

MODELOS EMPÍRICOS PARA ESTIMATIVA DA ÁREA FOLIAR DA VIDEIRA NA CASTA JAEN

EMPIRICAL MODELS FOR LEAF AREA ESTIMATION OF THE GRAPEVINE CV. JAEN

Carlos M. Lopes¹, Isabel Andrade², Vanda Pedroso³, Sérgio Martins³

¹ Instituto Superior de Agronomia, Tapada da Ajuda, P-1349-017, Lisboa Codex.
E-mail: carlosmlopes@isa.utl.pt

² Escola Superior Agrária de Coimbra. Bencanta, 3040-316, Coimbra.

³ Centro de Estudos Vitivinícolas do Dão. Quinta da Cale, 3520 Nelas.

(Manuscrito recebido em 25.11.04 . Aceite para publicação em 23.12.04.)

RESUMO

Com base em medidas efectuadas numa amostra de sarmentos da casta Jaen colhidos periodicamente ao longo do ciclo vegetativo, seleccionaram-se as melhores variáveis explicativas para estimativa da área foliar de um sarmento. Para a estimativa da área foliar principal apresenta-se um modelo baseado em duas variáveis, a área da menor folha principal e a área foliar média principal do sarmento, obtida através do produto da média da área da maior e menor folhas principais, pelo número de folhas principais. Para a estimativa da área foliar secundária do sarmento o modelo seleccionado é também baseado em duas variáveis explicativas, a área foliar média secundária do sarmento, calculada de modo análogo ao referido para a área foliar principal, e a área da maior folha secundária. A boa capacidade preditiva dos modelos apresentados indica que se pode estimar, com um baixo erro e de uma forma não destrutiva, a área foliar principal e secundária de um sarmento em qualquer fase do ciclo biológico. A simplicidade, rapidez e baixo custo inerente à medição das variáveis físicas no campo faz destes modelos uma ferramenta importante para a investigação em viticultura, permitindo uma estimativa mais expedita e frequente da área foliar.

Palavras-Chave: videira, área foliar, modelo empírico, Jaen.

Key words: grapevine, leaf area, empirical model, Jaen.

INTRODUÇÃO

Na maioria dos estudos de ecofisiologia a medição da área foliar, para além de nos fornecer uma indicação da superfície fotossintética, permite a obtenção de um indicador fundamental para a compreensão das respostas da planta aos factores ambientais. No caso da videira, a quantificação da área foliar fornece um índice muito útil para avaliar os efeitos das técnicas culturais, particularmente no que se refere às técnicas de gestão da folhagem e às

potencialidades dos sistemas de condução (Smart, 1995; Murisier, 1996), estimar o vigor (Champagnol, 1984), caracterizar a densidade da sebe e o microclima luminoso (Lopes, 1994), entre outras possibilidades. A partir da estimativa da área foliar podem-se calcular outros índices, como por exemplo, o índice de área foliar, a razão área foliar/produção, a razão superfície foliar exposta/superfície foliar total, entre outros, os quais constituem indicadores muito importantes em viticultura (Smart e Robinson, 1991). Apesar da referida importância, a determinação da área foliar total numa planta como a videira, com muitas folhas principais e secundárias, ainda é um processo difícil e moroso.

A área foliar pode ser medida ou estimada por métodos destrutivos e não destrutivos. Os primeiros pressupõem colheitas destrutivas de amostras de folhas e/ou sarmentos e da medição da sua área foliar real no laboratório em medidores de área foliar. Estes métodos são simples e precisos (Sommer e Lang, 1994) mas, para além de consumirem muito tempo, têm a grande desvantagem de provocarem a destruição da superfície fotossintética, não permitindo o acompanhamento da evolução da área foliar ao longo do ciclo na mesma planta.

Os métodos não destrutivos podem ser divididos em indirectos e directos (Mabrouk e Carbonneau, 1996). A determinação da área foliar de forma indirecta não destrutiva pode ser feita de diversas formas, destacando-se os modelos empíricos que estimam o desenvolvimento da área foliar em função da temperatura (Schultz 1992; Bindi *et al.*, 1997), as fotografias hemisféricas (Bonhomme e Chartier, 1972), os métodos baseados na extinção da luz através da vegetação (Grantz e Williams, 1993; Sommer e Lang, 1994; Oliveira e Santos, 1995; Ollat *et al.*, 1998; Cohen *et al.*, 2000; Patakas and Noitsakis, 1999) e a detecção remota (Dobrowski *et al.*, 2002). Estes métodos são rápidos mas a maioria exige equipamentos muito caros que necessitam de calibrações frequentes e protocolos de medição específicos para cada situação (Ollat *et al.*, 1998). Um outro problema destes métodos reside no facto de não permitirem a distinção entre área foliar principal e secundária o que representa uma desvantagem para os estudos de viticultura pois o conhecimento da área foliar das netas constitui uma importante ferramenta de diagnóstico do equilíbrio do crescimento e do microclima do coberto (Smart e Robinson, 1991).

A medição directa não destrutiva da área foliar pode ser feita de várias formas. Um método simples consiste na medição directa da área foliar no campo com medidores portáteis, no entanto é um método muito caro em resultado do elevado preço do equipamento. Os restantes métodos directos não destrutivos são baseados em relações empíricas entre a área foliar e medições lineares feitas nas folhas e/ou sarmentos. Para estimar a área foliar unitária pode-se optar por um dos vários modelos estatísticos propostos na bibliografia e

baseados quer no comprimento da nervura principal (Schultz, 1992) ou na soma do comprimento das duas nervuras laterais superiores (Carbonneau, 1976a, Lopes e Pinto, 2000), quer no produto do comprimento da folha pela sua maior largura (Smith e Kliwer, 1984; Elsner e Jubb, 1988), entre outros. Apesar da medição do comprimento das nervuras ser uma tarefa fácil e rápida, a estimativa da área foliar total de um sarmento ainda se torna muito morosa caso seja necessário medir todas as folhas, principais e secundárias.

De forma a tentar reduzir o número de folhas a medir por sarmento, Carbonneau (1976b) propôs a medição de uma folha em cada grupo de quatro folhas contíguas. Por sua vez Barbagallo *et al* (1996) propuseram um modelo empírico para estimativa da área foliar principal do sarmento baseado na medição de apenas três folhas, a maior, a apical e uma intermédia. Ao permitirem uma grande redução do número de folhas a medir, estes métodos tornam o processo mais simples, no entanto apenas se adaptam à área foliar principal, não havendo qualquer referência por parte dos autores à sua aplicabilidade para a estimativa da área foliar secundária, a qual pode representar uma fracção importante da área foliar total do sarmento, sobretudo em situações de elevado vigor (Lopes, 1994).

Para estimar a área foliar total de um sarmento da casta Merlot, Mabrouk e Carbonneau (1996) propuseram um modelo baseado apenas na relação biométrica entre a área foliar total do sarmento e a soma dos comprimentos do sarmento principal e das netas. Trata-se de um método muito simples no entanto, a sua generalização pode trazer alguns problemas de precisão. Com efeito, a relação entre a área foliar e o comprimento do sarmento, para além de poder variar com a fase de crescimento (Mabrouk e Carbonneau, 1996), varia também com o comprimento dos entrenós o qual está dependente da casta e do vigor (Champagnol, 1984). Para além disso, o comprimento do sarmento nem sempre está bem correlacionado com a sua área foliar sobretudo no caso do sarmento principal (Lopes e Pinto, 2000; Tregoat *et al*, 2001). Por exemplo, após uma despona, o comprimento do sarmento mantém-se constante enquanto a área foliar pode continuar a crescer. Outro exemplo em que aquela relação pode ser alterada verifica-se após uma desfolha ou em condições de stress hídrico em que a área foliar é reduzida enquanto o comprimento do sarmento se mantém.

A partir de dados de uma amostra de sarmentos de quatro castas portuguesas, colhidos nas proximidades do pintor, Lopes e Pinto (2000) propuseram um outro modelo empírico para estimativa da área foliar principal de um sarmento baseado em 4 variáveis: comprimento do sarmento, número de folhas principais e área da maior e menor folhas principais. Para estimar a área foliar secundária aqueles autores propuseram um modelo similar que, considerando cada neta uma folha composta, se baseia em duas variáveis: número total de folhas

secundárias e área foliar da neta mais desenvolvida. Apesar da simplicidade e precisão destes modelos eles foram desenvolvidos a partir de um conjunto de sarmentos colhidos apenas numa fase do ciclo biológico. Recentemente os mesmos autores, com base num conjunto de sarmentos da casta Aragonez, colhidos numa vinha Alentejana, periodicamente ao longo do ciclo, melhoraram aqueles modelos introduzindo uma nova variável, calculada a partir de três das variáveis propostas: número de folhas, área foliar da folha maior e área foliar da folha menor (Lopes e Pinto, 2004).

Com este trabalho pretende-se testar a possibilidade de aplicação da metodologia referida por aqueles autores para a casta Aragonez, numa outra casta tinta (Jaen), de entrenós muito curtos e cultivada na região do Dão, com vista à obtenção de modelos empíricos para estimativa simples e fiável da área foliar principal e secundária de um sarmento de videira.

MATERIAL E MÉTODOS

Material vegetal

Os sarmentos utilizados neste trabalho foram colhidos numa vinha experimental do Centro de Estudos Vitivinícolas do Dão (CEVDão), pertencente à Direcção Regional de Agricultura da Beira Litoral e localizada em Nelas (40° 31' de latitude Norte, 7° 51' de longitude Oeste; 440 m altitude). A vinha foi instalada em 1989 com o compasso de 1,80 x 1,00 m (5 555 plantas/ha) com a orientação Norte-Sul. As videiras, da casta 'Jaen' enxertadas em 1103P, estão conduzidas em monopiano vertical ascendente, podadas em cordão Royat bilateral, com uma carga média de 60000 olhos por hectare e com uma altura do tronco de 60 cm. A vegetação foi orientada na vertical ascendente através de arames móveis e despontada superiormente em meados de Julho.

Registos

Ao longo do ciclo biológico de 2001, periodicamente, entre o abrolhamento e o pintor (9 amostragens), foi colhida uma amostra aleatória de 30 (período abrolhamento - bago de chumbo) ou 20 sarmentos (período bago de ervilha - final do pintor), isentos de doenças e pragas, com inflorescências ou cachos, inseridos na zona média dos braços da videira, perfazendo um total de 230 sarmentos. Os sarmentos foram cortados, numerados e imediatamente transportados para o laboratório.

De seguida procedeu-se à numeração de todas as folhas principais e das netas de acordo com a sua ordem de inserção no sarmento. As folhas muito jovens

foram excluídas tendo-se utilizado como critério um comprimento da nervura principal <3 cm (Lopes e Pinto, 2000). Sempre que os sarmentos apresentavam uma folha pequena na base, de formato anormal, essa folha era também excluída. Os limbos foram separados dos pecíolos e sujeitos à medição da sua área num medidor de área foliar (WinDias - Delta T Image Analysis System (Delta-T–Devices LTD). De forma a evitar erros resultantes da sobreposição dos lóbulos, os limbos foram previamente cortados em fracções. Por fim mediu-se o comprimento do sarmento desde a base até ao nó de inserção da última folha considerada.

A partir dos dados obtidos, e separadamente por tipo de folhas (principais e netas), construiu-se uma base de dados com os valores de todas as variáveis medidas em cada uma das 9 amostragens, cujas médias se apresentam no Quadro I. Os dados da área foliar principal dos 230 sarmentos foram tratados

Quadro I

Valores médios das variáveis medidas em cada uma das 9 amostragens realizadas entre o abrolhamento e o pintor no ciclo biológico de 2001, casta Jaen. Média± erro padrão de 30 (1^{as} 5 amostragens) ou 20 (restantes amostragens) sarmentos. C_p – comprimento sarmento principal; NF_p – nº folhas principais; S_p – área foliar principal por sarmento; NF_s – nº folhas secundárias; S_s – área foliar secundária por sarmento.

Mean values of the measured variables at each sampling date. Data are means ± standard error of 30 (1st 5 dates) or 20 shoots (other dates). C_p - primary shoot length; NF_p – number of primary leaves; S_p - primary leaf area per shoot; NF_s – number of lateral leaves; S_s - lateral leaf area per shoot

Data	C_p (m)	NF_p	S_p (m ²)	NF_s	S_s (m ²)
04/30	0.12 ± 0.01	5 ± 0.2	0.02 ± 0.002	-	-
05/15	0.22 ± 0.01	6 ± 0.2	0.04 ± 0.003	-	-
05/28	0.49 ± 0.02	11 ± 0.3	0.07 ± 0.004	5 ± 0.6	0.01 ± 0.002
06/11	0.81 ± 0.04	16 ± 0.4	0.18 ± 0.008	14 ± 1.5	0.06 ± 0.009
06/25	1.14 ± 0.03	22 ± 0.4	0.26 ± 0.009	30 ± 2.5	0.14 ± 0.015
07/10	1.28 ± 0.04	26 ± 0.7	0.30 ± 0.015	42 ± 3.7	0.18 ± 0.015
07/23	0.97 ± 0.03	20 ± 0.6	0.23 ± 0.013	23 ± 2.2	0.10 ± 0.013
08/06	1.08 ± 0.03	20 ± 0.3	0.27 ± 0.019	30 ± 3.5	0.13 ± 0.019
08/23	1.16 ± 0.06	24 ± 1.2	0.28 ± 0.019	28 ± 3.5	0.12 ± 0.019

de forma a permitir a obtenção, por sarmento, das quatro variáveis propostas por Lopes e Pinto (2000): comprimento do sarmento (C_p), número de folhas principais (NF_p), área foliar da maior folha principal (Mx_p) e área foliar da menor folha principal (Mi_p). A partir destas variáveis medidas foram calculadas duas novas variáveis:

- área foliar média da folha principal: $Med_p = (Mx_p + Mi_p)/2$ (Equação 1)

- área foliar média principal por sarmento: $MedS_p = Med_p * NF_p$ (Equação 2)

A área foliar secundária foi tratada de forma similar. Como nem todos os sarmentos tinham netas só foram usados sarmentos colhidos a partir da floração, num total de 143, a partir dos quais se extraíram as seguintes variáveis: número de folhas secundárias (NF_s), área foliar da maior folha secundária (Mx_s) e área foliar da menor folha secundária (Mi_s). Tal como para a área foliar principal, a partir destas variáveis medidas foram calculadas duas novas variáveis:

- área foliar média da folha secundária: $Med_s = (Mx_s + Mi_s)/2$ (Equação 3)

- área foliar média secundária por sarmento: $MedS_s = Med_s * NF_s$ (Equação 4)

Seguidamente, através do programa estatístico SAS®, e separadamente por cada grupo de dados, efectuou-se uma análise de multicolinearidade de forma a detectar eventuais casos de colinearidade entre variáveis explicativas. Após a exclusão das variáveis que apresentaram colinearidade, efectuou-se uma regressão múltipla entre a área foliar do sarmento (variável dependente) e as variáveis eleitas. A selecção de variáveis para os modelos foi feita através do método de regressão passo a passo com a inclusão sequencial das variáveis dependente de um valor crítico de $F=0.15$ para a sua entrada ou saída (SAS, 1989).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Estimativa da área foliar principal por sarmento

Tal como se pode observar na Figura 1 a maior folha principal pode estar inserida em diversas posições ao longo do sarmento. A análise detalhada do

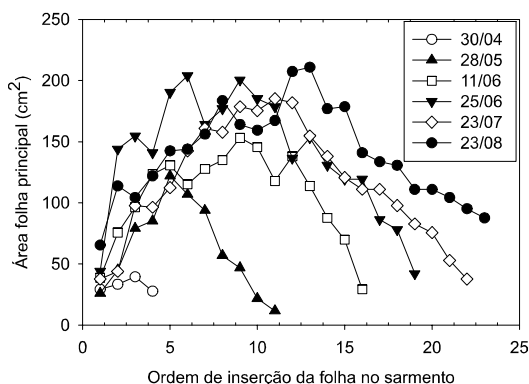


Fig. 1 — Evolução da área foliar principal ao longo do sarmento em diversas fases do ciclo biológico. Exemplo de 1 sarmento representativo por data de colheita. Ordem dos nós no sarmento: da base para a extremidade. Casta Jaen, 2001.

Seasonal development of the primary leaf area along the shoot. Example of one typical shoot per sampling date. Shoot node order: from base to apex. Cv. Jaen, 2001

histograma de frequências em que se separou os dados em dois períodos (abrolhamento – floração e floração – final do pintor), mostra um comportamento aproximadamente bimodal relacionado com a fase do ciclo biológico (Fig. 2A): entre o abrolhamento e a floração, os nós 3 e 4 são os que apresentam a maior frequência, seguidos pelos nós 2 e 5; no período floração-pintor os nós que apresentam maior frequência são os nós 11 e 12 seguidos pelos nós 9 e 10.

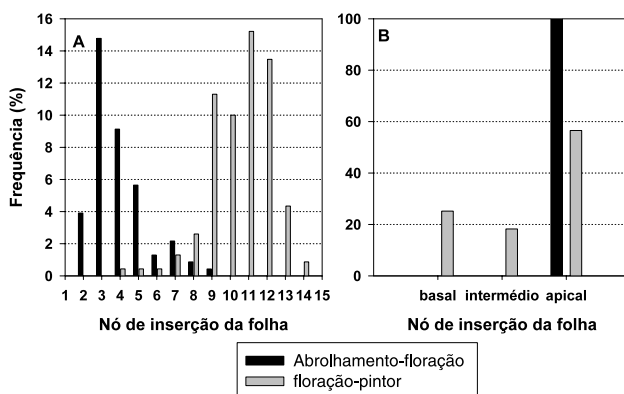


Fig. 2 — Efeito do período do ciclo biológico na distribuição de frequências do nó de inserção da folha maior (A) e menor (B) no sarmento principal da casta Jaen. Ordem dos nós no sarmento: da base para a extremidade. n= 230.

Effect of the growing period on the node insertion of the largest (A) and smallest (B) primary leaves, cv. Jaen. Shoot node order: from base to apex. n=230 shoots.

A menor folha principal (excluindo as folhas muito pequenas com comprimento da nervura principal <3 cm) pode ser encontrada sobretudo no primeiro nó da base do sarmento ou no nó da extremidade, dependente da fase do ciclo (Fig. 2B). Enquanto na fase abrolhamento-floração todos os sarmentos apresentaram a folha menor localizada na extremidade do sarmento, na fase floração-pintor, apesar de predominar a localização na extremidade (57%), a menor folha também pode ser encontrada quer na base do sarmento (25%) quer noutra posição intermédia (18%).

Descrição do modelo

A matriz de correlação entre a área foliar principal por sarmento (S_p) e as 6 variáveis (4 medidas e 2 calculadas) apresenta-se no Quadro II. Verifica-se que todas as variáveis apresentam um elevado (excepto Mi_p) e significativo coeficiente de correlação com a S_p . O maior coeficiente de correlação foi apresentado pela variável calculada $MedS_p$, seguindo-se o comprimento do sarmento e o número de folhas principais. O menor coeficiente de correlação

foi apresentado pela variável Mi_p enquanto que as variáveis Med_p e Mx_p apresentaram valores intermédios e similares entre si.

Quadro II

Matriz de correlação entre a área foliar principal por sarmento e as 6 variáveis medidas e calculadas. n=230 sarmentos, casta Jaen. AF – área foliar.

Correlation matrix between actual primary leaf area per shoot (S_p) and the 6 variables: C_p - primary shoot length; NF_p - number of primary leaves; Mx_p - area of the largest primary leaf; Mi_p - area of the smallest primary leaf; Med_p - mean primary leaf area; $MedS_p$ - mean primary leaf area per shoot. n=230 shoots, cv. Jaen.

	C_p	NF_p	Mx_p	Mi_p	Med_p	$MedS_p$	S_p
comprimento do sarmento (C_p)	1.00						
nº de folhas principais (NF_p)	0.96	1.00					
AF da maior folha principal (Mx_p)	0.91	0.83	1.00				
AF da menor folha principal (Mi_p)	0.45	0.39	0.48	1.00			
AF média da folha principal (Med_p)	0.89	0.81	0.98	0.65	1.00		
AF principal média por sarmento ($MedS_p$)	0.97	0.96	0.90	0.54	0.91	1.00	
AF principal por sarmento (S_p)	0.98	0.96	0.90	0.51	0.90	0.99	1.00

Os elevados coeficientes de correlação obtidos entre as diversas variáveis explicativas levantaram suspeitas da presença de colinearidade. A respectiva análise indicou a existência de multicolinearidade obrigando-nos à exclusão das variáveis C_p , NF_p e Med_p da análise de regressão múltipla entre a S_p (variável dependente) e o conjunto de variáveis explicativas (Quadro III). A

Quadro III

Sumário da regressão múltipla passo a passo entre a área foliar principal por sarmento (variável dependente) e as variáveis independentes, área foliar média principal por sarmento ($MedS_p$), área foliar da maior folha principal (Mx_p) e área foliar da menor folha principal (Mi_p). n= 230 sarmentos.

Summary of stepwise regression analysis between primary leaf area per shoot (dependent variable) and the independent variables mean primary leaf area per shoot ($MedS_p$), area of the largest primary leaf (Mx_p) and area of the smallest primary leaf (Mi_p). n=230 shoots.

Passo	Variável seleccionada	nº variáveis	R^2 parcial	R^2 modelo	$C_p^{(1)}$	Prob. Sig. F	RMSE (cm^2)
1	$MedS_p$	1	0.984	0.984	21.1	< 0.0001	143.1
2	Mi_p	2	0.001	0.985	2.5	< 0.0001	137.3

(1) C_p Mallows (Myers, 1986); RMSE – raiz quadrada do quadrado médio do erro.

primeira variável seleccionada para entrar no modelo foi a variável calculada $MedS_p$ a qual explicou a maior parte da variabilidade da área foliar principal do sarmento. No segundo passo entrou a variável Mi_p , no entanto, e apesar de ter um F significativo, a sua contribuição para o modelo foi muito reduzida. A variável Mx_p não entrou no modelo. O modelo obtido foi o seguinte (Eq.5):

$$S_p = 56.218 - 3.089 * Mi_p + 1.084 * MedS_p \quad (\text{Equação 5})$$

$R^2 = 0.98$ ($p < 0.001$); C.V. (%) = 8.2; n = 230.

em que S_p é área foliar principal por sarmento (cm^2); Mi_p a área foliar da menor folha principal (nervura principal ≥ 3 cm) (cm^2) e $MedS_p$ a área foliar média principal por sarmento (cm^2).

A grande importância da variável $MedS_p$ resulta das variáveis que lhe deram origem: a área foliar média principal (média da área foliar das folhas maior e menor) multiplicada pelo número de folhas, qualquer uma delas bem correlacionada com a área foliar principal do sarmento (*vide* Quadro II). A referência à importância destas três variáveis de base como estimadores da S_p já tinha sido feita quer por Barbagallo *et al.*, (1996), que incluíram a Mx_p num modelo para estimativa da S_p , quer por Lopes e Pinto (2000) num modelo proposto para estimativa da S_p em quatro castas portuguesas, em que aquelas três variáveis de base foram as primeiras a serem seleccionadas pela regressão para entrarem no modelo. A variável calculada $MedS_p$, ao integrar as referidas três variáveis medidas, permite a obtenção de um maior coeficiente de determinação com a área foliar principal do sarmento do que o obtido por qualquer uma das variáveis de base *per si*.

As três variáveis físicas incluídas no modelo podem ser medidas rapidamente e de uma forma simples no campo. No entanto, enquanto que o número de folhas pode ser obtido facilmente, decidir qual é a folha maior e menor torna-se um pouco mais complicado. A identificação destas folhas pode ser feita de forma visual durante o processo de contagem. Dependente da fase do ciclo, em geral a folha menor ou se encontra inserida no primeiro nó basal ou na extremidade do sarmento (cf. Fig. 2B). A folha maior é um pouco mais difícil de localizar, devendo ser procurada na zona média do sarmento, entre o 3º e 5º nós no período antes da floração e a partir do nó 9 na fase pós floração (cf. Fig. 2A). Em caso de dúvida, a comparação do comprimento da nervura principal poderá ser esclarecedora. Após a identificação das duas folhas segue-se a medição do comprimento das nervuras para estimativa indirecta da respectiva área foliar. Esta estimativa pode ser feita utilizando uma equação que relacione a área foliar com a soma do comprimento das duas nervuras laterais superiores, tal como sugerido por Carbonneau (1976a) e por Lopes e Pinto (2000). Os restantes passos para a obtenção da área foliar do sarmento serão feitos no computador.

Tal como se pode observar na Figura 3A o modelo obtido apresenta um bom ajustamento entre observados e estimados no entanto, a análise dos pressupostos da regressão indicou que a variância do erro não é constante, exigindo uma transformação de variável. Após a eliminação de uma observação “outlier” e a transformação em logaritmo neperiano quer da variável dependente quer das variáveis dependentes, sugeridas pelo programa SAS®, a variância foi estabilizada tendo-se obtido a seguinte equação (Eq. 6):

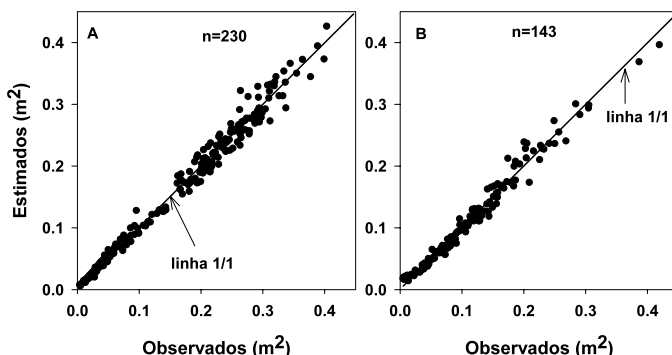


Fig.3 — Relação entre valores observados e estimados da área foliar principal (A) e secundária (B) por sarmento utilizando os modelos representados nas equações 5 e 7 respectivamente.

Relationship between observed and estimated primary (A) and lateral (B) leaf area per shoot using the models represented in equations 5 and 7 respectively.

$$S_p = \text{EXP}[0.0028 + 1.025 \cdot \ln(\text{Med}S_p) - 0.037 \cdot \ln(\text{Mi}_p)] \quad (\text{Equação 6})$$

$$R^2 = 0.99 \ (p < 0.001); \text{ C.V. } (\%) = 1.1; \ n = 229$$

Com o objectivo de detectar a existência de eventuais interacções entre as variáveis explicativas e a variável data (data de amostragem dos sarmentos) foi efectuada uma análise de covariância considerando a data uma covariável. A ausência de qualquer interacção significativa parece indicar que o modelo se pode aplicar em qualquer fase do ciclo todavia, o facto de, em cada data, se ter efectuada amostragens destrutivas, exige a confirmação destes resultados com medições não destrutivas a efectuar sempre nos mesmos sarmentos ao longo do ciclo.

Estimativa da área foliar secundária por sarmento

Para a estimativa da área foliar secundária por sarmento (S_s), usou-se o mesmo tipo de variáveis descritas para a área foliar principal, excepto o comprimento das netas. A matriz de correlação entre a área foliar secundária do sarmento (S_s) e as 5 variáveis (3 medidas e 2 calculadas) apresenta-se no Quadro IV. Verifica-se que a maioria das variáveis apresenta um elevado e significativo coeficiente de correlação com a S_s . O maior coeficiente de correlação foi apresentado pela variável calculada $\text{Med}S_s$ seguindo-se o NF_s , a Mx_s e a Med_s enquanto que o menor coeficiente de correlação foi apresentado pela variável Mi_s .

Tal como aconteceu com os dados da área foliar principal, a existência de colinearidade entre variáveis impediu a inclusão das variáveis NF_s e Med_s na

análise de regressão múltipla passo a passo entre a S_s (variável dependente) e o conjunto de variáveis explicativas (Quadro V). No primeiro passo da

Quadro IV

Matriz de correlação entre a área foliar secundária do sarmento e as 5 variáveis medidas e calculadas. n=143 sarmentos, casta Jaen. AF – área foliar.

Correlation matrix between actual lateral leaf area per shoot (S_p) and the 5 variables: NF_s - number of lateral leaves; Mx_s - area of the largest lateral leaf; Mi_s - area of the smallest lateral leaf; Med_s - mean lateral leaf area; $MedS_s$ - mean lateral leaf area per shoot. n=143 shoots, cv. Jaen.

	NF_s	Mx_s	Mi_s	Med_s	$MedS_s$	S_s
nº de folhas secundárias (NF_s)	1.00					
AF da maior folha secundária (Mx_s)	0.83	1.00				
AF da menor folha secundária (Mi_s)	0.39	0.48	1.00			
AF média da folha secundária (Med_s)	0.81	0.98	0.65	1.00		
AF secundária média por sarmento ($MedS_s$)	0.96	0.90	0.54	0.91	1.00	
AF secundária por sarmento (S_s)	0.96	0.90	0.51	0.90	0.99	1.00

Quadro V

Sumário da regressão múltipla passo a passo entre a área foliar secundária por sarmento (variável dependente) e as variáveis independentes, área foliar média secundária por sarmento ($MedS_s$), área foliar da maior folha secundária (Mx_s) e área foliar da menor folha secundária (Mi_s). n= 143 sarmentos.

Summary of stepwise regression analysis between lateral leaf area per shoot (dependent variable) and the independent variables mean lateral leaf area per shoot ($MedS_s$), area of the largest lateral leaf (Mx_s) and area of the smallest lateral leaf (Mi_s). n=143 shoots.

Passo	Variável seleccionada	nº variáveis	R^2 parcial	R^2 modelo	$Cp^{(1)}$	Prob. Sig. F	RMSE (cm^2)
1	$MedS_s$	1	0.975	0.975	31.3	< 0.0001	127.8
2	Mx_s	2	0.005	0.979	2.4	< 0.0001	116.1

(1) Cp Mallows (Myers, 1986); RMSE – raiz quadrada do quadrado médio do erro.

regressão foi seleccionada a variável $MedS_s$ a qual explicou a maior parte da variabilidade da área foliar secundária por sarmento. No segundo passo entrou a variável Mx_s , no entanto, e apesar de ter um F significativo, a sua contribuição para o modelo foi muito reduzida. A variável Mi_s não entrou no modelo. O modelo obtido foi o seguinte (Eq.7):

$$S_s = 228.484 - 3.976 * Mx_s + 0.985 * MedS_s \quad (\text{Equação 7})$$

$$R^2 = 0.98 \quad (p < 0.001); \quad C.V. (\%) = 10.3; \quad n = 143$$

em que S_s é a área foliar secundária por sarmento (cm^2); Mx_s a área foliar da maior folha secundária (cm^2) e $MedS_s$ a área foliar secundária média por sarmento (cm^2).

Estes resultados reforçam a importância da variável área foliar média por

sarmento permitindo afirmar que se trata do melhor estimador da área foliar por sarmento quer principal quer secundária. A inclusão no modelo da variável Mx_s mostra que ela é também uma variável importante para ajudar a explicar a variabilidade da área foliar secundária, tal como referido por Lopes e Pinto (2000). Apesar do baixo R^2 parcial, indicativo de que o modelo não melhora muito com a entrada da variável Mx_s , o facto dela ser necessária para o cálculo da variável $MedS_s$, permite-nos a sua inclusão no modelo sem qualquer trabalho de campo adicional.

A reduzida contribuição da variável área foliar da folha menor para a explicação da variabilidade da área foliar por sarmento, quer principal quer secundária, poderá dever-se ao facto de se ter considerado um limite inferior para a dimensão da folha. Este limite inferior, que é uma simplificação metodológica que tem por objectivo excluir folhas muito jovens e, consequentemente, com baixa ou nula contribuição para a fotossíntese da videira, poderá ter influenciado os resultados.

Tal como referido relativamente à área foliar principal as três variáveis físicas incluídas no modelo podem ser medidas rapidamente e de uma forma simples no campo, devendo a identificação das folhas secundárias maior e menor ser feita de forma visual durante a contagem das folhas.

O modelo obtido apresenta um bom ajustamento entre observados e estimados (Fig. 3B) mas, tal como verificado para a área foliar principal, foi necessário a transformação logarítmica para estabilizar a variância tendo-se obtido a seguinte equação final do modelo (Eq. 8):

$$S_s = \text{EXP}[0.593 + 1.048 \cdot \ln(\text{Med}S_s) - 0.230 \cdot \ln(Mx_s)] \quad (\text{Equação 8})$$

$$R^2 = 0.99 \text{ (p < 0.001); C.V. (\%) = 1.3; n = 143}$$

Tal como referido relativamente ao modelo do sarmento principal, também aqui a análise de covariância entre a data de amostragem dos sarmentos e as variáveis explicativas não indicou qualquer interacção significativa permitindo afirmar que o modelo se pode aplicar em qualquer fase do ciclo.

CONCLUSÕES

Os nossos resultados mostram que a área foliar de um sarmento de videira pode ser estimada, de forma não destrutiva e com rapidez e precisão, a partir de modelos matemáticos construídos com variáveis explicativas baseadas em medidas físicas fáceis de obter no campo.

Quer para a estimativa da área foliar principal quer da secundária por sarmento, ambos os modelos se baseiam em três medidas: o número de folhas e a área

foliar de duas folhas, a maior e a menor. Qualquer um dos modelos explica uma elevada proporção da variabilidade da área foliar por sarmento e tem uma boa capacidade preditiva. Estes modelos podem ser aplicados independentemente da fase do ciclo biológico e permitem uma estimativa separada da área foliar principal e secundária por sarmento.

A simplicidade, facilidade e baixo custo da obtenção das variáveis medidas no campo, transforma estes modelos numa importante ferramenta para os investigadores, consultores e viticultores mais evoluídos, permitindo uma mais frequente estimativa da área foliar da videira. Todavia, a simples aplicação das equações obtidas noutras castas exige a sua prévia validação e eventual calibração.

AGRADECIMENTOS

Agradece-se a colaboração na colheita de dados dos então estagiários da Escola Superior Agrária de Coimbra Carlos Silva, Nuno Silva e Rosa Guilherme, bem como do Auxiliar Técnico José Borrvalho. Agradece-se também ao Professor António St'Aubyn, do Instituto Superior de Agronomia, pela colaboração na análise estatística.

RÉSUMÉ

Modèle empirique pour l'estimation de la surface foliaire de la vigne, cépage Jaen

À partir des mesures sur un échantillon des sarments du cépage Jaen, ramassés périodiquement pendant le cycle végétatif, on a sélectionné les meilleures variables explicatives pour estimer la surface foliaire. Pour l'estimation de la surface foliaire principale par sarment ont présenté un modèle développé à partir d'une régression multiple de deux variables explicatives: la surface foliaire moyenne principale par sarment, calculé à partir de la multiplication de la moyenne des surfaces des feuilles maximale et minimale par le nombre de feuilles principales, et la surface de la feuille minimale. Pour l'estimation de la surface foliaire secondaire le modèle sélectionné a été aussi développé à partir de deux variables explicatives: la surface foliaire moyen secondaire par sarment, calculé de la même façon, et la surface de la feuille maximale. La bonne performance prédictive de ces modèles montre qu'on peut estimer de façon précise et non destructive, la surface foliaire principale et secondaire d'un sarment de vigne dans toutes les périodes du cycle végétatif. La simplicité, vitesse et bas coût relatif à la mesure des variables au champ, fait de ces modèles un outil très important pour la recherche en viticulture.

SUMMARY

Empirical models for leaf area estimation of the grapevine cv. Jaen

Empirical models for non-destructive estimation of grapevine leaf area of the red variety Jaen are presented. Primary leaf area per shoot is estimated by a model using two variables: a calculated variable, obtained from the average of the largest and smallest primary leaf area multiplied by the number of primary leaves, and the area of the smallest primary leaf. For lateral

leaf area per shoot another model using the same type of calculated variable plus the area of the largest lateral leaf is also presented. The good predicting capability show that the presented models can predict, using a non-destructive, simple and accurate method, primary and lateral grapevine leaf area per shoot in any growth stage. The simplicity, easiness and low cost of measuring the field variables needed make the models a powerful tool for vine researchers, consultants and even for advanced growers allowing a more frequent evaluation of vine leaf area.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Barbagallo M.G., Lorenzo R.I., Motisi A., Sottile I., 1996. Estimation of leaf area changes along the primary shoot in grapevine. In: *Proc. 9th. GESCO Meeting*, 245-250. Budapest, Hungary (Univ. Horticulture and Food Industries).
- Bindi M., Miglietta F., Gozzini B., Orlandini S., Seghi L., 1997. A simple model for simulation of growth and development in grapevine (*Vitis vinifera* L.). I. Model description. *Vitis* **36**, 67-71.
- Bonhome R., Chartier P., 1972. The interpretation and automatic measurement of hemispherical photographs to obtain sunlit foliage area and gap frequency. *Israel Journal of Agricultural Research* **22**, 53-61.
- Carbonneau A., 1976a. Principes et méthodes de mesure de la surface foliaire. Essai de caractérisation des types de feuilles dans le genre vitis. *Ann. Amélio. Plantes* **26**, 327-343.
- Carbonneau A., 1976b. Analyse de la croissance des feuilles du sarment de vigne: estimation de sa surface foliaire par échantillonnage. *Conn. Vigne et Vin* **10**, 141-159.
- Champagnol F., 1984. *Eléments de Physiologie de la Vigne et de Viticulture Général*. Dehan, Montpellier, France.
- Cohen S., Striem M.J., Bruner M., Klein I., 2000. Grapevine leaf area index evaluation by gap fraction inversion. *Acta Hort.* **537**, 87-94.
- Dobrowski S.Z., Ustin S.L., Wolpert J.A., 2002. Remote estimation of vine canopy density in vertically shoot-positioned vineyards: determining optimal vegetation indexes. *Aust. J. Grape Wine Res.* **8**, 117-125.
- Elsner E.A., Jubb G., 1988. Leaf area estimation of Concord grape leaves from single linear measurements. *Am. J. Enol. Vitic.* **39**, 95-97.
- Grantz D.A., Williams L.E., 1993. An empirical protocol for indirect measurement of LAI in grape (*Vitis vinifera* L.). *Hortscience* **28**, 777-779.
- Lopes C.M., 1994. *Influência do sistema de condução no microclima do coberto, vigor e produtividade da videira (Vitis vinifera L.)*. Dissertação de Doutorado, Instituto Superior de Agronomia, UTL, Lisboa, 205 pp.
- Lopes C.M., Pinto P.A., 2000. Estimation de la surface foliaire principale et secondaire d'un sarment de vigne. *Prog. Agric. Vitic.* **117**, 160-166.
- Lopes C.M., Pinto P.A., 2004. Estimation of primary and secondary leaf area of a 'Tempranillo' grapevine shoot. *7th International Symposium on Grapevine Physiology and Biotechnology*, Univ. California, Davis, book of abstracts: 28.
- Mabrouk H., Carbonneau A., 1996. Une méthode simple de détermination de la surface foliaire de la vigne (*Vitis vinifera* L.). *Prog. Agric. Vitic.* **113**, 392-398.

Murisier F.M., 1996. *Optimisation du rapport feuille-fruit de la vigne pour favoriser la qualité du raisin et l'accumulation des glucides de réserve*. Thèse Doctorat, Ecole Pol. Fédérale de Zurich, Zurich, 132 p.

Myers R.H., 1986. *Classical and modern regression with applications*. Duxbury Press, Boston, 101-135.

Oliveira M., Santos M., 1995. A semi-empirical method to estimate canopy leaf area of vineyards. *Am. J. Enol. Vitic.* **46**, 389-391.

Ollat N., Fermaud M., Tandonnet J.P., Neveux M., 1998. Evaluation of an indirect method for leaf area index determination in the vineyard : Combined effects of cultivar, year and training system. *Vitis* **37**, 73-78.

Patakas A., Noitsakis B., 1999. An indirect method of estimating leaf area index in cordon trained spur pruned grapevines. *Scientia Hort.* **80**, 299-305.

SAS, 1989. *SAS/STAT User's Guide. Release 6*. Fourth Edition, Volume 2, Cary, NC: SAS Institute Inc., USA.

Schultz H.R., 1992. An empirical model for the simulation of leaf appearance and leaf development of primary shoots of several grapevine (*Vitis vinifera* L.). *Scientia Hort.* **52**, 179-200.

Smart R.E., 1985. Principles of grapevine canopy microclimate manipulation with implications for yield and quality. A review. *Am. J. Enol. Vitic.*, **36**: 230-239.

Smart R.E., ROBINSON M., 1991. *Sunlight into wine. A Handbook for Winegrape Canopy Management*. Winetitles, Adelaide, 88 pp.

Smith R. J., Kliewer W.M., 1984. Estimation of Thompson Seedless grapevine leaf area. *Am. J. Enol. Vitic.* **35**, 16-22.

Sommer K.J., Lang A.R.G., 1994. Comparative analysis of two indirect methods of measuring LAI as applied to minimal and spur pruned grape vines. *Aust. J. Plant Physiol.* **21**, 197-206.

Tregoat O., Ollat N., Grenier G., Van Leeuwen C., 2001. Survey of the accuracy and rapidity of several methods for vine leaf area assessment. *J. Int. Sci. Vigne Vin*, **35**, 31-39.