

QUANTIFICAÇÃO DO CARBONO FIXADO EM POVOAMENTOS MISTOS NO NORTE DE PORTUGAL

LEÓNIA NUNES ¹
DOMINGOS LOPES ²

¹ Escola Superior Agrária do Instituto Politécnico de Viseu, Departamento de Produção Vegetal.

² Universidade de Trás-os-Montes e Alto Douro, Departamento Florestal.

Resumo

Estudos da quantificação da produtividade nos povoamentos mistos em Portugal Continental são importantes face à escassez de informação nesta área, particularmente, no que diz respeito aos povoamentos mistos de *Quercus pyrenaica* e *Pinus pinaster*. Esta importância acresce num cenário de alterações climáticas, e também pela necessidade de adaptar medidas de gestão e de quantificar a produção, para monitorizar a evolução das áreas florestais e para inferir parâmetros qualitativos e quantitativos. Neste sentido, procedeu-se à quantificação da produtividade primária líquida (PPL) dos povoamentos analisados, uma vez que a PPL é uma variável chave que permite a monitorização da fixação de carbono atmosférico. A PPL foi estimada para 40 parcelas de amostragem do Inventário Florestal Nacional de 2005/2006 (15 parcelas de povoamentos puros de *Pinus pinaster* L., 15 parcelas de povoamentos puros de *Quercus pyrenaica* Willd. e 10 parcelas de povoamentos mistos de *Quercus pyrenaica* Willd. com *Pinus pinaster* L.), distribuídas por vários concelhos do distrito de Vila Real. Os dados apresentados têm por base valores de variáveis dendrométricas dos povoamentos em estudo, recolhidos em 3 momentos diferentes (2006, 2008 e 2009). Com base nos resultados médios do carbono fixado, verificou-se uma maior produção dos povoamentos mistos de *Quercus pyrenaica* com *Pinus pinaster* (6,710 ton C ha⁻¹.ano⁻¹), quando comparada com os povoamentos puros de *Quercus pyrenaica* (5,766 ton C ha⁻¹.ano⁻¹) ou com os povoamentos puros de *Pinus pinaster* (5,675 ton C ha⁻¹.ano⁻¹). Posteriormente, procedeu-se à partição do carbono total fixado pelas diferentes componentes do ecossistema (arbórea, matos e folhada) para os povoamentos em estudo, sendo a folhada a componente que mais contribui para o carbono fixado do ecossistema. Por fim, realizou-se uma análise de variância (ANOVA) para determinar diferenças de médias entre os povoamentos em estudo, e, para um nível de significância de 5% concluiu-se que não há diferenças significativas no carbono fixado entre os povoamentos mistos e puros.

Palavras-chave: produtividade primária líquida, ecossistemas florestais, carbono.

1. Introdução

A crescente importância do papel das florestas traduz objectivos de carácter mais abrangente do que estritamente a produção de madeira ou casca, nomeadamente numa óptica ambiental, de paisagem, de recreio e sócio-cultural. Neste contexto, têm sido introduzidas alterações na gestão dos povoamentos florestais de modo a implantar e desenvolver modelos de silvicultura que promovam estruturas irregulares e mistas, mais consentâneas com a multifuncionalidade que se pretende obter nestes espaços florestais (Gonçalves, *et al.*, 2008).

O interesse crescente na gestão das florestas mistas, como parte da actividade de gestão florestal sustentável, é fundamentado pelo conhecimento de que os povoamentos mistos são mais estáveis, menos susceptíveis a catástrofes naturais e mais favoráveis à regeneração natural, permitindo um melhor uso do solo (Sales Luís, 1997).

Os ecossistemas florestais são, na sua maioria, constituídos por árvores de diferentes espécies, que se definem como povoamentos mistos, distribuídas espacialmente pelos diversos andares de acordo com a sua capacidade de utilização da estação, permitindo interações ecológicas efectivas entre elas (Sales Luís, 1997). Apesar disto, estas formações lenhosas arbóreas ocorrem em Portugal em menor escala face aos povoamentos com uma única espécie, denominados por povoamentos puros. Segundo dados do Inventário Florestal Nacional (IFN) de 2005/2006, a área ocupada por povoamentos puros em Portugal Continental é de 2 253,8 mil ha (79,4% da área florestal por tipo de povoamento), face aos 587,5 mil ha de área ocupada por povoamentos mistos (20,6%), com maior representação na região do Alentejo (35,4%), seguido da região Norte (23,1 %) (DGRF, 2007).

Estes resultados vêm reforçar a necessidade de estudos de quantificação da produtividade nos povoamentos mistos em Portugal Continental de modo a inferir sobre o aumento da área destes, uma vez que são um elemento chave na manutenção da biodiversidade e têm um papel importante no processo de redução das emissões dos gases de efeito de estufa, dada a função de reservatório de armazenamento de carbono (Emmanuel & Killough, 1984; Woodwell; 1987, Odum, 1988; Gower *et al.*, 1997). De facto, a floresta, através do processo da fotossíntese, tem a capacidade de fixar dióxido de carbono (CO₂) (Emmanuel & Killough, 1984; Pereira *et al.*, 2004). Este serviço é particularmente importante no balanço global de carbono, com relevância acrescida face aos pressupostos estipulados pelo protocolo de Quioto, assim como ao panorama actual de alterações climáticas. Estas alterações no clima poderão surtir impactos directos negativos sobre os ecossistemas terrestres, nos diversos sectores sócio-económicos, na saúde pública e no bem-estar humano e, com inevitável impacto ao nível da capacidade dos ecossistemas em fixar carbono.

Aproximadamente 15% do reservatório de carbono atmosférico é fixado anualmente pela fotossíntese através das plantas terrestres. Assim, qualquer alteração nesta taxa de fixação como resultado da mudança global ambiental poderá ter um impacto significativo na taxa de CO₂ atmosférico (Williams *et al.*, 1997).

As alterações nas concentrações atmosféricas de carbono e suas consequências são preocupação e tema de discussão da comunidade científica há algumas décadas (Woodwell, 1987; Woodwell *et al.*, 1998). O Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) tornou-se numa referência internacional para a investigação ao nível das alterações climáticas. Em 2000, o IPCC mostrou que, entre o período de 1850 a 1998, a concentração de CO₂ aumentou de 285 ppm para 366 ppm na atmosfera. Este aumento ficou a dever-se principalmente à queima de combustíveis fósseis, destruição das florestas e, mais recentemente, às mudanças no uso da terra em regiões tropicais.

Em termos de projecções futuras, para o início do século XXI, Puhe & Ulrich (2000) previram taxas de aquecimento global de cerca de 0,3 °C (\pm 0,15°C) para todo o planeta em geral, por década. No entanto, em áreas com condições de Verões mais quentes e associadas a ventos de zonas interiores, prevêem que as temperaturas extremas não subam mais do que os valores médios. Em termos de mudança nos padrões de precipitação, estes investigadores salientaram que, em geral, a precipitação de Inverno subirá dentro de um intervalo de 0,25 a 1-2 mm / dia, excluindo o Norte da Escandinávia e a Região do Mediterrâneo. Pastor & Post (1988) sugeriram que a temperatura média global aumentará entre 2 °C e 4 °C e o CO₂ atmosférico irá duplicar durante o próximo século XXI.

Face aos dados apresentados pela comunidade científica acerca da evolução do clima, urge compreender a evolução dos ecossistemas face às mudanças climáticas, de modo a auxiliar na tomada de decisão e na implementação de políticas, a fim de preparar e/ou mitigar eventuais consequências negativas (Ågren *et al.*, 1991; Ryan *et al.*, 1996; Hewitt, 2004), uma vez que o clima determina o crescimento e a sobrevivência das plantas, assim como a sua distribuição geográfica.

Para o presente estudo, estimou-se a produção total de ecossistemas florestais mistos e puros no Norte de Portugal Continental. Esta produção é estimada através da PPL, uma variável chave que reflecte a produção total num ecossistema e pode, por isso, ser considerada uma variável completa, que assume grande utilidade na gestão e planeamento dos ecossistemas (Field *et al.*, 1995; Gower *et al.*, 1999). A determinação da quantidade de carbono do ecossistema é dada pelo valor de cada componente do ecossistema (arbórea, matos e folhada) multiplicado pela percentagem de carbono que representa em termos de biomassa. Estudos posteriores, com base

nos valores agora encontrados, serão fundamentais para a monitorização e predição de impactos das alterações climáticas na fixação de carbono.

2. Área de Estudo

Os dados apresentados foram recolhidos em 40 parcelas de amostragem, circulares de 500 m², do IFN 2005/2006, (15 parcelas de *Pinus pinaster* L., 15 parcelas de *Quercus pyrenaica* Willd. e 10 parcelas de povoamentos mistos de *Quercus pyrenaica* Willd. com *Pinus pinaster* L.), distribuídas por vários concelhos do distrito de Vila Real, conforme fig. 1. Foram feitas novas medições de variáveis dendrométricas, como o diâmetro à altura do peito (dap) e altura total (h), em 2008 e 2009.

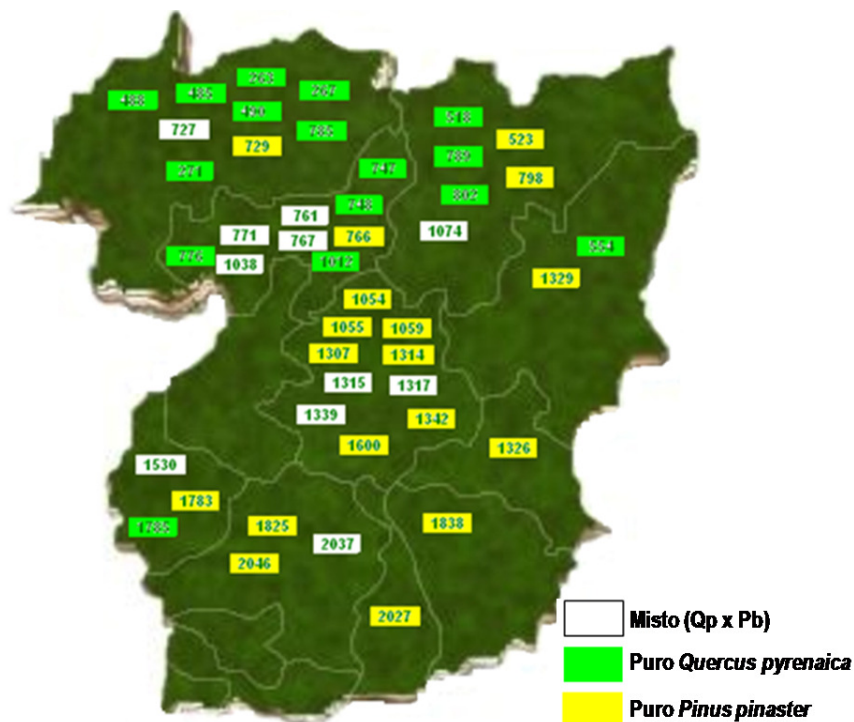


Figura 1 – Localização da área de estudo e das parcelas de amostragem analisadas.

3. Metodologia

Para a quantificação da fixação de carbono, estimou-se a produtividade dos povoamentos florestais (PPL) analisados, através da equação 1, e procedeu-se à partição desta produtividade pelas diferentes componentes do ecossistema (arbórea, matos e folhada).

$$PPL = \Delta B + Perdas, \quad (\text{Equação. 1})$$

em que ΔB representa o acréscimo de biomassa no estrato arbóreo, no período de tempo considerado (2006 a 2009), e inclui ainda o crescimento em biomassa do subcoberto, no mesmo período de tempo (Waring *et al.*, 1998).

A biomassa da componente arbórea foi estimada com base nas medições do dap de todas as árvores das parcelas de amostragem (2006, 2008 e 2009) e com a aplicação de equações de biomassa ajustadas para as várias componentes da árvore, nomeadamente equações para *Quercus pyrenaica* (equação 2, 3 e 4) ajustadas por J.P. Carvalho (2003) e equações para *Pinus pinaster* (equação 5, 6 e 7) ajustadas por D. Lopes (2005).

<i>Quercus pyrenaica:</i>	equações de biomassa (Carvalho, 2003)		
B _{copa}	Log (B) = - 14,246 + 2,248Ln (dap ² x h) - 1,972E ⁻² x (lcl x h)		(Equação 2)
B _{tronco}	Ln (B) = - 3,323 + 0,950 Ln (d ² x h)		(Equação 3)
B _{raízes}	B = (B _{copa} + B _{tronco}) x 0,3065		(Equação 4)
<i>Pinus pinaster:</i>	equações de biomassa (Lopes, 2005)		
B _{copa}	Log (B) = 2,911+2,130 Log (dap)	R ² = 0,765	(Equação 5)
B _{tronco}	Log (B) = 3,769 + 2,706 Log (dap)	R ² = 0,986	(Equação 6)
B _{raízes}	Log (B) = 1,972+ 1,221Log (dap)	R ² = 0,937	(Equação 7)

B - biomassa, B_{copa} - biomassa da copa, B_{tronco} - biomassa do tronco, dap - diâmetro à altura do peito (cm), h - altura total (m), lcl - comprimento da projecção da copa (m²)

Os dados dos matos foram obtidos em 2008, com pesagem em verde e seca para a obtenção do Peso Seco Total (ton.ha⁻¹), numa sub-amostra de 1 m². Os dados da folhada foram recolhidos a cada 3 meses durante o ano de 2009, numa sub-amostra de 40 x 60 cm, com pesagem em verde e seca para a obtenção do Peso Seco Total (ton.ha⁻¹.ano⁻¹).

Após a estimativa da PPL, procedeu-se à quantificação do carbono nas diferentes componentes das árvores em estudo (copa, tronco e raízes). Para os povoamentos de *Pinus pinaster*, utilizaram-se os valores propostos por Lopes e Aranha (2006), e apresentados no Quadro 1. Para os povoamentos de *Quercus pyrenaica* e, por falta de estudos da quantidade de carbono presente nesta espécie, assumiu-se o valor médio de 50%, adoptado por diversos autores (Atjay *et al.*, 1979; Gower *et al.*, 1997; Goetz & Prince, 1998).

Quadro 1 – percentagem de carbono por quilograma de matéria seca para os diferentes componentes do *Pinus pinaster* (Lopes & Aranha, 2006).

Componentes das árvores	Quantidade carbono média por quilograma de matéria seca (%)
Copa	50,8
Tronco	44,3
Raízes	45,7

4. Resultados

Os resultados do carbono total (quadro 2) revelam-se heterogéneos, e, em termos médios, apresentam 6,710 ton C ha⁻¹.ano⁻¹ para os povoamentos mistos de Qp x Pb, entre os extremos de 1,620 ton C ha⁻¹.ano⁻¹ a 11,432 ton C ha⁻¹.ano⁻¹. Em termos médios, os povoamentos puros de Qp obtiveram 5,766 ton C ha⁻¹.ano⁻¹ e os povoamentos puros de Pb obtiveram 5,675 ton C ha⁻¹.ano⁻¹. Verifica-se, desta forma, uma maior produção dos povoamentos mistos comparativamente aos povoamentos puros e, portanto, maior fixação de carbono.

Quadro 2 - descrição estatística da composição dos povoamentos em estudo¹.

Carbono total ton C ha ⁻¹ .ano ⁻¹	Misto Qp x Pb	Puro Qp	Puro Pb
Máximo	11,432	10,125	8,153
Média	6,710	5,766	5,675
Mínimo	1,620	3,370	3,355
Desvio padrão	3,120	1,771	1,477

¹ Misto Qp x Pb – povoamento florestal misto constituído por *Quercus pyrenaica* com *Pinus pinaster*; Puro Qp – povoamento florestal puro constituído por *Quercus pyrenaica*; Puro Pb – povoamento florestal puro constituído por *Pinus pinaster*

Nos povoamentos mistos, o carbono fixado distribui-se, em média, por 45,7 % nos matos, 45,2 % na folhada, 6,9% no *Pinus pinaster* e 2,2% no *Quercus pyrenaica* (quadro 3). Os 2,2% de carbono fixado pelo *Quercus pyrenaica* estão distribuídos de forma muito semelhante pelas três componentes da árvore (copa, tronco e raiz), conforme fig.2 A. Para a situação B, verifica-se que é essencialmente no tronco onde se acumula a maior percentagem de carbono fixado pelo *Pinus pinaster* (62%).

Quadro 3 – partição do carbono total pelos diferentes componentes dos povoamentos mistos.

Misto Qp x Pb	Qp	Pb	Matos	Folhada
Máximo	0,072	0,345	0,879	0,771
Média	0,022	0,069	0,457	0,452
Mínimo	0,001	0,005	0,166	0,020
Desvio padrão	0,024	0,098	0,203	0,205

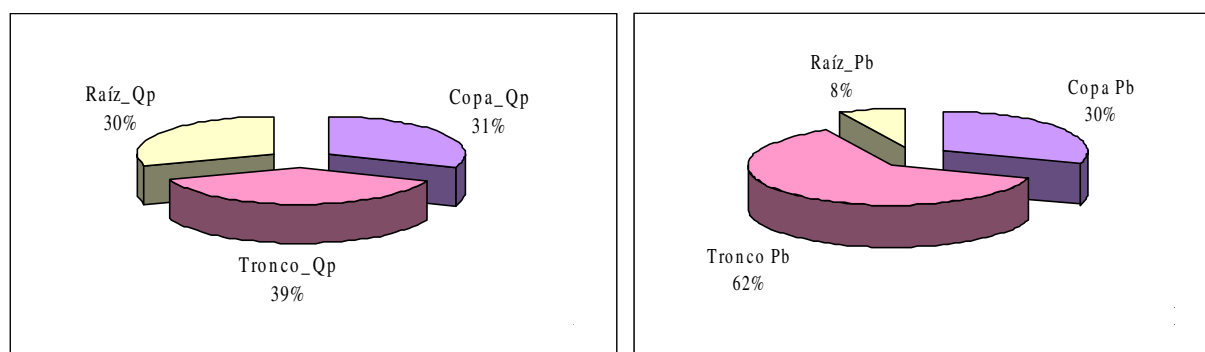


Figura 2 - percentagem de carbono por quilograma de matéria seca para os diferentes componentes das espécies de *Quercus pyrenaica* (situação A) e *Pinus pinaster* (situação B) presentes nos povoamentos mistos analisados.

Com o objectivo de identificar as variáveis dendrométricas do povoamento (ex.: altura total, altura média, diâmetro médio, idade, área basal por hectares e densidade), estimadas durante o trabalho de campo, mais fortemente correlacionadas com o carbono fixado, procedeu-se à análise da matriz de correlação (Quadro 4). Observa-se que a variável dendrométrica melhor correlacionada com o carbono fixado é a área basal de *Quercus pyrenaica* em 2009 ($R = 0,558$), sendo esta variável uma medida de densidade.

Quadro 4 - variáveis dendrométricas melhor correlacionadas com o carbono fixado.

Variável dendrométrica	R
<i>G Qp 09</i>	0,558
<i>hg Qp 09</i>	0,510
<i>dg Qp09</i>	0,485
<i>dg Qp06</i>	0,484

De seguida, procedeu-se à partição do carbono total fixado, apresentado no Quadro 2, pelos diferentes componentes do ecossistema (arbórea, matos e folhada), nos povoamentos puros de *Quercus pyrenaica* (Quadro 5) e de *Pinus pinaster* (Quadro 6). Verifica-se que, para ambos os povoamentos puros, a folhada é a componente que mais contribui para o carbono fixado do ecossistema, nomeadamente com 52,0% nos povoamentos puros de *Quercus pyrenaica* e 52,5% nos povoamentos puros de *Pinus pinaster*.

Quadro 5 - partição do carbono total pelos diferentes componentes dos povoamentos puros de Qp.

	Puro Qp	Qp	Matos	Folhada
Máximo		0,451	0,739	0,778
Média		0,096	0,385	0,520
Mínimo		0,006	0,166	0,183
Desvio padrão		0,114	0,147	0,171

Quadro 6 - partição do carbono total pelos diferentes componentes dos povoamentos puros de Pb.

	Puro Pb	Pb	Matos	Folhada
Máximo		0,208	0,649	0,753
Média		0,081	0,394	0,525
Mínimo		0,015	0,078	0,322
Desvio padrão		0,052	0,172	0,148

Com o objectivo de avaliar se o carbono fixado pelos povoamentos puros é estatisticamente diferente do carbono fixado pelos povoamentos mistos, efectuou-se uma análise de variância (ANOVA), cujo resultado está presente no Quadro 7.

Quadro 7 – Anova referente à fixação de carbono entre os povoamentos mistos e puros.

	<i>SQ</i>	<i>gl</i>	<i>MQ</i>	<i>F</i>	<i>Valor P</i>
Entre grupos	4,796	2	2,398	0,494	0,614
Dentro dos grupos	174,708	36	4,853		
Total	179,503	38			

Com base no valor de probabilidade (Quadro 7) e para um nível de significância de 5%, pode afirmar-se que não há diferenças significativas no carbono fixado entre os povoamentos mistos, os povoamentos puros de *Quercus pyrenaica* e os povoamentos puros de *Pinus pinaster*.

5. Discussão

Através dos resultados apresentados, verifica-se que os povoamentos mistos de *Quercus pyrenaica* com *Pinus pinaster* apresentam uma fixação de carbono superior ao valor médio apresentado pelos povoamentos puros de *Quercus pyrenaica* e os povoamentos puros de *Pinus pinaster* em 14,1% e 15,4%, respectivamente. No entanto, e apesar de a média revelar valores superiores nos povoamentos mistos, a elevada heterogeneidade dos povoamentos em estudo não permite afirmar que há diferenças significativas entre os valores de fixação de carbono, resultado indicado pela ANOVA efectuada.

O elevado desvio padrão apresentado pelos povoamentos mistos (3,120 ton C ha⁻¹.ano⁻¹) indica que existem povoamentos em que se observou uma maior fixação de carbono, face a povoamentos em que a fixação se revelou inferior.

Agradecimentos

Os autores agradecem à Fundação para a Ciência e a Tecnologia o suporte financeiro do Projecto PTDC/AGR-CFL/68186/2006, “Florestas mistas. Modelação, dinâmica e distribuição geográfica da produtividade e da fixação do carbono nos ecossistemas florestais mistos em Portugal”.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ÅGREN, G.I., McMurtrie, R.E., Parton, W.J., Pastor, J., Shugart, H.H. (1991). State-of-the-art of models of production-decomposition linkages in conifer and grassland ecosystems. *Ecological Applications*, 2: 118-138.
- ATJAY, G.L., Ketner, O., DuVigneaud, O. (1977). *Terrestrial primary production and phytomass*. pp. 129-182 in B. Bolin, E.T. Degens, S. Kempe, & P. Ketner, editors. The global Carbon Cycle. John Wiley and Sons, New York, USA.
- DGRF (2007). *Inventário Florestal Nacional (IFN) - Apresentação de resultados*. <http://www.afn.min-agricultura.pt/portal/politica-e-planeamento-florestal/infor-florestal/ifn-apresentacao-de-resultados> (consultado a 13-03-2008).
- CARVALHO, J.P. (2003). Uso da propriedade da aditividade de componentes de biomassa individual de *Quercus pyrenaica* Willd. com recurso a um sistema de equações não-linear. *Silva Lusitana*, 11: 141-152.
- EMMANUEL, W.R., Killough, G.G. (1984). Modeling terrestrial ecosystems in the global carbon cycle with shifts in carbon storage capacity by land-Use change. *Ecology*, 65: 970-983.
- FIELD, C.B., Randerson, J.T., Malmstrom, C.M. (1995). Global net primary production: combining ecology and remote sensing. *Remote Sensing of Environment*, 51: 74-88.
- GOETZ, S.J., Prince, S. (1998). Variability in carbon exchange and light utilisation among boreal forest stands: implications for remote sensing of net primary production. *Canadian Journal of Remote Forest Research*, 28: 375-389.
- GONÇALVES, A.C., Dias, S.S., Ferreira, A. G. (2008). Alterações de Composição e Estrutura dos Povoamentos Florestais. *Silva Lusitana*, 16: 111-124.
- GOWER, S.T., Kucharik, C.J., Norman, J.M. (1999). Direct and indirect estimation of leaf area index, fAPAR, and net primary production of terrestrial ecosystems. *Remote Sensing of Environment*, 70: 29-51.
- GOWER, S.T., Vogel, J.G., Norman, J.M., Kucharik, C.J., Steele, S.J., Stow, T.K. (1997). Carbon distribution and aboveground net primary production in aspen, jack pine and black spruce stands in Saskatchewan and Manitoba, Canada. *Journal of Geophysical Research*, 102 (D24): 29,029-29,041.
- HEWITT, G.M. (2004). The structure of biodiversity - insights from molecular phylogeography. *Frontiers in Zoology*, 1: 4.
- IPCC (2000). *Land use, land-use change, and forestry*. Intergovernmental Panel on Climate Change, Cambridge University Press: 377 p.
- LANDSBERG, J.J., Gower, S.T. (1997). *Application of physiological ecology to forest management*. Academic Press, USA: 128-158, 249-300.
- LANDSBERG, J.J., Waring, R.H. (1997). A generalised model of forest productivity using simplified concepts of radiation-use efficiency, carbon balance and partitioning. *Forest Ecology and Management*, 95: 209-228.
- LOPES, D. (2005). *Estimating Net Primary Production in Eucalyptus globulus and Pinus pinaster Ecosystems in Portugal*. Doctor Thesis, Kingston University and Universidade de Trás-os-Montes e Alto Douro, Vila Real, 291p.
- LOPES, D., Aranha, J. (2006). Avaliação do conteúdo de carbono na matéria seca de diferentes componentes de árvores de *Eucalyptus globulus* e de *Pinus pinaster*. *Silva Lusitana*, 14 (2): 149-154.
- ODUM, E. P. (1988). *Fundamentos de ecologia*. 4ª Edição, Fundação Calouste Gulbenkian, Lisboa: 65-96; 403-403.
- PASTOR, J. and Post, W.M. (1988). Response of northern forest to CO₂-induced climate change. *Nature*, 334 (6177): 55-58.
- PEREIRA, J.S., Silva, T., Correia, A.V. and Correia, A.V. (2004). Florestas e alterações climáticas – o sequestro de carbono nas florestas, *Ingenium*, 84: 62-63.
- PUHE, J. and Ulrich, B. (2000). *Global climate change and human impacts on forest ecosystems*. Ecological Studies, 143, Springer, 592p.
- SALES LUÍS, J.F. (1997). *Ecologia, Silvicultura e Produção de Povoamentos Mistos*. Série Técnica-Científica nº 26, Ciências aplicadas, Universidade de Trás-os-Montes e Alto Douro, Vila Real, 74.
- RYAN, M.G., Hunt Jr, E.R., McMurtrie, R.E., Agren, G.I., Aber, J.D., Friend, A.D., Rastetter, E.B., Pulliam, W.M., Raison, R J., Linder, S. (1996). Comparing models of ecosystem function for temperate conifer forest. I. Model description and validation. In Breymer, A., Hall, D.O., Melillo, J.M., Ågren, G.I. (Eds.) *Global Change: Effects on Forests and Grasslands*, J.Wiley: 313-362.
- WARING, R.H., Landsberg, J.J., Williams, M. (1998). Net primary production of forests: a constant fraction of gross primary production? *Tree Physiology*, 18: 129-134.
- WILLIAMS, M., Rastetter, E.B., Fernandes, D.N., Goulden, M.L., Shaver, G.R. and Johnson, L.C. (1997). Predicting gross primary in terrestrial ecosystems. *Ecological Applications*, 7 (3): 882-894.
- WOODWELL, G.M., 1987. Forests and climate: surprises in store. *Oceanus* 29: 71-75.
- WOODWELL, G. M.; Mackenzie, F. T.; Houghton, R. A.; Apps, M.; Gorham, E.; Davidson, E. (1998). Biotic feedbacks in the warming of the earth. *Climatic Change*, 40: 495-518.