser insuficientes para uma produtividade de 12 t ha⁻¹ de massa verde, considerando que o produtor deixe na área o resíduo da colheita (GG).

Ao se retirar o resíduo, a produtividade deve ser ainda menor que 12 t ha^{-1} de massa verde. Isso porque a colheita de 12 t ha^{-1} de massa verde de ECOM corresponde em média à saída de 105, 15 e 80 kg ha^{-1} , respectivamente, de N, P_2O_5 e K_2O . Assim, a atual recomendação não prevê e não permite que os ervais expressem seu potencial produtivo, como já relatado com produtividades acima de $35 \text{ t ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ (Tabela 8), pois, produtividades em torno de 30 t ha^{-1} de ECOM verde, exportam em média, aproximadamente, 260, 35 e 195 kg ha^{-1} , respectivamente, de N, P_2O_5 e K_2O , o que não estaria sendo suprido com a atual recomendação. Para ervais estabelecidos em solos com fertilidade elevada e que produzem acima de 12 t ha^{-1} de ECOM e com reposição de nutrientes menor do que a exportada, ao longo de várias colheitas, a tendência é que a produtividade seja reduzida, próxima ou inferior a 12 t ha^{-1} , favorecendo a exaustão dos nutrientes do solo.

A presente proposta da recomendação de adubação e calagem para a cultura da erva-mate prevê as fases de plantio, formação de copa e de produção, sendo:

- Adubação de plantio: adubação na cova e de cobertura pós-plantio até a primeira poda;
- Adubação de formação de copa: após a primeira até a terceira colheita, sendo dividida em **formação 1** (da primeira até a segunda colheita) e **formação 2** (da segunda até a terceira colheita);
- Adubação de produção: a partir da terceira colheita.

A recomendação de adubação e calagem, independente da fase da cultura, sempre terá como base o teor de MO e a disponibilidade de Ca, Mg, P e K no solo (Tabelas 15, 16 e 17). A adubação e calagem para a cultura da erva-mate é recomendada para todos os modelos de ervais, exceto nos ervais nativos preservados em sua estrutura natural junto à mata.

Tabela 15. Interpretação do teor de matéria orgânica, cálcio e magnésio no solo.

Interpretação	Matéria orgânica	Cálcio	Magnésio
	%	----- cmol _c dm ⁻³ -----	
Baixo	≤ 2,5	≤ 2,0	≤ 0,5
Médio	2,6 – 5,0	2,1 – 4,0	0,6 – 1,0
Alto	> 5,0	> 4,0	> 1,0

Fonte: CQFS-RS/SC (MANUAL..., 2004).

Tabela 16. Interpretação do teor de fósforo no solo extraído pelo método Mehlich-1, conforme o teor de argila.

Interpretação	Classes de solo conforme o teor de argila ^{1/}			
	1	2	3	4
	----- mg dm ⁻³ -----			
Muito baixo	≤ 2,0	≤ 3,0	≤ 4,0	≤ 7,0
Baixo	2,1 – 4,0	3,1 – 6,0	4,1 – 8,0	7,1 – 14,0
Médio	4,1 – 6,0	6,1 – 9,0	8,1 – 12,0	14,1 – 21,0
Alto	6,1 – 12,0	9,1 – 18,0	12,1 – 24,0	21,1 – 41,0
Muito alto	> 12,0	> 18,0	> 24,0	> 42,0

^{1/}Teor de argila: classe 1 = > 60%; classe 2 = 60% a 41%; classe 3 = 40 a 21%; classe 4 = ≤ 20%.
Fonte: CQFS-RS/SC (MANUAL..., 2004).

Tabela 17. Interpretação do teor de potássio, conforme as classes de CTC_{pH 7,0} do solo.

Interpretação	CTC _{pH 7,0} (cmol _c dm ⁻³)		
	> 15,0	5,1 – 15,0	≤ 5,0
	mg dm ⁻³		
Muito baixo	≤ 30	≤ 20	≤ 15
Baixo	31 – 60	21 – 40	16 – 30
Médio	61 – 90	41 – 60	31 – 45
Alto	91 – 180	61 – 120	46 – 90
Muito alto	> 180	> 120	> 90

Fonte: CQFS-RS/SC (MANUAL..., 2004).

5.1.1. Calagem para as fases de plantio, formação de copa e produção

A recomendação de calagem para as fases de plantio, formação de copa e produção (Tabela 18) será baseada na disponibilidade de Ca e Mg e na CTC_{pH 7,0} do solo.

Tabela 18. Recomendação de calcário para fase de plantio, formação de copa e produção.

CTC _{pH7,0} do solo	Calcário ¹		
	Plantio		Formação de copa e produção
	Na cova ²	Área total, incorporado ³	Área total, superficial ⁴
cmol _{dm} ^{-3c}	g planta ⁻¹	----- t ha ⁻¹ -----	
> 15,0	{[5,0-(Ca+Mg)]/2}xf	5,0-(Ca+Mg)	
5,0-15,0	{[4,5-(Ca+Mg)]/2}xf	4,5-(Ca+Mg)	
≤ 5,0	{[3,0-(Ca+Mg)]/2}xf	3,0-(Ca+Mg)	

¹Aplicar calcário calcítico somente quando o teor de Mg²⁺ no solo está em nível alto e o de Ca²⁺ baixo, nas demais condições aplicar calcário dolomítico. Quando o teor de Ca²⁺ no solo está em nível alto e o de Mg²⁺ baixo, aplicar somente 50% da dose com calcário dolomítico. ²O calcário deve ser incorporado de forma homogênea no volume de solo da cova. Na fórmula, o valor de Ca+Mg corresponde à disponibilidade dos mesmos no solo em cmol_{dm}⁻³. O fator "f" na fórmula corresponde ao volume de solo da cova. Uma cova com dimensões de 30 cm x 30 cm x 33 cm corresponde ao revolvimento de 30 dm³ de solo, sendo "f"= 30. ³Em área total na profundidade de 0-20 cm do solo. ⁴Aplicar sem incorporar, em qualquer época do ano.

Para a fase de plantio, a calagem pode ser realizada na cova ou em área total incorporada no solo até 20 cm de profundidade. Para as fases de formação de copa e de produção, o calcário deve ser aplicado superficialmente em área total sem incorporar.

A mesma dose de calcário recomendada, tanto para plantio (incorporada à camada de 0-20 cm de solo), quanto para a formação de copa e produção (aplicada superficialmente sem incorporar), está relacionada à provável demanda diferenciada da planta por Ca e Mg, em diferentes fases de crescimento da cultura. Para a fase de plantio,

os raros trabalhos mostram pequena resposta à calagem, diferente de plantios adultos, onde a resposta é maior. Contudo, considerando que os experimentos com calagem são incipientes, a calagem, nas diferentes fases da cultura, deve ser realizada com cautela, sem exageros, principalmente no plantio. Para melhor entendimento, vide tópico “Manejo da calagem”.

Em alguns casos específicos, como na região de Prudentópolis, PR, onde o teor natural de Mg^{2+} no solo é igual ou maior que o de Ca^{2+} , sugere-se aplicar doses diferenciadas de calcário **calcítico**, conforme $CTC_{pH\ 7,0}$ do solo, sendo: para $CTC_{pH\ 7,0}$ maior que $15\ cmol_c\ dm^{-3}$, aplicar 2,5 e $1,5\ t\ ha^{-1}$, respectivamente, para nível baixo e médio de Ca^{2+} ; para $CTC_{pH\ 7,0}$ entre 5,0 a $15,0\ cmol_c\ dm^{-3}$, aplicar 1,5 e $1,0\ t\ ha^{-1}$, respectivamente, para nível baixo e médio de Ca^{2+} ; e para $CTC_{pH\ 7,0}$ menor que $5,0\ cmol_c\ dm^{-3}$, aplicar 1,0 e $0,5\ t\ ha^{-1}$, respectivamente, para nível baixo e médio de Ca^{2+} .

5.1.2. Adubação de plantio e de formação de copa

A recomendação de N, P, K (Tabelas 19, 20 e 21) para plantio e formação de copa será baseada no nível do teor no solo, respectivamente, de MO, P e K. A adubação de plantio é realizada na cova no momento do plantio da muda (incorporada de forma homogênea no volume de solo da cova) e superficial pós-plantio. A adubação de formação de copa também deve ser realizada superficialmente. Como a quantidade de adubo para o plantio também é dependente do tamanho da cova, deve-se tomar cuidado para não aplicar fertilizantes em excesso. Para melhor entendimento, vide tópico “Manejo da adubação”.

Tabela 19. Recomendação de nitrogênio para fase de plantio e formação de copa.

Teor de matéria orgânica no solo	Nitrogênio			
	Plantio		Formação de copa ²	
	Cova ¹ com 30 dm ³	Pós-plantio ²	Formação 1	Formação 2
%	g planta ⁻¹ de N	----- g planta ⁻¹ ano ⁻¹ de N -----		
≤ 2,5	18	30	40	50
2,6-5,0	12	20	30	40
> 5,0	6	10	15	25

¹Quando a cova não apresentar dimensões de 30 cm x 30 cm x 33 cm e/ou que o volume da mesma seja diferente de 30 dm³, a quantidade de nitrogênio deve ser recalculada para o volume de solo real da cova. Para isso, considerar dose de 0,6, 0,4 e 0,2 g dm⁻³ de nitrogênio quando o teor de matéria orgânica no solo estiver, respectivamente, em nível baixo, médio e alto. ²A dose total anual de nitrogênio deve ser parcelada em duas vezes iguais, aplicadas, preferencialmente, em janeiro e setembro.

Tabela 20. Recomendação de fósforo para fase de plantio e formação de copa.

Interpretação do teor de P no solo	Fósforo			
	Plantio		Formação de copa ²	
	Cova ¹ com 30 dm ³	Pós-plantio ²	Formação 1	Formação 2
	g planta ⁻¹ de P ₂ O ₅	----- g planta ⁻¹ ano ⁻¹ de P ₂ O ₅ -----		
Muito baixo	24	40	55	65
Baixo	18	30	40	50
Médio	12	20	30	40
Alto	6	10	20	25
Muito alto	0	0	10	15

¹Quando a cova não apresentar dimensões de 30 cm x 30 cm x 33 cm e/ou que o volume da mesma seja diferente de 30 dm³, a quantidade de fósforo deve ser recalculada para o volume de solo real da cova. Para isso, considerar dose de 0,8, 0,6, 0,4, 0,2 e 0,0 g dm⁻³ de P₂O₅ quando o teor de fósforo no solo estiver, respectivamente, em nível muito baixo, baixo, médio, alto e muito alto. ²A dose total anual de fósforo pode ser aplicada em dose única ou parcelada em duas vezes iguais, preferencialmente em janeiro e setembro.

Tabela 21. Recomendação de potássio para fase de plantio e formação de copa.

Interpretação do teor de K no solo	Potássio			
	Plantio		Formação de copa ²	
	Cova ¹ com 30 dm ³	Pós-plantio ²	Formação 1	Formação 2
	g planta ⁻¹ de K ₂ O		g planta ⁻¹ ano ⁻¹ de K ₂ O	
Muito baixo	18	35	50	60
Baixo	12	25	40	45
Médio	6	15	30	35
Alto	3	10	20	25
Muito alto	0	0	10	15

¹Quando a cova não apresentar dimensões de 30 cm x 30 cm x 33 cm e/ou que o volume da mesma seja diferente de 30 dm³, a quantidade de potássio deve ser recalculada para o volume de solo real da cova. Para isso, considerar dose de 0,6, 0,4, 0,2, 0,1 e 0,0 g dm⁻³ de K₂O quando o teor de potássio no solo estiver, respectivamente, em nível muito baixo, baixo, médio, alto e muito alto. ²A dose total anual de potássio deve ser parcelada em duas vezes iguais, aplicadas, preferencialmente, em janeiro e setembro.

Para realizar a recomendação de adubação de plantio, é necessário dispor de laudo de análise de solo (química e física) e dimensões da cova (largura das bases 1 e 2 e profundidade). Quando o produtor pretende quantificar o total de adubo a ser adquirido, deve informar o espaçamento e o tamanho da área do plantio.

Para realizar a recomendação de adubação de formação de copa é necessário dispor de: laudo de análise de solo utilizado para o plantio ou atual (química e física); idade do plantio e quantas colheitas já foram realizadas (para identificar se é formação 1 ou formação 2); intervalo de tempo entre colheitas (para quantificar e parcelar os adubos). Caso o produtor deseje quantificar o total de adubo a ser adquirido, deve informar também o espaçamento e o tamanho da área do plantio.

5.1.3. Adubação de produção

A adubação de produção visa: elevar o teor de MO, P e K no solo quando em nível muito baixo, baixo ou médio; manter o teor quando este estiver em nível alto e/ou muito alto; e, quando o teor de P e/ou de K no solo estiver 1,5 vezes acima do nível muito alto, não recomendar adubação fosfatada e/ou potássica.

A dose total do fertilizante deve ser parcelada e aplicada durante o intervalo adotado para a colheita. Para calcular a quantidade de N, P_2O_5 e K_2O , além do nível do teor no solo, respectivamente de MO, P e K, também será considerada a quantidade desses nutrientes exportados pela colheita de ECOM e/ou do GG. Para isso, deve ser informado o peso de ECOM verde (em $kg\ ha^{-1}$) e se o resíduo da colheita (GG) permanece ou é retirado da área. Quando o GG da colheita permanecer espalhado na área ou enleirado junto às linhas de erva-mate é chamado **Manejo 1**, e, quando o GG é retirado total ou parcialmente (amontado em pontos isolados no erval) da área é chamado **Manejo 2**. Para o cálculo da adubação do **Manejo 2**, deverá ser informado se a colheita é realizada com intervalo de tempo de 18 ou 24 meses (Tabelas 22, 23 e 24). Adubações para **Manejo 1**, contemplam colheitas com intervalos de 12, 18 e 24 meses e para **Manejo 2**, com 18 e 24 meses.

Para facilitar a operação de cálculo da dose de N, P_2O_5 e K_2O foi embutido na fórmula um valor numérico que expressa a exportação do nutriente em questão. Quando os teores de MO, P e K no solo se situam abaixo do nível alto, a fórmula prevê um adicional além do N, P e K exportados pela colheita. Já quando os teores de P e K estiverem em níveis muito altos, a reposição desses nutrientes será menor que o exportado.

Porém, em alguns casos, mesmo que o cálculo preveja reposição de N, P e K maior que o exportado, a quantidade de nutriente adicionada pode ser insuficiente para alavancar a produção do erval. Isso ocorre quando o teor de MO, P e K no solo se encontrarem no menor nível

e o erval apresentar baixa produtividade. Por exemplo, produtividade de 5,0 t ha⁻¹ de ECOM e nível baixo de MO e muito baixo de P e K no solo, a quantidade de N, P₂O₅ e K₂O pela recomendação proposta para *Manejo 1* seria em torno de 60, 31 e 80 kg ha⁻¹, respectivamente. Essas doses aplicadas no intervalo de colheita de 12, 18 ou 24 meses, possivelmente, serão insuficientes para que o solo disponibilize de forma adequada esses nutrientes para um aumento da produtividade. Para contornar essa situação, toda vez que o teor de MO estiver em nível baixo, a dose mínima recomendada será de 120, 180 e 230 kg ha⁻¹ de N, respectivamente, para ervais com colheita com intervalo de 12, 18 e 24 meses. Quando a disponibilidade de P e/ou K no solo estiver em nível muito baixo, a dose mínima recomendada deverá ser de 120, 180 e 230 kg ha⁻¹ de P₂O₅ e/ou K₂O, respectivamente, para ervais com colheita em intervalo de 12, 18 e 24 meses. Quanto ao parcelamento da dose da adubação, vide tópico “Manejo da adubação”.

Tabela 22. Recomendação de nitrogênio para a cultura da erva-mate em fase de produção, conforme manejo¹ do resíduo da colheita e intervalo de tempo entre colheitas.

Teor de matéria orgânica no solo	Correção e reposição de nitrogênio, fase produção ²		
	Manejo 1	Manejo 2 - 18 meses	Manejo 2 - 24 meses
	----- kg ha ⁻¹ de N -----		
Baixo ³	PECVx0,0121	PECVx0,0133	PECVx0,0137
Médio	PECVx0,0107	PECVx0,0118	PECVx0,0122
Alto	PECVx0,00938	PECVx0,0103	PECVx0,0107

PECV= peso de erva-mate comercial verde, em kg ha⁻¹. ¹Manejo 1 = retirada da área de colheita somente da erva-mate comercial (folha + galho fino), para colheitas com intervalos de 12, 18 e 24 meses e Manejo 2 = retirada da área de colheita da erva-mate comercial e todo ou parte do galho grosso, para colheitas com intervalos de 18 e 24 meses. No cálculo da adubação para o Manejo 2, considerar se a colheita é realizada com intervalo de 18 ou 24 meses. ²Parcelar a dose total de nitrogênio conforme intervalo de tempo entre cada colheita, com aplicação da adubação, preferencialmente, em janeiro e setembro. ³Quando o teor de matéria orgânica no solo estiver em nível baixo, a dose mínima recomendada é de 120, 180 e 230 kg ha⁻¹ de N, respectivamente, para ervais com intervalo de colheita de 12, 18 e 24 meses.

Tabela 23. Recomendação de fósforo para a cultura da erva-mate em fase de produção, conforme manejo¹ do resíduo da colheita e intervalo de tempo entre colheitas.

Interpretação do teor de P no solo	Reposição de fósforo, fase produção ²		
	Manejo 1	Manejo 2 - 18 meses	Manejo 2 - 24 meses
	----- kg ha ⁻¹ de P ₂ O ₅ -----		
Muito baixo ³	PECVx0,00613	PECVx0,00705	PECVx0,00736
Baixo	PECVx0,00491	PECVx0,00564	PECVx0,00589
Médio	PECVx0,00245	PECVx0,00282	PECVx0,00294
Alto	PECVx0,00123	PECVx0,00141	PECVx0,00147
Muito alto ⁴	PECVx0,000613	PECVx0,000705	PECVx0,000736

PECV= peso de erva-mate comercial verde, em kg ha⁻¹. ¹Manejo 1= retirada da área de colheita somente da erva-mate comercial (folha + galho fino), para colheitas com intervalos de 12, 18 e 24 meses. Manejo 2 = retirada da área de colheita da erva-mate comercial e todo ou parte do galho grosso, para colheitas com intervalos de 18 e 24 meses. No cálculo da adubação para o Manejo 2, considerar se a colheita é realizada com intervalo de 18 ou 24 meses. ²Parcelar a dose total de fósforo, conforme intervalo de tempo entre cada colheita, com aplicação da adubação, preferencialmente, em janeiro e setembro. ³Quando o teor de fósforo no solo estiver em nível muito baixo, a dose mínima recomendada é de 120, 180 e 230 kg ha⁻¹ de P₂O₅, respectivamente, para ervais com intervalo de colheita de 12, 18 e 24 meses. ⁴Quando o teor de P no solo estiver 1,5 vezes acima do nível muito alto, não é recomendada a adubação fosfatada.

Tabela 24. Recomendação de potássio para a cultura da erva-mate em fase de produção, conforme manejo¹ do resíduo da colheita e intervalo de tempo entre colheitas.

Interpretação do teor de K no solo	Correção e reposição de potássio, fase produção ²		
	Manejo 1	Manejo 2 - 18 meses	Manejo 2 - 24 meses
	----- kg ha ⁻¹ de K ₂ O -----		
Muito baixo ³	PECVx0,0161	PECVx0,0198	PECVx0,0209
Baixo	PECVx0,0129	PECVx0,0158	PECVx0,0166
Médio	PECVx0,00964	PECVx0,0119	PECVx0,0124
Alto	PECVx0,00643	PECVx0,00791	PECVx0,00829
Muito alto ⁴	PECVx0,00321	PECVx0,00395	PECVx0,00415

PECV= peso de erva-mate comercial verde, em kg ha⁻¹; ¹Manejo 1 = retirada da área de colheita somente da erva-mate comercial (folha + galho fino), para colheitas com intervalos de 12, 18 e 24 meses. Manejo 2 = retirada da área de colheita da erva-mate comercial e todo ou parte do galho grosso, para colheitas com intervalos de 18 e 24 meses. No cálculo da adubação para o Manejo 2, considerar se a colheita é realizada com intervalo de 18 ou 24 meses. ²Parcelar a dose total de potássio conforme intervalo de tempo entre cada colheita, com aplicação da adubação, preferencialmente, em janeiro e setembro. ³Quando o teor de K no solo estiver em nível muito baixo, a dose mínima recomendada é de 120, 180 e 230 kg ha⁻¹ de K₂O, respectivamente, para ervais com intervalo de colheita de 12, 18 e 24 meses. ⁴Quando o teor de potássio no solo estiver 1,5 vezes acima do nível muito alto, não é recomendada a adubação potássica.

A adubação nitrogenada leva em consideração o teor de matéria orgânica (MO) do solo, visto que mais de 95% de todo o nitrogênio total do solo encontra-se na mesma. Contudo, dentre vários fatores, a disponibilidade do N depende da atividade dos microrganismos do solo, que pode variar em função das condições climáticas (temperatura e umidade), manejo do solo e estabilização da MO do solo. Assim, é importante o acompanhamento do crescimento da cultura como fator adicional à análise química do solo. Pequeno crescimento dos ramos e coloração amarelada das folhas é indicativo de carência de N. Por outro lado, crescimento excessivo de brotos, pode ser indicativo de uso excessivo da adubação nitrogenada.

Para realizar a recomendação de adubação de produção é necessário dispor de: laudo de análise de solo (química e física); produtividade de ECOM verde em kg ha⁻¹; intervalo de tempo entre colheitas (para o parcelamento da dose dos adubos); tipo de manejo adotado na colheita, sendo *Manejo 1* (permanência na área do GG) ou *Manejo 2* (saída total ou parcial do GG da área). Caso o produtor pretenda quantificar o total de adubo a ser adquirido, deve informar o tamanho da área do erval.

Para colheitas com intervalo de 12 meses, a quantidade de GG que sobra da colheita é muito pequena, não sendo recomendado retirá-los da área. Desta forma, quanto ao manejo do resíduo da colheita, para colheitas realizadas a cada 12 meses, a recomendação de adubação deve ser realizada apenas considerando a exportação de nutrientes pelo componente ECOM (*Manejo 1*).

Em solos com disponibilidade de P e K em nível muito baixo e/ou baixo, recomenda-se realizar nova análise de solo antes de iniciar a adubação da próxima colheita. Em solos com disponibilidade de P e K em nível médio, alto ou muito alto, recomenda-se realizar nova análise a cada duas ou três colheitas de erva-mate.

5.2. Dinâmica de nutrientes no solo

O entendimento da dinâmica de cada nutriente no solo auxilia no manejo das diferentes fontes utilizadas na adubação. Como o N, P e K apresentam comportamento diferenciado no solo, também é possível adotar diferentes parcelamentos para cada fertilizante. Isso porque as perdas por lixiviação (CERETTA et al., 2002) e a mobilidade dos nutrientes no perfil podem afetar a disponibilidade destes aos vegetais (KLEPKER; ANGHINONI, 1996). A mobilidade vertical dos nutrientes no solo é afetada por fatores físicos (BUSTOS et al., 1996) e químicos, sendo determinada, principalmente, pela concentração de nutrientes na solução do solo e pela quantidade de água que percola no perfil (ERNANI et al., 2007). Dentre as principais formas em que o N, P e K são absorvidos pelas plantas, o processo de lixiviação é facilitado para nitrato (NO_3^-) e amônio (NH_4^+), moderado para K (K^+) e dificultado para o P (H_2PO_4^-) (DONAGEMMA et al., 2008).

O processo de perdas por lixiviação passa a ser importante quando os elementos químicos ficam em concentrações elevadas na solução do solo, podendo mover-se juntamente com a água para camadas mais profundas (MOTTA; SERRAT, 2006). Em virtude da multiplicidade de reações químicas e biológicas a que o N está sujeito, esse nutriente é o que apresenta a recomendação de manejo de adubação mais complexa (CANTARELLA; DUARTE, 2004). Uma das estratégias para minimizar as perdas de N por lixiviação é aumentar o parcelamento da adubação nitrogenada durante o ciclo da cultura. A elevada acidez do solo nos ervais é fator que certamente pode contribuir para uma menor perda, uma vez que a aplicação de N na forma de amônio dificilmente chega a nitrato e que a condição de baixo pH privilegia a formação de carga positiva. Por outro lado, solos com alta acidez apresentam grande parte dos sítios de troca catiônica das argilas ocupados por Al^{3+} , favorecendo a mobilidade no perfil, principalmente de K^+ .

Nutrientes com baixa mobilidade, como o P, normalmente são lixiviados em quantidades insignificantes (NOVAIS et al., 2007). A alta afinidade do P com as argilas, principalmente nos solos mais intemperizados, faz com que grande parte deste permaneça retido fortemente na fase sólida (SANTOS et al., 2008). Para a erva-mate estabelecida em solo muito argiloso, mesmo com dose anual de 320 kg ha⁻¹ de P₂O₅, aplicada na forma de superfosfato triplo parcelada em duas vezes, o aumento da disponibilidade do P no solo foi quase que restrito à camada de 0-10 cm (SANTIN, 2013). Ou seja, mesmo com dose elevada de P, não ocorreu movimentação do P para camadas mais profundas do solo. Neste caso, principalmente em solos argilosos e muito argilosos, deve-se evitar aplicar a adubação fosfatada em excessivos parcelamentos e incorporada ao solo em área total, priorizando manejos que concentrem o P como adubação somente na área da projeção da copa da planta, ou em área total, sem incorporar. Contudo, estudos indicam que, em solos que foram adubados por vários anos, o P que não é exportado pelas colheitas permanece no solo em formas potencialmente disponíveis, uma vez que as perdas por erosão são pequenas e os sítios de adsorção de fosfatos com maior energia já estão saturados (RHEINHEIMER et al., 2000). Assim, é provável que para culturas perenes, parte do P aplicado que é adsorvido à argila, em longo prazo, possa estar disponível à planta.

O K apresenta mobilidade no solo intermediária à do N e do P (ERNANI et al., 2007). A disponibilidade de K, assim como a capacidade de suprimento deste nutriente pelo solo, depende da presença de minerais primários e secundários, da aplicação de fertilizantes e da CTC do solo, além da ciclagem do nutriente pelas plantas (WERLE et al., 2008). A maioria dos solos, em maior ou menor grau, apresenta K em formas não-trocáveis, mas que podem suprir as plantas de modo indireto ou repor o K trocável e, até mesmo, podem ser absorvidas por algumas espécies (MEURER; ANGHINONI, 1993), como é o caso do eucalipto (MELO et al., 1995). Alguns trabalhos mostram que o

movimento de K no perfil do solo está relacionado com o teor inicial resultante da adubação potássica anterior (WERLE et al., 2008) e com a dose e a forma de aplicação da adubação. Na adubação potássica em ervais, utilizando como fonte cloreto de potássio, Santin (2013) observou que na aplicação de 40 kg ha^{-1} de K_2O , mesmo parcelada em duas, três e quatro vezes, o K aplicado atingiu a camada de 20-40 cm de profundidade. O autor ressalta que, apesar do solo ser muito argiloso (76% de argila) e com alta CTC_{pH7,0} ($17,7 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$), a alta acidez potencial ($16,3 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$), possivelmente, contribuiu para a baixa adsorção de K pelas cargas negativas do solo, favorecendo sua movimentação em profundidade. Assim, sugeriu que a adubação potássica seja parcelada em mais vezes para minimizar perdas em profundidade. Contudo, ainda não foram realizados estudos quanto ao número e época de aplicação das parcelas de adubação para essa cultura.

Como o N, P e o K apresentam comportamento diferenciados no solo, para reduzir perdas com a adubação nitrogenada e potássica pode ser necessário um maior parcelamento da dose total para cada intervalo entre colheitas. Outra forma de reduzir a mobilidade no perfil, principalmente de K, seria neutralizar, por meio da calagem, parte do Al e H trocáveis que estariam ocupando grande parte da CTC do solo, permanecendo, assim, mais cargas negativas nas argilas para reter o K. Mas, como até o momento os resultados indicam a aplicação de pequenas doses de calcário na erva-mate, deve-se ter cautela com esta prática. Outros estudos com aplicação de calcário em conjunto com o gesso poderão contribuir para minimizar a grande ocupação da CTC do solo por H e Al.

5.3. Fontes de nutrientes

Mesmo havendo no mercado inúmeras possibilidades de formulados à base de N-P-K, raramente em uma mesma propriedade os talhões se equivalem em produtividade e nível de nutrientes no solo. Desta forma, o mais coerente e indicado é adquirir fontes individuais de cada nutriente e montar a composição do fertilizante necessário para cada talhão, conforme recomendação da adubação. Quanto à decisão de qual fonte adquirir para cada nutriente, sugere-se optar pela mais barata, pois, atualmente, ainda não há dados conclusivos referente a esse assunto para a cultura da erva-mate.

As fontes comumente utilizadas de N, P e K são, respectivamente, ureia, superfosfato triplo e cloreto de potássio. Quanto ao N, como normalmente plantas adaptadas a solos ácidos utilizam N preferencialmente em forma amoniacal (NH_4^+) (ROSA et al., 2011), como verificado para mudas de erva-mate (GAIAD et al., 2006; ROSA et al., 2011), sempre que possível, deve-se aplicar fontes de N que contenham amônio (NH_4^+) e nitrato (NO_3^-).

No mercado, as principais fontes de N são: ureia (44% a 46% de N), sulfato de amônio (20% de N); nitrato de amônio (32% a 34% de N); e nitrato de cálcio (14% a 16 % de N). Devido à baixa eficiência dos adubos nitrogenados, seja por lixiviação e/ou volatilização, empresas de fertilizantes têm investido em inibidores da nitrificação e/ou da urease e no revestimento de grânulos. Assim, é possível encontrar no mercado fontes de N com liberação controlada, que, teoricamente, reduzem a perda de N. Os principais adubos nitrogenados com essas características são ureia super N (44% a 46% de N), nitromagTM (em média 27% de N) e sulfammo[®] (várias opções, desde 7% até 29% de N).

Para adubação fosfatada, as principais fontes são: superfosfato triplo (41% a 46% de P_2O_5), superfosfato simples (18% de P_2O_5), fosfato monoamônio (MAP) (48% de P_2O_5), fosfato diamônio (DAP) (45% de P_2O_5), dentre outros. No caso da erva-mate, que normalmente ocorre

em solos com pH ácido e é colhida entre 12 e 24 meses, a utilização de fosfatos naturais pode ser interessante. Isso porque os fosfatos naturais apresentam menor solubilidade, quando comparada ao dos fosfatos acidulados (superfosfato triplo, superfosfato simples, MAP e DAP) (MANUAL..., 2004), mantendo efeito mais prolongado na liberação do nutriente ao solo.

Já para fontes de K, as opções são mais restritas. A fonte mais comum é o cloreto de potássio (58% a 60% de K_2O). Outras fontes, como sulfato de potássio (48% de K_2O) e nitrato de potássio (44% de K_2O), são mais raras no mercado.

A adubação orgânica pode ser utilizada em plantios de erva-mate, desde que se conheçam os teores de nutrientes no composto utilizado. Essas informações podem ser obtidas em publicações referentes a recomendações de adubação, como CQFS-RS/SC (MANUAL..., 2004) e Pauletti (2004). Normalmente os materiais orgânicos utilizados possuem proporções desequilibradas de nutrientes, necessitando de reposição com adubo mineral. Para a erva-mate, essa medida deve ser adotada toda vez que a dose do composto para atender a recomendação de N, P e K for diferente. Nestes casos, deve-se aplicar a menor dose recomendada do composto que satisfaça a recomendação de um dos três nutrientes. Assim, a quantidade dos outros dois nutrientes que a dose do composto não conseguir suprir, deve ser compensada com fontes minerais.

Contudo, quando se utiliza compostos orgânicos como fonte de nutrientes, alguns cuidados devem ser tomados. No momento da aplicação do composto, o mesmo deve estar estabilizado, uma vez que a compostagem ou outros resíduos estabilizados diminuem a incidência de patógenos.

Aqui, os relatos foram referentes a fontes de nutrientes minerais e orgânicas sólidas com aplicação no solo. Fontes de nutrientes em forma líquida, em que normalmente são aplicadas via foliar, também

são facilmente encontradas no mercado. Contudo, até o momento não há registros de trabalhos realizados com aplicação foliar de nutrientes para a erva-mate, o que atualmente não permite recomendar esse tipo de adubação para esta cultura. Isso não significa que no futuro, com resultados de trabalhos científicos, não seja possível elaborar recomendação de adubação foliar para a erva-mate.

É bom salientar que uma adubação ideal que reflita em boa produtividade depende de várias informações e fatores. Informações que iniciam com um laudo de solo que realmente represente as propriedades químicas e físicas da área, o que está atrelado principalmente à coleta adequada da amostra do solo. A produtividade e tipo de manejo adotado no erval também são de extrema importância, pois participam diretamente no cálculo da quantidade de nutrientes a serem aplicados. E, por fim, o manejo da adubação e os tratos culturais adotados na condução do erval completarão as ações, que, juntamente com fatores climáticos, farão com que a erva-mate expresse o potencial produtivo esperado pelo produtor.

5.4. Manejo da adubação e calagem

O manejo da adubação consiste em um conjunto de práticas ou ações planejadas de forma organizada, sempre com finalidade de dispor econômica e eficientemente a recomendação de fertilizantes às culturas. Na cultura da erva-mate, o objetivo é manejar a adubação que propicie uma produtividade máxima de folhas com excelente qualidade. Para isso, é importante ter noções básicas das formas e dinâmica que cada nutriente possui no solo, auxiliando no entendimento do manejo de cada fonte de nutriente utilizado.

5.4.1. Manejo da calagem

O manejo da calagem e adubação na cultura da erva-mate se inicia no estabelecimento da muda em campo, com a incorporação do calcário e dos fertilizantes. Conforme item “Calagem para as fases de plantio,

formação de copa e produção”, o calcário pode ser aplicado na cova, em área total incorporado e em área total superficial.

Para o plantio, quando realizado em áreas mecanizadas, deve-se dar preferência à aplicação de calcário em área total, com incorporação na profundidade de 0 a 20 cm de solo. Para isto, o ideal é, após a aplicação do calcário, subsolar e gradear o solo na profundidade de 0 a 20 cm. Quando é utilizado este tipo de preparo, logo após a incorporação do calcário, recomenda-se a semeadura de alguma espécie de cobertura verde para proteção do solo.

Em áreas que não são mecanizadas, a aplicação do calcário para o plantio pode ser realizada na cova. O calcário não deve ser aplicado concentrado somente no fundo, no meio ou na superfície da cova, mas sim, deve ser homogeneizado com o volume de solo removido da cova.

Para modelos de ervais onde já existem plantas de erva-mate ou de outras espécies no local e deseja-se adensar a área com erva-mate, sugere-se aplicar o calcário superficialmente, sem incorporar, para posterior plantio das mudas de erva-mate. Considerando que nesta situação o erval se encontra em fase de plantio, e que, no local, já existem plantas nativas de erva-mate esparsas, sugere-se que se aplique superficialmente em área total, sem incorporar, 70% da dose recomendada para essa fase.

Em ervais já estabelecidos, o calcário pode ser aplicado em qualquer época do ano. A reaplicação do calcário dependerá da disponibilidade do Ca^{2+} e Mg^{2+} no solo, mediante laudo de análise. A aplicação de calcário, para qualquer fase de crescimento da erva-mate, deve ser realizada com cautela. O principal objetivo da calagem para essa cultura deve ser de disponibilizar Ca e Mg às plantas e jamais de neutralizar o Al^{3+} , como em culturas agrícolas, conforme já mencionado anteriormente.

Como a resposta da erva-mate à calagem é diferenciada para diferentes solos (SANTIN, 2013), o teor máximo de Ca^{2+} no solo exigido pela cultura também difere em função do solo. Para isso, considerando ervais estabelecidos com mudas (propagação sexuada ou assexuada) de matrizes de locais com características naturais diferenciadas quanto à disponibilidade de Ca^{2+} e de Al^{3+} , sugere-se duas situações para a aplicação de calcário:

- 1) Em solos com alta disponibilidade natural de Al^{3+} e baixa de Ca^{2+} , recomenda-se evitar disponibilizar, na camada de 0-20 cm de solo, teor de Ca^{2+} acima de $4,5 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$;
- 2) Em solos com baixa disponibilidade natural de Al^{3+} e alta de Ca^{2+} , recomenda-se evitar disponibilizar, na camada de 0-20 cm de solo, teor de Ca^{2+} acima de $6,5 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$.

5.4.2. Manejo da adubação

O local de aplicação da adubação varia em função da fase de crescimento da planta, da mesma forma que a época de adubação varia em função da atividade fisiológica da planta.

Adubações em excesso ou concentradas próximas ao sistema radicular podem inibir ou causar crescimento desproporcional da parte aérea em relação ao do sistema radicular. Como o cálculo da adubação para a fase de plantio é realizado visando disponibilizar os nutrientes para um ótimo crescimento da planta, quando os fertilizantes são incorporados em volumes de solo menores do que o informado para o cálculo e/ou concentrados próximos às raízes, poderá ocorrer efeito tóxico, comprometendo o crescimento e podendo ocasionar a morte das mudas após o plantio. Nos casos em que o excesso de adubo não é tão drástico, o crescimento exagerado da parte aérea também pode causar morte de mudas, mesmo três ou quatro meses após o plantio, caso ocorram períodos de estiagem. Isso porque, normalmente, plantas cultivadas com baixa disponibilidade de nutrientes tendem a investir mais energia na produção de raízes, para aumentar a área de

absorção. Em condições de abundância de nutrientes, o crescimento radicular tende a diminuir, pois um pequeno volume de raízes é suficiente para suprir a planta nutricionalmente. Isso foi verificado em mudas de erva-mate com redução acentuada do comprimento e do volume de raízes, quando aplicadas doses de P além da demanda da planta pelo nutriente (SANTIN et al., 2013a). Nessas condições em campo, caso ocorram eventos de estiagem, um sistema radicular com pequeno volume e comprimento seria incapaz de absorver água na mesma proporção em que ocorre a transpiração, devido à grande área foliar, necessária para manter a planta viva. Assim, um bom percentual de plantas vivas (maior que 90%) no estabelecimento de ervais, normalmente está mais relacionado a práticas adequadas de plantio do que a eventos climáticos e má qualidade da muda. Neste sentido, quando, por algum motivo, o volume de solo revolvido na abertura da cova for menor que o informado para o cálculo da adubação, é mais prudente realizar o plantio sem adubação. Neste caso, a adubação seria a primeira parcela da dose recomendada para pós-plantio em cobertura. Da mesma forma, quando o plantio ocorre entre os meses de maio a agosto, recomenda-se incorporar na cova somente o calcário e, para o N, P e K, aplicar em agosto 50% da dose recomendada para pós-plantio em cobertura. A adubação de N, P e K incorporada na cova somente é recomendada quando o plantio das mudas ocorre no período de setembro a abril.

Recomenda-se que a aplicação da primeira parcela da adubação de cobertura pós-plantio ocorra aproximadamente seis meses após o plantio. O indicado é aplicar a dose recomendada parcelada em duas aplicações, preferencialmente, em janeiro e em setembro. Os fertilizantes devem ser aplicados em torno da planta em forma de círculo com, no mínimo, 25 cm de distância do pé da planta, em uma faixa entre 15 cm a 35 cm de largura.

A dose anual de fertilizantes para a fase de *formação de copa 1 e 2* também deve ser parcelada em duas vezes, com aplicação nos meses

de janeiro e setembro. Recomenda-se aplicar os fertilizantes em forma de círculo na área de projeção da copa, ao menos 40 cm distante do pé da planta. Para ervais com mais de 1.800 plantas ha⁻¹, a adubação na fase de *formação de copa 2* pode ser realizada na área total do plantio.

Para a adubação fosfatada, tanto para a adubação *pós-plantio* como para *formação de copa 1 e 2*, ao invés de parcelar a dose anual em duas vezes, sugere-se realizar em única aplicação. A aplicação da adubação fosfatada para ervais nesta fase, recomenda-se realizar após a colheita, preferencialmente no mês de janeiro ou setembro.

O manejo da adubação de ervais em *fase de produção* deve, sempre que possível, priorizar aplicações que antecedam ou que ocorram próximas a época do início da brotação. Isso disponibilizará os nutrientes na fase de maior atividade fisiológica e, conseqüentemente, de maior crescimento da planta. Na erva-mate ocorrem duas fases de crescimento durante o ano, sendo a primeira, primaveril, mais intensa que a segunda, de outono (RAKOCEVIC; MARTIM, 2011). Na primavera, o maior pico de crescimento da área foliar ocorre entre os meses de outubro e novembro. Na fase do outono, o pico ocorre em março. O início do crescimento das fases de crescimento primaveril e outonal ocorre no início de setembro e início de janeiro, respectivamente, podendo haver pequenas mudanças no período de cada fase, em função do modelo do erval e das condições climáticas de cada ano.

Para a adubação de ervais em *fase de produção*, a recomendação é calculada para o intervalo entre colheitas e de acordo com o tipo de manejo dos resíduos da colheita da erva-mate. Assim, o parcelamento da dose total da adubação depende diretamente do intervalo de tempo adotado para a colheita. Em geral, recomenda-se parcelar a dose total de N e K₂O em duas, três e quatro vezes iguais, respectivamente, para colheitas com intervalos de 12, 18 e 24 meses. A dose total de P₂O₅ pode ser parcelada igualmente a de N e K₂O, ou aplicada em uma única vez, para colheitas com intervalo de 12 meses e parcelada

em duas vezes para colheitas com intervalos de 18 e 24 meses. No entanto, dependendo da época que está programada a próxima colheita, a dose total da adubação nitrogenada e potássica pode ser parcelada em três, quatro e cinco vezes iguais, respectivamente, para colheitas com intervalos de 12, 18 e 24 meses. Isso é recomendado para as colheitas previstas para o período de julho a setembro (Tabela 25). Nesta condição, principalmente para ervais com média e alta produtividade, a última parcela da adubação nitrogenada e potássica aplicada em janeiro e fevereiro pode ficar muito distante da época da colheita, e comprometer nutricionalmente a planta. Assim, ervais que entram no inverno em fase de colheita, mas que foram adubados somente em janeiro e fevereiro, a tendência é que em julho, agosto e setembro se intensifique a queda de folhas. Neste caso, a queda das folhas que fisiologicamente ainda estariam ativas na planta, pode estar relacionada ao déficit nutricional que impede a planta de manter toda a biomassa de folhas na copa, que, no intuito de manter bem nutridas as partes mais jovens, transloca alguns nutrientes de folhas mais velhas e essas conseqüentemente caem. Para esses casos a última parcela da adubação pode ser realizada em março e abril, mas sem ultrapassar o final da primeira quinzena de abril.

Para a adubação fosfatada para fase de produção, a dose total pode ser parcelada igualmente a da nitrogenada e potássica. No entanto, como o P apresenta baixa mobilidade no perfil do solo, o mais recomendado é aplicar a dose total da adubação fosfatada em uma única vez para colheitas com intervalo de 12 meses e, parcelada em duas vezes, para colheitas com intervalo de 18 e 24 meses (Tabela 25). Em colheitas com 12 meses, a aplicação em dose única deve ocorrer logo após a colheita (janeiro a fevereiro ou setembro). Em colheitas com 18 e 24 meses, quando a dose total de P_2O_5 for parcelada em duas vezes, recomenda-se aplicar a primeira parcela logo após a colheita (janeiro a fevereiro ou setembro), e a segunda, um ano após a primeira aplicação.

Tabela 25. Parcelamento da dose total e época de aplicação da adubação nitrogenada, fosfatada e potássica para a cultura da erva-mate em fase de produção colhida em diferentes intervalos de colheita.

Colheita realizada	Intervalo de colheita	Previsão de colheita	Parcelamento da dose total e época de aplicação				
			Época	1°	2°	3°	4°
Adubação nitrogenada e potássica							
Mai a Set	12	Mai a Jun	Set	Jan a Feb	----	----	----
		Jul a Set	Set	Jan	Mar a Abr	----	----
Dez a Fev		Dez a Fev	Jan a Fev	Set	----	----	----
Mai a Set	18	Dez a Fev	Set	Jan a Fev	Set	----	----
		Mai a Jun	Jan a Fev	Set	Jan a Fev	----	----
Dez a Fev		Jul a Set	Jan a Fev	Set	Jan	Mar a Abr	----
Mai a Set	24	Mai a Jun	Set	Jan a Fev	Set	Jan a Fev	----
		Jul a Set	Set	Jan a Fev	Set	Jan	Mar a Abr
Dez a Mar		Dez a Fev	Jan a Set	Set	Jan a Set	Set	----
Adubação fosfatada							
Mai a Set	12	Mai a Set	----	----	----	----	----
Dez a Fev		Jan a Fev	----	----	----	----	----
Mai a Set	18	Dez a Fev	Set	----	----	----	----
Dez a Fev		Mai a Set	Jan a Fev	----	----	----	----
Mai a Set	24	Mai a Set	Set	----	----	----	----
Dez a Fev		Dez a Fev	Jan a Fev	----	----	----	----

Na fase de produção, recomenda-se que os fertilizantes sejam aplicados em área total superficialmente, respeitando o mínimo de 40 cm de distância do pé da planta. A última parcela deve ser aplicada no máximo três meses antes da colheita, evitando assim que no momento da colheita a erva-mate esteja com excesso de brotações jovens, indesejáveis para o processo de sapeco e secagem da erva-

mate na indústria. Em casos de colheita na safrinha (dezembro a fevereiro), a primeira parcela da adubação após a colheita deve ocorrer, no máximo, até a primeira quinzena de março. Isso porque adubações realizadas no final de março e no mês de abril favorecerão que a planta entre no período de inverno com brotações novas muito vigorosas, passíveis de sofrer danos irreparáveis, e até morte de plantas por eventos de geada.

As épocas menos aconselhadas para colheita de erva-mate é de março a abril e outubro a novembro. No entanto, caso ocorram colheitas de março a abril, não é recomendada a adubação em seguida, sendo a primeira aplicação recomendada somente em setembro. Colheitas nessa época, seguida pela adubação de março a abril, levará a planta a entrar no inverno em pleno vigor vegetativo de brotações jovens, situação na qual as geadas fortes do final de maio e início de junho poderão ocasionar grandes danos à planta e comprometer as futuras colheitas e até mesmo o erval.

Para possíveis colheitas em outubro a novembro, época em que as plantas estão em sua máxima atividade fisiológica, recomenda-se aplicar 50% da dose que seria aplicada na parcela da adubação de setembro ou de janeiro a fevereiro. A partir de janeiro, aplicar a dose integral do parcelamento. Mesmo desaconselhadas, colheitas nas épocas de março a abril e outubro a novembro, caso sejam realizadas, o manejo de colheita deve prever a permanência na copa de no mínimo 30% da massa de folhas.

Caso seja adotado o coroamento com capina, visando incorporar os adubos, deve-se efetuar-lo somente na área em que serão aplicados os fertilizantes, pois a erva-mate normalmente apresenta grande volume de raízes finas muito superficiais, as quais não devem ser cortadas. O coroamento com capinas que revolva solo próximo ao pé da planta é recomendado, no máximo, até 18 meses após o plantio das mudas em campo. Após esse período, o impacto do efeito mecânico da capina nas raízes superficiais poderá comprometer o bom crescimento da planta.

Capinas mecânicas entre as linhas de erva-mate, após a fase de *formação de copa 2*, devem ser evitadas. Para capinas mecânicas entre linhas de erva-mate, quando realizadas (não recomendadas para ervais com mais de cinco anos de idade), deve-se respeitar uma faixa mínima de 80 cm de distância da planta sem revolver o solo.

O produtor deve evitar excesso de zelo na limpeza do erval, pois em solos sem cobertura podem ocorrer perdas excessivas de solo e nutrientes por enxurrada. Em ambientes com presença de cobertura verde, seja por espécies semeadas (em ervais menos sombreadas) ou espontâneas, é possível que insetos controlem naturalmente pragas da erva-mate e façam dessa cobertura seu habitat de permanência e propagação. Isso não ocorrerá quando houver ausência de qualquer forma de cobertura verde no erval. Nesta lógica, é mais interessante investir em nutrição do solo, dando condição a um bom crescimento da erva-mate e da cobertura verde, ao invés de investir em sucessivas operações de limpeza no erval que padece nutricionalmente. Deve-se eliminar do erval gramíneas perenes (gramas, capins etc), pois, normalmente, essas espécies são mais eficientes na absorção dos nutrientes que a erva-mate, podendo interferir no crescimento da cultura.

5.5. Calagem e adubação em erval com diferentes fases de crescimento

Quando se verificam as informações necessárias para realizar a recomendação de calagem e adubação para cada fase de crescimento, a imaginação direciona a um erval homogêneo dentro de uma determinada fase de crescimento. No entanto, em muitos casos, o técnico vai se deparar com situações que contemplem duas ou até três fases de crescimento da cultura na mesma área. Neste sentido, basta lembrar-se da diversidade de modelos de ervais em que a erva-mate pode ser explorada, conforme comentado no item “Diversidade de plantios e manejo de ervais”.

Quanto à calagem, se houver na mesma área plantas em fase de plantio, de formação de copa e de produção, deve-se aplicar superficialmente a dose de calcário referente às fases de formação de copa e de produção. Já para esse mesmo modelo de erval, a adubação NPK, irá depender do bom senso e do conhecimento do técnico sobre a cultura. Nesse caso, a visita do técnico na área é essencial.

Quando houver na área plantas nativas adultas esparsas e, no mesmo local, for adensado com erva-mate, sugere-se a dose normal de adubação de plantio para as plantas que estão sendo inseridas, e duas vezes a dose de *formação de copa 2* para as plantas nativas adultas. O modo de aplicação dos adubos continua o mesmo para fase de plantio (especificado anteriormente) e, para as plantas nativas adultas, aplicar superficialmente na projeção da copa, respeitando uma distância mínima de 80 cm do pé.

Em áreas onde se encontram plantas em fase de plantio, de formação de copa e de produção, aplicar superficialmente em área total a dose de adubação para *formação de copa 2*. Neste caso, para quantificar a dose a ser aplicada na área, será necessário informar o número aproximado de plantas ha⁻¹ (somar as plantas das três fases de crescimento).

6. Considerações finais

A partir dos trabalhos que caracterizaram o teor de nutrientes na erva-mate e alguns experimentos com adubação, é possível verificar que a espécie é adaptada e cresce razoavelmente bem em solos com baixa fertilidade natural. Porém, ressalta-se que altas produtividades normalmente ocorrem quando a fertilidade do solo se encontra em nível médio a alto, e até muito alto. No entanto, a disponibilidade ideal de nutrientes no solo para o bom crescimento e produtividade da erva-mate ainda é incerto, assim como é desconhecido o efeito dos níveis do teor de nutrientes no solo sobre a qualidade da erva-mate produzida.

O ideal é trabalhar para gerar dados que suporte uma recomendação de adubação para a cultura da erva-mate baseada no rendimento relativo. Contudo, para a obtenção desses dados ainda há um grande caminho pela frente. Isso porque, para cada modelo de erval, dentro de faixas de idade e espaçamentos de plantio, o cultivo terá um potencial produtivo diferente, considerando uma mesma faixa de disponibilidade de nutrientes. Ou seja, conhecendo o nível crítico de nutrientes no solo para cada fase de crescimento da cultura, haverá produtividade máxima específica para cada modelo de erval e seu respectivo espaçamento. Para isso, é oportuno lembrar que não se trata de uma cultura agrícola, onde o ciclo de vida normalmente é de três a cinco meses e com modelo único de plantio. Trata-se de uma cultura com inúmeros modelos de cultivos e espaçamentos, com longo ciclo de vida, que pode apresentar vários ciclos produtivos com diversas fases de crescimento. Sem dúvida, é um desafio que somente será vencido em equipe com experimentos de longo prazo.

Os desafios da ciência ainda são muitos. Desafios, principalmente na elucidação de fatores, como nutrição das plantas, manejo de poda e de colheita, modelo de cultivo e como estes fatores atuam no processamento e qualidade da matéria-prima e do produto. Para que essas e demais questões sejam elucidadas, os trabalhos relacionados à produção, nutrição de ervais e qualidade da matéria-prima devem conter informações, como: idade, espaçamento, intervalo entre colheitas e época da colheita; definição do modelo de erval (nativo, adensado, consorciado, homogêneo a pleno sol e outros) e potencial de produtividade para cada modelo de erval; e propriedades químicas e físicas do solo local (ao menos da profundidade padrão de 0-20 cm). Além disso, partições bem definidas, como: ECOM (folha + galho fino com diâmetro normalmente $\leq 7,0$ mm), folha, galho fino, GG, relação entre massa verde e seca (MV/MS), proporção entre ECOM e GG e teor de elementos de cada componente.

Para uma cultura de ciclo longo como a da erva-mate, os desafios para a obtenção de uma recomendação condizente com sua importância são ainda maiores. Isso é verificado através dos dados disponíveis e utilizados na elaboração da presente recomendação de adubação, os quais contemplam apenas alguns pontos da curva de crescimento em que supostamente se inserem as fases de plantio, formação de copa e de produção da erva-mate.

O fato de a erva-mate ser normalmente caracterizada como espécie que cresce em solos de baixa fertilidade, reflete o atual setor ervateiro, que ainda tolera um sistema de produção extrativista e que culmina na atual produtividade média brasileira de erva-mate de $6,2 \text{ t ha}^{-1}$ (IBGE, 2013). Refletir sobre um setor ervateiro organizado e profissional é vislumbrar a produtividade média brasileira acima de $20,0 \text{ t ha}^{-1}$ de erva-mate comercial verde por colheita. Isso significa alterar o nível de fertilidade da grande maioria dos solos, já exauridos nutricionalmente, e que suportam grande parte da produção brasileira de erva-mate. Ou seja, discutir sobre a produção sustentável de erva-mate é possível, mas para isso, primeiramente deve-se viabilizar a disponibilidade de nutrientes que atenda a demanda da planta, sem exaurir nutricionalmente os solos. Mediante resultados de alguns experimentos em campo, associado a ferramentas, como seleção e propagação clonal de matrizes superiores, juntamente com um programa de nutrição da erva-mate, é possível afirmar que atualmente, no Sul do Brasil, está sendo explorado, em média, menos de 30% do potencial produtivo da erva-mate por área. Isso demonstra o potencial produtivo da erva-mate que ainda não está sendo devidamente explorado.

Agradecimentos

Aos empresários do setor ervateiro Leandro Beninho Gheno, Afonso Ollizeski e Clóvis Luiz Büttgenbender, que contribuíram e contribuem para a pesquisa com erva-mate, e ao professor Dr. Antônio Carlos Vargas Motta, pelas sugestões apresentadas no texto.

Referências

- AMBERGER, A. **Pflanzenernährung**. Stuttgart: Verlag Eugen Ulmer, 1988. 264 p.
- ANDRADE, F. M. de. **Avaliação de biomassa, clorofila, cafeína e tanino em Ilex paraguariensis Saint-Hilaire, crescendo sob sombreamento e pleno sol**. 2004. 83 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) - Universidade Federal do Paraná, Curitiba.
- ANDRADE, F. M. **Diagnóstico da cadeia produtiva da Ilex paraguariensis St. Hill, erva-mate**. São Mateus do Sul: FUNBIO, 1999.
- ANGHINONI, I.; BAYER, C. Manejo da fertilidade do solo. In: BISSANI, C. A.; GIANELLO, C.; TEDESCO, M. J.; CAMARGO, F. A. O. **Fertilidade dos solos e manejo de adubação de culturas**. Porto Alegre, Gênese, 2004. p. 252-264.
- BAGGIO, A. J.; VILCAHUAMÁN, L. J. M.; CORREA, G. **Arborização da cultura da erva-mate: aspectos gerais, resultados experimentais e perspectivas**. Colombo: Embrapa Florestas, 2008. 32 p. (Embrapa Florestas. Documento, 161).
- BARROS, N. F.; NEVES, J. C. L.; NOVAIS, R. F. Recomendação de fertilizantes minerais em plantios de eucalipto. In: GONÇALVES, J. L. M.; BENEDETTI, V. **Nutrição e fertilização florestal**. Piracicaba: IPEF, 2005. p. 269-286.
- BARROS, N. F.; NOVAIS, R. F.; CARMO, D. N.; NEVES, J. C. L. Classificação nutricional de sítios florestais: descrição de uma metodologia. **Revista Árvore**, Viçosa, MG, v. 10, n. 2, p. 112-120, 1986.
- BARROS, N. F.; NOVAIS, R. F.; NEVES, J. C. L. Fertilização e correção do solo para o plantio de eucalipto. In: BARROS, N. F.; NOVAIS, R. F. (Ed.). **Relação solo-eucalipto**. Viçosa, MG: Folha de Viçosa, 1990. p. 127-186.
- BASTOS, M. C.; REISSMANN, C. B.; SANTIN, D.; BENEDETTI, E. L.; KASEKER, J. F.; BRONDANI, G. E. Alumínio: tóxico ou benéfico para araucária e erva-mate? In: REUNIÃO BRASILEIRA DE FERTILIDADE DO SOLO E NUTRIÇÃO DE PLANTAS, 28.; REUNIÃO BRASILEIRA SOBRE MICORRIZAS, 12.; SIMPÓSIO BRASILEIRO DE MICROBIOLOGIA DO SOLO, 10.; REUNIÃO BRASILEIRA DE BIOLOGIA DO SOLO, 7., 2008, Londrina. **Desafios para o uso do solo com eficiência e qualidade ambiental**: anais. Londrina: Embrapa Soja: SBCS: IAPAR, UEL, 2008. CD-ROM

BELLOTTE, A. F. J.; STURION, J. A. Deficiências minerais em erva-mate (*Ilex paraguariensis* St. Hill): resultados preliminares. In: SEMINÁRIO SOBRE ATUALIDADES E PERSPECTIVAS FLORESTAIS: silvicultura da erva-mate, (*Ilex paraguariensis* St. Hill), 10., 1983, Curitiba. **Anais...** Curitiba: EMBRAPA/CNPF, 1985. p. 124-127. (EMBRAPA-CNPF. Documentos, 15).

BENEDETTI, E. L.; BARROS, N. F.; SANTIN, D.; ALMEIDA, I. C. de.; PEREIRA, G. L.; FONTES, L. Alumínio favorece o crescimento de mudas de erva-mate. In: CONGRESSO SUDAMERICANO DE LA YERBA MATE, 5., Posadas, 2011. **Actas...** Posadas: INYM/ INTA/INaM, 2011a. p. 155-160.

BENEDETTI, E. L.; KASEKER, J. F.; SANTIN, D.; BASTOS, M. C.; REISSMANN, C. B.; BARROS, N. F.; WENDLING, I. Calagem como Suprimento de Ca e Mg para Erva-Mate. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 32., Fortaleza, 2009. **Anais...** Fortaleza: UFC, 2009. 5 p. CD-ROM.

BENEDETTI, E. L.; PEREIRA, G. L.; ALMEIDA, I. C. de.; FONTES, L.; BARROS, N. F. de.; SANTIN, D. Alumínio estimula o crescimento de raízes de erva-mate. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 33., Uberlândia, 2011. **Anais...** Uberlândia: UFU, 2011b. 4 p. CD-ROM.

BENEDETTI, E. L. **Tolerância da erva-mate (*Ilex paraguariensis* St. Hil.) ao alumínio.** 2012. 72 f. Tese (Doutorado em Solos e Nutrição de Plantas) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG.

BERGER, G. **Biomassa e nutrientes em plantios de erva-mate (*Ilex paraguariensis* A. St. Hil.) no município de Nova Prata, RS.** 2006. 93 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) - Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, RS.

BERKAI, D.; BRAGA, C. A. **500 anos de história da erva-mate.** Porto Alegre: Atlas, 2000.

BOEGER, M. R. T.; REISSMANN, C. B.; BORILLE, A. M. W. Análise morfológica foliar de três morfotipos de erva-mate. (*Ilex paraguariensis* St. Hil.). In: CONGRESSO SUL AMERICANO DE ERVA-MATE, 3., FEIRA DO AGRONEGÓCIO DA ERVA-MATE, 1., 2003, Chapecó. **Anais...** Chapecó: News Print, 2003.

BORILLE, A. M. W.; REISSMANN, C. B.; FREITAS, R. J. S. Relação entre compostos fitoquímicos e o nitrogênio em morfotipos de erva-mate (*Ilex paraguariensis* St. Hil.). **Boletim do Centro de Pesquisa de Processamento de Alimentos**, Curitiba, v. 23, n. 1, p. 183-198, 2005.

BRITEZ, R. M. de; REISSMAN, C. B.; SILVA, S. M.; ATHAYDE, S. F.; LIMA, R. X.; QUADROS, R. M. B. de. Chemical characterization of two forests on the coastal plains of the Ilha do Mel, Paraná, Brazil. **Developments in Plant and Soil Sciences**, The Hague, v. 78, p. 462-461, 1997.

BRONDANI, G. E.; UKAN, D.; BORTOLINI, M. F.; CAMBRONERO, Y. C.; ROSSETTO, A.; REISSMANN, C. B. Distribuição de NPK em um povoamento de *Ilex paraguariensis* A. St.-Hil. **Revista Floresta**, Curitiba, v. 38, n. 2, p. 267-275, 2008.

BUSTOS, A.; ROMAN, R.; CABALLERO, R.; DíEZ, J. A.; CARTAGENA, M. C.; VALLEJO, A.; CABALLERO, A. Water and solute movement under conventional corn in central Spain. II. Salt leaching. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v. 60, n. 5, p. 1536-1540, 1996.

CAMPOS, M. A. A. **Balço de biomassa e nutrientes em povoamentos de *Ilex paraguariensis*. Avaliação na safra e na safrinha**. 1991. 107 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) - Universidade Federal do Paraná, Curitiba.

CANTARELLA, H.; DUARTE, A. P. Manejo da fertilidade do solo para a cultura do milho. In: GALVÃO, J. C. C.; MIRANDA, G. V. (Ed.). **Tecnologia de produção de milho**. Viçosa, MG: Ed. da UFV, 2004. p.139-182.

CARVALHO, P. E. R. **Espécies arbóreas brasileiras**. Brasília, DF: Embrapa Informação Tecnológica; Colombo: Embrapa Florestas, 2003. v. 1. 1039 p.

CECCON, O.; VERNER, R.; WENDLER, W. O. Contribuição ao estudo da erva-mate (*Ilex sp*). **Arquivos Biologia e Tecnologia**, Curitiba, v. 7, p. 123-136, 1952.

CERETTA, C. A.; BASSO, C. J.; FLECHA, A. M. T.; PAVINATO, P. S.; VIEIRA, F. C. B.; MAI, M. E. M. Manejo da adubação nitrogenada na sucessão aveia preta/milho, no sistema plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 26, n. 1, p. 163-171, 2002.

CERETTA, C. A.; SILVA, L. S.; PAVINATO, A. Manejo da adubação. In: NOVAIS, R. F.; ALVAREZ, V. V. H.; BARROS, N. F.; FONTES, R. L. F.; CANTARUTTI, R. B.; NEVES, J. C. L. **Fertilidade solo**. Viçosa, MG: Sociedade Brasileira de Ciência Solo, 2007. p. 851-872.

CHENERY, E. M.; SPORNE, K. R. A note for the evolutionary status of Aluminum-accumulators among dicotyledons. **New Phytologist**, Oxford, v. 76, n. 3, p. 551-554, 1976.

CORRÊA, D. R. **Análise química de morfotipos de erva-mate, utilizando a digestão via seca para macronutrientes e micronutrientes e sulfúrica para nitrogênio**. Curitiba, 2003. 4 f. Relatório final PIBIC. Orientador: C. B. Reissmann. Não publicado.

COSTA, S. G. **A erva mate**. Curitiba: [s.n.], 1995. 132 p. (Farol do saber).

CURCIO, G. R.; RACHWAL, M. F. G.; DEDECEK, R. A.; WESTPHALEN, D. J. **Produtividade de massas radicular e aérea de diferentes coberturas verdes em plantio de erva-mate sobre cambissolo textura argilosa, no Município de Ivaí-PR**. Colombo: Embrapa Florestas, 2002. 5 p. (Embrapa Florestas. Comunicado técnico, 79).

CRUZ, A. C. L. da. **Análise química foliar de morfotipos de erva-mate em plantios comerciais do Paraná**. Curitiba, 2003. 47 f. Relatório final PIBIC. Orientador: B. C. Reissmann. Não publicado.

DA CROCE, D. M. **Cadeias produtivas do Estado de Santa Catarina: erva-mate**. Florianópolis: Epagri, 2000. 31 p. (Epagri. Boletim técnico, 112).

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).

DECHEN, A. R.; NACHTIGALL, G. R. Micronutrientes. In: FERNANDES, M. S. **Nutrição mineral de plantas**. Viçosa, MG: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2006. p. 327-354.

DEITOS, N. J. Considerações históricas da erva-mate no espaço meridional. In: ROCHA JUNIOR, W.; MILOCA, L. M. **Sistema agroindustrial ervateiro: perspectivas e debates**. Cascavel: Coluna do Saber, 2007. p. 13-26.

DONAGEMMA, G. K.; RUIZ, H. A.; ALVAREZ, V. V. H.; FERREIRA, P. A.; CANTARUTTI, R. B.; SILVA, A. T.; FIGUEIREDO, G. C. Distribuição do amônio, nitrato, potássio e fósforo em colunas de Latossolos fertirrigadas. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 32, n. 6, p. 2493-2504, 2008.

DÜNISCH, O.; REISSMANN, C. B.; OLISIESKI, A. Variability do vessel characteristics in the xylem of *Ilex paraguariensis* (mate-tree) from south Brazil. **IAWA Journal**, The Netherlands, v. 25, n. 4, p. 449-458, 2004.

EPSTEIN, E.; BLOOM, A. J. **Nutrição mineral de plantas: princípios e perspectivas**. 2. ed. Londrina: Planta, 2004. 401 p.

ERNANI, P. R.; BAYER, C.; ALMEIDA, J. A.; CASSOL, P. C. Mobilidade vertical de cátions influenciada pelo método de aplicação de cloreto de potássio em solos com carga variável. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 31, n. 2, p. 393-402, 2007.

FAGERIA, N. K.; BALIGAR, V. C. Screening crop genotypes for mineral stresses. In: WORKSHOP ON ADAPTATION OF PLANTS TO SOIL STRESSES, 1993, Lincoln. **Proceedings...** Lincoln: University of Nebraska, 1993. p.142-159.

FINGER, C. A. G. **Fundamentos de biometria florestal**. Santa Maria: UFSM/CEPEF/FATEC, 1992. 269 p.

FLOSS, P. A.; DA CROCE, D. M.; NESI, C. N. Produção de erva-mate consorciada com cinamomo e louro-pardo. **Agropecuária Catarinense**, Florianópolis, v. 22, n. 2, p. 63-69, 2009.

FOSSATI, L. C. **Avaliação do estado nutricional e da produtividade de erva-mate (*Ilex paraguariensis* St. Hil.), em função do sítio e da dióica**. 1997. 113 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) - Universidade Federal do Paraná, Curitiba.

FOY, C. D.; CHANEL, R. L.; WRITE, M. C. The physiology of metal toxicity in plants. **Annual Review Plant Physiology**, Palo Alto, v. 29, p. 511-566, 1978.

GAIAD, S. (Ed.). **Sistemas de produção: cultivo da erva-mate**. 2. ed. Colombo: Embrapa Florestas, 2010. Disponível em: <<http://www.spo.cnptia.embrapa.br/temas-publicados>>. Acesso em: 15 jul. 2014.

GAIAD, S.; LOPES, E. S. Ocorrência de micorriza vesicular-arbuscular em erva-mate (*Ilex paraguariensis* St. Hil.). **Boletim de Pesquisa Florestal**, Colombo, v. 12, n. 1, p. 21-29, 1986.

GAIAD, S.; RAKOCEVIC, M.; REISSMANN, C. B. N sources affect growth, nutrient content, and net photosynthesis in maté (*Ilex paraguariensis* St. Hil.). **Brazilian Archives of Biology and Technology**, Curitiba, v. 49, n. 5, p. 689-697, 2006.

GALVÃO, F. **Variação sazonal da fotossíntese líquida e respiração de *Cabralea canjerana* (Vell.) Mart., *Ilex paraguariensis* St. Hil. E *Podocarpus lambertii* Kl. em função da intensidade luminosa e temperatura**. 1986. 116 f. Tese (Doutorado em Engenharia Florestal) - Universidade Federal do Paraná, Curitiba.

IBAMA. Portaria normativa n. 118-N/92. **Diário Oficial [da] União**, Brasília, DF, 13 nov. 1992.

IBGE. **Produção agrícola municipal 2011**. Rio de Janeiro, 2013. Disponível em: <<http://www.ibge.gov.br/home/download/estatistica.shtm>>. Acesso em: 15 out. 2013.

INOUE, M. T. Bases ecofisiológicas para a silvicultura de espécies nativas. In: INOUE, M. T.; REICHMANN NETO, F.; CARVALHO, P. E. R.; TORRES, M. A. V. **A silvicultura de espécies nativas**. Curitiba: FUPEF, 1983. p.1-18.

INSTITUTO DE QUÍMICA AGRÍCOLA. **Contribuição para o estudo da região ervateira**. Rio de Janeiro, 1944. 130 p. (Instituto de Química Agrícola. Memória, 6).

JACQUES, R. A.; ARRUDA, E. J.; OLIVEIRA, L. C. S. de.; OLIVEIRA, A. P. de.; DARIVA, C.; OLIVEIRA, J. V.; CARAMÃO, E. B. Influence of agronomic variables on the macronutrient and micronutrient contents and thermal behavior of mate tea leaves (*Ilex paraguariensis*). **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, Easton, v. 55, n. 18, p. 7510-7516, 2007a.

JACQUES, R. A.; KRAUSE, L. C. FREITAS, L. dos. S.; DARIVA, C.; OLIVEIRA, J. V.; CARAMÃO, E. B. Influence of drying methods and agronomic variables on the chemical composition of mate tea leaves (*Ilex paraguariensis* A. St.-Hil) obtained from high-pressure CO₂ extraction. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, Easton, v. 55, n. 25, p. 10081–10085, 2007b.

JONES JUNIOR; J. B.; WOLF, B.; MILLS, H. A. **Plant analysis handbook, a practical sampling, preparation, analysis, and interpretation guide**. Georgia: Micro-Macro, 1991. 183 p.

KLEIN, R. M.; FILGUEIRAS, T. de. S.; BARRC, W. D.; SILVA, Z. L. da. **Manual técnico da vegetação brasileira**. Rio de Janeiro: IBGE, 1992. 94 p.

KLEPKER, D.; ANGHINONI, I. Modos de adubação, absorção de nutrientes e rendimento de milho em diferentes preparos de solo. **Pesquisa Agropecuária Gaúcha**, Porto Alegre, v. 2, p. 79-86, 1996.

LARCHER, W. **Ecofisiologia vegetal**. São Carlos: RIMA, 2004. 531 p.

LAVRES JÚNIOR, J.; MORAES, M. F.; CABRAL, C. P.; MALAVOLTA, E. Influência genotípica na absorção e na toxidez de Manganês em soja. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 32, n. 1, p. 173-181, 2008.

LEVANTAMENTO de reconhecimento dos solos do Estado de Santa Catarina. Rio de Janeiro: EMBRAPA-CNPQ, 1998. (EMBRAPA-CNPQ. Boletim de pesquisa, n. 6).

LIMA, J. F. A gênese do ciclo da erva-mate: notas de interpretação econômica. In: ROCHA JUNIOR, F.; MILOCA, L. M. **Sistema agroindustrial ervateiro**: perspectivas e debates. Cascavel: Coluna do Saber, 2007. p. 27-32.

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

LOURENÇO, R. S.; CURCIO, G. R.; RACHWAL, M. G.; MEDRADO, M. J. S. Avaliação de níveis de nitrogênio sobre a produção de erva-mate (*Ilex paraguariensis* St. Hil.) em Fernandes Pinheiro, PR, em LATOSSOLO Vermelho escuro. **Boletim de Pesquisa Florestal**, Colombo, n. 34, p. 75-98, 1997.

LOURENÇO, R. S.; MEDRADO, M. J. S.; DALZOTO, D. N. Efeito de níveis de potássio sobre a produtividade de erva-mate (*Ilex paraguariensis* St. Hil.) no município de Ivaí, PR. **Boletim de Pesquisa Florestal**, Colombo, n. 39, p. 119-131, 1999.

LOURENÇO, R. S.; MEDRADO, M. J. S.; MOSELE, S. H.; WACZUK, A. **Efeito do adubo NPK 20-5-20 na produtividade da erva-mate (*Ilex paraguariensis* St. Hil.), no município de Áurea, RS**. Colombo: Embrapa Florestas, 1998. p. 1-5. (Embrapa Florestas. Comunicado técnico 33).

MACCARI JUNIOR, A.; QUEIROZ, M. R. de; RONCATO-MACCARI, L. D. B.; RUCKER, N. G. A. Indústria ervateira no Estado do Paraná II: fornecimento de matéria-prima. **Revista Acadêmica: Ciências Agrárias e Ambientais**, Curitiba, v. 4, n. 1, p. 63-70, 2006.

MANUAL de adubação e de calagem para os Estados do Rio Grande do Sul e Santa Catarina. 10. ed. Porto Alegre: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo - Núcleo Regional Sul - Comissão de Química e Fertilidade do Solo, 2004. 400 p.

MARSCHNER, H. **Mineral nutrition of higher plants**. 2nd. ed. London: Academic Press, 1995. 889 p.

MARSCHNER, H. **Mineral nutrition of higher plants**. London: Academic Press, 1986. 674 p.

MAZUCHOWSKI, J. Z. **Influência de níveis de sombreamento e de nitrogênio na produção de massa foliar da erva-mate *Ilex paraguariensis* St. Hil.** 2004. 94 f. Dissertação (Mestrado em Ciência do Solo) - Universidade Federal do Paraná, Curitiba.

MAZZAFERA, P. Caffeine, theobromine and theophylline distribution in *Ilex paraguariensis*. **Revista Brasileira de Fisiologia Vegetal**, Londrina, v. 6. n. 2, p. 149-151, 1994.

MEDRADO, M. J. S.; DALZOTO, D. N.; OLIZESKI, A.; MOSELE, S. H. **Recuperação de ervais degradados**. Colombo: Embrapa Florestas, 2002. 6 p. (Embrapa Florestas. Comunicado técnico, 86).

MEDRADO, M. J. S.; LOURENÇO, R. S.; MOSELE, S. H.; WACZUK, A. J. **Sistemas de poda de formação e produtividade da erva-mate (*Ilex paraguariensis* St. Hil.), no município de Áurea, RS**. Colombo: Embrapa Florestas, 2000. 3 p. (Embrapa Florestas. Comunicado técnico, 38).

MEDRADO, M. J. S.; MOSELE, S. H. **O futuro da investigação científica em erva-mate**. Colombo: Embrapa Florestas, 2004. 64 p. (Embrapa Florestas. Documentos, 92).

MELO, V. F.; BARROS, N. F.; COSTA, L. M.; NOVAIS, R. F.; FONTES, M. P. F. Formas de potássio e magnésio em solos do Rio Grande do Sul, e sua relação com o conteúdo na planta e com a produção em plantios de eucalipto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 19, n. 1, p. 165-171, 1995.

MENGEL, K.; KIRKBY, E. A. **Principles of plant nutrition**. 4th ed. Worblaufen-Bern: International Potash Institute, 1987. 665 p.

MEURER, E. J.; ANGHINONI, I. Disponibilidade de potássio e sua relação com parâmetros de solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 17, n. 2, p. 375-382, 1993.

MEURER, E. J. Fatores que influenciam o crescimento e o desenvolvimento das plantas. In: NOVAIS, R. F.; ALVAREZ V. V. H.; BARROS, N. F.; FONTES, R. L. F.; CANTARUTTI, R. B.; NEVES, J. C. L. **Fertilidade solo**. Viçosa, MG: Sociedade Brasileira de Ciência Solo, 2007. p. 65-90.

MILANO, M.; DALCIN, E. **Arborização de vias públicas**. Rio de Janeiro: Light, 2000. 206 p.

MORAES, M. F. Relação entre nutrição de plantas, qualidade de produtos agrícolas e saúde humana. **Informações Agronômicas**, Piracicaba, n. 123, p. 21-23, 2008.

MOREIRA, F. M. S.; SIQUEIRA, J. O. Micorrizas. In: MOREIRA, F. M. S.; SIQUEIRA, J. O. (Ed.). **Microbiologia e bioquímica do solo**. 2. ed. atual. ampl. Lavras, MG: Ed da UFLA, 2006. p. 543-662.

MOTTA, A. C. V.; SERRAT, B. M. Princípios de adubação. In: LIMA, M. R.; SISRTOLI, A. E.; MOTTA, A. C. V.; OLIVEIRA, A. C.; SERRAT, B. M.; WISNIEWSKI, C.; FERREIRA, F. V.; ALMEIDA, L. S.; ALMEIDA, L.; KRIEGER, K. I.; MACHADO, M. A. M.; FAVARETTO, N.; COGO, N. P.; BERTOL, O. J.; MARQUES, R. **Diagnóstico e recomendação de manejo de solo**: aspectos teóricos e metodológicos. Curitiba: UFPR, 2006. p. 143-190.

NEWNHAM, R. E. Essentiality of boron for healthy bones and joints. **Environmental Health Perspectives**, Washington, D.C., v. 102, n. 7, p. 83-85, 1994.

NOVAIS, R. F.; SMYTH, T. J.; NUNES, F. N. Fósforo. In: NOVAIS, R. F.; ALVAREZ V. V. H.; BARROS, N. F.; FONTES, R. L. F.; CANTARUTTI, R. B.; NEVES, J. C. L. **Fertilidade solo**. Viçosa, MG: Sociedade Brasileira de Ciência Solo, 2007. p. 471-550.

OLIVA, E. V. **Composição química e produtividade de procedências e progênes de erva-mate (*Ilex paraguariensis* St. Hil.) cultivada em Latossolo vermelho distrófico no município de Ivaí - PR**. 2007. 72 f. Dissertação (Mestrado em Ciência do Solo) - Universidade Federal do Paraná, Curitiba.

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

PANDOLFO, C.; FLOSS, P. A.; DA CROCE, D. M.; DITTRICH, R. C. Resposta da erva-mate (*Ilex paraguariensis* St. Hil.) à adubação mineral e orgânica em um Latossolo vermelho aluminoférrico. **Ciência Florestal**, Santa Maria, RS, v. 13, n. 2, p. 37-45, 2003.

PAULETTI, V. **Nutrientes: teores e interpretações**. 2. ed. Castro, 2004. 86 p.

PICCOLO, G. A.; GALANTINI, J. A.; ROSELL, R. A. Organic carbon fractions in a yerba mate plantation on a subtropical Kandihumult of Argentina. **Geoderma**, Amsterdam, v. 123, n. 3-4, p. 333-341, 2004.

PINTRO, J. C.; MATUMOTO-PINTRO, P. T.; SCHWAN-ESTRADA, K. R. F. Crescimento e desenvolvimento de mudas de erva-mate (*Ilex paraguariensis* St. Hil.) cultivadas em solo sob diferentes níveis de fertilidade. **Acta Scientiarum**, Maringá, v. 20, n. 3, p. 285-289, 1998.

POGGIANI, F.; SCHUMACHER, M. V. Ciclagem de nutrientes em florestas nativas. In: GONÇALVES, J. L. de M.; BENEDETTI, V. **Nutrição e fertilização florestal**. Piracicaba: IPEF, 2005. p. 287-308.

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

PULITO, A. P. **Resposta à fertilização nitrogenada e estoque de nitrogênio biodisponível em solos usados para plantações de *Eucalyptus***. 2009. 59 f. Dissertação (Mestrado em Recursos Florestais) - Universidade de São Paulo, Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Piracicaba.

RACHWAL, M. F. G.; COELHO, G. C.; DEDECEK, R. A.; CURCIO, G. R.; SCHENKEL, E. P. **Influência da luminosidade sobre a produção de massa foliar e teores de macronutrientes, fenóis totais, cafeína e teobromina em folhas de erva-mate**. Colombo: Embrapa Florestas, 2002. 5 p. (Embrapa Florestas. Comunicado técnico, 81).

RADOMSKI, M. I.; SUGAMOSTO, M. L.; GIAROLA, N. F. B.; CAMPIOLO, S. Avaliação dos teores de macro e micronutrientes em folhas jovens e velhas de erva-mate nativa. **Revista do Instituto Florestal**, São Paulo, v. 4, pt. 2, p. 453-456, 1992. Edição dos Anais do Congresso Florestal de Essências Nativas, 2., 1992, São Paulo. Edição especial.

RAKOCEVIC, M.; BORSATO, A. V.; BONA, C.; MEDRADO, M. J. S. Distribuição de estômatos em folhas de diferentes idades de erva-mate cultivada em monocultura e sub-bosque. In: CONGRESO SUDAMERICANO DE LA YERBA MATE, 5., Posadas, 2011. **Actas...** Posadas: INYM/ INTA/INaM, 2011. p. 45-50.

RAKOCEVIC, M. Curvas de respostas fotossintéticas na intensidade de irradiação em folhas de diferentes idades da erva-mate. In: CONGRESO SUDAMERICANO DE LA YERBA MATE, 5., Posadas, 2011. **Actas...** Posadas: INYM/ INTA/INaM, 2011. p. 101-106.

RAKOCEVIC, M.; MEDRADO, M. J. S.; LUCAMBIO, F.; VALDUGA, A. T. Caracterização do microclima luminoso em dois sistemas de cultivo da erva-mate e o seu impacto na produtividade de plantas. In: CONGRESO SUDAMERICANO DE LA YERBA MATE, 4., Posadas, 2006. **Actas...** Posadas: INYM, 2006a. 6 p. CD-ROM.

RAKOCEVIC, M.; MEDRADO, M. J. S.; LUCAMBIO, F.; VALDUGA, A. T. Intensity of bitterness of processed yerba mate leaves originated in two contrasted light environments. **Brazilian Archives of Biology and Technology**, Curitiba, v. 51, n. 3, p. 569-579, 2008.

RAKOCEVIC, M.; MEDRADO, M. J. S.; LUCAMBIO, F.; VALDUGA, T. A. Influência do sexo, da sombra e da idade de folhas no sabor do chimarrão. In: CONGRESO SUDAMERICANO DE LA YERBA MATE, 4., Posadas, 2006. **Actas...** Posadas: INYM, 2006b. 6 p. CD-ROM.

RAKOCEVIC, M.; MARTIM, S. F. Time series in analysis of yerba-mate biennial growth modified by environment. **International Journal of Biometeorology**, Ottawa, v. 55, n. 2, p. 161-171, 2011.

RAKOCEVIC, M.; MEDRADO, M. J. S.; TAKAKI, M. Aspectos fotomorfogenéticos de plantas jovens de erva-mate. In: CONGRESO SUL-AMERICANO DA ERVA-MATE, 3., Chapecó, 2003. **Anais...** Chapecó: EPAGRI, 2003. 5 p. CD-ROM.

REISSMANN, C. B.; CARNEIRO, C. Crescimento e composição química da erva-mate (*Ilex paraguariensis* St. Hil.), transcorrido oito anos de calagem. **Revista Floresta**, Curitiba, v. 34, n. 3, p. 281-386, 2004.

REISSMANN, C. B. Der einfluss des zeitpunktes der blattprobennahme auf die konzentration der mikronaehrstoffe und des aluminiums in den blaettern von *Ilex Paraguariensis* St. Hil. In: SYMPOSIUM UEBER MINERAL STOFFVERSORGUNG TROPISCHER WALDBÄUEME, 1991, Bayreuth. **Bayreuther Bodenkundliche Berrichte**. Bayreuth: Uni-Bayreuth, 1991. v. 1. p. 137-137.

REISSMANN, C. B.; DÜNISCH, O.; BOEGER, M. R. T. Beziehungen zwischen ernährungsbiologischen (Fe, Mn und Ca) und strukturellen merkmahlen ausgewälter morphotypen der mate-pflanze (*Ilex paraguariensis* St. Hil.). In: HÜTTEL, R. (Ed.). **Boden, Wald und Wasser**. Aachen: Shaker Verlag. 2003. 249 p.

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

REISSMANN, C. B.; PREVEDELLO, B. M. S.; QUADROS, R. M. B de; RADOMSKI, M. I. Production and foliar N, P, K, Ca and Mg levels in erva-mate (*Ilex paraguariensis* St. Hil.) related to increasing base saturation levels. **Arquivos de Biologia e Tecnologia**, Curitiba, v. 40, n. 1, p. 241-249, 1997.

REISSMANN, C. B.; PREVEDELLO, B. M. S.; TREVISAN, B.; BORN, R. H. Suscetibilidade da erva-mate à clorose induzida pela calagem. **Revista do Setor de Ciências Agrárias**, Curitiba, v. 11, n. 1-2, p. 273-278, 1991.

REISSMANN, C. B.; RADOMSKI, M. I.; QUADROS, R. M. B. de. Chemical composition of *Ilex paraguariensis* St. Hil. Under different management conditions in seven localities of Paraná State. **Brazilian Archives of Biology and Technology**, Curitiba, v. 42, n. 2, p. 187-194, 1999.

REISSMANN, C. B.; RADOMSKI, M. I.; QUADROS, R. M. B. de. Relação entre os teores e a fração hidrossolúvel dos elementos K, Ca, Mn, Fe, Cu, Zn e Al em folhas de erva-mate (*Ilex paraguariensis* St. Hil.). **Arquivos de Biologia e Tecnologia**, Curitiba, v. 37, n. 4, p. 959-971, 1994.

REISSMANN, C. B.; ROCHA, H. O.; KOEHLER, C. W.; CALDAS, R. L. S.; HILDEBRAND, E. E. Bio-elementos em folhas e hastes de erva-mate (*Ilex paraguariensis* St. Hil.) sobre Cambissolo na região de Mandirituba – PR. **Revista Floresta**, Curitiba, v. 14, n. 2, p. 49-54, 1983.

RHEINHEIMER, D. S.; ANGHINONI, I.; KAMINSKI, J. Depleção do fósforo inorgânico de diferentes frações provocada pela extração sucessiva com resina em diferentes solos e manejos. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 24, n. 2, p. 345-354, 2000.

RIBEIRO, M. M.; REISSMANN, C. B.; CORRÊA, D. R. Nutrição da erva-mate com sulfato de amônio. **Cerne**, Lavras, v. 14, n. 3, p. 204-211, 2008.

ROSA, L. S.; GROSSI, F.; WENDLING, I. BRONDANI, G. E. Adubação nitrogenada na fertirrigação de minicepas de *Ilex paraguariensis* St. Hil. In: CONGRESSO SUDAMERICANO DE LA YERBA MATE, 5., Posadas, 2011, **Actas...** Posadas: INYM/INTA/INaM, 2011. p. 77-82.

SAIDELLES, F. L. F.; REINERT, D. J.; SALET, R. L. Crescimento inicial de mudas de erva-mate (*Ilex paraguariensis* St. Hil.) em três classes de solos, na região central do Rio Grande do Sul. **Ciência Florestal**, Santa Maria, RS, v. 13, n. 2, p. 17-24, 2003.

SANTIN, D.; ALMEIDA, I. C.; BENEDETTI, E. L.; GREICE, L. P.; BARROS, N. F. Adubação fosfatada na disponibilidade de P e produção de erva-mate em plantio comercial. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 33., Uberlândia, 2011. **Anais...** Uberlândia, UFU, 2011a. 4 p. CD-ROM.

SANTIN, D.; BENEDETTI, E. L.; BASTOS, M. C.; KASEKER, J. F.; REISSMANN, C. B.; BRONDANI, G. E.; BARROS, N. F. Crescimento e nutrição de erva-mate influenciados pela adubação NPK. **Ciência Florestal**, Santa Maria, RS, v. 23, n. 2, p. 363-375, 2013a.

SANTIN, D.; BENEDETTI, E. L.; BRONDANI, G. E.; REISSMANN, C. B.; ORRUTÉA, A. G.; ROVEDA, L. F. Nitrogênio, fósforo e potássio no crescimento de mudas de erva-mate. **Scientia Agraria**, Curitiba, v. 9, n. 1, p. 59-66, 2008.

SANTIN, D.; BENEDETTI, E. L.; BRUNETTO, F.; MARQUES, J.; SALVA, A. **Substituição da adubação mineral pela orgânica na produtividade de erva-mate**. 2013c. Não publicado.

SANTIN, D.; BENEDETTI, E. L.; KASEKER, J. F.; BASTOS, M. C.; REISSMANN, C. B.; WENDLING, I.; BARROS, N. F. Nutrição e crescimento da erva-mate submetida à calagem. **Ciência Florestal**, Santa Maria, RS, v. 23, n. 1, p. 55-66, 2013b.

SANTIN, D.; FONTES, L.; BENEDETTI, E. L.; ALMEIDA, I. C.; BARROS, N. F. Adubação potássica melhora a fertilidade do solo e a produção de erva-mate. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 33., Uberlândia, 2011. **Anais...** Uberlândia, UFU, 2011b. 4 p. CD-ROM.

SANTIN, D. **Produtividade e disponibilidade de nutrientes influenciadas pela calagem, adubação NPK e intervalos de colheita em erva-mate**. 2013. 104 f. Tese (Doutorado em Solos e Nutrição de Plantas) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG.

SANTIN, D. **Produtividade, teor de minerais, cafeína e teobromina em erva-mate adensada e adubada quimicamente**. 2008. 114 f. Dissertação (Mestrado em Ciência do Solo) - Universidade Federal do Paraná, Curitiba.

SANTIN, D.; WENDLING, I.; BENEDETTI, E. L.; MORANDI, D.; DOMINGOS, D. M. Sobrevivência, crescimento e produtividade de plantas de erva-mate produzidas por miniestacas juvenis e por sementes. **Ciência Florestal**, Santa Maria, RS, 2014. No Prelo.

SANTOS, H. G. dos; JACOMINE, P. K. T.; ANJOS, L. H. C. dos; OLIVEIRA, V. A. de; OLIVEIRA, J. B. de; COELHO, M. R.; LUMBRERAS, J. F.; CUNHA, T. J. F. (Ed.). **Sistema brasileiro de classificação de solos**. 2. ed. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2006. 306 p.

SANTOS, J. Z. L.; FURTINI NETO, A. E.; RESENDE, Á. V.; CURI, N.; CARNEIRO, L. F.; COSTA, S. E. V. G. A. Frações de fósforo em solo adubado com fosfatos em diferentes modos de aplicação e cultivado com milho. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 32, n. 2, p. 705-714, 2008.

SANTOS, S. C. L. dos. **Avaliação comparativa entre sistema agroflorestal com erva-mate e fragmento de floresta ombrófila mista quanto à fitossociologia, parâmetros químicos e físicos do solo e ciclagem de nutrientes**. 2009. 105 f. Dissertação (Mestrado em Ciência do Solo) - Universidade Federal do Paraná, Curitiba.

SCHERER, R.; URFER, P.; MAYOL, M. R.; BELINGHERI, L. D.; MARX, F.; JANSSENS M. J. J. Inheritance studies of caffeine and theobromine content of Mate (*Ilex paraguariensis*) in Misiones, Argentina. **Euphytica**, Wageningen, v. 126, n. 2, p. 203-210, 2002.

SCHLOSSMACHER NETO, L. Viabilidade técnica-econômica da fertilização mineral e calagem da erva-mate. In: SEMINÁRIO SOBRE SISTEMAS AGROFLORESTAIS NA REGIÃO SUL DO BRASIL, 1., Colombo, 1994. **Anais...** Colombo: EMBRAPA-CNPF, 1994. p. 223-230. (EMBRAPA-CNPf. Documentos, 26).

SHAVER, G. R.; MELILLO, J. M. Nutrient budgets of marsh plants: Efficiency concepts and relation to availability. **Ecology**, Tempe, v. 65, n. 5, p. 1491-1510, 1984.

SOSA, D. A. Fertilización química, abonos, requerimientos nutricionales. In: CURSO DE CAPACITACION EM PRODUCCION DE YERBA MATE, 2., 1994, Cerro Azul. **Cursos...** Cerro Azul: INTA, Estacion Experimental Agropecuaria Cerro Azul, 1994. p. 68-90.

SOUSA, D. M. G.; MIRANDA, L. N.; OLIVEIRA, S. A. Acidez do solo e sua correção. In: NOVAIS, R. F.; ALVAREZ, V. V. H.; BARROS, N. F.; FONTES, R. L. F.; CANTARUTTI, R. B.; NEVES, J. C. L. **Fertilidade solo**. Viçosa, MG: Sociedade Brasileira de Ciência Solo, 2007. p. 205-274.

SOUZA, J. L. M.; ARAUJO, M. A.; BRONDANI, G. E.; REISSMANN, C. B.; MACCARI JÚNIOR, A.; WOLF, C. S. Exportação de nutrientes foliares em diferentes tipos de poda na cultura da erva-mate. **Scientia Agraria**, Curitiba, v. 9, n. 2, p. 177-185, 2008.

STRECK, E. V.; KÄMPF, N.; DALMOLIN, R. S. D.; KLAMT, E.; NASCIMENTO, P. C.; SCHNEIDER, P. **Solos do Rio Grande do Sul**. Porto Alegre: EMATER/RS : UFRGS, 2002. 126 p.

WENDT, S. N.; SOUSA, V. A.; QUOIRIN, M.; SEBBENN, A. M.; MAZZA, M. C.; STURION, J. A. Caracterização genética de procedências e progênies de *Ilex paraguariensis* St. Hil. utilizando marcadores RAPD. *Scientia Forestalis*, Piracicaba, n. 73, p. 47-53, 2007.

WENDT, S. N.; SOUSA, V. A.; QUOIRIN, M.; STURION, J. A.; SANTOS E. C. S. Caracterização genética de populações naturais de *Ilex paraguariensis* St. Hil. In: CONGRESSO SULAMERICANO DE ERVA-MATE, 3., FEIRA DO AGRONEGÓCIO DA ERVA-MATE, 1., 2003, Chapecó. **Anais...** Chapecó: News Print, 2003.

WERLE, R.; GARCIA, R. A.; ROSOLEM, C. A. Lixiviação de potássio em função da textura e da disponibilidade do nutriente no solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 32, n. 6, p. 2297-2305, 2008.

VAN KEULEN, H. Graphical analysis of annual crop response to fertilizer application. **Agricultural Systems**, Essex, v. 9, n. 2, p. 113-126, 1982.

VILAR, C. C.; COSTA, A. C. S.; HOEPERS, A.; SOUZA JUNIOR, I. G. Capacidade máxima de adsorção de fósforo relacionada a formas de ferro e alumínio em solos subtropicais. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 34, n. 4, p. 1059-1068, 2010.

Embrapa

Florestas

Propagação e Nutrição de Erva-mate



CGPE 11490

Embrapa