

Propriedades Ecofisiológicas e Produtivas como Ferramenta para Melhoramento Genético de Erva-Mate (*Ilex paraguariensis* St. Hil.)

*Miroslava Rakocevic*¹
*José Alfredo Sturion*²
*Moacir José Sales Medrado*³
*Osmir José Lavoranti*⁴
*Sérgio Henrique Mosele*⁵
*Alice Tereza Valduga*⁶

RESUMO

O trabalho teve por objetivos estimar parâmetros genéticos para 59 progênies de meios-irmãos de erva-mate, por ocasião da poda de formação, bem como avaliar propriedades ecofisiológicas para quatro progênies (P15, P18, P41 e P47) e duas testemunhas (P61 e P62) componentes de um teste combinado de procedências e progênies em Erechim, RS. As propriedades ecofisiológicas (condutância estomática (g_s) – $\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$, fotossíntese líquida (A) – $\mu\text{mol CO}_2 \text{m}^{-2}\text{s}^{-1}$ e transpiração (E) – $\text{mmol H}_2\text{O m}^{-2}\text{s}^{-1}$) foram medidas durante um ano (de setembro de 2002 a agosto de 2003) em cinco épocas. Os componentes de variâncias, parâmetros genéticos e fenotípicos e valores genéticos (para dados de massa foliar coletados em poda de formação) foram obtidos através do programa genético - estatístico "SELEGEN – REML/BLUP". A análise de parâmetros ecofisiológicos mostrou a sazonalidade de respostas, tornando-a

¹ Engenheira-Agrônoma, Doutora, Pesquisadora Visitante do CNPq na *Embrapa Florestas*. mima@cnpf.embrapa.br

² Engenheiro Florestal, Doutor, Pesquisador da *Embrapa Florestas*. sturion@cnpf.embrapa.br

³ Engenheiro-Agrônomo, Doutor, Pesquisador da *Embrapa Florestas*. medrado@cnpf.embrapa.br

⁴ Bacharel em Estatística, Doutor, Técnico de nível Superior da *Embrapa Florestas*. osmir@cnpf.embrapa.br

⁵ Engenheiro-Agrônomo, Mestre, Professor da Universidade Regional Integrada de Alto Uruguai e Missões -URI, Campus Erechim. msergio@uri.com.br

⁶ Bacharel em Biologia, Doutora, Professora da Universidade Regional Integrada de Alto Uruguai e Missões - URI. valice@uri.com.br

importante na avaliação. A sazonalidade de troca gasosa acompanha a ocorrência de paradas e ondas de crescimento da erva-mate. As progênies P18 e P47, classificadas quanto ao valor genético, em quinto e 23º lugar, respectivamente, apresentaram maior *A*, maior economia de água (menor *E* com maior *A*) e maior sobrevivência, quando comparadas com P15 e P41, que ocuparam a 23ª e a 40ª posição, respectivamente. Com herdabilidade individual no sentido restrito de 22,7%, é necessário recorrer a métodos de seleção que utilizem, simultaneamente, as informações do indivíduo e da média de sua família, para melhorar o peso de massa foliar em planta de erva-mate. Houve coerência entre respostas genéticas na análise de massa foliar e análise ecofisiológica, o que sugere avaliar componentes ecofisiológicos acompanhando a avaliação de massa foliar ou/e massa total, no processo de seleção e melhoramento genético da erva-mate.

Palavras-chave: condutância estomática, fotossíntese, herdabilidade, transpiração, valor genético.

Ecophysiological and Productive Properties as Tool for Breeding of Maté (*Ilex paraguariensis* St. Hil.)

ABSTRACT

The aims of this study were to estimate the genetic parameters for 59 half-sib progenies of maté under pruning for formation, and to evaluate the ecophysiological properties for four progenies (P15, P18, P41 e P47) and two controls (P61 and P62), components of one maté breeding experiment combining provenances and progenies, established in Erechim, RS. The ecophysiological properties (stomatal conductance (*g_s*) – mol m⁻²s⁻¹, net photosynthesis (*A*) - μmol CO₂ m⁻²s⁻¹, and transpiration (*E*) –mmol H₂O m⁻²s⁻¹) were measured during one year in five epochs (from September 2002 to August 2003). The variance components, genetic and phenotypic parameters and genetic values (for data of foliar mass collected in pruning of formation) were

obtained using a genetic-statistic program "SELEGEN – REML/BLUP". The analysis of ecophysiological parameters, showed the seasonality of responses, turns it important in evaluation. The seasonality of gas exchange followed the occurrence of growing pauses and growing flushes. Between the studied progenies two pointed out - P47 (20th position on genetic value and estimation of gain of foliar mass) and P18 (5th position) that was accompanied by higher photosynthetic rate (A), water economy (lower transpiration rate with higher A) and higher survival – compared to P15 (23rd position) and P41 (40th position). With an individual heritability of 22.7%, in narrow sense. Breeding methods exploring simultaneously the information about the individual and the average of its family for foliar mass weight of maté plants were necessary. The coherence between genetic responses in foliar mass and ecophysiological analyses suggests that evaluation of ecophysiological components could accompany the evaluation of foliar mass and/or total mass on selective process and breeding of maté.

Keywords: genetic value, heritability, photosynthesis, stomatal conductance, transpiration.

1. INTRODUÇÃO

A troca de gases, representada pela fotossíntese - A , condutância estomática - g_s e transpiração - E , varia em ampla escala não só entre espécies nas mesmas condições ambientais, mas também entre cultivares da mesma espécie (THOMAS et al., 1998). Pesquisas de campo mostram correlações significativas entre trocas gasosas e condições de micro-ambiente. Em geral, a troca de gases depende da resposta estomática, da diferença de pressão de vapor entre folha e ar (D_e) e da temperatura de folha - T_l (FARQUHAR et al., 1980), considerando que A e g_s também respondem à densidade de fluxo de fótons fotossinteticamente ativos (PPFD).

A erva-mate (*Ilex paraguariensis* St. Hil., Aquifoliaceae) é uma espécie arbórea subtropical que, excetuando-se o período das Missões, há oitenta anos começou a ser cultivada fora do seu micro-ambiente natural. Em função disso, houve necessidade de seu melhoramento para cultivo a pleno sol, que iniciou com foco na produtividade, incorporou preocupações com a qualidade da

bebida e, atualmente, com a área fitoterápica.

Os programas de melhoramento de erva-mate têm considerado, como principal ferramenta, o uso de testes de procedências e progênies instalados a partir de sementes coletadas em ambientes naturais e em cultivos estabelecidos a pleno sol. A partir destes trabalhos, é que têm sido indicados materiais para plantios na Argentina (BELINGHERI & PRAT KRICUN, 1997) e no Brasil (RESENDE et al., 2000).

Devido ao tempo curto para realização de medições, os parâmetros ecofisiológicos mostram-se importantes no processo seletivo de melhoramento genético de algumas espécies, como é o caso da mandioca (EL-SHARKAWY et al., 1990). Para tornar menos onerosos os processos de avaliação de resistência de cultivares ao estresse e à eliminação de cultivares e progênies em testes seletivos, novos métodos de medições e de avaliações ecofisiológicos estão sendo pesquisados. Medição de termoluminescência é um deles (GILBERT et al., 2004).

Em programas de melhoramento, é importante o conhecimento do controle genético de características de interesse econômico nas diversas etapas de desenvolvimento do povoamento, com o propósito de definir a melhor estratégia de melhoramento e obter estimativas de ganho. Portanto, o trabalho teve por objetivos verificar o controle genético do peso de massa foliar e a sua coerência com os critérios ecofisiológicos, no processo de melhoramento da erva-mate.

2. MATERIAL E MÉTODOS

2.1 PLANTAS E LOCAL DE ESTUDOS

O material genético foi constituído de 59 progênies de meios-irmãos de erva-mate coletadas em ervais nativos na região de Canoinhas – SC (P1 a P22) e em uma área de produção de sementes localizada em Colombo – PR (P23 a P59). Foram incluídas no teste três testemunhas: (P60) mudas produzidas com sementes coletadas em uma área de produção de sementes estabelecida em Três Barras – SC; (P61) mudas obtidas de um viveiro comercial de Erechim – RS

e (P62) mudas da erva-mate denominada “Cambona”. É importante mencionar que a “Cambona” consiste num material genético de boa produtividade e com alta aceitação no mercado consumidor, devido ao sabor suave de sua bebida.

As mudas foram obtidas e sementes e plantadas, sob condições de pleno sol, no campo experimental da Universidade Regional do Alto Uruguai e Missões (URICER), Campus Erechim (27° 29' 6" S, 52° 21' 3" W, altitude 820m), Rio Grande do Sul, em fevereiro de 2002. Erechim está localizada na zona climática fundamental temperada (C), apresentando clima do tipo fundamental úmido (f) e variedade específica subtropical (Cfa). Desse modo, o clima local é descrito como subtropical úmido (Cfa), com chuva bem distribuída durante o ano e temperatura média do mês mais quente superior a 22°C. Na área do teste, ocorrem predominantemente solos da classe LATOSSOLO VERMELHO Distroférico típico (EMBRAPA, 1999).

O delineamento experimental utilizado foi o de blocos ao acaso com oito repetições de seis plantas por parcela, no espaçamento de 3 x 2 metros (6m²/planta). As progênies e as testemunhas foram aleatorizadas independentemente das procedências, ou seja, não se adotou o arranjo hierárquico de progênies dentro de procedência. Por causa de seca, geada, competição com plantas daninhas, adubação efetuada e raízes mal formadas, algumas plantas jovens não sobreviveram, provocando um desbalanceamento natural das parcelas.

2.2 MEDIÇÕES GENÉTICAS E ANÁLISE ESTATÍSTICA

A poda de formação do erval foi efetuada em setembro de 2004, aos 33 meses após o plantio; nessa ocasião, foi medida a massa foliar de cada árvore. Os componentes de variâncias, parâmetros genéticos e fenotípicos e valores genéticos (para dados de massa foliar) foram obtidos através do programa genético - estatístico “SELEGEN – REML/BLUP” (RESENDE, 2002a), usando o modelo 5 para estimativas de parâmetros como a herdabilidade, considerando apenas as progênies de meios-irmãos oriundas das populações de Canoinhas – SC e de Colombo – PR. Para estimativas de valores genéticos, incluindo as testemunhas, foi utilizado o modelo 2.

2.3 MEDIÇÕES ECOFISIOLÓGICAS E ANÁLISE ESTATÍSTICA

Para as medições ecofisiológicas foram escolhidas quatro progênes com base na aparência morfo-fenotípica, duas originadas de Canoinhas-SC (P15 e P18), duas de Colombo (P41 e P47) e duas testemunhas, P61 e P62 (Cambona).

Medições de taxa de fotossíntese líquida (A - $\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$), condutância estomática (g_s - $\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$) e transpiração (E - $\text{mmolH}_2\text{O m}^{-2}\text{s}^{-1}$) foram efetuadas em cada planta, na folha mais jovem já expandida (madura), com o analisador LICOR-6200, nas horas de maior assimilação (de 9h até 15h). Em cada folha, o aparelho foi programado para gravar quatro médias no intervalo de 5s. As medições de troca de gases foram realizadas em ambiente natural, ao mesmo tempo em que também foram registradas a densidade de fluxo de fótons ativos em fotossíntese no nível de folhas – PPFd (em $\mu\text{mol fótons m}^{-2} \text{ s}^{-1}$) e a temperatura (em $^{\circ}\text{C}$).

As propriedades ecofisiológicas foram medidas durante um ano (setembro de 2002 a agosto de 2003) em cinco épocas, a cada dez semanas: setembro de 2002; fim de novembro de 2002; início de fevereiro de 2003; maio de 2003; agosto de 2003.

As análises de variância das propriedades ecofisiológicas e da sobrevivência de plantas foram executadas pelo Método de Máxima Verossimilhança Restrita – REML (LITTELL et al., 1996). A adoção de parcelas de pequeno tamanho, associada à alocação de testemunhas, possibilitou a realização das análises estatísticas por contrastes ortogonais: 1) testemunhas versus Canoinhas e Colombo (P61 e P62 vs P15, P18, P41 e P47); 2) entre testemunhas (P61 vs P62); 3) entre Canoinhas e Colombo (P15 e P18 vs P41 e P47); 4) entre progênes de Canoinhas (P15 vs P18); e 5) entre progênes de Colombo (P41 vs P47) (STELL & TORRIE, 1980). Os quadrados médios de resíduos utilizados para esses contrastes foram obtidos das análises de variância por REML.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 ASPECTOS GENÉTICOS

Verificou-se a presença de variabilidade genética significativa entre as progênes, conforme demonstrado pelo coeficiente de variação genético e pela

estimativa de herdabilidade e seu respectivo desvio padrão. Este foi de pequena magnitude em comparação com a magnitude da herdabilidade, garantindo que a mesma não atinja o valor zero, via limite inferior do intervalo de confiança (dado por aproximadamente duas vezes o desvio padrão), fato que denotaria ausência de variabilidade genética (Tabela 1). A herdabilidade individual, no sentido restrito no bloco, estimada para o peso de massa foliar, obtido por ocasião da poda de formação, foi de 22,7%, valor considerado moderado. Isto significa que grande parte da variabilidade fenotípica desse caráter é devido à variação ambiental. Desse modo, a seleção baseada no fenótipo pode ser ineficiente. Portanto, a instalação de testes combinados de procedência e progênie, com o intuito de selecionar indivíduos com base em seus valores genéticos preditos, empregando-se os valores individuais e também a informação de família, é adequada para aumentar a produção de massa foliar em erva-mate.

O coeficiente de variação genética, que expressa em porcentagem da média geral a quantidade de variação genética existente para o peso de massa foliar, foi da ordem de 40%, indicando boas perspectivas de ganho no melhoramento do material genético considerado nessa análise. O coeficiente de variação experimental foi de 40,6% que, embora de alta magnitude, é coerente com os valores obtidos para o caráter avaliado em condições de campo. O coeficiente de determinação dos efeitos de parcela (c^2_{parc}) foi de 0,0478, indicando que 4,8% da variabilidade total deveu-se à variação ambiental entre parcelas; esta variação é devido, principalmente, à variação de solo entre parcelas. Segundo RESENDE & STURION (2001), os valores de c^2_{parc} observados em bons experimentos em plantas perenes situa-se em torno de 0,10 (quando a herdabilidade estimada é da ordem de 0,30), ou seja, 10% da variação total dentro do bloco. Assim, para um nível de herdabilidade individual ao redor de 0,30, $c^2 \leq 0,10$ podem ser classificados como baixos e $c^2 > 0,10$ como altos, permitindo alguma inferência sobre a variabilidade espacial dentro dos blocos. A procedência Colombo, oriunda de uma área de produção de sementes, apresentou maior valor genético que a Canoinhas (sementes coletadas de erval nativo), com uma média de 0,236 kg de massa foliar por árvore contra 0,188 kg, ou seja, 25,5% mais produtiva.

Tabela 1. Estimativas de parâmetros genéticos para progênies de meios-irmãos de erva-mate, plantadas em Erechim – RS, considerando apenas as progênies de meios-irmãos das procedências Canoinhas – SC e Colombo – PR.

Variância genética aditiva (\hat{S}_a^2)	8794,613
Variância ambiental entre parcelas (\hat{S}_{parc}^2)	1851,74
Variância genética entre procedências (\hat{S}_{proc}^2)	1268,226
Variância residual dentro de parcelas (\hat{S}_e^2)	26786,43
Variância fenotípica individual (\hat{S}_f^2)	38701,01
Herdabilidade individual no sentido restrito no bloco (\hat{h}_a^2)	0,227245 ± 0,0659
Coefficiente de determinação dos efeitos de parcela (c^2_{parc})	0,047847
Coefficiente de determinação dos efeitos de procedência (c^2_{proc})	0,03277
Coefficiente de variação genética aditiva individual (%)	44,24414
Coefficiente de variação genética entre progênies (%)	22,12207
Coefficiente de variação experimental (%)	40,62719
Média geral em kg (u)	211,9594

Na Tabela 2, encontram-se os valores genéticos preditos pelo modelo 2, para as progênies das populações de Colombo e Canoinhas, incluindo as testemunhas, que foram utilizadas para a determinação de variáveis morfológicas. As testemunhas comerciais (P61) e Cambona (P62) ocupam, respectivamente, a primeira e 12ª posição no ranking efetuado para valores genéticos preditos. É importante destacar que as mudas das progênies das populações de Canoinhas e Colombo foram produzidas em sacos plásticos de 14cm de altura por 7cm de diâmetro e plantadas com no máximo 30 cm de altura, enquanto que as mudas provenientes do viveiro comercial (P61) foram produzidas em sacos plásticos com 30 cm de altura por 20 cm de diâmetro e levadas para o campo com 60 cm de altura média. Assim, é necessário aguardar o resultado de novas podas para verificar a real potencialidade das progênies testadas. Ressalta-se que dez progênies ocupam, no ordenamento, posições acima da Cambona, cujas mudas são procuradas para plantios comerciais.

Tabela 2. Valores genéticos (G) e estimativas de ganhos para peso de massa foliar em nível de indivíduo obtidos na poda de formação, para progênes de meios-irmãos de erva-mate, incluindo as testemunhas.

Classificação	progênie	G	u + g	ganho	Nova média
1	P61	158,8137	382,2798	158,8137	382,2798
5	P18	71,4272	294,8934	111,208	334,6741
12	P62	37,7971	261,2632	74,3627	297,8289
20	P47	10,954	234,4201	54,4988	277,965
23	P15	1,5128	224,979	48,0087	271,4749
40	P41	-22,748	200,7181	22,8006	246,2668

u = média do teste; g = efeito genotípico predito

3.2 ASPECTOS ECOFISIOLÓGICOS

A temperatura da folha (T_l) e a densidade de fluxo de fótons na faixa de radiação fotossinteticamente ativa (PPFD) no nível de folhas mostraram diferenças significativas em relação às épocas (Tabela 3). Essas diferenças eram esperadas, uma vez que em clima subtropical ocorrem mudanças sazonais. Por exemplo, em fevereiro, a temperatura e a PPFD mostraram-se elevadas, enquanto que em setembro e novembro, nos dias das medições, a PPFD e a temperatura estavam reduzidas, por causa da presença de nuvens.

Tabela 3. Médias de densidade de fluxo de fótons da radiação fotossinteticamente ativa (PPFD) e temperaturas em folhas de quatro progênes de meios-irmãos e duas testemunhas de erva-mate plantadas em Erechim – RS, em cinco épocas (setembro de 2002 a agosto de 2003).

Época	Set_2002	Nov_2002	Fev_2003	Mai_2003	Ago_2003
Ambiente					
PPFD	865,39 (C)	526,4 (D)	1714,50 (A)	1710,51 (A)	1462,26 (B)
T_l (°C)	28,30 (B)	26,48 (C)	34,97 (A)	25,61 (D)	16,56 (E)

Letras distintas diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

3.2.1 Fotossíntese

Todos os parâmetros ecofisiológicos - fotossíntese líquida (A - $\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$), condutância estomática (g_s - $\text{molH}_2\text{O m}^{-2}\text{s}^{-1}$) e transpiração (E - $\text{mmolH}_2\text{O m}^{-2}\text{s}^{-1}$) - mostraram diferenças significativas em relação às épocas (Tabela 4). As respostas, apesar de sazonais (Figuras 1-3), mostraram-se paradoxais, uma vez que os valores de troca de gases não estão proporcionalmente associados às mudanças meteorológicas ou aos recursos ambientais medidos, PPFD e Tl no nível de folhas (Tabela 3). A sazonalidade da fotossíntese em clima subtropical foi observada e analisada no café, com efeito forte da temperatura do ar (SILVA et al., 2004).

Tabela 4. Análise de variância (p-valor) de troca gasosa (fotossíntese líquida - A , condutância estomática - g_s e transpiração E) e de sobrevivência de progênies de meios-irmãos, em diferentes épocas de avaliação.

Fonte de variação	G.L.	A	g_s	E	Sobrevivência
Bloco	3				
Progênie	5	0,1683	0,0091	0,0152	0,0023
Época	4	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001
Progênie x Época	20	0,6980	0,4881	<0,0001	0,0195

Os valores significativos são destacados em negrito.

Analisando os dados de fotossíntese (Figura 1) nas diferentes épocas, observou-se menor valor de A no mês de fevereiro de 2003. Nessa época, que corresponde ao meio do intervalo do crescimento vegetativo ativo da erva-mate no campo, e que apresentou valores de $\text{PPFD} = 1714 \mu\text{molm}^{-2}\text{s}^{-1}$ e $Tl = 34,97^\circ\text{C}$ elevados e significativamente maiores que os de outras medições do ano (Tabela 3), era de se esperar uma elevada resposta fotossintética. Em café, observou-se correlação positiva entre a temperatura e fotossíntese no período do crescimento ativo (outubro-março), e negativa na parada de crescimento no período de abril a setembro (SILVA et al., 2004). Em testes de crescimento da erva-mate efetuados recentemente (BAZZO & RAKOCEVIC, 2005), foi verificado que as plantas apresentaram um estado de parada do crescimento parcial ou até mesmo total de dezembro a fevereiro e uma parada do crescimento total de junho até início de setembro. Depois de cada parada de crescimento, ocorreu um período de grande emissão de novas brotações (crescimento ativo).

No mês de agosto, a temperatura média de folhas (16,56 °C) foi a mais baixa dentre todas as épocas, enquanto a PPFD (1426,26 μmol m⁻² s⁻¹) apresentou o segundo valor mais elevado (Tabela 3). Mesmo com a temperatura baixa, nessa época de pausa de crescimento (inverno), a fotossíntese líquida (Figura 1 e Tabela 5) apresentou valores significativamente maiores que no verão (fevereiro de 2003).

Resultados de fotossíntese líquida (A) revelaram, também, diferenças significativas entre as progênies testemunhas; entre as progênies de Canoinhas-SC e Colombo-PR e entre as progênies de Colombo-PR, nas épocas de novembro de 2002, maio de 2003 e fevereiro de 2003, respectivamente (Tabela 5).

Tabela 5. Contrastes ortogonais para o caráter fotossíntese líquida (A) de progênies de meios-irmãos de erva-mate plantadas em Erechim – RS.

Progênie	Fotossíntese (A)				
	Set_2002	Nov_2002	Fev_2003	Mai_2003	Ago_2003
Contrastes	p-valor do teste F				
P61 e P62 vs P15, P18, P41, P47	0,6477	0,4067	0,3951	0,5183	0,5634
P61 vs P62	0,4165	0,0309	0,2012	0,1355	0,0926
P15 e P18 vs P41 e P47	0,8065	0,8916	0,1237	0,0545	0,5293
P15 vs P18	0,3552	0,7019	0,2581	0,8669	0,6826
P41 vs P47	0,7812	0,3298	0,0170	0,2178	0,6514

Os valores significativos são destacados em negrito.

No início de emissão de novas brotações (setembro 2002, primavera), não foram observadas diferenças entre os grupos de progênies, quanto à taxa de fotossíntese (Tabela 5). As testemunhas da região (P61) e Cambona (P62) não se destacaram das demais, em relação à produção fotossintética. A testemunha P61 mostrou-se diferente da P62 somente no início das medições, em novembro 2002 (Tabela 5), talvez, pelo fato de suas mudas terem sido formadas em recipientes de maior volume, induzindo a um crescimento inicial superior às demais progênies. Com o tempo, esse efeito desapareceu e P61 passou a apresentar taxa fotossintética no nível das outras progênies (Figura 1 e Tabela 5).

Na época da pausa parcial de crescimento (fevereiro de 2003), P47 mostrou maior assimilação de carbono do que P41 (Tabela 5) e as demais progênies estudadas (Figura 1). O grupo de progênies de Colombo-PR (P41 e P47) apresentou maior assimilação do que Canoinhas-SC (P15 e P18), em maio (Tabela 5).

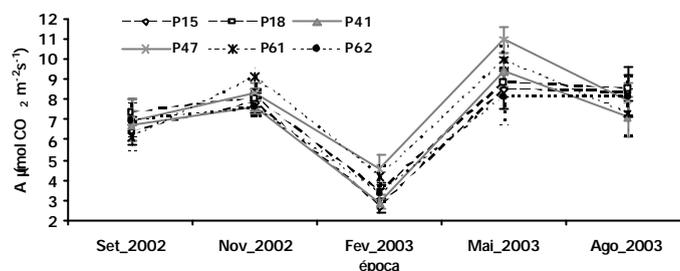


Figura 1. Fotossíntese líquida (A) e erro padrão de estimativa de seis progênie de erva-mate. Medições efetuadas na folha inteiramente expandida mais recentemente emitida, em cinco épocas (setembro de 2002 a agosto de 2003).

3.2.2 Condutância estomática

A diferença de assimilação (A) entre as progênie (Figura 1, Tabela 5) não mostrou padrão idêntico ao da condutância estomática - *gs* (Figura 2, Tabela 6). Isso leva a crer que pode existir adaptabilidade de assimilação por meio da *gs*. Esta adaptabilidade expressou-se mais claramente em P61, que apesar de apresentar menor *gs* em novembro e maio, teve uma taxa da fotossíntese alta em comparação às demais progênie. Isso permite inferir que P61 pode ter tido melhor economia de água e menor taxa de transpiração (Figura 3). Aumento de A de soja por meio de maior *gs* em condições de estresse hídrico foi relatado por Earl (2002).

Tabela 6. Contrastes ortogonais para o caráter condutância (*gs*) de progênie de

Progenie	Condutância estomática (<i>gs</i>)				
	Set_2002	Nov_2002	Fev_2003	Mai_2003	Ago_2003
Contrastes	p-valor do teste F				
P61 e P62 vs P15, P18, P41, P47	0,2459	0,1380	0,5290	0,0358	0,5994
P61 vs P62	0,7258	0,3391	0,9751	0,1283	0,0050
P15 e P18 vs P41 e P47	0,2692	0,1032	0,8070	0,3658	0,6511
P15 vs P18	0,8408	0,6128	0,2892	0,0997	0,7849
P41 vs P47	0,0402	0,3857	0,0203	0,3132	0,0809

Os valores significativos são destacados em negrito.

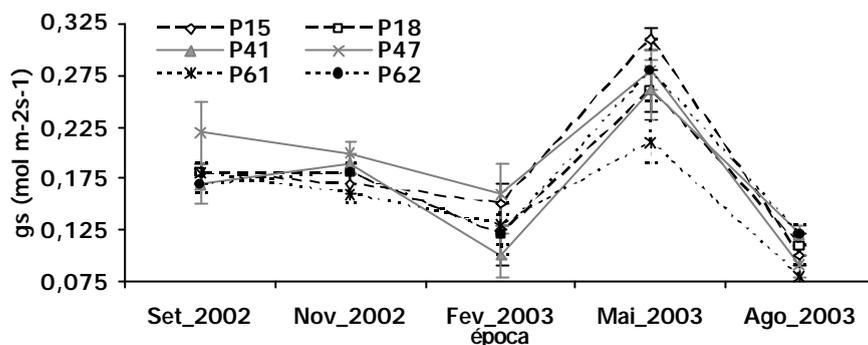


Figura 2. Condutância estomática (g_s) e erro padrão de estimativa de seis progênies de erva-mate. Medições efetuadas na folha inteiramente expandida mais recentemente emitida, em cinco épocas (setembro de 2002 a agosto de 2003).

3.2.3 Transpiração

A taxa de transpiração da erva-mate mostrou um modelo de resposta sazonal (Figura 3), associado com ocorrências de crescimento ativo e parado do crescimento (BAZZO & RAKOCEVIC, 2005). Dessa maneira, nas paradas de crescimento, os valores de transpiração foram extremamente baixos (agosto e fevereiro) e relativamente altos em crescimento vegetativo (maio, setembro e novembro).

Tabela 7. Contrastes ortogonais para o caráter transpiração (E) de progênies de meios-irmãos de erva-mate plantadas em Erechim – RS.

Progenie	Transpiração (E)				
	Set_2002	Nov_2002	Fev_2003	Mai_2003	Ago_2003
Contrastes	p-valor do teste F				
P61 e P62 vs P15, P18, P41, P47	0,8270	0,7309	0,9057	0,4989	0,4731
P61 vs P62	0,2597	0,0607	0,5952	0,0014	0,0102
P15 e P18 vs P41 e P47	0,0130	0,1065	0,1865	0,3242	0,5313
P15 vs P18	0,2095	0,0034	0,0363	0,0211	0,8541
P41 vs P47	0,1108	0,1920	<0,0001	0,3489	0,8186

Os valores significativos são destacados em negrito.

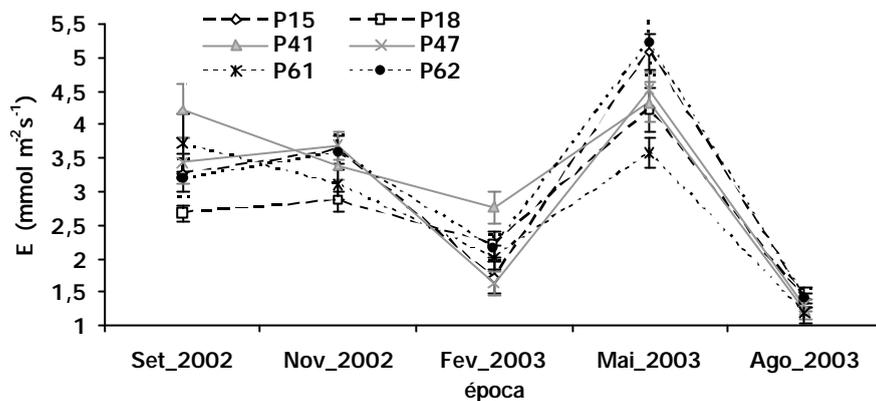


Figura 3. Transpiração (E) e erro padrão de estimativa de seis progênies de ervamate. Medições efetuadas na folha inteiramente expandida mais recentemente emitida, em cinco épocas (setembro de 2002 até agosto de 2003).

As progênies testemunhas não mostraram valores superiores em relação às demais, entretanto P61 mostrou-se mais econômica com água que Cambona, especialmente nas épocas de maio e agosto (Tabela 7). No início da emissão de novas brotações após o inverno (setembro), as progênies de Canoinhas-SC apresentaram menor E em comparação com Colombo-PR, porém essa diferença não foi mantida nas demais épocas. Observaram-se, praticamente ao longo de todo intervalo de atividade vegetativa (de novembro a maio), diferenças significativas entre as duas progênies de Canoinhas (Tabela 7). Verificou-se, também, que P47 apresentou menor E (Figura 3), mas não reduziu a assimilação (Figura 1), devido à condutância estomática elevada (Figura 2), o que a tornou a progênie mais eficiente no uso da água. Transpiração e g_s em P41 foram significativamente maiores em comparação à P47 (Tabelas 6 e 7), com a redução de A em fevereiro de 2003, o que pode explicar a classificação da progênie P41 em último lugar, em termos de valor genético e peso de folhas, entre as seis progênies estudadas (Tabela 2).

3.2.4 Sobrevivência

A sobrevivência de indivíduos, nas seis progênies que tiveram seus parâmetros ecofisiológicos estudados, foi acompanhada ao longo do intervalo de avaliação (Figura 4). No início, a sobrevivência das plantas era alta. No

entanto, depois de fevereiro de 2003, houve uma dramática diminuição, em função de abrupta exposição das plantas das progêneses a elevadas temperaturas e PPFD, quando da realização de capinas visando suprimir a excessiva competição com plantas daninhas, as quais se desenvolveram nesta época.

Tabela 8. Contrastes ortogonais para o caráter sobrevivência de progêneses de meios-irmãos de erva-mate plantadas em Erechim – RS.

Progênie	SOBREVIVÊNCIA				
	Set_2002	Nov_2002	Fev_2003	Mai_2003	Ago_2003
Contrastes	p-valor do teste F				
P61 e P62 vs P15, P18, P41 e P47	0,5136	0,2081	0,0038	0,2301	0,0836
P61 vs P62	1,0000	1,0000	1,0000	0,1840	0,3023
P15 e P18 vs P41 e P47	1,0000	0,4593	0,0315	0,3403	0,2060
P15 vs P18	0,4253	0,0484	0,4149	0,0139	0,0812
P41 vs P47	0,4253	0,2997	0,0238	0,1840	0,3023

Os valores significativos são destacados em negrito.

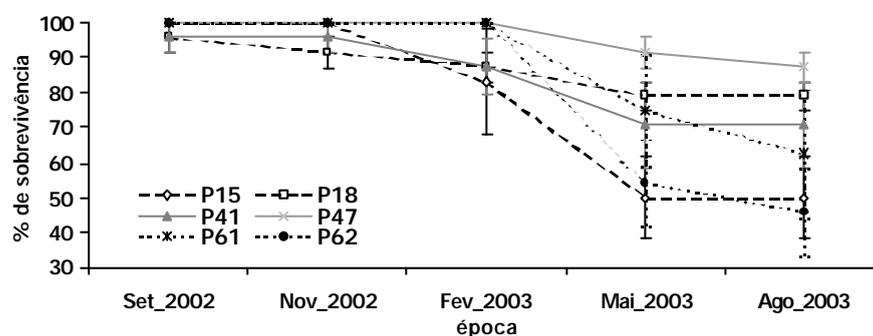


Figura 4. Sobrevivência e erro padrão de estimativa de seis progêneses de erva-mate, em cinco épocas (setembro de 2002 até agosto de 2003).

Diferenças significativas de sobrevivências apenas foram observadas no decorrer do ensaio. No entanto, na avaliação final, em agosto de 2003, as taxas de sobrevivência das progêneses testemunhas foram significativamente mais baixas que as das demais progêneses com maior evidência para a testemunha Cambona (Tabela 8, Figura 4). A baixa sobrevivência de Cambona (P61) pode ser atribuída à menor capacidade de aclimação de seu sistema fotossintético

ao passar de uma situação de baixa exposição à irradiação (devido à competição com plantas daninhas) para uma outra inversa, resultando em sobrevivência de apenas 45,83% em agosto de 2003.

O grupo de meios-irmãos oriundo de Canoinhas (P15 e P18) apresentou, na média geral, menor sobrevivência quando comparado às progênies de Colombo (P41 e P47; Tabela 8). Nesta origem, P47 mostrou maior fotossíntese e sobrevivência que P41. Também, no fim de medições, P18 apresentou maior sobrevivência que P15 (Tabela 8, Figura 4).

3.2.5 *Discussão geral*

Todos os valores de troca de gases (A , g_s e E) mostraram sazonalidade de respostas e foram mínimos no mês de fevereiro, em pleno verão (Figuras 1-3), com as temperaturas e PPFD elevadas. A sazonalidade de respostas ecofisiológicas acompanhou a ocorrência de paradas e ondas de crescimento da erva-mate, mostrando valores maiores quando ocorreram novas brotações e reduzidos nos estágios de paradas de crescimento. Observa-se que a influência de temperatura na A pode ser negativa mesmo no período de parada de crescimento estival da erva-mate (Figura 1, Tabela 3), como ocorre com a cultura de café no clima subtropical, todavia, na parada do crescimento no período de inverno (SILVA et al., 2004). Dessa maneira, abre-se para pesquisa futura a seguinte questão: as paradas de crescimento (BAZZO & RAKOCEVIC, 2005) junto com as reduções estival e invernal de troca gasosa da erva-mate estão correlacionadas com as temperaturas limitantes, com fotoperiodicidade, ou com ambas?

Em fevereiro de 2003, além de se encontrarem em parada de crescimento, as plantas jovens da erva-mate passaram por uma abrupta exposição a temperaturas e PPFD elevadas, quando foram realizadas capinas para supressão de plantas daninhas. A influência negativa geral da PPFD elevada na troca gasosa pode ser excluída, uma vez que a luz intensa também ocorreu, em outras épocas de medições (Tabela 3 e Figuras 1-3), sem, no entanto, reduzir o valor de troca de gases. A erva-mate é considerada umbrófila (CARPANEZZI, 1995), mas PPFD elevada em cultivo no pleno sol não se mostrou fator negativo em nosso experimento. Isso indica que nem todas progênies da erva-mate possuem um sistema eficaz de aclimação na passagem abrupta da sombra para sol, o

que influenciou a diminuição de sobrevivência de indivíduos em maio de 2003, como foi mostrado em estudo comparativo de algumas espécies tropicais (STRAUSS-DEBENEDETTI & BAZZAZ, 1991). Assim, torna-se necessário estudar a PFD de saturação da fotossíntese de folhas em diferentes situações de luz e sombreamento e o sistema de proteção da radiação excessiva (VALLADARES & PIGNAIRE, 1999) usado pela erva-mate.

As progênies de erva-mate com maior sobrevivência final (Figura 4) e a melhor resposta ecofisiológica ao longo de medições, P47 e P18, apresentaram altos valores de A e de g_s (Figuras 1 e 2), permitindo um ganho de carbono superior ao das demais e expresso na massa foliar. As taxas de fotossíntese e de transpiração acompanharam e explicaram coerentemente as medições de massa foliar da erva-mate ordenando, também, o grupo de progênies de Colombo na frente de Canoinhas (Tabela 2, Figuras 1-3). Essa constatação está em acordo com as correlações estabelecidas para 127 cultivares de mandioca (EL-SHARKAWY et al., 1990) entre a fotossíntese de folhas individuais e biomassa total. Tais correlações foram determinadas no presente trabalho, e impõe-se que sejam feitos para um número de progênies maior do que o aqui atuado.

A variabilidade da fertilidade do solo na área experimental pode ter induzido a uma grande variabilidade de respostas ecofisiológicas, influenciando A (REICH et al., 1999). Considerando que A , medida em "situ", apresenta grande variação dependente de variações do solo e condições microclimáticas, WHITEHEAD et al. (2005) recomendam o uso de outro parâmetro, A_{max} (taxa de fotossíntese máxima), para realizar as comparações entre as cultivares e espécies, apesar de que A mostra a reação no ambiente estudado (JAIMEZ et al., 1999).

Entre as progênies estudadas ecofisiologicamente, destacaram-se P47 (20ª posição na Tabela 2) e P18 (5ª posição) pela maior A , economia de água (menor taxa de transpiração com maior A) e maior sobrevivência, comparadas com P15 (23ª posição) e P41 (40ª posição). Houve coerências entre respostas genéticas na análise de massa foliar e análise ecofisiológica, o que sugere ser interessante a avaliação de componentes ecofisiológicos, em conjunto com a massa foliar ou/e massa total, no processo de seleção e melhoramento genético da erva-mate.

É importante destacar que o controle genético do peso de biomassa foliar, obtida por ocasião da poda de formação, expresso pela herdabilidade individual no sentido restrito, foi moderado, evidenciando alta influência do ambiente na manifestação desse caractere. Assim, as diferentes respostas ecofisiológicas das progênes tornam-se importantes na identificação dos melhores genótipos. É importante, também, esclarecer que a avaliação genética dos candidatos à seleção é um processo fundamental ao melhoramento genético (RESENDE, 2002b). Em plantas perenes, como a erva-mate, a seleção propriamente dita deve ser efetuada com base nos valores genéticos aditivos, quando o interesse for a propagação sexuada dos indivíduos selecionados.

4. CONCLUSÕES

Com herdabilidade individual no sentido restrito de 22,7%, é necessário recorrer a métodos de seleção que utilizem simultaneamente as informações do indivíduo e da média de sua família, para melhorar o peso de massa foliar em planta de erva-mate;

Os índices ecofisiológicos foram coerentes com a produção de massa foliar, mostrando-se uma ferramenta potencial para o processo de melhoramento da erva-mate;

O material genético em teste apresentou boas perspectivas para a seleção de progênes mais produtivas em termos de massa foliar;

A análise de parâmetros ecofisiológicos, mesmo com número restrito de progênes, mostrou sazonalidade de respostas da erva-mate, tornando-a importante na avaliação de respostas durante o ano;

A troca de gases apresentou valores inferiores no mês de fevereiro, no meio de intervalo de crescimento vegetativo da erva-mate, o que pode estar relacionado com parada de crescimento parcial ou total na mesma época;

Apesar da erva-mate ser considerada espécie umbrófila, ela consegue manter valores altos de assimilação e sobrevivência se mantida sempre ao sol. Houve

exceção quando plantas mantidas alguns meses em competição com ervas daninhas altas foram expostas abruptamente ao sol, depois de roçada e capinada.

Considerando-se que as plantas avaliadas eram muito jovens, indica-se como necessária a continuação das avaliações ecofisiológicas por um número maior de anos, visando auxiliar na seleção de progênies com maior eficiência no uso da água.

5. AGRADECIMENTOS

O trabalho efetuado foi realizado com o apoio do Instituto Interamericano de Cooperação para a Agricultura – IICA, que proporcionou uma consultoria, e do CNPq, que concedeu uma bolsa de Pesquisadora Visitante para Miroslava Rakocevic. Agradecemos aos técnicos de campo da *Embrapa Florestas* e da Universidade Regional Integrada do Alto Uruguai e Missões – Campus de Erechim - URICER pela ajuda técnica.

6. REFERÊNCIAS

BAZZO, K. C. de; RAKOCEVIC, M. Periodicidade no crescimento vegetativo de *Ilex paraguariensis* (St. Hil.) *Aquifoliaceae*. In: ENCONTRO DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA DA EMBRAPA FLORESTAS, 4., 2005, Colombo. **Resumos**. Colombo: Embrapa Florestas, 2005. 1 CD-ROM. (Embrapa Florestas. Documentos, 114).

BELINGHERI, L. D.; PRAT KRICUN, S. D. Programa de mejoramiento genético de la yerba mate en el INTA. In: CONGRESSO SUL-AMERICANO DA ERVA-MATE. 1.; REUNIÃO TÉCNICA DO CONE SUL SOBRE CULTURA DA ERVA-MATE, 2., 1997, Curitiba. **Anais**. Colombo: EMBRAPA-CNPq, 1997. p. 267-278. (EMBRAPA-CNPq, Documentos, 33).

CARPANEZZI A. Cultura da erva-mate no Brasil: conflitos e lacunas. 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. 43-46.

EL-SHARKAWY, M. A.; COCK, J. H.; LYNAM, J. K.; PILAR HERNÁNDEZ, A. del.; CADAVID, F. L. Relationship between biomass, root-yield and single-leaf photosynthesis in field grown cassava. **Field Crops Research**, v. 25, n. 3-4, p. 183-201, 1990.

EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. Brasília, DF: Embrapa Produção de Informação; Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 1999. 412 p.

EARL, H. J. Stomatal and non-stomatal restrictions to carbon assimilation in soybean (*Glycine max*) lines differing in water use efficiency. **Environmental and Experimental Botany**, v. 48, p. 237-246, 2002.

FARQUHAR, G. D.; CAEMMERER, S. von; BERRY, J. A. A biochemical model of photosynthetic CO₂ assimilation in leaves of C₃ species. **Planta**, v. 149, p. 78-90, 1980.

GILBERT, M.; WAGNER, H.; WEINGART, I.; SKOTNICA, J.; NIEBER, K.; TAUER, G.; BERGMANN, F.; FISCHER, H.; WILHELM, C. A new type of thermoluminometer: a highly sensitive tool to applied photosynthesis research and plant stress physiology. **Journal of Plant Physiology**, v. 161, p. 641-651, 2004.

JAIMEZ, R. E.; RADA, F.; GARCÍA-NÚÑEZ, C. The effect of irrigation frequency on water and carbon relations in three cultivars of sweet pepper (*Capsicum chinense* Jacq) in a tropical semiarid region. **Scientia Horticulturae**, v. 81, p. 301-308, 1999.

LITTEL, R. C.; MILLIKEN, G. A.; STROUP, W. W. **SAS system for mixed models**. Cary: SAS Institute, 1996. 633 p.

REICH, P. B.; ELLSWORTH, D. S.; WALTERS, M. B.; VOSE, J. M.; GRESHAM, C.; VOLIN, J. C.; BOWMAN, W. D. Generality of leaf trait relationships: a test

across six biomes. **Ecology**, v. 80, p. 1955–1969, 1999.

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

RESENDE, M. D. V. de. **Software SELEGEN – REML/BLUP**. Colombo: Embrapa Florestas, 2002a. 67 p. (Embrapa Florestas. Documentos, 77).

RESENDE, M. D. V. de; STURION, J. A. **Análise genética de dados como dependência espacial e temporal no melhoramento de plantas perenes via modelos geoestatísticos e de séries temporais empregando REML/BLUP ao nível de individual**. Colombo: Embrapa Florestas, 2001. 80 p. (Embrapa Florestas. Documentos, 65).

RESENDE, M. D. V. de; STURION, J. A. CARVALHO, A. P. D. de, SIMEÃO, M. R.; 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).

SILVA, E. A.; DAMATTA, F. M.; DUCATTI, C.; REGAZZI, A. J.; BARROS, R. S. Seasonal changes in vegetative growth and photosynthesis of Arabica coffee trees. **Field Crops Research**, v. 89, n. 2-3, p. 349-357, Oct. 2004

STELL, R. G. D.; TORRIE, J. H. **Principles and procedures of statistics: a biometrical approach**. New York: MacGraw-Hill, 1980. 633 p.

STRAUSS-DEBENEDETTI, S.; BAZZAZ F. A. Plasticity and acclimation to light in tropical Moraceae of different successional positions. **Oecologia**, v. 87, p. 377-387, 1991.

THOMAS, D. S.; TURNER, D. W.; EAMUS, D. Independent effects of the environment on the gas exchange of three banana (*Musa* sp.) cultivars of different genomic constitution. **Scientia Horticulturae**, v. 75, p. 41-57, 1998.

VALLADARES, F.; PUGNAIRE, F. I. Tradeoffs between irradiance capture and avoidance in semi-arid environments assessed with crown architecture model. **Annals of Botany**, v. 83, p. 459-469, 1999.

WHITEHEAD, D.; BOELMAN, N. T.; TURNBULL, M. H.; KEVIN, L.; GRIFFIN, K. L.; TISSUE, D. T.; BARBOUR, M. M.; HUNT, J. E.; RICHARDSON, S. J.; PELTZER, D. A. Photosynthesis and reflectance indices for rainforest species in ecosystems undergoing progression and retrogression along a soil fertility chronosequence in New Zealand. **Oecologia**, v. 144, n. 2, p. 233-244, 2005.