

Modelação da Produtividade da Pseudotsuga [*Pseudotsuga menziesii* (Mirb.) Franco] em Função dos Factores de Estação

Luis Fontes¹, Margarida Tomé¹, Jaime Sales Luis² e Peter Savill³

¹Instituto Superior de Agronomia, Universidade Técnica de Lisboa, Tapada da Ajuda
1349-017 LISBOA

²Secção Florestal, Universidade de Trás-os-Montes e Alto Douro, Quinta de Prados, Apartado
1013 – 5000 - 911VILA REAL Codex,

³Department of Plant Sciences, University of Oxford, South Parks Road, OXFORD OX1 3RB

Resumo. Embora a área plantada de pseudotsuga em Portugal corresponda somente a 0.1% do total da área de ocupação florestal Nacional, o crescimento rápido da espécie tem sido localmente reconhecido. Esta espécie encontra-se distribuída pelas regiões montanhosas do norte e centro do país. O estudo do potencial da espécie em Portugal teve por base a modelação do crescimento em altura dominante e a modelação da produtividade em função dos factores de estação.

O índice de qualidade de estação da pseudotsuga em Portugal foi modelado com base em 15 povoamentos e 39 parcelas de amostragem nas quais se recolheu informação relativa aos solos, clima e topografia. A análise dos dados seguiu 3 passos: (1) selecção dos factores de estação relacionados com a produtividade da pseudotsuga; (2) escolha dos modelos candidatos para explicar a sua variação estacional; (3) selecção do melhor modelo candidato. O melhor modelo de regressão linear múltipla explicou 76% da variação do índice de qualidade de estação só com variáveis que estão facilmente disponíveis. O modelo desenvolvido com base nos dados da estação em formato digital explicou 54% da variação no índice do local e traçou as áreas com potencial para o crescimento da pseudotsuga em Portugal. Em função deste modelo estima-se em 250.000 ha a área com potencial para plantar pseudotsuga, o que corresponde a 8% da área existente de floresta Portuguesa. As melhores áreas para o crescimento da pseudotsuga estão situadas ao longo das regiões litorais norte em altitudes compreendidas entre os 500 m e os 1000 m e com precipitação líquida (diferença entre precipitação e evapotranspiração) acima de 1000 mm. As áreas com crescimento potencial da pseudotsuga aceitável situam-se no norte e no centro de Portugal, com uma altitude compreendida entre 700 e 1000 m e com uma precipitação líquida acima dos 400 mm.

Introdução

A pseudotsuga foi introduzida em Portugal no século XIX tendo sido plantada em Sintra (Gomes and Raposo 1939) e no Buçaco (Goes 1991). As primeiras plantações com esta espécie ocorreram no princípio do século XX na Serra da Estrela (Freitas 1989) e na Serra do Gerês (Coutinho 1936). Desde então a sua área tem se expandindo em regiões montanhosas do centro e norte do país. O elevado potencial para a pseudotsuga nestas regiões tem sido reconhecido devido à rapidez de crescimento e capacidade de crescer numa considerável amplitude de condições de estação (Diniz 1969; Goes 1976; Woods 1976; Louro and Cabrita 1989; Luis 1989; Goes 1991).

O estudo da produtividade da pseudotsuga em função dos factores de estação já foi efectuada em diversos países como a Escócia (Tyler, MacMillan et al. 1996), França (Curt 1999; Curt, Bouchaud et al. 2001), Itália (Corona, Scotti et al. 1998), Irlanda (Dunbar, Dhubhain et al. 2002), Canadá (Green, Marshall et al. 1989; Carter, Klinka et al. 1990; Klinka and Carter 1990) e EUA (Monserud, Moody et al. 1990). Em 1986, com base na carta ecológica de Pina Manique e Albuquerque (Albuquerque 1982), foi estimado o potencial para arborização com pseudotsuga em Portugal em 235 000 hectares (Grupo Coordenador do Projecto Florestal -

Banco Mundial 1986). Neste contexto, este poster pretende apresentar os resultados de investigação em curso sobre os factores de estação que afectam a produtividade da pseudotsuga em Portugal sobre a qual já existe informação publicada (Fontes 2002; Fontes, Tome et al. 2003).

Materiais e métodos

As plantações de pseudotsuga foram amostradas de acordo com a sua distribuição em Portugal de forma a englobar a amplitude de variação de solos e climas onde se encontra. Foram seleccionados povoações puros e regulares situados entre 460m e 1300 m de altitude. A área de estudo assentou em 15 povoações distribuídos entre os 40° e 42°N de latitude e 6° e 9°W de longitude (Figura 1).

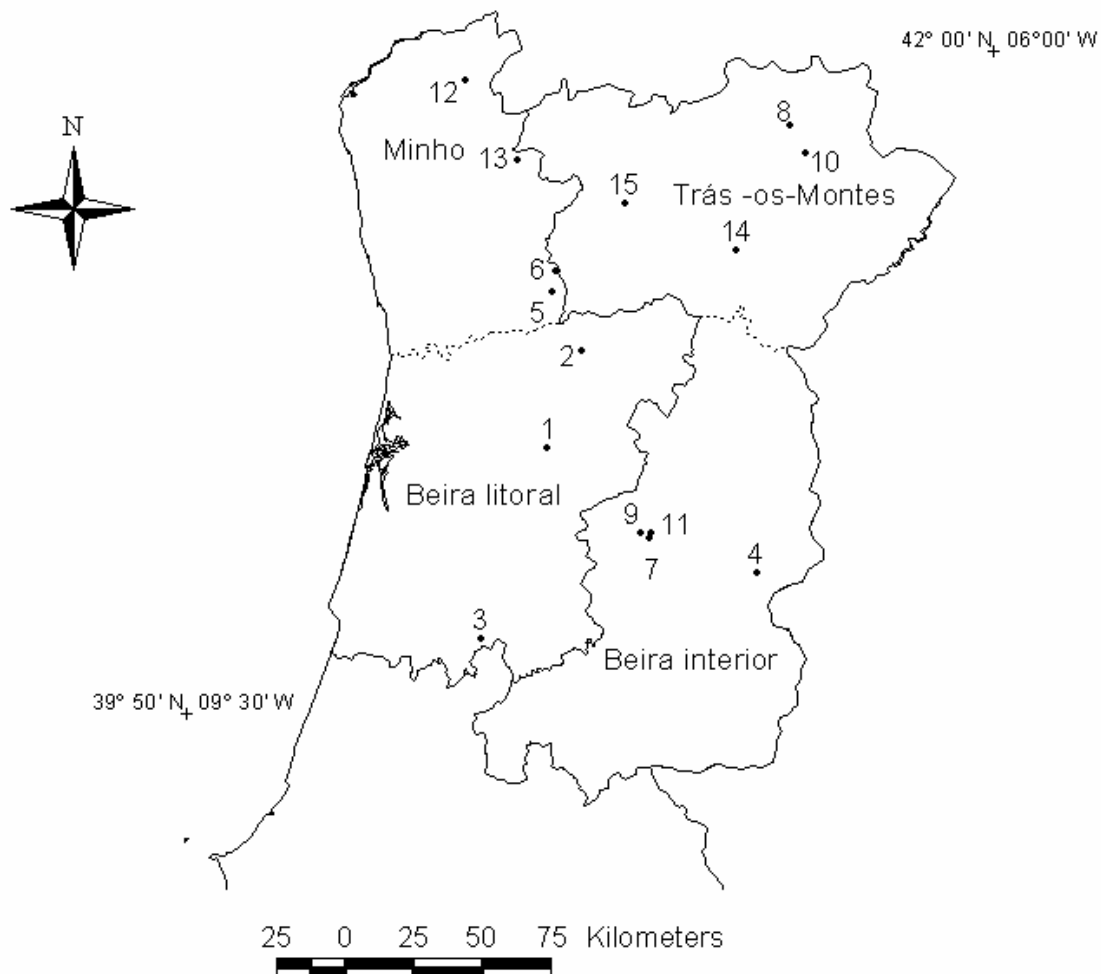


Figura 1 – Localização dos povoações onde foram recolhidos dados biométricos e da estação: 1 – Crasto, 2 – Leomil, 3 – Lousa, 4 - Malcata, 5 – Marão, 6 – Marão Águas, 7 – Moitas, 8 – Nogueira, 9 – Penhas Douradas, 10 – Rossas, 11 – São Lourenço, 12 – Soajo, 13 – Vieira do Minho, 14 – Vila Flor, 15 – Vila Pouca

No campo, a produtividade da pseudotsuga foi avaliada em função da altura dominante, foram recolhidas amostras de solo, as quais foram posteriormente analisadas, e a estação foi caracterizada em relação à sua fisiografia. Os dados climáticos utilizados foram obtidos a partir das normais climatológicas relativas às estações meteorológicas com condições mais próximas das estações dos povoações em estudo (Mendes, Queiroz et al. 1990; Mendes, Queiroz et al. 1991). Para estes dados, foram aplicados factores de correcção em função da

altitude (Monteith 1973), exposição e declive (Frank and Lee 1966). Foi também utilizada a informação digital disponível através do Atlas do Ambiente (Direcção Geral do Ambiente 1998), bem como relativa às regiões biogeográficas (Costa, Aguiar et al. 1999) e grandes regiões de arborização (Direcção Geral das Florestas 2002).

Na análise dos dados foi utilizada regressão linear multivariada, método que já foi utilizado no estudo da influência dos factores de estação na produtividade da pseudotsuga (Carter, Klinka et al. 1990; Klinka and Carter 1990; Monserud, Moody et al. 1990; Corona, Scotti et al. 1998; Curt, Bouchaud et al. 2001).

A análise dos dados foi composta por 3 fases:

(1) selecção dos factores de estação relacionados com a produtividade da pseudotsuga;

A escolha dos factores de estação com influência na produtividade da pseudotsuga recorreu a regressão “stepwise”. Tendo presente que uma selecção automatizada poderá não ser biologicamente sensível, os resultados foram avaliados em termos da sua consistência biológica.

(2) escolha dos modelos candidatos para explicar a variação da produtividade com a estação;

Com base nos factores seleccionados no passo anterior foram escolhidos os modelos candidatos de entre os que apresentaram um coeficiente de determinação (R^2) e coeficiente de determinação ajustado (R_a^2) mais elevados.

(3) selecção do melhor modelo candidato.

A escolha do melhor modelo para estimar a produtividade da pseudotsuga em função dos factores de estação teve em linha de conta: coeficiente de determinação (R^2) e coeficiente de determinação ajustado (R_a^2); significância de cada parâmetro do modelo; normalidade dos resíduos studentizados; homogeneidade da variância dos resíduos studentizados; estatística PRESS (PREdiction Sum of Squares); eficiência de modelação (ME); análise da multicolinearidade; análise da consistência biológica.

Foram testados vários modelos, partindo de vários grupos de variáveis, nomeadamente modelos tendo em conta todas as variáveis ou tendo em conta apenas variáveis facilmente acessíveis (por exemplo, variáveis que não necessitam de análises de solos detalhadas como sejam análises para determinar a capacidade do solo para retenção de água). Foram também testados modelos tendo em conta as variáveis climáticas, solos e as que estavam em formato digital.

Resultados

Apresentam-se os resultados relativos ao melhor modelo obtido a partir das variáveis facilmente acessíveis (M1) representado por:

$$SI = 16,805 + 8 \times 10^{-6} NTR + 4,375 NNW - 6 \times 10^{-6} SQA - 3,103 ZEC + 2,319 BGR \quad (M1),$$

onde SI representa a produtividade da pseudotsuga sob a forma de altura dominante à idade padrão de 30 anos, NTR é precipitação líquida (diferença entre precipitação e evapotranspiração), NNW a exposição norte-noroeste, SQA o quadrado da altitude, ZEC a zona ecológica SA.MA.AM (entre 400 e 700 metros) e BGR a região biogeográfica miniense litoral. Este modelo explica 76% da variância em produtividade da pseudotsuga.

Partindo das variáveis em formato digital foi possível desenhar um mapa com as áreas com potencial para a pseudotsuga classificadas de acordo com a sua produtividade (figura 2). O modelo (M2), que está na base deste mapa, é representado por:

$$SI = 31,034 + 3 \times 10^{-5} NTR - 0,602 SAC - 6 \times 10^{-6} SQA + 0,031 SQT \quad (M2),$$

em que SAC é o quadrado do valor de pH do solo e SQT o quadrado da temperatura média anual. Este modelo explica 54% da variância em produtividade da pseudotsuga.

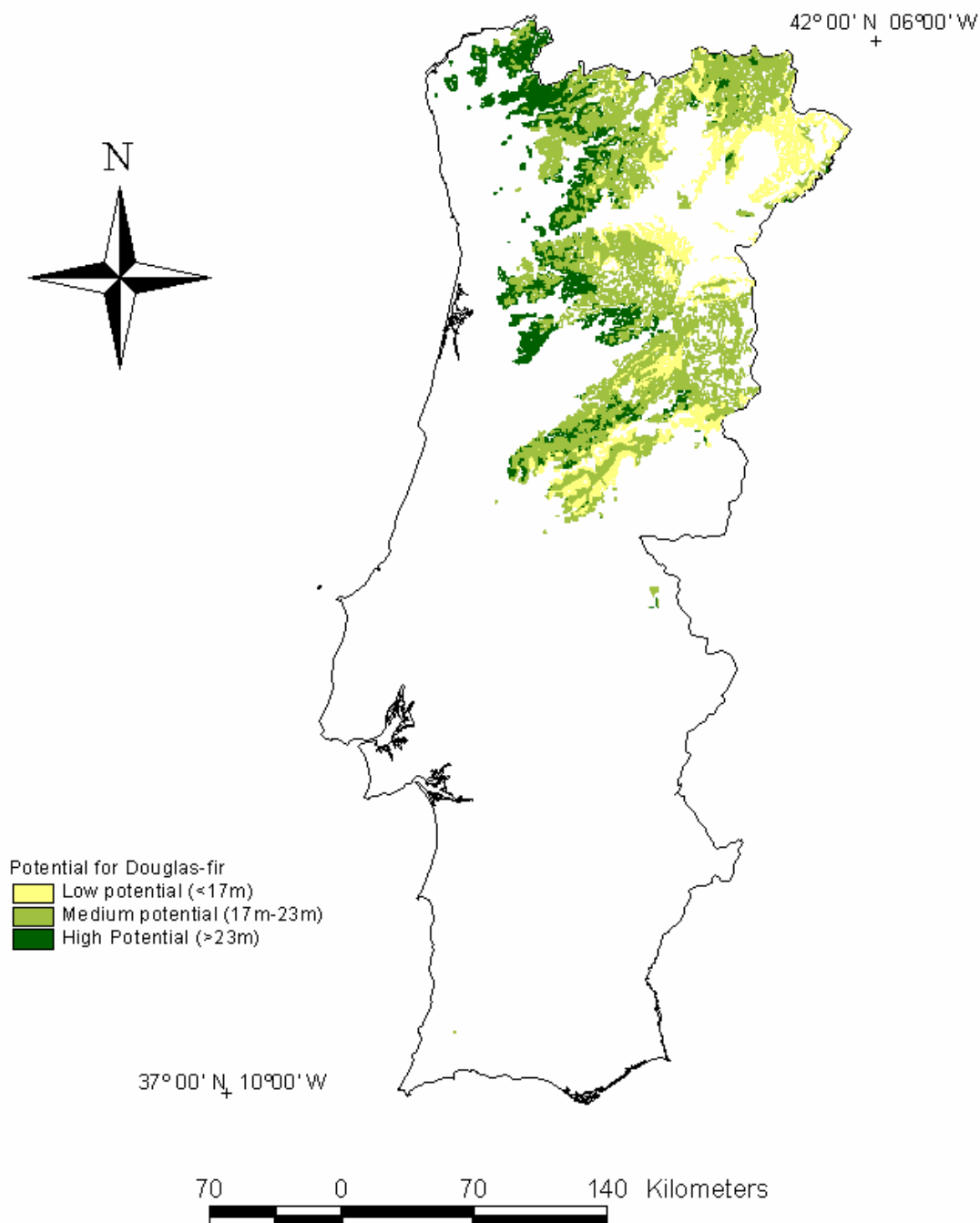


Figura 2 – mapa da distribuição potencial para a pseudotsuga com base nas variáveis existentes em formato digital

Discussão

O modelo M2 foi construído para que pudesse ser utilizado em gestão e por isso inclui apenas variáveis que estão facilmente disponíveis nomeadamente a informação digital existente e as variáveis resultantes das medições de campo. Este modelo explicou 76% da produtividade o que é um valor elevado quando comparado com um modelo construído para a pseudotsuga com base na altitude, tipo de habitat, precipitação e longitude que explicou apenas 43% (Monserud, Moody et al. 1990) ou um modelo construído com base na

temperatura primaveril, exposição, idade, precipitação e drenagem que explicou 46% (Tyler, MacMillan et al. 1996) ou ainda um modelo construído com base na exposição, balanço anual de água, no conteúdo de argila no horizonte de 25-50cm e na precipitação anual que explicou 58% (Corona, Scotti et al. 1998).

O mapa com as áreas com potencial para a pseudotsuga (figura 2) totaliza aproximadamente 1000000 hectares relativamente a áreas com alto e médio potencial para a pseudotsuga. Este mapa é provavelmente uma sobre-estimação da área potencial para a pseudotsuga em Portugal. Esta sobre-estimação pode ser explicada através de uma selecção prévia que certamente existiu aquando da instalação dos povoamentos. Por exemplo as plantações tendem a estar em locais onde a profundidade do solo é maior, sem problemas de drenagem, com exposição predominante norte noroeste. Isto origina que qualquer amostragem dos povoamentos existentes em Portugal terá sempre um enviesamento em relação à globalidade do meio físico envolvente. Assim estima-se que área potencial seja cerca de 250 000 hectares, um quarto do que é representado pelo modelo uma vez que, dentro das áreas apresentadas no mapa, deverão apenas ser escolhidas áreas tendo em conta outros aspectos que não estiveram na base deste modelo como, por exemplo, exposição norte e noroeste.

Relativamente à variação que não é explicada pelos modelos apresentados ela poderá ser ter origem nas seguintes razões: erros nas medições de campo e/ou erros de amostragem; ausência de variáveis que expliquem a variação em produtividade da pseudotsuga; amostragem inadequada para a complexidade da área em estudo; variação genética dos povoamentos; idade dos povoamentos; e operações silvícolas efectuadas nos povoamentos.

Os modelos de base fisiológica com simplicidade para puderem ser utilizados na gestão florestal como por exemplo o modelo 3-PG (Landsberg and Waring 1997) têm sido testados para um considerável conjunto de espécies e países (Landsberg, Waring et al. 2001; Landsberg, Waring et al. 2003) e têm uma utilidade prática para a avaliação de áreas com potencial para espécies florestais. Assim, é pertinente que no futuro um modelo deste tipo possa ser utilizado para estimar o potencial da pseudotsuga em Portugal.

Conclusões

O estudo desenvolvido até à data permite afirmar que as melhores áreas para o crescimento do pseudotsuga estão situadas ao longo das regiões litorais norte em altitudes compreendidas entre os 500 m e os 1000 m e com precipitação líquida (diferença entre precipitação e evapotranspiração potencial) acima de 1000 mm. As áreas com crescimento potencial da pseudotsuga aceitável situam-se no norte e no centro de Portugal, com uma altitude compreendida entre 700 e 1000 m e com uma precipitação líquida acima dos 400 mm.

Agradecimentos

Gostaríamos de agradecer a todas as pessoas das diversas Instituições que tornaram este projecto possível, nomeadamente à Direcção Geral dos Recursos Florestais, COTF, Serviços Florestais das Direcções Regionais da Agricultura do Entre-Douro e Minho, Trás-os-Montes e Alto Douro, Beira Interior e Beira Litoral. Este estudo foi financiado pela bolsa Praxis XXI/18258/98.

Referências

Albuquerque, J.d.P.M. e. (1982). Carta Ecológica (Fito-edafo-climática). Lisboa, Portugal, Presidência do conselho de ministros. Secretaria de Estado do Ambiente. Comissão Nacional do Ambiente.

- Carter, R.E., K. Klinka, et al. (1990). Relationships between growing-season soil water-deficit, mineralizable soil nitrogen and site index of coastal Douglas fir. Management of water and nutrient relations to increase forest growth. Proceedings of a seminar held 19-22 October 1987 at Canberra, Australia. *Forest Ecology and Management*. 1990, 30: 1-4, 301-311; 28 ref.
- Corona, P., R. Scotti, et al. (1998). "Relationship between environmental factors and site index in Douglas-fir plantations in central Italy." *Forest Ecology and Management* **110**(1-3): 195-207.
- Costa, J.C., C. Aguiar, et al. (1999). "Biogeografia de Portugal Continental." *Quercetea* **0**: 5-56.
- Coutinho, A.X.P. (1936). Esboço de uma Flora Lenhosa Portuguesa. Lisboa, DGSFA. **Separata das publicações do Vol. III - Tomo I**: 334-340.
- Curt, T. (1999). "Predicting yield of Norway spruce and Douglas-fir using a morphopedological approach in the granitic landscapes of French Massif Central." *Canadian Journal of Soil Science* **79**(3): 491-500.
- Curt, T., M. Bouchaud, et al. (2001). "Predicting site index of Douglas-fir plantations from ecological variables in the Massif Central area of France." *Forest Ecology and Management* **149**: 61-74.
- Diniz, D.M.A.M. (1969). Estudo do crescimento da *Pseudotsuga menziesii* (Mirb.) Franco no Norte de Portugal. *Instituto Superior de Agronomia*. Lisboa, Universidade Técnica de Lisboa: 70.
- Direcção Geral das Florestas (2002). Mapa das Grandes Regiões de Arborização. Lisboa, Direcção Geral das Florestas.
- Direcção Geral do Ambiente. (1998). "Atlas do Ambiente." Retrieved 10-10-01, 2001, from <http://www.iambiente.pt/atlas/index.html>.
- Dunbar, A., A.N. Dhubhain, et al. (2002). "The productivity of Douglas fir in Ireland." *Forestry* **75**(5): 537-545.
- Fontes, L. (2002). The performance, constraints and potential of Douglas-fir [*Pseudotsuga menziesii* (Mirb.) Franco] in Portugal. *Oxford Forestry Institute*. Department of Plant Sciences. Oxford, University of Oxford: 241.
- Fontes, L., M. Tome, et al. (2003). "Modelling the Douglas-fir (*Pseudotsuga menziesii* (Mirb.) Franco) site index from site factors in Portugal." *Forestry* **76**(5): 491-507.
- Frank, E.C. and R. Lee (1966). Potential solar beam irradiation on slopes: tables for 30° to 50° latitude. Fort Collins, Colorado, Forestry Service, U. S. Department of Agriculture: 116.
- Freitas, A.S.B. (1989). Perimetro Florestal de Manteigas. Lisboa, Direcção Geral das Florestas.
- Goes, A. (1976). Contribuição para o estudo do fomento da *Pseudotsuga menziesii* (Mirb.) Franco no Norte do País. *Instituto Superior de Agronomia*. Lisboa, Universidade Técnica de Lisboa: 88.
- Goes, E. (1991). A floresta Portuguesa. Lisboa, Portucel.
- Gomes, M.d.A. and F. Raposo (1939). "Estudos dendrológicos. O género "Pseudotsuga" no Parque da Pena (Sintra)." *Anais do Instituto Superior de Agronomia* **10**: 121-135.

- Green, R.N., P.L. Marshall, et al. (1989). "Estimating site index of Douglas-fir (*Pseudotsuga menziesii* [Mirb.] Franco) from ecological variables in southwestern British Columbia." Forest Science **35**(1): 50-63.
- Grupo Coordenador do Projecto Florestal - Banco Mundial (1986). Portugal. Programa de Desenvolvimento Florestal. Fase II do Projecto Florestal. Lisboa, Ministério da Agricultura Pescas e Alimentação: 72.
- Klinka, K. and R.E. Carter (1990). "Relationships between site index and synoptic environmental factors in immature coastal Douglas-fir stands." Forest Science **36**(3): 815-830.
- Landsberg, J.J. and R.H. Waring (1997). "A generalised model of forest productivity using simplified concepts of radiation-use efficiency, carbon balance and partitioning." Forest Ecology and Management **95**(3): 209-228.
- Landsberg, J.J., R.H. Waring, et al. (2003). "Performance of the forest productivity model 3-PG applied to a wide range of forest types." Forest Ecology and Management **172**(2-3): 199-214.
- Landsberg, J.J., R.H. Waring, et al. (2001). The 3-PG forest model: matters arising from evaluation against plantation data from different countries. Proceedings of the international workshop 'Models for the sustainable management of temperate plantation forests' held in Bordeaux, France, 7-9 September 2000 as a satellite activity of the 7th EFI annual conference in Lisbon, Portugal, 2-4 September 2000. EFI Proceedings. 2001, No.41, 31-43; 34 ref., European Forest Institute (EFI); Joensuu; Finland.
- Louro, V. and P. Cabrita (1989). Pseudotsuga, Contribuição para o conhecimento da sua cultura em Portugal. Estudos e Informação N° 298. Lisboa, Direcção Geral das Florestas.
- Luis, J.F.S. (1989). Crescimento e competição em povoamentos de *Pseudotsuga menziesii* (Mirb.) Franco em Portugal. Vila Real, Universidade de Trás-os-Montes e Alto Douro: 278.
- Mendes, J.C., D.X. Queiroz, et al. (1990). O Clima de Portugal. Normais climatológicas da região de "Entre Douro e Minho" e "Beira Litoral" correspondentes a 1951-1980. Lisboa, Instituto Nacional de Meteorologia e Geofísica: 85.
- Mendes, J.C., D.X. Queiroz, et al. (1991). O Clima de Portugal. Normais climatológicas da região de "Trás-os Montes e Alto Douro e Beira Interior" correspondentes a 1951-1980. Lisboa, Instituto Nacional de Meteorologia e Geofísica: 70.
- Monserud, R.A., U. Moody, et al. (1990). "A soil-site study for inland Douglas-fir." Canadian Journal of Forest Research **20**(6): 686-695.
- Monteith, J.L. (1973). Principles of environmental physics. London, Edward Arnold.
- Tyler, A.L., D.C. MacMillan, et al. (1996). "Models to predict the general yield class of Douglas fir, Japanese larch and Scots pine on better quality land in Scotland." Forestry **69**(1): 13-24.
- Woods, F.W. (1976). Relatório sobre a adaptabilidade de exóticas de Origem Americana em Portugal. Lisboa, Estudos N° 7. Fundo de Fomento Florestal: 26.