

## **Modelação da Sustentabilidade da Produção de Madeira e do Armazenamento de Carbono de Eucaliptais ao Nível da Unidade de Gestão**

**Paula Soares<sup>1</sup>, Margarida Tomé<sup>1</sup>, José Tomé<sup>1</sup>, José Guilherme Borges<sup>1</sup>, Susana Barreiro<sup>1</sup>, João Santos Pereira<sup>1</sup>, André Falcão<sup>1,5</sup>, Clara Araújo<sup>2</sup>, João Pedro Pina<sup>2</sup>, Luís Lemos<sup>3</sup>, Carlos Sousa<sup>3</sup>, Henk Feith<sup>4</sup>**

<sup>1</sup>Instituto Superior de Agronomia, Depto. de Engenharia Florestal, Tapada da Ajuda, 1349-017 LISBOA

<sup>2</sup>Celbi, Celulose Beira Industrial, Quinta do Furadouro, Olho Marinho, 2510-582 ÓBIDOS

<sup>3</sup>Raiz, Quinta de S. Francisco, Apartado 15, 3801-501 Eixo AVEIRO

<sup>4</sup>Silvicaima, Sociedade Silvícola Caima, Constância Sul, 2250 058 CONSTÂNCIA

<sup>5</sup>LASIGE, Departamento de Informática, Faculdade de Ciências, Campo Grande, Bloco C6 Piso III, 1749-016 LISBOA

A acumulação de carbono e a manutenção das funções produtivas das florestas figuram entre os critérios para a gestão sustentável da floresta fixados nas Conferências de Helsínquia e de Lisboa. No âmbito do *Programa Operacional Ciência, Tecnologia, Inovação do QCA III* (POCTI) iniciou-se, em Junho de 2003, o projecto GLOBLAND (página web: <http://www.isa.utl.pt/cef/globland/>) que tem como objectivo principal o desenvolvimento de um modelo para a análise, ao nível da unidade de gestão, da sustentabilidade dos eucaliptais em produção de madeira e carbono acumulado. O projecto compreende 4 tarefas: 1) Modelação da produtividade da estação; 2) Melhoria do modelo empírico GLOBULUS; 3) Hibridização do modelo empírico GLOBULUS com um modelo processual; 4) Implementação do modelo híbrido ao nível da paisagem.

### **MODELAÇÃO DA PRODUTIVIDADE DA ESTAÇÃO**

Os modelos processuais de base fisiológica baseiam-se no conhecimento dos processos fisiológicos ao nível das interacções planta-solo e carbono-nutrientes-água. São, por isso, adequados para a predição do crescimento e produção de povoamentos florestais em cenários de alterações de clima e de gestão. Os modelos processuais requerem, por norma, parâmetros de entrada muito detalhados em termos de solo e de clima não sendo por isso adequados para a maior parte das aplicações práticas. No entanto, os modelos do tipo 3PG – *Physiological Principles Predicting Growth* (Landsberg e Waring, 1997), apesar de serem classificados como modelos processuais, são relativamente simples no que respeita aos parâmetros de inicialização de solo e clima. Este facto aliado à disponibilidade do código do programa e à grande abundância de bibliografia levou-nos a optar pelo modelo 3PG para modelo processual de referência a usar neste projecto.

Com o objectivo de analisar a capacidade deste modelo para simular o crescimento e produção de parcelas permanentes e de ensaios de *Eucalyptus globulus* instalados em Portugal, seleccionaram-se várias parcelas para se abrirem perfis de solo para recolha e definição dos parâmetros necessários (textura do solo, disponibilidade máxima em água e nível de fertilidade). Os critérios de selecção das parcelas foram a variabilidade em termos de estação e gestão. Os perfis foram abertos por retroescavadoras ou à enxada (em função das características do solo) e o número de perfis abertos em cada povoamento bem como a profundidade de cada perfil foram definidos pelo Prof. Carlos Arruda Pacheco do Departamento de Ciências Ambientais do Instituto Superior de Agronomia. Procedeu-se ainda à recolha/compra dos dados climáticos das estações

meteorológicas mais próximas dos locais seleccionados e para períodos coincidentes com o de medição das parcelas permanentes e dos ensaios. O 3PG requer, com periodicidade mensal, os seguintes parâmetros climáticos: temperaturas mínima e máxima, número de dias de geada, precipitação total, número de dias com precipitação maior ou igual a 1 mm, radiação global e evaporação. Esta informação está organizada numa base de dados em Access.

A primeira tentativa de parametrização do modelo 3PG foi feita com base no ensaio de fertilização e rega localizado na Quinta do Furadouro, concelho de Óbidos (Tomé *et al.*, 2004a, b). Neste ensaio foram efectuados cinco abates: Setembro 1986 (0.5 anos), Fevereiro 1987 (0.9 anos), Fevereiro 1988 (1.9 anos), Fevereiro 1989 (2.9 anos) e Janeiro 1992 (5.8 anos). Com base nos dados de biomassa obtidos nestes abates ajustaram-se equações específicas ao nível da árvore para as biomassas de madeira (lenho + casca + ramos) e folhas. Estas equações foram usadas para estimar as biomassas das árvores das parcelas biométricas, posteriormente expressas ao hectare. Antes de se iniciar a calibração do modelo 3PG observaram-se os resultados obtidos com a versão mais actual deste modelo parametrizada para a espécie *Eucalyptus globulus* por Sands e Landsberg (2002). Os resultados sugeriram a necessidade de melhorar algumas funções empíricas as quais foram ajustadas ou substituídas por outras com base em dados publicados e obtidos em eucaliptais portugueses. O modelo assim modificado foi usado para os dados das árvores das parcelas fertilizadas e regadas representativas de crescimento na ausência de restrições de água e nutrientes (nível de fertilidade, fr, 1). Minimizando a função objectivo alteraram-se parâmetros relacionados com a) a resposta estomática ao *déficit* de pressão de vapor; b) a eficiência quântica do copado; c) as fracções máxima e mínima da produção primária líquida para as raízes; d) a razão da partição folha/madeira. Usando os novos parâmetros, e para a mesma função perda, usou-se o modelo tendo por base as parcelas irrigadas às quais correspondiam níveis de fertilidade iguais a 0. Alteraram-se assim os parâmetros relacionados com os efeitos de fertilidade. As parcelas testemunha e fertilizadas foram usadas para a validação. Deste estudo concluiu-se que o modelo 3PG pode ser usado na simulação do crescimento em eucaliptais plantados em Portugal. Os princípios fisiológicos em que se baseia o 3PG permitem-lhe ser utilizado para regiões com características diferentes daquelas para a qual foi desenvolvido embora as funções empíricas que o constituem sejam localmente específicas.

## **DESENVOLVIMENTO E PARAMETRIZAÇÃO DO MODELO EMPÍRICO GLOBULUS**

A base do projecto é o modelo GLOBULUS (Tomé *et al.* 2001), um modelo empírico de crescimento e produção desenvolvido para plantações de *Eucalyptus globulus*. Este modelo está integrado num Sistema de Apoio à Decisão (SAD) desenvolvido no Centro de Estudos Florestais do Departamento de Engenharia Florestal do Instituto Superior de Agronomia. Um dos módulos do modelo GLOBULUS a melhorar relaciona-se com a simulação do crescimento em povoamentos em talhadia e a transição entre rotações sucessivas nomeadamente da passagem de alto fuste para talhadia. Para tal foram instalados pela CELBI dois ensaios de desbaste de touças em eucaliptais em 2ª rotação: o ensaio do Vale da Lama e o ensaio do Bom Sucesso. Dados de parcelas permanentes medidas antes do corte do alto fuste e actualmente em segunda rotação estão também a ser recolhidos tendo sido desenvolvidas bases de dados em Access para armazenamento da informação.

Bases de dados de parcelas permanentes e de ensaios de eucalipto foram também desenvolvidas em Access para armazenamento de dados representativos quer de séries longas de crescimento quer de medições efectuadas na última década e representativas de uma silvicultura *moderna*.

A melhoria das estimativas de biomassa ao nível da árvore e do povoamento é outro dos pontos do modelo GLOBULUS a melhorar estando já disponíveis equações de biomassa total e por componentes (folhas, ramos, casca e madeira) ao nível da árvore (António *et al.*, em preparação).

### **HIBRIDAÇÃO DO MODELO EMPÍRICO GLOBULUS COM UM MODELO PROCESSUAL**

O modelo híbrido minimiza as desvantagens das diferentes metodologias e abordagens dos modelos empíricos e dos modelos de base fisiológica reunindo as vantagens destes dois grupos de modelos. No modelo híbrido desenvolvido assumiu-se que, num cenário de alterações climáticas ou de gestão, a ligação entre o modelo empírico e o modelo de base fisiológica não deveria ser baseada no conceito de índice de qualidade da estação.

Metodologias para “hibridar” o modelo de base fisiológica (3PG) com os diversos modelos da série GLOB (GLOB-tree e GLOB-stand) foram desenvolvidas tendo sido testado o uso de variáveis do povoamento como funções de ligação (Tomé, 2004). A hibridação baseia-se na formulação de funções de ligação entre os dois modelos, funções essas que predizem o valor de variáveis do povoamento, necessárias para os modelos GLOB, a partir da biomassa da parte aérea, predita com base no 3PG. Conseguiu-se assim um modelo que permite: 1) simular o efeito de tratamentos silvícolas tais como a irrigação, a fertilização, o compasso inicial de plantação; 2) simular o efeito de alterações climáticas; 3) fornecer a informação produzida com um detalhe apreciável, incluindo distribuições de diâmetros, volumes mercantis, etc; 4) reflectir o impacto de pragas e doenças na produção, desde que seja possível estimar o decréscimo de biomassa foliar por elas induzido.

### **IMPLEMENTAÇÃO DO MODELO HÍBRIDO AO NÍVEL DA PAISAGEM**

A tarefa final deste projecto é a implementação do modelo híbrido no Sistema de Apoio à Decisão, o qual deverá permitir a alteração do uso do solo e a estimação do carbono acumulado como restrição e/ou meta. O modelo híbrido vai ser aplicado a duas áreas de complexidades estrutural e de composição distintas.

### **REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS**

1. Landsberg, J. J., Waring, R. H., 1997. **A generalized model of forest productivity using simplified concepts of radiation – use efficiency, carbon balance and partitioning.** For. Ecol. Manag., 95: 209 – 228.
2. Sands, P. J., Landsberg, J. J., 2002. **Parameterisation of 3PG for plantation grown *Eucalyptus globulus*.** For. Ecol. Manag., 163: 273 – 292.
3. Tomé, J., Tomé, M., Cortiçada, A., Faias, S., Soares, P., Fontes, L., Pacheco, C., Araújo, C., 2004a. **Calibration of 3-PG for *Eucalyptus globulus* plantations in Portugal.** In: Borralho, N. M. G., Pereira, J. S., Marques, C., Coutinho, J., Madeira, M., Tomé, M. (eds). "Eucalyptus in a Changing World" Proc. IUFRO Conf. Aveiro, 11-15 Oct. (RAIZ, Instituto Investigação da Floresta e Papel, Portugal), pp: 344-345.
4. Tomé, J., Tomé, M., Fontes, L., Soares, P., Pacheco, C., Araújo, C., 2004b. **Testing 3PG with irrigated and fertilized plots established in *Eucalyptus globulus* plantations in Portugal.** In: Hasenauer, H., Makela, A. (eds). "Modeling Forest Production" Proc. Conf.

Vienna, 19-21 April (Department of Forest and Soil Sciences, BOKU University of Natural Resources and Applied Life Sciences, Vienna), pp: 382-390.

5. Tomé, M., Ribeiro, F., Soares, P., 2001. **O modelo Globulus 2.1**. Relatórios Técnico-científicos do GIMREF, nº 1, Departamento Engenharia Florestal, Instituto Superior Agronomia, Lisboa.
6. Tomé, M., Faias, S., Tomé, J., Cortiçada, A., Soares, P., Araújo, C., 2004. **Hybridizing a stand level process-based model with growth and yield models for *Eucalyptus globulus* in Portugal**. In: Borralho, N. M. G., Pereira, J. S., Marques, C., Coutinho, J., Madeira, M., Tomé, M. (eds). "Eucalyptus in a Changing World" Proc. IUFRO Conf. Aveiro, 11-15 Oct. (RAIZ, Instituto Investigação da Floresta e Papel, Portugal), pp: 290-297.

#### RESULTADOS DO PROJECTO GLOBLAND

1. Protocolo para instalação de ensaios de desbaste de touças de eucalipto em povoamentos em 2ª rotação.
2. Protocolo de recolha de informação para determinação de biomassas e área foliar.
3. Soares, P., Aires, N., Tomé, M., Araújo, C., Pina, J.P., 2004. **Analysis of the two first cutting cycles of an *Eucalyptus globulus* spacing trial**. In: Borralho, N.M.G., Pereira, J.S., Marques, C., Coutinho, J., Madeira, M., Tomé, M. (eds). "Eucalyptus in a Changing World" Proc. IUFRO Conf. Aveiro, 11-15 Oct. (RAIZ, Instituto Investigação da Floresta e Papel, Portugal), pp: 283-289.
4. Tomé, M., Faias, S., Tomé, J., Cortiçada, A., Soares, P., Araújo, C., 2004. **Hybridizing a stand level process-based model with growth and yield models for *Eucalyptus globulus* in Portugal**. In: Borralho, N.M.G., Pereira, J.S., Marques, C., Coutinho, J., Madeira, M., Tomé, M. (eds). "Eucalyptus in a Changing World" Proc. IUFRO Conf. Aveiro, 11-15 Oct. (RAIZ, Instituto Investigação da Floresta e Papel, Portugal), pp: 290-297.
5. Tomé, J., Tomé, M., Cortiçada, A., Faias, S., Soares, P., Fontes, L., Pacheco, C., Araújo, C., 2004. **Calibration of 3-PG for *Eucalyptus globulus* plantations in Portugal**. In: Borralho, N. M. G., Pereira, J. S., Marques, C., Coutinho, J., Madeira, M., Tomé, M. (eds). "Eucalyptus in a Changing World" Proc. IUFRO Conf. Aveiro, 11-15 Oct. (RAIZ, Instituto Investigação da Floresta e Papel, Portugal), pp: 344-345.
6. Soares, P., Tomé, M., Tomé, J., Borges, J.G., Aires, N., Falcão, A., Pereira, J.S., Araújo, C., Pina, J.P., Lemos, L., Sousa, C., Feith, H., 2004. **Modelling pulpwood and carbon sequestration sustainability of *Eucalyptus* plantations at landscape level**. In: Borralho, N.M.G., Pereira, J.S., Marques, C., Coutinho, J., Madeira, M., Tomé, M. (eds). "Eucalyptus in a Changing World" Proc. IUFRO Conf. Aveiro, 11-15 Oct. (RAIZ, Instituto Investigação da Floresta e Papel, Portugal), pp: 488-489.
7. Soares, P., Tomé, M., 2004. **Analysis of the effectiveness of biomass expansion factors to estimate stand biomass**. In: Hasenauer, H., Makela, A. (eds). "Modeling Forest Production" Proc. Conf. Vienna, 19-21 April (Department of Forest and Soil Sciences, BOKU University of Natural Resources and Applied Life Sciences, Vienna), pp: 368-374.

8. Tomé, J., Tomé, M., Fontes, L., Soares, P., Pacheco, C., Araújo, C., 2004. **Testing 3PG with irrigated and fertilized plots established in *Eucalyptus globulus* plantations in Portugal**. In: Hasenauer, H., Makela, A. (eds). "Modeling Forest Production" Proc. Conf. Vienna, 19-21 April (Department of Forest and Soil Sciences, BOKU University of Natural Resources and Applied Life Sciences, Vienna), pp: 382-390.