

Intercepção de Precipitação num Eucaliptal e num Pinhal na Serra do Caramulo – Medições e Resultados de Modelação Iniciais

J. Keizer¹, H. de Coninck², S. van Dijck², C. Coelho¹, A. Ferreira¹, T. Diniz¹ & V. Mateus¹

¹Centro de Estudos de Ambiente e do Mar (CESAM), Departamento de Ambiente e Planeamento, Universidade de Aveiro, AVEIRO, Portugal.

²Alterra – WUR, Wageningen, The Netherlands

Resumo. Este documento apresenta os resultados iniciais de um estudo sobre a intercepção da precipitação em dois povoamentos florestais, que são muito comuns na Serra do Caramulo. Excepto para eventos chuvosos mais curtos, os valores de intercepção, derivados de medições de precipitação regional e interna e de escorrência pelo tronco, tendem a ser subestimados notavelmente pelo modelo de intercepção utilizado no Modelo de Erosão do Solo de Limburg (LISEM). Melhores resultados foram obtidos com o modelo disperso de Gash, especialmente para o pinhal, mostrando sobretudo o potencial deste modelo. As médias de precipitação semanal revelam uma forte tendência para serem maiores por baixo das copas do que nas aberturas entre as árvores, sugerindo a predominância da precipitação não vertical (“wind-driven”) na área em estudo.

Introdução

No âmbito de vários projectos, europeus e nacionais, o Modelo de Erosão do Solo de Limburg (LISEM) (De Roo et al. 1995; De Roo & Jetten 1999), esta a ser aplicado e testado em pequenas bacias hidrográficas localizadas na vertente oeste da Serra do Caramulo, na região Centro de Portugal. Embora os objectivos específicos deste projectos sejam diferentes, todos utilizam o LISEM com um fim comum, i.e. o de melhorar o conhecimento e compreensão dos factores e processos que determinam a resposta hidrológica destas bacias hidrográficas e, em particular, do factor da cobertura do solo. Nestas últimas décadas, o flanco oeste da Serra do Caramulo tem testemunhado uma alteração dramática da cobertura do solo, parcialmente induzida pelos fogos florestais que ocorreram entre os anos 80 e os anos 90 (e.g. Walsh et al. 1992; Shakesby et al. 1996; Ferreira et al. 1997). Áreas predominante cobertas por pinheiro bravo (*Pinus pinaster* Ait.) têm sido preteridas, em grande escala, por plantações comerciais de eucalipto, em especial *Eucalyptus globulus* Labill. Porém, as referidas bacias experimentais estão cobertas predominantemente ou por eucaliptais, com idades até os 10 e 11 anos (i.e. ciclo de rotação completo), ou por pinhais, que se encontram em regeneração mais ou menos espontânea após os já mencionados incêndios.

No LISEM, a intercepção cumulativa de um determinado evento chuvoso (I_{cum}) é modelada usando a equação empírica de Aston (1979), i.e.:

$$I_{cum} = c_p * (1 - e^{-k * P_{cum} / S_{max}}),$$

onde: c_p = porção coberta por vegetação;
 S_{max} = capacidade de armazenamento da copa (mm);
 k = factor de correcção da densidade de vegetação;
 P_{cum} = precipitação cumulativa (mm).

A capacidade de armazenamento da copa e o factor de correcção k são, por sua vez, estimados a partir da sua relação empírica com o Índice da Área Foliar (IAF), i.e.:

$$S_{\max} = 0.935 + 0.498 * IAF - 0.00575 * IAF^2 \text{ (Von Hoyningen – Huenes 1981);}$$

$$k = 0.046 * IAF$$

A equação de Aston é, de facto, uma versão simplificada da equação de Merriam (1960), negligenciando o termo da evaporação. Porém, no LISEM a interceptação total vai por fim – i.e. se o evento for suficientemente longo – alcançar um limite que depende exclusivamente das características do povoamento florestal. Tendo em vista a natureza empírica da equação de Aston, a sua aplicabilidade para, por exemplo, condições específicas como as das bacias hidrográficas da Serra do Caramulo pode também ser questionada num sentido mais geral. É de realçar ainda que a substituição da equação de Aston no LISEM por um modelo físico, como os de Gash ou de Rutter (e.g. Valente et al. 1997), estaria mais em concordância com a estrutura geral do LISEM, firmemente baseado em descrições de processos físicos.

O presente trabalho tem, como objectivo geral, a avaliação da aptidão do modelo de interceptação do LISEM para representar interceptação nos povoamentos florestais da Serra do Caramulo, inclusive em comparação com outros modelos de interceptação alternativos. Os objectivos específicos são:

1. determinar a interceptação num eucaliptal e num pinhal através de medições de precipitação regional e interna, e de escorrência pelo tronco;
2. avaliar a aptidão da equação de Aston (1979) para modelar a interceptação nos referidos povoamentos;
3. avaliar, igualmente, a aptidão da variante dispersa do modelo de Gash (Valente et al. 1997).

Material e Métodos

Um povoamento de *Eucalyptus globulus* Labill. e um povoamento de *Pinus pinaster* Ait., com aproximadamente 6 e 10 anos de idade, respectivamente, foram seleccionados como sendo representativos para as referidas bacias experimentais. O eucaliptal está localizado numa elevação de cerca de 400 m na parte superior da encosta noroeste da bacia experimental “Serra de Cima”, localizada perto da aldeia com o mesmo nome. Um udómetro automático, instalado em Serra de Cima previamente ao início deste estudo, é usado para medir a precipitação regional, embora em conjunto com um segundo udómetro automático que foi instalado nos arredores imediatos do pinhal após os primeiros três meses deste estudo. O pinhal encontra-se localizado numa elevação de cerca de 400 m na parte superior da encosta oeste da bacia experimental “Lourizela”, situada entre as aldeias de Cabeça de Cão e Lourizela. O clima da região é de transição entre o Atlântico e o Mediterrânico, com uma precipitação anual entre os 1500 e os 2000 mm e uma época chuvosa de Novembro a Março (e.g. Coelho et al. 2001)

Nos dois povoamentos, uma parcela de 20 x 20 m foi estabelecida, de forma arbitrária, para um inventário florestal. Para cada árvore dentro das parcelas, foi medida a altura total, usando um 100LH Opti-Logic Laser meter, e, usando uma fita métrica normal, o diâmetro à altura do peito (DAP) e a cobertura aérea da copa. A Tabela 1 apresenta um resumo dos resultados dos inventários, e inclui ainda estimativas dos Índices de Área Foliar (derivadas das fórmulas empíricas do Pereira et al. (1997) e Porté et al. (2000) para o eucaliptal e o pinhal, respectivamente), e das fracções de cobertura da copa obtidas através de meios fotográficos e visuais.

Tabela 1. Resumo dos dados dos inventários florestais de parcelas de 20 x 20m em povoamentos de eucalipto e pinheiro bravo

Parcela	Árvores (nr.)	Altura das árvores (m; média)	DAP (cm; média)	Cobertura área da copa (m ² ; média)	IAF (m ² /m ²)	Porção da cobertura da copa
eucaliptal	75	14	31	5	3.0	0.60
pinhal	218	9	21	2	4.5	0.35

Ao contrário do que parece ser prática comum nos estudos de interceptação florestal, neste trabalho a precipitação interna não é medida através de uma amostragem estritamente aleatória, mas sim através de uma amostragem aleatória por cada um de três estratos distintos, i.e. as aberturas entre as copas das árvores, e os locais por baixo das copas de árvores pequenas e de árvores grandes. A distinção entre as árvores pequenas e grandes foi baseado numa análise dos resultados dos inventários florestais. No caso da parcela de eucaliptal, as árvores pequenas e grandes correspondem às duas classes de cobertura aérea da copa mais frequentes, i.e. 4-7 e 10-13 m², respectivamente. As árvores destas duas classes foram organizadas em pares adjacentes de uma árvore grande e uma árvore pequena, dos quais foram seleccionados, aleatoriamente, cinco pares. Cada um destes pares foi equipado da seguinte maneira: um udómetro por baixo da copa da árvore pequena, um udómetro por baixo da copa da árvore grande, um udómetro na abertura entre as duas copas, e dois “colares”, ligados a um tanque de 50 l, à volta das árvores para a medição da escorrência pelo tronco. No caso da parcela de pinhal, o esquema de amostragem foi um tanto diferente, visto que só havia duas classes de árvores e que estas estavam situadas em partes distintas da parcela. Porém, cinco pinheiros pequenos e cinco pinheiros grandes foram escolhidos, ao acaso, e equipados com um udómetro por baixo da copa e um “colar”, ligado a um tanque de 50 l. Foram ainda colocados cinco udómetros nas aberturas no pinhal, dois dos quais na subparcela com as árvores pequenas e três na subparcela com as árvores grandes. Nas duas parcelas, um udómetro por cada um dos três tipos de udómetros (i.e. das aberturas, por baixo das árvores pequenas e por baixo das árvores grandes) foi seleccionado, aleatoriamente, para ser um udómetro automático. Trata-se de um Pronamic Professional Rain Gauge, ligado a um ONSET Hobo Event Logger, com um orifício de 200 cm², tendo os udómetros totalizadores um orifício de aproximadamente 125 cm². Nas duas parcelas, a medição da escorrência pelo tronco foi automatizado para uma árvore pequena e uma árvore grande, ambas seleccionadas ao acaso, utilizando um dispositivo com dois “tipping-buckets”, com uma capacidade até aos 650 ml por “tip”, em conjunto com um ONSET Hobo Event Logger.

As medições de precipitação regional e interna, e de escorrência pelo tronco tiveram início no dia 15 de Novembro de 2002. No caso dos udómetros totalizadores e os tanques de escorrência pelo tronco, as leituras foram efectuadas com intervalos aproximadamente semanais.

Os resultados do modelo disperso de Gash são obtidos de acordo com Valente et al. (1997), incluindo a derivação dos parâmetros de capacidade de armazenamento da copa (método de Leyton et al.), e de capacidade de armazenamento do tronco e de coeficiente de divisão de escorrência pelo tronco (método de Gash e Morton modificado). A excepção são as estimativas de evaporação média, obtidas usando o método de regressão linear entre a precipitação total e a interceptação de eventos chuvosos seleccionados (e.g. Llorens 1997).

Resultados e Discussão

Enquanto a monitorização das duas parcelas de interceptação já vai no seu terceiro ano, o presente trabalho concentra-se essencialmente nas medições efectuadas no primeiro ano e, em particular, nos resultados de modelação relativos aos primeiros três meses. A Tabela 2 resume as medições durante esses primeiros três meses. No caso do eucaliptal, o período

compreendido entre 27 de Dezembro de 2002 e 3 de Janeiro de 2003 não foi incluído na análise devido ao facto de a capacidade total (185 mm) de quase todos os udómetros totalizadores ter sido ultrapassado. É de realçar, no entanto, que, no caso do pinhal, a inclusão dos dados referentes a este período não altera, de forma notável, a distribuição percentual da precipitação regional sobre os três componentes florestais. Tendo em vista esta sua influência limitada (também no que diz respeito aos outros aspectos aqui apresentados), os dados do período 27/12/2002 – 03/01/2003 não foram simplesmente excluídos para análises posteriores, ou, em alternativa, não foram considerados “candidate outliers”, como seria talvez justificável pelos valores extremos de precipitação regional, bem como de intercepção (possivelmente reflectindo uma sobre-estimação da precipitação regional). Não incluídos na Tabela 2 estão ainda os eventos chuvosos (definidos como antecedidos e sucedidos por três ou mais horas sem chuva) até 0.4 mm de precipitação regional e alguns eventos de algum modo duvidosos (por exemplo, possível falha do “data logger”).

A repartição da precipitação regional no eucaliptal é notavelmente parecida com o que foi registado por Valente et al. (1997) para um povoamento de *Eucalyptus globulus* numa zona mais a sul em Portugal. O mesmo se aplica em comparação com o eucaliptal estudado por Crockford e Richardson no sudeste Australiano (em: Arnell 2002). No caso do *Pinus pinaster*, a comparação com o estudo de Valente et al. (1997) é de algo menos favorável, não no que diz respeito à intercepção (16 %) mas sim quanto à escorrência pelo tronco (<1 %). Esta escorrência notavelmente mais baixa pode envolver vários factores, incluindo o regime de precipitação e a duração do período de monitorização (Valente et al.: a precipitação regional sobre um período de cerca de 2,5 anos é de 935 mm), bem como as características dos povoamentos (Valente et al.: árvores com 60 anos de idade e densidade de 312 árvores por ha). A informação compilada por Valente (1999) sugere que a escorrência pelo tronco tende a ser insignificante em pinhais (i.e. <2 % da precipitação regional). Por outro lado, de acordo com o Arnell (2002), a escorrência num povoamento de *Pinus radiata* no sudeste Australiano era 9 %, o que corresponde a um valor superior ao aqui registado.

Tabela 2. Resumo dos dados de precipitação regional e interna, escorrência pelo tronco e intercepção entre 15 de Novembro de 2002 e 21 de Fevereiro de 2003 em parcelas de 20 x 20m num eucaliptal e pinhal

Período parcela	Precipitação regional (=P _{prom}) (mm)	Precipitação interna (mm) (%P _{prom})		Escorrência pelo tronco (mm) (%P _{prom})		Intercepção (mm) (%P _{prom})	
Período 1: 15/11/2002 – 21/02/2003, excluindo 27/12/2002 – 03/01/2003							
eucaliptal	1002	871	87	37	4	94	9
pinhal	998	756	76	70	7	172	17
Período 2: 15/11/2002 – 21/02/2003							
pinhal	1243	922	74	92	7	229	19

Os resultados obtidos com o modelo de intercepção do LISEM e a variante dispersa do modelo de Gash estão resumidos na Tabela 3. O LISEM subestima a intercepção em ambos os dois casos. Como evidencia a Figura 1, a sub-estimação da intercepção é particularmente notória para os eventos chuvosos grandes que excedem o limite que, como foi explicado previamente, é inerente à equação de Aston. Um único evento chuvoso grande (o de Janeiro de 2003, totalizando quase 200 mm) ajuda explicar que a sub-estimação é maior no caso do pinhal do que no caso do eucaliptal (no qual este evento não está incluído por ter sido ultrapassada a capacidade dos udómetros totalizadores). Os valores limite de intercepção de 2.7 e 1.7 mm para o pinhal e o eucaliptal, respectivamente, são antes demasiado altos do que demasiado baixos. Valente et al. (1997) obtiveram estimativas da capacidade de armazenamento da copa de 0.4 e 0.2 mm para os seus povoamentos de pinheiro e eucalipto,

respectivamente. Estes últimos valores ainda estão dentro dos intervalos de 0.2–1.0 e 0.2–0.8 mm que Valente et al. compilaram com base numa revisão bibliográfica relativamente a pinhais e eucaliptais.

A variante dispersa do modelo de Gash apresenta resultados que, para os três primeiros meses na sua totalidade, são notavelmente favoráveis, nomeadamente no caso do pinhal (Tabela 3). Contudo, Para os eventos chuvosos individuais o modelo tende por uma lado, a sobrestimar a intercepção dos eventos mais pequenos e, por outro, a subestimar a intercepção dos eventos maiores (Figura 2). A sub-estimação para os eventos maiores é menos saliente do que no caso do LISEM. É, no entanto, de realçar o carácter preliminar dos resultados obtidos com o modelo de Gash. Convictamente existe uma clara necessidade de uma apreciação mais rigorosa do modelo, por exemplo utilizando dados independentes para a parametrização do modelo e para a sua avaliação.

Tabela 3. Resumo dos resultados de modelação da intercepção entre 15 de Novembro de 2002 e 21 de Fevereiro de 2003 em parcelas de 20 x 20m num eucaliptal e pinhal

Modelo parcela	Média Precipitação regional ($P_{regional}$) (mm)	Precipitação interna		Modelado Escorência pelo tronco		Intercepção	
		(mm)	(% $P_{regional}$)	(mm)	(% $P_{regional}$)	(mm)	(% $P_{regional}$)
LISEM							
eucaliptal ¹	1002	-	-	-	-	44	4
pinhal	1249	-	-	-	-	78	6
Spine Gash							
eucaliptal ¹	1002	891	89	11	1	160	16
pinhal	1249	924	74	79	6	245	20

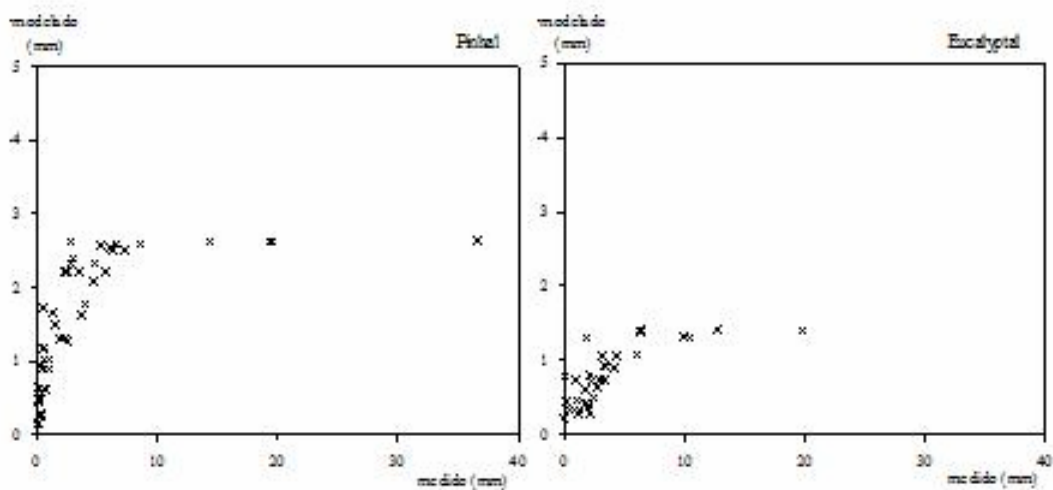


Figura 1. Intercepção medida e modelada, usando LISEM, para eventos chuvosos individuais entre 15 de Novembro de 2002 e 21 de Fevereiro de 2003 em parcelas de 20 x 20 m num eucaliptal e num pinhal

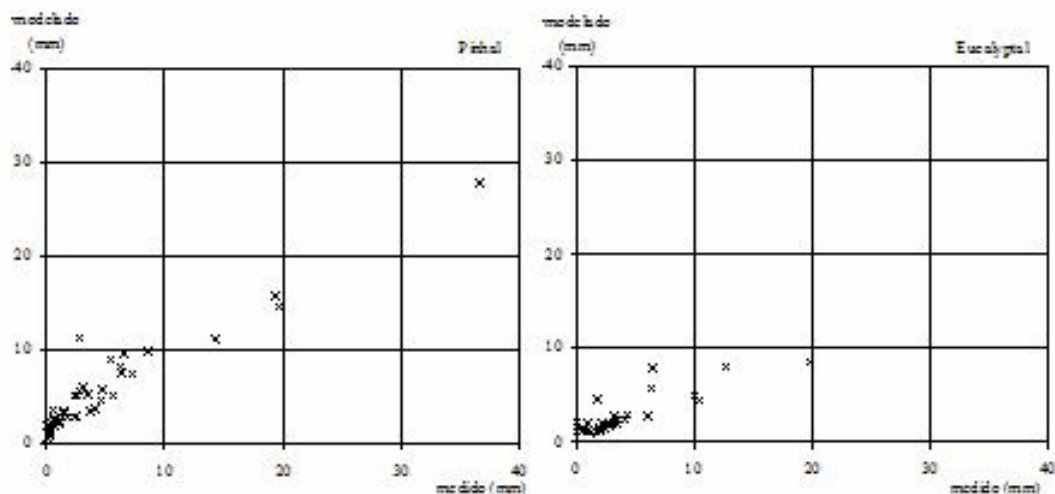


Figura 2. Intercepção medida e modelada, usando a variante dispersa do modelo de Gash, para eventos chuvosos individuais entre 15 de Novembro de 2002 e 21 de Fevereiro de 2003 em parcelas de 20 x 20 m num eucaliptal e num pinhal

Algo inesperadamente, tanto no pinhal como no eucaliptal, a precipitação interna total durante os três primeiros meses era aproximadamente 10% mais baixo nas aberturas entre as árvores do que por baixo das suas copas. Em ambos os casos, esta diferença reflectia valores semanais que diferiam de forma consistente ao longo destes três primeiros meses. De facto, tanto a diferença total de cerca de 10% como a natureza recorrente do padrão espacial na precipitação interna também se aplicaram para o primeiro ano de monitorização inteiro (i.e. entre 15 de Novembro de 2002 e 18 de Novembro de 2003). No caso do pinhal, apenas dois em 29 períodos semanais com mais de 10 mm de precipitação desviam desta tendência. No caso do eucaliptal, não há nem uma só excepção em 32 leituras semanais. Uma possível explicação para as diferenças sistemáticas da precipitação interna entre as aberturas e por baixo das copas, é que a precipitação na área em estudo é predominantemente dirigida pelo vento (“wind-driven”), com a precipitação caindo nas copas com um ângulo de incidência e assim criando sombras de precipitação laterais. Aparentemente, a importância da precipitação não-vertical tem sido abordada em muito poucos estudos de intercepção – sendo excepção os de Herwitz e Slye (1995) e de Levia e Frost (2003) – mas a sua importância está agora a ficar cada vez mais reconhecida. Nomeadamente no caso do eucaliptal, devido à flexibilidade pronunciada dos seus troncos, também os movimentos laterais das próprias copas devem talvez ser tomados em consideração. Uma solução simples para a modelação de intercepção em condições de precipitação “wind-driven”, usando o LISEM e o modelo disperso de Gash, podia talvez passar por séries temporais de fotografias da copa, permitindo estimativas dinâmicas da cobertura das copas. Mesmo assim, uma próxima geração de udómetros, registando também a energia e o ângulo de precipitação incidente, parece ser crucial para um melhor conhecimento e compreensão da intercepção em florestas.

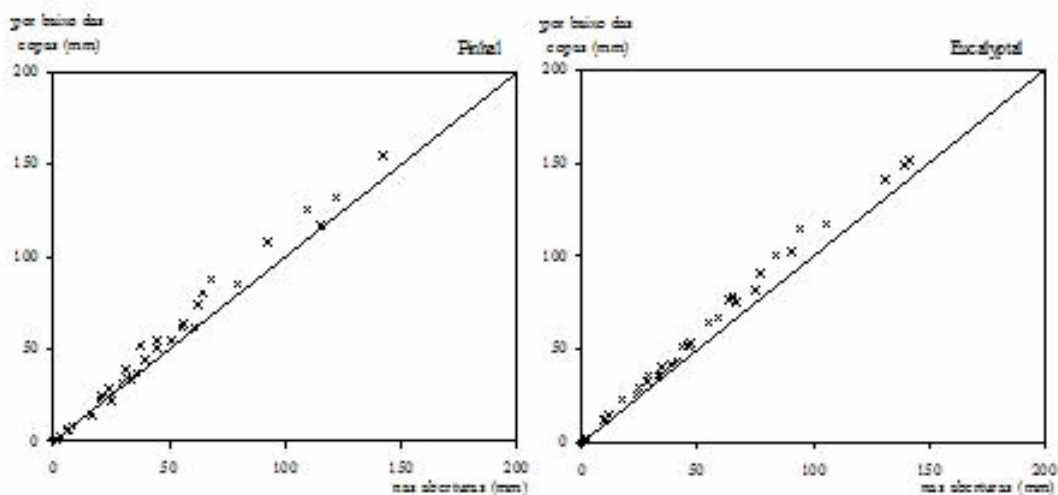


Figura 3. Médias semanais da precipitação interna nas aberturas entre as árvores e por baixo das suas copas entre 15 de Novembro de 2002 e 10 de Novembro de 2003 em parcelas de 20 x 20 m num eucaliptal e num pinhal

Agradecimentos

Este trabalho foi parcialmente financiado pela Comissão Europeia, sob o contracto ICA3–2000–30005, não reflectindo necessariamente o ponto de vista da Comissão e nem antecipando as suas políticas futuras nesta área. Também o financiamento pelo Centro de Investigação da Universidade de Aveiro e pela Fundação para a Ciência e a Tecnologia (FCT: SFRH/BPD/14608/2003), através de bolsas de pós–doutoramento atribuídas ao primeiro autor, é reconhecidamente agradecido. Muito apreciado foi finalmente a ajuda da nossa colega Anne Karine Boulet e dos estagiários Erasmus da Hogeschool Zeeland, Wouter Quist, Robin Smallegange, Niels van Eybergen e Jos Kruit.

Referências bibliográficas

- Arnell, N. (2002). Hydrology and global environmental change. Prentice Hall-Pearson Education, Harlow.
- Aston, A.R. (1979). Rainfall interception by eight small trees. *Journal of Hydrology* 42, 383-396.
- Coelho, C.O.A., Ferreira, A.J.D., Boulet, A.-K. and Keizer, J.J. (2001). Impacto das mudanças nos usos do solo e da variabilidade da precipitação sobre a resposta hidrológica de pequenas bacias hidrográficas florestadas. In: Andresen, T., Coelho, C., Arroja, L. & Miranda, A.I. (eds.), VII Conferência Nacional sobre a Qualidade do Ambiente, pp. 251-265. (Grafigamelas, Aveiro).
- De Roo, A.P.J. and Jetten, V.G. (1999). Calibrating and validating the LISEM model for two data sets from The Netherlands and South Africa. *Catena* 37, 3-4, 477-494.
- De Roo, A.P.J., Jetten, V.G., Wesseling, C.G.H. and Ritsema, C.J. (1995). LISEM: a physically-based hydrological and soil erosion catchment model. In: Boardman, J. & Favis-Mortlock, D. (eds.), Modelling soil erosion by water, NATO ASI Series, Ser. I, Global environmental change, Vol. 55, pg. 429-440 (Springer Verlag, Berlin Heidelberg).

- Ferreira, A.J.D., Coelho, C.O.A., Shakesby, R.A., and Walsh, R.P.D. (1997). Sediment and solute yield in forested ecosystems affected by fire and rip-ploughing techniques - central Portugal: a plot and catchment analysis approach. *Physics and Chemistry of the Earth* 22, 3-4, 309-314.
- Herwitz, S.R. and Slye, R.E. (1995). Three-dimensional modeling of canopy tree interception of wind-driven rainfall. *Journal of Hydrology* 168, 205-226.
- Hoyningen-Huenes, J. Von (1981). Die Interzeption des Niederschlags in Landwirtschaftlichen Pflanzenbeständen. *Arbeitsbericht Deutscher Verband für Wasserwirtschaft und Kulturbau, DVWK, Braunschweig.*
- Levia, D.F. and Frost, E.E. (2003). A review and evaluation of stemflow literature in the hydrological and biogeochemical cycles of forested and agricultural ecosystems. *Journal of Hydrology* 274, 1-4, 1-29.
- Llorens, P. (1997). Rainfall interception by a *Pinus sylvestris* forest patch overgrown in a Mediterranean mountainous abandoned area: II. Assessment of the applicability of Gash's analytical model. *Journal of Hydrology* 199, 346-359.
- Merriam, R.A. (1960). A note on the interception loss equation. *Journal Geophysical Research* 65: 3850-3851.
- Pereira, J.M.C., Tomé, M., Carreiras, J.M.B., Tomé, J.A., Pereira, J.S., David, J.S. and Fabião, A.M.D. (1997). Leaf area estimation from tree allometrics in *Eucalyptus globulus* plantations. *Canadian Journal of Forest Research* 27, 166-173.
- Porté, A., Bosch, A., Champion, I. and Lousteau, D. (2000). Estimating the foliage area of Maritime pine (*Pinus pinaster* Ait.) branches and crowns with application to modelling the foliage area distribution in the crown. *Annals of Forest Science* 57, 73-86.
- Shakesby, R.A., Boakes, D., Coelho, C.O.A., Gonçalves, A.J.B. and Walsh, R.P.D. (1996). Limiting the Soil Degradational Impacts of Wildfire in Pine and *Eucalyptus* Forests in Portugal. *Applied Geography* 16, 4, 337-355.
- Valente, F., David, J.S. & Gash, J.H.C. (1997). Modelling interception loss for two sparse eucalypt and pine forests in central Portugal using reformulated Rutter and Gash analytical models. *Journal of Hydrology* 190, 141-162.
- Valente, F. (1999). *Intercepção da precipitação em povoamentos florestais esparsos*. PhD thesis. Instituto Superior de Agronomia, Universidade Técnica de Lisboa, Lisboa.
- Walsh, R.P.D., Coelho, C.O.A., Shakesby, R.A. and Terry, J. (1992). Effects of land use management practices and fire on soil erosion and water quality in the Águeda River Basin, Portugal. *GeoÖko Plus* 3,15-36.