



9CFE-1572

Actas del Noveno Congreso Forestal Español
Edita: **Sociedad Española de Ciencias Forestales. 2025.**
ISBN: 978-84-941695-7-1

Organiza





Alometría de *Quercus suber* en la cuenca Mediterránea occidental

JORGE, C. (1), TOMÉ, M. (1), RUIZ-PEINADO, R. (2), ZRIBI, L. (3) and PAULO, J.A. (1)

1. Centro de Investigación Forestal y Laboratorio Asociado TERRA, Facultad de Agricultura, Universidad de Lisboa, Tapada da Ajuda, 1349-017 Lisboa, Portugal.
2. Instituto de Ciencias Forestales (ICIFOR-INIA), CSIC, Ctra. A Coruña km 7.5, 28040, Madrid, España.
3. AgroParisTech, INRAE, UMR 1434 Silva, Facultad de Ciencias y Tecnologías, Universidad de Lorena, Bd des Aiguillettes, BP 70239, 54506 Vandœuvre-Lès-Nancy, Francia.

Resumen

La necesidad de disponer de estimaciones precisas de la biomasa es mayor que nunca para la gestión sostenible de los recursos forestales, una cuestión cada vez más acuciante debido al cambio climático. El método más utilizado para estimar la biomasa con fines operativos es el de las ecuaciones alométricas. Normalmente, cada país desarrolla sus propios modelos para aplicarlos a escala local porque resulta más cómodo. Pero, para *Quercus suber*, un modelo regional conjunto puede ser más beneficioso, ya que la especie se distribuye por todo el Mediterráneo y es difícil de contabilizar debido a las limitaciones de tala y a la propia naturaleza de la biomasa de corcho maduro. Encontramos que estas características se reflejan en los conjuntos de datos de biomasa y la compatibilidad era, quizás, el mayor impedimento para un modelo de este tipo. El uso de variables dummy para diferenciar entre países, así como compromisos en los límites de los compartimentos de biomasa, nos permitió desarrollar dos modelos conjuntos para estimar la biomasa aérea en Portugal, España y Túnez. Desarrollamos un modelo separado para las raíces (eficiencia del modelo = 0.89), ya que no era posible garantizar la aditividad de todo el árbol. Todos los coeficientes fueron estimados utilizando regresiones aparentemente no relacionadas (SUR), y el ajuste del modelo garantizó la aditividad en los compartimentos aéreos—hojas y biomasa leñosa—con eficiencias de ajuste de 0.89 y 0.93, respectivamente. Este trabajo demuestra que es posible disponer de un modelo biológicamente sólido y eficiente para los tres países, a pesar de las diferencias en los patrones alométricos observados.

Palabras clave

Estimación, biomasa, carbono, ecuaciones regionales, alcornoque

1. Introducción

Los bosques son una parte importante de la reserva de carbono terrestre y actúan como reguladores del ciclo global del carbono al almacenar carbono en sus suelos y biomasa, tanto por encima como por debajo del suelo. Muchos países de la Unión Europea han asumido compromisos de neutralidad de carbono (SANTOS et al. 2022) utilizando el secuestro de carbono por los bosques como estrategia para



hacer frente al cambio climático. Cuantificar con precisión la biomasa de carbono en los árboles, aunque sólo sea una parte de la solución, es de suma importancia, ya sea para evaluar la productividad de los rodales, el éxito de las políticas forestales o para estudiar los procesos implicados en el secuestro de carbono (BROWN 2002).

El método más preciso para cuantificar la biomasa arbórea es la tala de árboles y su pesaje tras el secado (muestreo destructivo), lo que siempre supone una tarea onerosa. Pero, aunque ligeramente menos precisas, las estimaciones de biomasa pueden obtenerse alternativamente a partir de medidas biométricas no destructivas utilizando ecuaciones alométricas. En otro lugar se ha realizado una revisión exhaustiva sobre este tema (WEISKITTEL et al. 2015), en la que se señala que los modelos suelen desarrollarse a partir de conjuntos de datos pequeños y geográficamente limitados, al tiempo que se analizan sus limitaciones.

Una ecuación adecuada para estimar la biomasa dentro de una región determinada debería basarse idealmente en un conjunto de árboles cosechados en rodales con diferentes condiciones de emplazamiento, de modo que abarque la variabilidad de los patrones de crecimiento observados en los árboles. Los datos de biomasa deben mantenerse preferiblemente sin ninguna transformación, para evitar estimaciones sesgadas de los parámetros (TER-MIKAELIAN & KORZUKHIN 1997), y, también es importante incorporar la propiedad de aditividad de la biomasa, para preservar el significado biológico de los coeficientes (PARRESOL 1999, 2001). Al intentar incorporar todos estos aspectos, una de las metodologías más utilizadas es un sistema aditivo de ecuaciones donde los parámetros se estiman con Seemingly Unrelated Regression (SUR) (CARVALHO & PARRESOL 2003, POUDEL & TEMESGEN 2015, XIE ET AL. 2020).

Quercus suber L. es una especie arbórea con importancia económica y potencial sumidero de carbono en la cuenca Mediterránea occidental (CORREIA et al. 2014, PALMA et al. 2014, OUBRAHIM et al. 2016). La variable arbórea más utilizada para modelizar la biomasa del alcornoque es el diámetro a la altura del pecho bajo corteza (du); cuando se utilizan dos variables, es habitual añadir la altura total del árbol (h). Portugal, España y Túnez han desarrollado un sistema de ecuaciones y varios estudios han cuantificado la biomasa del alcornoque (COELHO et al. 2012, DEMERTZI et al. 2017), pero estos se centraron en países individuales. El uso de modelos y compartimentos arbóreos distintos en cada país es un problema para comparar las estimaciones de biomasa (NEUMANN et al. 2016), ya que dificulta discernir si las diferencias en las estimaciones se deben al muestreo y al tratamiento de los datos, a las condiciones ambientales o a la alometría.

2. Objetivos

Dadas estas cuestiones, el presente trabajo tiene varios objetivos que cumplir y preguntas que investigar:

1. unir conjuntos de datos de biomasa de *Quercus suber* y comparar las diferentes



alometrías en el crecimiento del alcornoque entre tres países: Portugal, España y Túnez;

2. ¿Es factible desarrollar un modelo conjunto que pueda estimar consistentemente la biomasa en las regiones donde el alcornoque es prevalente?
3. ¿Es significativa la adición de la altura total del árbol para la predicción de la biomasa?
4. proporcionar dos modelos alternativos de biomasa radicular y dos modelos aditivos SUR de biomasa aérea - uno en función de du , para ser utilizado cuando no se ha medido la altura del árbol, y el otro en función de du y h .

3. Metodología

Un total de 212 árboles de Portugal, España y Túnez se reunieron en un conjunto de datos para ajustar modelos alométricos. Los árboles que ya habían sido descortezados se consideraron adultos, mientras que los árboles que nunca fueron descortezados se consideraron juveniles. Había un total de 158 árboles juveniles y un total de 54 árboles adultos. Cada país consideró diferentes compartimentos de árboles en el procedimiento de campo para determinar la biomasa, que se describe en detalle por los respectivos autores: árboles adultos en Portugal (PAULO & TOMÉ 2008), árboles juveniles en Portugal (VARELA et al. 2000), árboles en Túnez (ZRIBI et al. 2016) y árboles en España (RUIZ-PEINADO et al. 2012).

Para hacer compatibles los contenidos de biomasa, el conjunto de datos se homogeneizó en los tres compartimentos siguientes: hojas, biomasa leñosa -incluye tallos, ramas y corcho virgen- y raíces. La biomasa aérea total resulta de la suma de las hojas y la biomasa leñosa, mientras que la biomasa subterránea se compone de raíces. No se ha tenido en cuenta la biomasa de corcho maduro, ya que se extrae periódicamente. En el caso de los árboles de España y Túnez, fue necesario estimar la cantidad de corcho maduro presente en el tronco en el momento de la tala, ya que no se había tenido en cuenta en el procedimiento de recolección. Esto se hizo en tres pasos, que requerían el grosor del corcho y la edad del corcho en el momento de la tala (PAULO & TOMÉ 2010). Cuando el du no se midió directamente, se calculó deduciendo el espesor del corcho.

Los modelos de biomasa se basaron en el modelo alométrico, que se ha reconocido como apropiado para establecer la relación entre dos partes de un mismo organismo, e se desarrollaron en los siguientes pasos:

- (1) ajuste de ecuaciones alométricas individuales para cada compartimento de biomasa utilizando el modelo completo y reducido (con y sin h), sin diferenciar entre países;
- (2) adición de variables dummy para cada país en cada ecuación individual y selección de un modelo para cada compartimento de biomasa, en el que todos los parámetros fueran significativamente diferentes de cero;
- (3) ajuste de los componentes aéreos en un sistema de ecuaciones para garantizar

la aditividad entre la biomasa total y los otros dos componentes de la biomasa.

El modelo de biomasa para las raíces no requirió el paso 3, ya que la propiedad de aditividad no podía tenerse en cuenta porque la biomasa de las raíces sólo estaba disponible para un pequeño subconjunto del total de árboles muestreados.

Las estadísticas descriptivas básicas y los gráficos de dispersión se produjeron en el software R mientras que todos los pasos del procedimiento de ajuste del modelo se llevaron a cabo en el software SAS con el procedimiento MODEL. Los pasos 1 y 2 utilizaron mínimos cuadrados ordinarios (MCO) como estimador para todos los componentes de la biomasa y el paso 3 utilizó SUR iterado solo para los componentes de la biomasa aérea.

Se utilizaron varias métricas de rendimiento para comparar los modelos, a saber: suma de errores al cuadrado (SSE), error cuadrático medio (RMSE), una medida equivalente al coeficiente de determinación ajustado-la eficiencia de modelización del ajuste (R^2). Se calcularon los siguientes estadísticos de validación con el método jackknife (leave-one-out): media de los residuos PRESS (mPRESS), media de los residuos PRESS absolutos (maPRESS) y eficacia de la modelización predictiva (R^2_{pred}) (MYERS 1990).

4. Resultados

El paso 1 del procedimiento de ajuste permitió confirmar que la variable de altura es significativa, pero lo más importante es que sugirió la necesidad de una variable dummy para diferenciar entre países. La tabla 1 muestra los modelos finales. Como era de esperar, la métrica mejoró o se mantuvo desde los ajustes individuales a los ajustes de ecuaciones simultáneas.

Tabla 1. Coeficientes y métricas de eficacia de modelización para los sistemas de ecuaciones SUR.

Descripción del modelo		Coeficientes									Eficacia
Modelo reducido	wl	0.09 ***	0.02 ***	0.06 ***	1.60 ***						0.86
	ww	0.08 ***	0.26 **		2.59 ***	2.09 ***	2.48 ***				0.89
	wa	wl + ww									0.89
Modelo completo	wl	0.11 ***	0.03 ***	0.05 ***	1.13 ***			0.65 ***			0.89
	ww	0.10 ***			2.07 ***	1.40 ***	1.84 ***	0.75 ***	1.54 **		0.93
	wa	wl + ww									0.93

Todos los coeficientes , and , se marcaron con símbolos de acuerdo con lo siguiente: *** indica $p < 0.001$ y ** $p < 0.01$. Los valores vacíos indican que el parámetro no era significativamente diferente de cero en los niveles α habituales. Las celdas en gris indican que el parámetro no forma parte del ajuste del modelo. wl: biomasa foliar, ww: biomasa leñosa, wa: biomasa aérea. : eficacia de modelización del ajuste, calculada con residuos no ponderados.

Como era de esperar, la métrica eficacia mejoró o se mantuvo respecto a los ajustes individuales en comparación con los ajustes de ecuaciones simultáneas (resultados no mostrados). Una representación gráfica de todos los modelos finales reducidos se muestra en la Figura 1, donde se puede ver que los compartimentos con mayor variabilidad son la biomasa leñosa y la biomasa aérea.

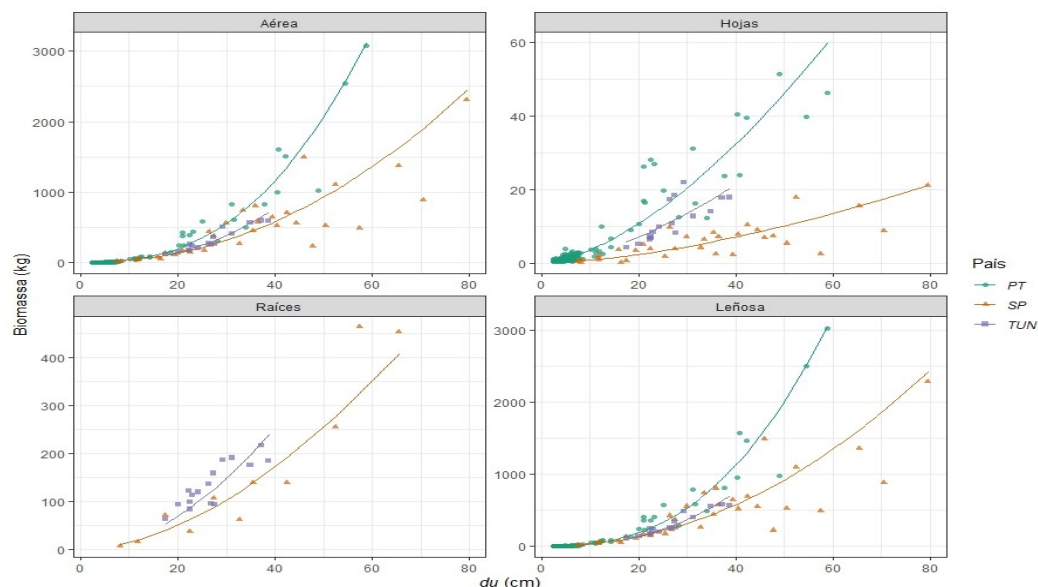


Figura 1. Mejores modelos reducidos con pesos para todos los compartimentos de biomasa: hojas, biomasa leñosa y biomasa aérea muestran el ajuste de las ecuaciones simultáneas, mientras que las raíces muestran el ajuste de la ecuación individual. Los puntos verdes representan los modelos para Portugal, los triángulos naranjas representan España y los cuadrados morados representan Túnez.

Sin embargo, sus patrones son casi idénticos, ya que la mayor parte de la biomasa se encuentra en la madera en el momento del muestreo. Las hojas muestran una menor variabilidad de los valores observados, pero patrones muy diferentes. Los estadísticos de validación para los modelos se presentan en la tabla 2.

Tabla 2. Estadísticos de validación para todos los modelos.

Descripción del modelo			Estadísticos de validación		
			mPRESS	maPRESS	
Ecuaciones individuales	Modelos reducidos	wl	-0.0032	0.14	0.84
		ww	-0.0005	0.06	0.85
		wa	-0.0286	0.36	0.86
		wr	3.17	25.50	0.59
	Modelos completos	wl	-0.0013	0.08	0.87
		ww	0.0002	0.04	0.90
		wa	0.0002	0.05	0.88
		wr	1.48	24.28	0.84

Ecuaciones simultáneas (SUR)	Modelos reducidos	wl	0.0029	0.14	0.86
		ww	0.0020	0.04	0.89
		wa	0.0053	0.08	0.89
	Modelos completos	wl	-0.0060	0.08	0.89
		ww	-0.0002	0.04	0.93
		wa	-0.0007	0.05	0.93

wr: biomasa radicular.

5. Discusión

La limitación más obvia a la hora de unir conjuntos de datos separados es la diferencia en los procedimientos de muestreo. Esto es especialmente cierto en el caso del follaje y las raíces (WEISKITTEL et al. 2015, NEUMANN et al. 2016), que pueden presentar diferencias considerables debido a las dificultades prácticas asociadas al proceso de muestreo. Además, no existe una definición estándar de compartimentos, por lo que para unir un conjunto de datos el modelizador se ve obligado a agrupar compartimentos para lograr la compatibilidad de los datos. Estos problemas se agravan en el caso del alcornoque por dos razones: el corcho puede ser extremadamente heterogéneo y cada país contabiliza la biomasa de corcho con sus propias directrices. Otra cuestión importante es que los alcornoques suelen estar protegidos por una legislación que impide su tala y determina un número reducido de observaciones. Por lo tanto, las ventajas de unir los conjuntos de datos de la región Mediterránea, especialmente en el caso del alcornoque, podrían compensar con creces las deficiencias. Varios autores apoyan la idea de que los modelos regionales más complejos con una mayor disponibilidad de datos y variables pueden ser útiles, especialmente en regiones infrarrepresentadas (FORRESTER et al. 2017, DUTCĂ et al. 2020), siempre que se actúe con la debida diligencia en el uso del modelo y la compatibilidad de los conjuntos de datos.

No fue posible desarrollar un sistema de ecuaciones con aditividad para todo el árbol, ya que Portugal no disponía de datos sobre la biomasa radicular y en España y Túnez no se habían tomado muestras de las raíces de todos los árboles. Por lo tanto, fue necesario separar la biomasa subterránea de la aérea.

Los modelos de biomasa subterránea utilizaron únicamente datos de dos países -España y Túnez- que muestran que existen diferencias significativas en la alometría de las raíces. Estas diferencias están relacionadas con las características climáticas y del rodal, así como con el tipo de suelo y la dinámica del agua del suelo, ya que estos factores tienen una gran influencia en el desarrollo de las raíces (DAVID et al. 2013, 2016). Sin embargo, el mejor modelo general para las raíces es el modelo completo, en el que no se encontraron diferencias alométricas significativas, pero tanto el ajuste como las eficiencias predictivas del modelo fueron mejores.

Los datos sobre la biomasa aérea permitieron elaborar un modelo conjunto sin distinción entre países. Sin embargo, un modelo de este tipo no sería preciso para ningún país. Esta insuficiencia es especialmente notable en el compartimento de las hojas, lo que era de esperar debido a su variabilidad intrínseca (ANDIVIA et al.



2018). Pero encontramos que todas las estimaciones de biomasa aérea para cada país en particular se pueden mejorar significativamente mediante la inclusión de variables dummy. Además, el modelo completo para la biomasa leñosa requirió dummies sólo para los coeficientes relacionados con du y h , que están más relacionados con los patrones de crecimiento, y por lo tanto, indicando que cada país tiene de hecho alometrías significativamente diferentes. Por otro lado, la ecuación para la biomasa foliar no requería variables dummy para los parámetros asociados a du y h , lo que sugiere que los patrones de crecimiento exhibidos por el follaje de los árboles estaban enmascarados por du o por sus unidades de medida.

El patrón de crecimiento del follaje de los árboles está influido por diferentes prácticas de gestión relacionadas con la poda, el clareo y la densidad de la masa y varios autores han encontrado que las variables de copa son tremendamente importantes para describir la alometría foliar del alcornoque (ANTÓNIO et al. 2007, MENÉNDEZ-MIGUÉLEZ et al. 2022). Estas variables no estaban disponibles para este estudio. Sin embargo, sí se disponía de información sobre la densidad de la masa (N , árboles/ha). Portugal y Túnez resultaron ser más similares en los compartimentos aéreos, a pesar de las densidades de rodal extremadamente diferentes: 4-304 frente a 512-560, respectivamente. Los rodales del Parque Natural de Los Alcornocales, España, donde se recogieron muchas muestras de biomasa, tienen una densidad en el rango 87-334 (SÁNCHEZ-GONZÁLEZ et al. 2005, 2007). Por tanto, parece que la densidad del rodal no puede explicar toda la variabilidad de las hojas, al menos no de forma directa. Además, los alcornocales de baja densidad no muestran signos de competencia entre árboles y podemos esperar que las opciones de gestión aplicadas a menudo en estos sistemas, concretamente la poda, sean la causa dominante de las diferencias (PASALODOS-TATO et al. 2018, FAIAS et al. 2020). También es posible que las diferencias en la biomasa de las hojas se deban simplemente a un momento distinto en el propio método de muestreo, ya que la biomasa de las hojas no es estática. Pero un análisis exploratorio más detallado del efecto de la densidad del rodal, el ancho del dosel y la longitud del dosel en estudios futuros sería muy esclarecedor.

6. Conclusiones

Las estimaciones de biomasa para hojas, leñoso, total aéreo y raíces siempre mejoran con la adición de altura, aunque la altura no es la variable más adecuada para estimar la biomasa de las hojas. Encontramos que, al hacer compromisos razonables en el nivel de detalle con el que se establecen los límites de los compartimentos de biomasa, es posible unir conjuntos de datos de tres países diferentes y mitigar la escasez de datos de muestreo destructivo del alcornoque. Además, cada país tenía alometrías significativamente diferentes en cada compartimento de biomasa, pero estas diferencias se pueden contabilizar con variables dummy, lo que permite un modelo regional que puede cuantificar armónicamente los stocks de carbono del alcornoque.

7. Agradecimientos

Los autores agradecerían a Teresa Sampaio y António Correia por la curaduría de la biomasa juvenil del alcornoque. Esta investigación fue financiada por el Centro de Investigación Forestal, una unidad de investigación financiada por la



Fundação para a Ciência e a Tecnologia I.P. (FCT), Portugal (UIDB/00239/2020). Catarina Jorge fue financiada por la Fundação para a Ciência e a Tecnologia I.P. (FCT), bajo la beca UI/BD/150757/2020.

8. Bibliografía

SANTOS, F.D.; FERREIRA, P.L.; PEDERSEN, J.S.T. 2022. The climate change challenge: a review of the barriers and solutions to deliver a Paris solution. *Climate* 10, 1–32

BROWN, S. 2002. Measuring carbon in forests: current status and future challenges. *Environ. Pollut.* 116, 363–372

WEISKITTEL, A.R.; MACFARLANE, D.W.; RADTKE, P.J.; AFFLECK, D.L.R.; TEMESGEN, H.; WOODALL, C.W.; WESTFALL, J.A.; COULSTON, J.W. 2015. A call to improve methods for estimating tree biomass for regional and national assessments. *J. For.* 113, 414–424

TER-MIKAELIAN, M.T.; KORZUKHIN, M.D. 1997. Biomass equations for sixty-five north American tree species. *For. Ecol. Manage.* 97, 1–24

PARRESOL, B.R. 1999. Assessing tree and stand biomass: a review with examples and critical comparisons. *For. Sci.* 4, 573–593

PARRESOL, B.R. 2001. Additivity of nonlinear biomass equations. *Can. J. For. Res.* 31, 865–878

CARVALHO, J.P.; PARRESOL, B.R. 2003. Additivity in tree biomass components of Pyrenean oak (*Quercus Pyrenaica* Willd.). *For. Ecol. Manage.* 179, 269–276

POUDEL, K.P.; TEMESGEN, H. 2015. Methods for estimating aboveground biomass and its components for Douglas-fir and lodgepole pine trees. *Can. J. For. Res.* 46, 77–87

XIE, L.; LI, F.; ZHANG, L.; WIDAGDO, F.R.A.; DONG, L. 2020. A bayesian approach to estimating seemingly unrelated regression for tree biomass model systems. *Forests* 11, 1–30

CORREIA, A.C.; COSTA E SILVA, F.; CORREIA, A. V.; HUSSAIN, M.Z.; RODRIGUES, A.D.; DAVID, J.S.; PEREIRA, J.S. 2014. Carbon sink strength of a Mediterranean cork oak understorey: how do semi-deciduous and evergreen shrubs face summer drought? *J. Veg. Sci.* 25, 411–426

OUBRAHIM, H.; BOULMANE, M.; R BAKKER, M.; AUGUSTO, L.; MOHAMMED, H.



2016. Carbon storage in degraded cork oak (*Quercus suber*) forest on flat lowlands in morocco. *Iforest Biogeosci. For.* 9, 125–137

PALMA, J.H.N.; PAULO, J.A.; TOMÉ, M. 2014. carbon sequestration of modern *Quercus suber* l. silvoarable agroforestry systems in Portugal: a yieldsafe-based estimation. *Agrofor. Syst.* 88, 791–801

COELHO, M.B.; PAULO, J.A.; PALMA, J.H.N.; TOMÉ, M. 2012. Contribution of cork oak plantations installed after 1990 in Portugal to the Kyoto commitments and to the landowners economy. *For. Policy Econ.* 17, 59–68

DEMERTZI, M.; PAULO, J.A.; ARROJA, L.; DIAS, A.C. 2016. A carbon footprint simulation model for the cork oak sector. *Sci. Total Environ.* 566–567, 499–511

NEUMANN, M.; MORENO, A.; MUES, V.; HÄRKÖNEN, S.; MURA, M.; BOURIAUD, O.; LANG, M.; ACHTEN, W.M.J.; THIVOLLE-CAZAT, A.; BRONISZ, K.; ET AL. 2016. Comparison of carbon estimation methods for european forests. *For. Ecol. Manage.* 361, 397–420

PAULO, J.; TOMÉ, M. 2008. Recolha de dados para determinação de biomassas e volumes de sobreiro (*Quercus suber*) - protocolo para a instalação de parcelas temporárias e medição de árvores amostra. Publicações FORCHANGE RT3/2008. Universidade Técnica de Lisboa - Instituto Superior de Agronomia, Centro de Estudos Florestais. pp. 18. Lisboa

Varela MC, Bellarosa R, Eriksson G, Bariteau M, Catalan G, Branco T et al. (2000). Handbook of the concerted action FAIR 1 CT 95-0202: European network for the evaluation of genetic resources of cork oak for appropriate use in breeding and gene conservation strategies. INIA - Estação Florestal Nacional, Lisboa, Portugal, pp.122

VARELA, M.C.; BELLAROSA, R.; ERIKSSON, G.; BARITEAU, M.; CATALAN, G.; BRANCO, T.; BARROS, I.R.; ALMEIDA, H.; CHAMBEL, R.; SBAY, H.; ET AL. 2000. Handbook of the concerted action FAIR 1 CT 95-0202: European network for the evaluation of genetic resources of cork oak for appropriate use in breeding and gene conservation strategies. INIA - Estação Florestal Nacional. pp. 122. Lisboa

ZRIBI, L.; CHAAR, H.; KHALDI, A.; HANCHI, B.; MOUILLOT, F.; GHARBI, F. 2016. Estimate of biomass and carbon pools in disturbed and undisturbed oak forests in Tunisia. *For. Syst.* 25, e060

RUIZ-PEINADO, R.; MONTERO, G.; DEL RIO, M. 2012. Biomass models to estimate carbon stocks for hardwood tree species. *For. Syst.* 21, 42-52



PAULO, J.A.; TOMÉ, M. 2010. Predicting mature cork biomass with t years of growth from one measurement taken at any other age. *For. Ecol. Manage.* 259, 1993–2005

MYERS, R.H. 1990. Classical and modern regression with applications. Duxbury Press. pp. 209-248. Belmont, CA, USA

FORRESTER, D.I.; TACHAUER, I.H.H.; ANNIGHOEFER, P.; BARBEITO, I.; PRETZSCH, H.; RUIZ-PEINADO, R.; STARK, H.; VACCHIANO, G.; ZLATANOV, T.; CHAKRABORTY, T.; ET AL. 2017. Generalized biomass and leaf area allometric equations for European tree species incorporating stand structure, tree age and climate. *For. Ecol. Manage.* 396, 160–175

DUTCĂ, I.; MATHER, R.; IORAȘ, F. 2020. Sampling trees to develop allometric biomass models: how does tree selection affect model prediction accuracy and precision? *Ecol. Indic.* 117, 206553

DAVID, T.S.; PINTO, C.A.; NADEZHDINA, N.; KURZ-BESSON, C.; HENRIQUES, M.O.; QUILHÓ, T.; CERMAK, J.; CHAVES, M.M.; PEREIRA, J.S.; DAVID, J.S. 2013. Root functioning, tree water use and hydraulic redistribution in *Quercus suber* trees: a modeling approach based on root sap flow. *For. Ecol. Manage.* 307, 136–146

DAVID, T.S.; PINTO, C.A.; NADEZHDINA, N.; DAVID, J.S. 2016. Water and forests in the Mediterranean hot climate zone: a review based on a hydraulic interpretation of tree functioning. *For. Syst.* 25

ANDIVIA, E.; BOU, J.; FERNÁNDEZ, M.; CARITAT, A.; ALEJANO, R.; VILAR, L.; VÁZQUEZ-PIQUÉ, J. 2018. Assessing the relative role of climate on litterfall in Mediterranean cork oak forests. *IForest* 11, 786–793

ANTÓNIO, N.; TOMÉ, M.; TOMÉ, J.; SOARES, P.; FONTES, L. 2007. Effect of tree, stand, and site variables on the allometry of *Eucalyptus globulus* tree biomass. *Can. J. For. Res.* 37, 895–906

MENÉNDEZ-MIGUÉLEZ, M.; CALAMA, R.; DEL RÍO, M.; MADRIGAL, G.; LÓPEZ-SENESPLEDA, E.; PARDOS, M.; RUIZ-PEINADO, R. 2022. Species-specific and generalized biomass models for estimating carbon stocks of young reforestations. *Biomass Bioenergy* 161, 10645

SÁNCHEZ-GONZÁLEZ, M.; CALAMA, R.; CAÑELLAS, I.; MONTERO, G. 2007. Variables influencing cork thickness in Spanish cork oak forests: a modelling approach. *Ann. For. Sci.* 64, 301–312

SÁNCHEZ-GONZÁLEZ, M.; TOMÉ, M.; MONTERO, G. 2005. Modelling height and



diameter growth of dominant cork oak trees in Spain. *Ann. For. Sci.* 62, 633–643

PASALODOS-TATO, M.; PUKKALA, T.; CAÑELLAS, I.; SÁNCHEZ-GONZÁLEZ, M. 2018. Optimizing the debarking and cutting schedule of cork oak stands. *Ann. For. Sci.* 75, 61

FAIAS, S.P.; PAULO, J.A.; TOMÉ, M. 2020. Inter-tree competition analysis in undebarked cork oak plantations as a support tool for management in Portugal. *New For.* 51, 489–505