

Fitoquímicos em folhas de *Ilex paraguariensis* submetidas à ventilação forçada

Tiago Silveira Ferrera¹ , Arno Bernardo Heldwein² , Clarissa Obem dos Santos² , Júnior César Somavilla² , Cláudia Kaehler Sautter² , Jocélia Rosa da Silva² , Daniella Moreira Salvadé² 

¹Universidade Federal de Santa Maria; Universidade Federal de Santa Maria, Campus Mariano da Rocha Filho, Avenida Roraima, nº 1000, Bairro Camobi, 97105-900, Santa Maria, Brasil.

*Autor para correspondência: tsferrera.bio@gamil.com

RESUMO: A erva-mate, uma planta nativa do Sul do Brasil, tem grande importância sócio-econômica nessa região. A qualidade de suas folhas e ramos novos para o chimarrão ou chás bem como para a indústria farmacêutica e de cosméticos, pode ser afetada por estresses ecofisiológicos, principalmente quando em monocultivos, por ser uma planta climática, que em seu habitat natural se desenvolve em um microambiente abrigado por extratos arbóreos superiores. A obtenção de maior produtividade e com alta concentração de fitoquímicos benéficos à saúde, como os compostos fenólicos e antioxidantes, com preço diferenciado, é resultante da adequação da condição do ambiente de cultivo. Por isso, as práticas de cultivo e manejo devem ser adequadas às diferentes condições micrometeorológicas, decorrentes da época do ano e do grau de exposição da planta, visando minimizar possíveis estresses por níveis excessivos de radiação solar, temperatura e velocidade do vento. Assim, objetivou-se avaliar a concentração de compostos fenólicos e antioxidantes em função do estresse ocasionado pelo aumento da velocidade do vento na erva-mate parcialmente sombreada e com cobertura do solo por restos vegetais. O experimento foi conduzido a campo em Santa Maria, RS, com plantas jovens de erva-mate, em um delineamento bifatorial inteiramente casualizado, em três repetições. Os fatores testados foram a velocidade do vento (natural atenuado de $\approx$ 0 m/s e artificial de 2, 4 e 6 m/s) e sombreamento (18 e 35%), em parcelas constituídas por 12 plantas do progênie “Cambona”. Após os períodos de ventilação forçada, aplicados no verão e no outono, foram coletadas e congeladas 20 folhas de cada unidade experimental. Preparou-se então os extratos alcoólicos e determinou-se o teor de polifenóis e flavonoides por espectrofotometria com leitura de absorção em UV-visível. A capacidade antioxidante foi determinada pelos métodos de redução do ferro (FRAP) e do radical ABTS. Verificou-se que a aplicação da ventilação forçada de até 6 m/s alterou a composição fitoquímica, expressa em compostos fenólicos e flavonoides e na capacidade antioxidante, principalmente no verão. Conclui-se que as folhas de erva-mate possuem maior acúmulo de compostos fenólicos e flavonoides e maior capacidade antioxidante em locais abrigados de vento, com sombreamento parcial de 35% e superfície do solo coberta com resíduos vegetais.

Palavras-chave: erva-mate, vento, composição fitoquímica, antioxidante

ABSTRACT: Phytochemicals in leaves of *Ilex paraguariensis* submitted to forced ventilation. *Ilex paraguariensis*, a native plant to southern Brazil, has great socio-economic importance in this region. The quality of their leaves and new branches to “mate” or teas, also for pharmaceutical and cosmetics industries, can be affected by ecophysiological stresses, especially when in monoculture, for being a climax plant, which in its natural habitat develops into a sheltered microenvironment by superior tree fragments. Obtaining greater productivity, with high concentration of beneficial health phytochemicals, as the phenolic compounds and antioxidants, with differentiated prices, is a result of the environment condition. So, the cultivation and management practices must be suited to the different micrometeorological conditions from the time of year and the degree of the plant exposure, in order to minimize possible stresses by excessive levels of solar radiation, temperature and wind speed. Thus, the objective of this work was evaluate the phenolics and antioxidants concentration as a function of stress caused by the increase of the wind speed in yerba mate leaves partially shaded and with plant remains

coverage of the soil. The experiment was conducted in field conditions with young yerba mate plants, in a completely randomized bifactorial design with three repetitions in Santa Maria-RS. The factors tested were the wind speed (natural mitigated ≈ 0 m/s, and 2, 4 and 6 m/s artificial wind) and shading (18 and 35%), consisting of 12 plants p/ plot of progeny "Cambona". After the periods of forced ventilation, applied in summer and autumn, 20 sheets of each experimental unit were collected and frozen. Alcoholic extracts were prepared and then determined the polyphenols and flavons contents by spectrophotometry with reading of UV-visible absorption. The antioxidant capacity was determined by iron reduction method (FRAP) and acid radical (ABTS). It was verified that the application of forced ventilation of 6 m/s or more altered the phytochemical composition expressed in phenolic and flavonoids compounds and antioxidant capacity, especially in summer. It was concluded that the yerba mate leaves have greater accumulation of phenolic compounds and flavonoids and better antioxidant capacity in places sheltered from wind, with partial shading of 35% and soil surface covered with plant waste.

Key words: Yerba mate, wind, phytochemical composition, antioxidant

INTRODUÇÃO

A erva-mate (*Ilex paraguariensis* St. Hil.) é uma espécie da família Aquifoliaceae, nativa da América do Sul de grande importância econômica e social (Carneiro et al. 2006; Lorenzi 2008). As folhas possuem várias utilizações de consumo, como na forma de chimarrão, tererê e chás ou na forma de extratos nas indústrias farmacêutica, de cosméticos e alimentícia (Daniel 2009).

É um vegetal climácico, com distribuição natural desde o norte da Argentina, Paraguai e sul do Brasil (Carneiro et al. 2006), onde preponderam os tipos climáticos Cfb, Cwb e Cfa. No Brasil, a erva-mate abrange desde a região centro-norte até a depressão central do Rio Grande do Sul, passando por quase todo o estado de Santa Catarina avançando pelo centro-sul do estado do Paraná até o nordeste próximo ao estado de São Paulo e no oeste do Paraná até sul do estado o Mato Grosso do Sul. Na Argentina ocorre nas províncias de Misiones e Corrientes e na região oriental do Paraguai (Daniel 2009).

As plantas da erva-mate se desenvolvem naturalmente no extrato inferior de dosséis arbóreos, protegidas das condições meteorológicas extremas. Assim, nos sistemas de monocultivo podem ficar expostas a condições de estresse ecofisiológico por extremos de radiação solar, temperatura e velocidade do vento. Estudos sobre os efeitos da velocidade do vento na erva-mate são escassos e genéricos. Daniel (2009) relata que os ventos fortes retardam o crescimento das mudas. Essa é uma resposta também encontrada em outras culturas silvícolas e agrícolas, como destacado por Sentelhas et al. (1993), de que a produção de diferentes culturas é afetada tanto pelo microclima criado pela comunidade vegetal, quanto pelas condições climáticas que predominam na localidade. As trocas de elementos constituintes da atmosfera entre as plantas e o ar, dependem das condições micrometeorológicas predominantes e afetam

o equilíbrio energético e fisiológico das plantas (Monteith e Unsworth 2008).

Conforme destacam Durigan e Simões (1987), Volpe e Schöffel (2001) e Schöffel e Volpe (2004), em decorrência da interferência de quebra-ventos, há alteração nas condições micrometeorológicas na área protegida, que, por sua vez, induz alterações nos processos fisiológicos e nas características da planta (Hodges e Brandle 1996). Plantas não protegidas do vento excessivo apresentam alterações morfológicas e na taxa fotossintética, aumento da temperatura da folha e diminuição da transpiração, desenvolvimento crescimento, área foliar e número de estômatos Pereira et al. (2002); (Hodges e Brandle 1996), resultando em menor produtividade. Portanto, na erva-mate pode-se inferir que o vento também pode influenciar no metabolismo secundário da erva-mate, afetando a produção de fitoquímicos e sua qualidade.

As respostas ecofisiológicas e do metabolismo secundário das plantas erva-mate, também dependem das condições micrometeorológicas, o que em termos práticos resultaria em recomendação de utilização de proteção arbórea na forma de quebra-ventos para a melhora da produção e qualidade em condição de monocultivos, principalmente na obtenção de extratos com maior concentração de fitoquímicos de interesse. No entanto, não se dispõe de informações precisas e consistentes para recomendar tal prática nos ervaais estabelecidos, sendo está uma incógnita a ser respondida pela pesquisa. Plantas jovens ou em fase reprodutiva são mais sensíveis ao estresse causado por vento (Hodges e Brandle 1996) e, portanto, é com plantas de erva-mate nesse estágio de desenvolvimento que devem ser iniciadas as determinações das respostas dessa planta ao estresse causado por vento.

Segundo Escalada (2011), os compostos físico-químicos da erva-mate estão diretamente

relacionados ao cultivo e processamento da matéria prima. Os compostos fenólicos bioativos pertencentes aos vegetais são encontrados na forma de estruturas variadas, como os ácidos fenólicos, derivados da cumarina, taninos e flavonoides, que podem atuar como agentes redutores, sequestrantes de radicais livres, quelantes de metais ou desativadores do oxigênio singlete. Atualmente, os compostos fenólicos têm se tornado compostos de grande interesse, devido às propriedades benéficas à saúde, sendo alvo de muitos estudos (Taiz e Zeiger 2013; Rossa 2013).

Neste trabalho objetivou-se verificar o efeito da velocidade do vento sobre a concentração de fitoquímicos como polifenóis totais, flavonoides e capacidade antioxidante de folhas de erva-mate.

MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi conduzido no Departamento de Fitotecnia, da Universidade Federal de Santa Maria em Santa Maria, RS (29° 42' 23" S; 53° 43' 15" W; 95 m). Segundo a classificação de Köppen que se baseia, principalmente, nas características térmicas e na distribuição sazonal da precipitação pluvial, o município de Santa Maria tem clima subtropical úmido sem estação seca definida (Cfa). Os valores normais de precipitação pluviométrica são regularmente distribuídos no ano, totalizando 1712,9 mm, e a temperatura média normal do ar do mês mais quente é superior a 22 °C e a anual normal é de 19 °C (Kuinchtner e Buriol 2001).

O transplante das mudas foi realizado em 28 de agosto de 2012, sendo estas oriundas da matriz Cambona, de Machadinho, RS. As dimensões de cada canteiro foram de 2,90 m x 1,90 m, e todos os tratamentos receberam cobertura contínua de 3 cm de palha sobre o solo. O espaçamento usado entre as plantas foi de 0,85 x 0,60 m, totalizando 12 plantas por parcela. Uma estrutura de 1,0 m de altura, semelhante ao primeiro experimento, foi montada para sustentação da tela plástica de sombreamento. De agosto de 2012 a dezembro de 2012 foi mantido um sombreamento de 18% como condição padrão para adaptação das plantas jovens. A partir de então metade das parcelas ao acaso de cada tratamento de vento recebeu sombreamento por tela plástica de 35%.

Foi adotado o delineamento inteiramente casualizado, composto por oito tratamentos e três repetições, totalizando 24 unidades experimentais. Os tratamentos foram: sombreamento de tela plástica de 18 e de 35%. Em ambos os tratamentos as plantas foram submetidas a velocidades de vento 0,0 m/s (vento natural atenuado por cercamento da área experimental), 2 m/s, 4 m/s e 6 m/s. A aplicação

de vento deu-se, de dois em dois dias seguidos, conforme as condições meteorológicas do dia, sendo aplicado das 9 às 17 horas. As diferentes velocidades do vento foram geradas por ventiladores portáteis de diferentes potenciais localizados dentro das parcelas, sendo a velocidade conferida diariamente por anemômetro digital portátil CE Anemometer Instrutherm AD-250, localizado junto às plantas nas quais foram feitas as avaliações.

Foram realizadas análises fitoquímicas para avaliar o efeito do sombreamento e da velocidade do vento na produção de metabólitos secundários. As folhas desenvolvidas de erva-mate, submetidas à ventilação forçada foram coletadas no final dos períodos de aplicação experimental dos tratamentos em dezembro de 2013 (verão) e em abril de 2014 (outono). Determinou-se o teor de compostos fenólicos e a capacidade antioxidante *in vitro*, a partir da obtenção dos extratos que seguiram o protocolo de Ferrera et al. (2016).

Foram coletadas 20 folhas de erva-mate por tratamento retiradas de plantas da área útil de cada uma das 24 unidades experimentais. Assim, obtiveram-se 24 amostras para os 8 tratamentos (velocidade do vento x sombreamento), com 3 repetições. Imediatamente após a coleta, as folhas foram congeladas com nitrogênio líquido e refrigeradas.

A quantificação dos compostos fenólicos totais em cada extrato foi determinada por espectrofotometria, por meio da reação de oxirredução com reagente de Folin-Ciocalteu, o qual reage com as hidroxilas presentes nos polifenóis, segundo a metodologia descrita por Singleton e Rossi (1965). Neste procedimento, o extrato foi diluído em solução extratora alcoólica acidificada, etanol:água:HCl (70:30:1, v/v). A seguir foi pipetado em tubo de ensaio, o volume de 200 µl do extrato diluído, 1000 µl do reagente de Folin-Ciocalteu (1:10 H₂O) e 800 µl de solução de carbonato de sódio (Na₂CO₃) 7,0%.

As amostras foram agitadas e permaneceram em repouso, ao abrigo da luz, por duas horas em temperatura ambiente. As leituras das absorbâncias foram realizadas em triplicata, em espectrofotômetro UV-visível (HOMIS SF 200DM) no comprimento de onda de 765 nm. O cálculo do teor de compostos fenólicos foi determinado por interpolação da absorbância das amostras contra uma curva de calibração construída com padrão de ácido gálico, nas concentrações de 0; 10; 20; 30; 40; 50; 60; 70 e 80 mg/l. Os resultados foram expressos em miligrama de equivalentes de ácido gálico por litro (mg EAG/l).

O teor de flavonoides foi analisado pelo método colorimétrico descrito por Zhishen, Mengcheng e Jianming (1999). Aliquotas de 1

ml dos extratos diluídos obtidos das folhas que foram adicionadas em balão volumétrico de 10 ml contendo 4 ml de água destilada. No tempo zero, foi adicionado ao balão volumétrico 0,3 ml de NaNO_2 5%. Após cinco minutos adicionaram-se 0,6 ml de AlCl_3 10%. Seis minutos depois, foram adicionados 2 ml de NaOH 1 M e o volume completado até 10 ml com água destilada.

As leituras das absorvâncias das amostras foram realizadas em triplicata em espectrofotômetro UV-visível (HOMIS SF 200DM) no comprimento de onda de 510 nm. O teor de flavonoides foi determinado utilizando-se uma curva padrão de catequina (0-250 mg/l) e os resultados, determinados a partir de uma equação de regressão, foram então expressos em miligramas de equivalentes de catequina por litro (mg ECA/l).

Para a determinação da capacidade antioxidante total pelo método de redução do ferro (*Ferric Reducing Antioxidant Power*, FRAP) foi utilizado o procedimento descrito por Benzie e Strain (1996). Este ensaio se baseia na medida direta de habilidade dos antioxidantes (redutores) da amostra em reduzir, em meio ácido (pH 3,6), o complexo Fe^{3+} /tripiridiltriazina (TPTZ), para formar Fe^{2+} , de intensa cor azul e absorção máxima em 593 nm.

No ensaio FRAP, soluções de tampão acetato, $\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ 20 mM e TPTZ (10 mM) foram adicionadas na proporção de 10:1:1, originando o reagente FRAP. As amostras dos extratos de erva-mate foram diluídas em água destilada. A seguir, alíquotas (0,2 ml) de cada extrato foram misturadas com 1,8 ml do reagente FRAP e a absorvância da mistura de reação medida em 593 nm em espectrofotômetro UV-visível (HOMIS SF 200DM), após incubação em banho-maria a 37 °C durante 30 min. O Trolox (1 mM) foi utilizado como padrão para construir uma curva de calibração, nas concentrações de 0; 0,025; 0,05; 0,075; 0,100; 0,150; 0,200 e 0,250 mM de Trolox sendo os resultados expressos em mM Trolox/l (capacidade antioxidante equivalente ao Trolox).

Para a determinação da atividade antioxidante pelo método do radical ácido 2,2'-azino-bis (3-etilbenzotiazolin) 6-ácido sulfônico (ABTS), utilizou-se a metodologia descrita por Re et al. (1999). Inicialmente, foi formado o radical $\text{ABTS}^{\cdot+}$, a partir da reação de 14 mM de ABTS com 4,9 mM de persulfato de potássio (1:1, v/v), os quais foram incubados à temperatura ambiente e na ausência de luz, por 16 h. Transcorrido esse tempo, a solução foi diluída em etanol até a obtenção de uma solução com absorvância de 0,680 a 0,720 ($0,700 \pm 0,02$). Para realizar as análises, foram adicionados em tubos de ensaio a solução contendo o radical $\text{ABTS}^{\cdot+}$ e o extrato diluído em etanol. A absorvância foi monitorada em espectrofotômetro

UV-visível (HOMIS SF 200DM) em 750 nm, após 15 min de reação. Uma curva de calibração foi construída, utilizando-se como solução-padrão o antioxidante sintético Trolox nas concentrações de 0; 0,025; 0,05; 0,075; 0,100 e 0,150 mM em etanol. Todas as leituras foram realizadas em triplicata, e os resultados expressos em mM de Trolox/l (capacidade antioxidante equivalente ao Trolox).

Os dados da composição fitoquímica foram testados quanto à normalidade, homogeneidade e independência, procedendo-se a transformação dos mesmos para Ln (logaritmo neperiano) quando necessário. Realizou-se então a análise de variância (ANOVA) e análise de regressão (Ferreira 2008). Efetuaram-se comparações de média pelo teste de Tukey em nível de 5% de probabilidade de erro. As análises estatísticas foram realizadas com o software SISVAR 5.3 e os gráficos de regressão com as curvas de tendências com o software Excel 2016.

RESULTADO E DISCUSSÃO

A quantificação do teor de polifenóis totais, flavonoides e a capacidade antioxidante, nas amostras de folhas submetidas aos tratamentos de vento (0 $\approx$ natural, 2, 4, 6 m/s) no final da 2ª avaliação de verão e final da 3ª avaliação no outono, apresentaram resultados diferentes em função das épocas (Tabela 1).

No verão obtiveram-se maiores médias de polifenóis totais no tratamento com sombreamento de 35% com velocidade do vento de $\approx$ 0 m/s (101,32 mg EAG/l) e de 2 m/s (98,27 mg EAG/l) (Tabela 1). A menor quantidade de polifenóis foi observada no tratamento com sombreamento 18% com 2 m/s, com 61,48 mg EAG/l (Tabela 1). Já no outono, não houve diferenças significativas entre os tratamentos, porém o acúmulo de polifenóis foi 30% maior do que no verão (146,88 mg EAG /l).

Com relação aos flavonoides, tanto no verão quanto no outono não houve diferenças significativas entre os tratamentos (Tabela 1), mas da mesma forma que para os polifenóis, ocorreu a tendência de maior acúmulo de flavonoides no outono, com cerca de 25% a mais do que no verão (Tabela 1). Conforme Daniel (2009) e Ferrera et al. (2016) o outono é a época de colheita das folhas de erva-mate, época em há um acúmulo maior de polifenóis e flavonoides. Para Close e Mac Arthur (2002) e Siqueira (2011) no outono aumenta os polifenóis denominados taninos que possuem um alto peso molecular o que vem ao encontro dos resultados de acúmulo de polifenóis e flavonoides maiores nesta estação do ano.

Canterle (2005) destaca que a capacidade antioxidante (CA) na erva-mate para chimarrão auxilia o metabolismo humano. Observou diferenças

TABELA 1. Teor de polifenóis totais (mg EAG/l) e flavonoides (mg ECA/l) nas concentrações de 20% de solvente etanólico em folhas maduras de plantas jovens de erva-mate cultivadas em sombreamento de 18 e 35% e submetidas a quatro velocidades de vento (v), coletadas no solstício de verão e no equinócio de outono. Santa Maria, RS, 2015.

Concentração do solvente e tratamentos	Polifenóis totais (mg EAG/l)		Flavonoides (mg ECA/l)	
	Verão	Outono	Verão	Outono
	(Dez/2013)	(Abr/2014)	(Dez/2013)	(Abr/2014)
S18% ¹ v0 ²	87,1ab	115,7 a	100,4 a	133,7 a
S18%v2	61,5 b	144,4 a	61,1 a	79,1 a
S18%v4	85,9 ab	129,3 a	50,1 a	144,1 a
S18%v6	72,2 ab	113,3 a	61,8 a	109,2 a
Média S18%	76,7 B	125,7 A	68,3 A	116,5 B
S35%v0	101,3 a	143,1 a	75,5 a	143,9 a
S35%v2	98,3 a	113,3 a	97,0 a	139,6 a
S35%v4	80,7 ab	146,9 a	64,6 a	133,2 a
S35%v6	89,3 ab	115,5 a	74,0 a	115,5 a
Média S35%	92,4 A	129,7 A	77,8 A	133,0 A
	ABTS ⁴ (mM Trolox/l)		FRAP ³ (mM Trolox/l)	
	Verão	Outono	Verão	Outono
	(Dez/2013)	(Abr/2014)	(Dez/2013)	(Abr/2014)
S18%v0	7,1 ab	7,3 b	1,0 ab	2,3 ab
S18%v2	5,6 bc	6,4 b	1,0 ab	2,0 ab
S18%v4	2,7 c	2,9 d	1,2 a	2,4 ab
S18%v6	0,9 f	0,9 e	0,8 b	2,2 ab
Média S18%	4,0 A	4,3 A	0,9 A	2,2 A
S35%v0	8,0 a	9,1 a	1,3 a	2,29 ab
S35%v2	4,69 c	4,9 c	1,2 a	1,5 b
S35%v4	4,14 cd	4,9 c	0,98 ab	3,7 a
S35%v6	1,85 ef	1,7 e	0,98 ab	2,07 ab
Média S35%	4,7 A	5,0 A	1,1 A	2,4 A

¹percentual de sombreamento (S18% e S35%), ² velocidade do vento (0 = vento natural, 2 = 2 m/s, 4 = 4 m/s, 6 = 6m/s), ³ FRAP - *Ferric Reducing Antioxidant Power* e ⁴ ABTS - Ácido 2,2'-azino-bis (3-etilbenzotiazolin) 6-ácido sulfônico). Letras minúsculas diferentes na mesma coluna correspondem a diferenças significativas entre os tratamentos pelo teste de Tukey (p<0,05) n = 3, assim como letras maiúsculas nas médias por sombreamento.

na CA dos produtos disponíveis no mercado, provavelmente devido às diferenças de ambiente de origem de produção e tempo de armazenamento. Para o mercado consumidor uma erva-mate com

maior CA é preferida (Daniel 2009), levando ao interesse da indústria pelos antioxidantes naturais para conservação de alimentos e cosméticos.

A capacidade antioxidante, nas erva-mates

jovens, expostas à ventilação artificial, determinada pelo uso dos métodos de FRAP e ABTS também apresentou diferenças entre os tratamentos (Tabela 1). No método de FRAP, a velocidade do vento não influenciou na CA, porém o sombreamento de 18% associado à velocidade do vento de 6 m/s gerou estresse suficiente para reduzir a capacidade antioxidante (Tabela 1), o que também foi observado quando se utilizou o método de ABTS, apesar deste ser menos sensível.

No entanto na estação do outono a velocidade do vento pode contribuir para o aumento da capacidade antioxidante. Este fato pode ser observado com o sombreamento de 35% sob vento de 4 m/s em que se obteve a maior capacidade antioxidante, mas no mesmo sombreamento com velocidade do vento de 2 m/s obteve-se a menor CA pelo método de FRAP (Tabela 1). Desta forma pode-se inferir que a velocidade de 4 m/s com baixa incidência de radiação solar e temperaturas mais amenas podem contribuir para qualidade da erva-mate, apesar de estar pouco correlacionado com os compostos fenólicos totais ($r_p = 0,43$) e flavonoides ($r_p = 0,16$). Portanto, esta capacidade antioxidante pode estar relacionada a um pequeno grupo de compostos fenólicos ou outros antioxidantes naturais, tais como os carotenoides. Conforme relatam Larcher (2004) e Pascale e Damario (2004), as condições de estresse das plantas derivariam seus produtos fisiológicos, que é o metabolismo secundário. Logo o aumento da velocidade até 4 m/s do vento faz com que as erva-mates jovens aumentem a sua atividade antioxidante, tentando minimizar o estresse nas plantas.

Porém, no método ABTS observa-se que a maior capacidade antioxidante foi conferida às plantas sob 35% de sombreamento e não submetidas à ventilação (Tabela 1). Tais resultados confirmam os dados obtidos no experimento de Ferrera et al. (2016), no qual o sombreamento a 35% é mais eficaz na formação de compostos com capacidade antioxidante e também o método de FRAP é mais sensível que o ABTS. Dessa forma, fica evidenciado que a exposição de plantas jovens ao vento reduz sua capacidade antioxidante no verão (Tabela 1). Também ficou evidenciado que o sombreamento parcial de cerca de 35% atenua a redução da capacidade antioxidante da erva-mate, principalmente sob velocidades de vento ≥ 4 m/s.

Considerando que esses resultados foram obtidos em um verão quente em Santa Maria, RS e considerando os resultados obtidos por Suertegarray (2002) em Gentil, RS, em plantas adultas, pode-se inferir que se o objetivo é produzir erva-mate com maior capacidade antioxidante, visando atender certos fins industriais e comerciais, as erva-mates devem ser conduzidas sob sombreamento parcial

em torno de 35% e protegidas de ventos fortes. A hipótese de que a aplicação de estresse poderia incrementar a produção de fitoquímicos desejáveis ao produto colhido fica parcialmente confirmada até 4 m/s e refutada maiores velocidades do vento nas condições ambientais em que se desenvolveram os experimentos no atual trabalho.

CONCLUSÕES

As folhas de erva-mate possuem maior acúmulo de compostos fenólicos e flavonoides e maior capacidade antioxidante em locais abrigados de vento, com sombreamento parcial de 35% e superfície do solo coberta com resíduos vegetais.

CONFLITO DE INTERESSE

Os autores declaram não haver conflito de interesse.

REFERÊNCIAS

- Carneiro C, Reissmann CB, Marques R (2006) Comparação de Método de Análise Química de K, Ca, Mg e Al em Folhas de Erva-Mate (*Ilex paraguariensis* St. Hil.). *Cerne* 12(2):113-122.
- Close DC, McArthur C (2002) Rethinking the role of many plant phenolics – protection from photodamage not herbivores. *Oikos* 99(1):166-172.
- Daniel O (2009) Erva-mate: sistema de produção e processamento industrial. UFGD, UEMS Dourados, 288p.
- Escalada G, Brumovsky LA, Hartwig VG (2011) Influencia de la zona de cultivo y procesamiento de la yerba mate sobre su contenido de polifenoles totales y capacidad antioxidante. *Rev Cienc Tecnol* 13(15):66-74.
- Durigan G, Simões JW (1987) Quebra-ventos de *Grevillea robusta* A. Cunn. Efeitos sobre a velocidade do vento, umidade do solo e produção do café. *Instituto de Pesquisas e Estudos Florestais (IPEF)* 36:27-34.
- Ferrera TS, Heldwein AB, Dos Santos CO, Somavilla JC, Sautter CK (2016) Substâncias fenólicas, flavonoides e capacidade antioxidante em erva-mate sob diferentes coberturas do solo e sombreamentos. *Rev Bras Plantas Med* 18(2):588-596. https://doi.org/10.1590/1983-084X/15_197
- Ferreira DF (2008) SISVAR: um programa para análise e ensino de estatística. *Rev Cient Symp* 6(2):36-41.
- Hodges L, Brandle JR (1996) Windbreaks: an important component in a plasticulture system. *Hort Tecnol* 6(3):177-181.

- Kuinchtner A, Buriol GA (2001) Clima do Estado do Rio Grande do Sul segundo a classificação climática de Köppen e Thornthwaite. *Discip Sci* 2:171-182.
- Larcher W (2004) *Ecofisiologia Vegetal*. Rima, São Carlos/SP, 531p.
- Monteith JL, Unsworth MH (2008) *Principles of environmental physics*. Academic Press / Elsevier Inc, London 4ed., 401 p.
- Pascale AJ, Damario EA (2004) *Climatologia agrícola y agroclimatologia*. EFA, Buenos Aires, 550p.
- Pereira AR, Angelocci LR, Sentelhas PC (2002) *Agrometeorologia. Fundamentos e Aplicações Práticas*. Ed. Agropecuária, Guaíba, 478p.
- Re R, Pellegriani N, Proteggente A, Pannala A, Yang M, Evans C (1999) Antioxidant activity applying an improved ABTS radical cation decolorization assay. *Free Radic Biol Med* 26(9-10):1231-1237.
- Rossa UB (2013) *Produtividade e compostos foliares de erva-mate sob efeitos de luminosidade e fertilização*. Tese (Doutorado em Engenharia Florestal), Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 208p.
- Schöffel ER, Volpe CA (2004) Velocidade relativa do vento em pomar de laranja protegido com quebra-vento de *Pinus sp.* em região tropical. In: X Reunión Argentina y IV Latinoamericana de Agrometeorología, Mar del Plata: AADA. Disponível em: <http://agro.unc.edu.ar/~clima/AADA/Congresos/MDQ/56.htm>. Acessado em: 20/12/2014.
- Singleton VL, Rossi JA (1965) Colorimetry of phenolics with phosphomolybdic-phosphotungstic acid reagents. *Amer J Enol Vitic* 16(3): 144-158.
- Siqueira CRQ (2011) Teores de taninos e flavonóides em plantas medicinais da Caatinga: avaliando estratégias de bioprospecção. Dissertação de Mestrado apresentada ao Curso de Ciências Farmacêuticas da Universidade Federal de Pernambuco, UFPE, Pernambuco.
- Suertegaray CEO (2002) Dinâmica da cultura da erva-mate (*Ilex paraguariensis* St. Hil.) em sistemas agroflorestais e monocultivos. Dissertação (Mestrado em Agroecossistemas)-Universidade de Santa Catarina, Florianópolis, 49p.
- Taiz L, Zeiger E (2013) *Fisiologia Vegetal*. Artmed, Porto Alegre, 4.ed. 820p.
- Volpe CA, Schöffel ER (2001) Quebra-vento. In: Ruggiero C. **Bananicultura**:217-232.
- Zhishen J, Mengcheng TE, Jianming W (1999) The determination of flavonoid contents in mulberry and their scavenging effects on superoxide radicals. *Food Chem* 64:555-559.