

Integração de um Visualizador Interactivo de Paisagens Florestais num Sistema de Apoio à Decisão em Gestão de Recursos Naturais – Aplicação à Serra da Lousã

André O. Falcão

Investigador

Centro de Estudos Florestais. Tapada da Ajuda Pavilhão Florestal
1349-017 LISBOA

Sumário. Este trabalho apresenta resultados preliminares de investigação conducentes à estruturação dos requisitos de informação para a integração de um visualizador de paisagens florestais interactivo num sistema de apoio à decisão em gestão de recursos naturais. Em particular, é focado todo o percurso de tratamento dos dados de inventário e SIG no processo de simulação e geração de alternativas de gestão e posterior análise por modelos de decisão. São descritas ainda as transformações de dados numéricos provenientes destes modelos, e a integração com a informação geográfica, para posterior entrada no visualizador. É exemplificado o uso deste visualizador ao Cantão das Hortas, uma área florestal com cerca de 460 ha situada no Perímetro Florestal da Lousã.

Palavras-chave: gestão de recursos naturais; visualizador de paisagem; sistema de apoio à decisão; computação gráfica.

Abstract. This paper presents preliminary research results relating to the integration of a 3D forest landscape visualiser within a decision support system in natural resources management. It focus primarily on inventory and spatial data processing, to be used by a simulator and prescription writer for forest ecosystems. The data transformation path is followed up to the management models. It is also discussed the numerical data conversion process proceeding from these models and its geographic pre-processing so that it may be used as input to the 3D visualiser. The system is demonstrated by applying it to a forest area of 460 ha located in the mountain range Serra da Lousã in central Portugal.

Key word: natural resources management; forest landscape visualiser; decision support system; graphical computation.

Résumé. Ce travail présente les résultats préliminaires de recherche favorisant la structuration d'information pour l'intégration d'un visualiseur interactif de paysages forestiers dans un système d'aide à la décision pour la gestion des ressources naturelles. Une particulière attention est portée à tout le passage du traitement des données d'inventaire et SIG dans le procédé de simulation et génération des simulations et analyse postérieure en utilisant des modèles de décision. Sont aussi décrites les transformations des données numériques provenant de ces modèles, et leur intégration avec l'information géographique, pour l'entrée postérieure dans le logiciel de visualisation. L'utilisation du système développé est démontrée pour le Cantão das Hortas, une région forestière de 460 ha, situé dans les montagnes de Lousã au centre de

Portugal.

Mots clés: gestion des ressources naturelles; visualisation d'interactif; système d'appui à la décision; calcul graphique.

Introdução

Ao longo das últimas décadas, a opinião pública tem-se mostrado progressivamente preocupada com os efeitos visíveis das mudanças ambientais (LUYMES, 2002; SHEPPARD, 1989). Verifica-se uma crescente sensibilidade do público para as questões ambientais e paisagísticas, ao que o crescimento da procura turística nas zonas rurais vêm salientar ainda mais o valor objectivo da paisagem na economia das populações situadas em zonas florestais ou próximas delas.

Por outro lado, avanços significativos nas tecnologias de informação nas últimas décadas permitiram a inclusão de componentes paisagísticos como factores passíveis de influenciar a forma como se gerem as florestas. Com efeito, a maior capacidade de processar informação, em particular informação gráfica, em computadores de uso comum permite que seja possível visualizar o impacte paisagístico de planos de gestão vários anos antes de eles se tornarem aparentes. Os trabalhos de McGAUGHEY (1997), ORLAND e UUSITALO (2002) e DANAHY (2002) demonstram que é possível apresentar os efeitos de diferentes estratégias de gestão em imagens que são prontamente identificáveis pelos utilizadores finais (LUYMES, 2002). É possível ainda a comparação dos efeitos paisagísticos de diferentes estratégias de gestão em diferentes pontos de observação. Um Visualizador 3D de paisagens prospectivas é assim mais uma ferramenta para uso do gestor podendo ainda facilitar o envolvimento dos utilizadores finais no

processo de tomada de decisão.

Um dos problemas centrais para a elaboração de um visualizador é a difícil passagem entre a escassa informação existente e a necessidade de dados concretos para a visualização. Assim um sistema com uma componente de visualização deverá conseguir usar a informação escassa disponível para gerar os dados indispensáveis a poder traduzir de uma forma gráfica uma impressão de realidade. O trabalho desenvolvido neste artigo foca os esforços desenvolvidos com o objectivo de estender ainda mais essa capacidade de visualização ao procurar a criação de uma paisagem virtual interactiva na qual o utilizador pode navegar. Esta estratégia pode comunicar assim ao utilizador uma perspectiva mais abrangente fornecendo uma maior quantidade de informação. O objectivo do sistema proposto é pois permitir ao utilizador percorrer virtualmente a área considerada sob um determinado plano de gestão proposto. No sistema desenvolvido, além de ser possível observar a paisagem estaticamente a partir de um ponto de vista predefinido, permite ainda ao utilizador a "deslocação" pela floresta como se se deslocasse a andar. Para propiciar uma visão de conjunto da paisagem envolvida, o programa permite ainda a realização de um voo virtual por cima das copas. Esta potencialidade faculta ao observador uma apreensão global da cobertura florestal, que por vezes não é visível devida à ocultação do horizonte pelas árvores mais próximas. Serve ainda como um apoio ao gestor que pode mais facilmente aperceber-se das interfaces

entre povoamentos e ter uma visão do conjunto da floresta.

Neste trabalho, detalha-se todo o percurso de tratamento dos dados de inventário e SIG no processo de simulação e geração de alternativas de gestão e posterior análise por modelos de Decisão. São descritas ainda as transformações de dados numéricos provenientes destes modelos, e integração com a informação geográfica, para posterior entrada no Visualizador. É exemplificado o uso deste Visualizador no Cantão das Hortas, uma área florestal com cerca de 460 ha situada no Perímetro Florestal da Serra da Lousã. Esta área é constituída por povoamentos de diferentes espécies, e com idades variadas. Existe uma grande abundância de povoamentos mistos que são, na sua maior parte, também irregulares. A quase inexistência de modelos de silvicultura para este tipo de ocupações motivou a descrição um pouco mais exaustiva dos procedimentos utilizados para a simulação, e definição de alternativas de gestão.

Integração do visualizador no Sistema de apoio à decisão

Idealmente, um Visualizador de paisagens florestais teria informação quantitativa de todas as características do terreno e de todas as árvores existentes. Teria ainda o poder computacional necessário para mostrar toda essa informação permitindo a interactividade do sistema. Contudo, a natureza da informação florestal, pela sua grande quantidade e diversidade não permite chegar directamente a esse objectivo. Logo no processo de recolha de informação de campo (inventário florestal) apenas uma pequena proporção das árvores é que é medida,

recolhendo-se apenas, na maioria dos casos, o diâmetro à altura do peito, medindo-se a altura apenas em certas árvores. A informação disponível é geralmente muito reduzida para poder representar uma paisagem florestal sem se recorrer a alguma generalização. O problema é ainda agravado pelo facto do objectivo final do trabalho ser a previsão de como será a ocupação florestal no futuro, se seguir um determinado plano de gestão. Isto porque os modelos de produção que se empregam em gestão florestal são geralmente modelos de povoamento. Este tipo de modelos simulam a evolução de variáveis de povoamento como a altura dominante, a área basal e o número de árvores. Estas variáveis, se bem que úteis para a gestão, são de utilidade limitada para um simulador em que é necessário identificar e representar com o maior realismo possível todas as árvores. Assim a tradução da informação agregada proveniente da aplicação de modelos de crescimento com base em variáveis do povoamento foi o primeiro problema que foi necessário resolver.

Descrição do sistema

O visualizador 3D enquadra-se no sistema de apoio à decisão (SAD) descrito na Figura 1. onde se representa este módulo do SAD tanto nos requisitos da informação de entrada necessária para o seu correcto funcionamento, como os *outputs* resultantes do procedimento de simulação e respectiva integração nos outros módulos do sistema. Assim, é possível identificar 5 componentes principais nesta arquitectura. a) Sistema de gestão de bases de dados; b) Simulador e gerador de alternativas de gestão; c) modelos de decisão; d) Pré-

processador; e) Visualizador. No diagrama estão representadas as trocas de informação entre os diferentes módulos do sistema e que se detalham a seguir.

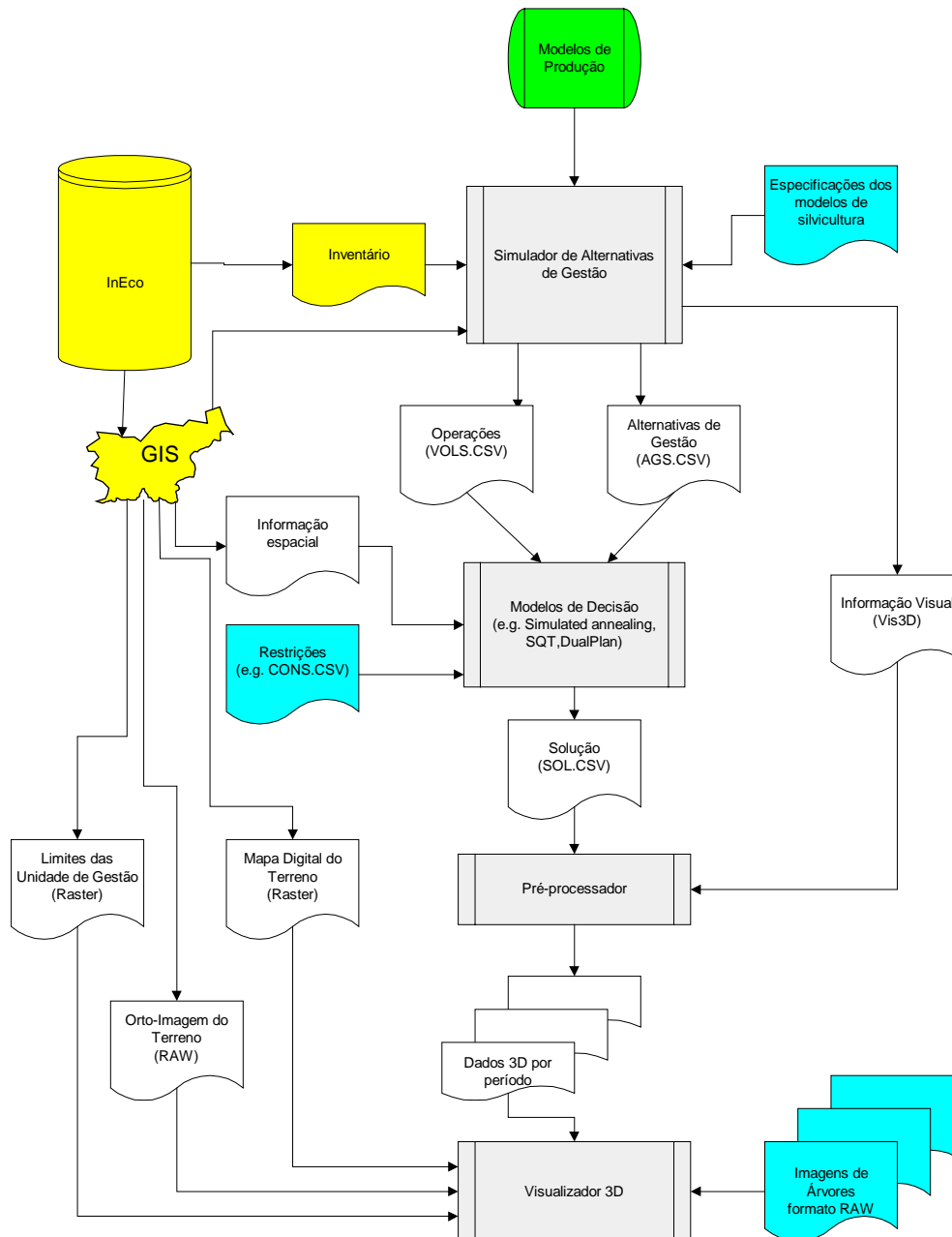


Figura 1 - Integração do Visualizador 3D no sistema de apoio à decisão

Sistema de gestão de bases de dados e sistema de informação geográfica

O sistema de gestão de informação contém estruturada toda a informação de inventário relativamente às diferentes áreas de gestão consideradas no sistema. Deve estar associada a um sistema de informação geográfica que contém tanto os mapas de ocupação de uso do solo, como as fotografias aéreas orto-rectificadas e os mapas digitais do terreno.

Simulador

O Simulador de alternativas de gestão recolhe a informação de inventário proveniente do Sistema de Gestão de Bases de Dados bem como dados relevantes originários do sistema de informação geográfica (SIG) associado. São também componentes do simulador os modelos de produção a considerar para as áreas em estudo. Estes por serem extremamente variáveis, optou-se por considerá-los antes como componentes externos do simulador do que parte integrante do mesmo. A interagir com o simulador temos também as especificações dos modelos de silvicultura em que se definem as possíveis operações culturais a aplicar a cada tipo de ocupação. Esta informação pode ser definida interactivamente através de um interface gráfico, ou para processamento em *batch*, sob a forma de um ficheiro. O simulador produz essencialmente 3 tipos de informação: a) informação relativa à aplicação geral de cada possível alternativa de gestão a cada povoamento; b) características de cada intervenção produtiva ao longo do período de simulação para cada alternativa de gestão aplicada a cada povoamento. e c) informação proveniente da simulação

apenas relevante para o visualizador (FALCÃO, 2002).

Modelos de decisão

A informação produzida pelo simulador serve de entrada para os modelos de decisão desenvolvidos, que têm a estrutura definida em FALCÃO (2001). Estão definidos módulos de importação das matrizes para modelos de Programação Linear e programação inteira e várias heurísticas (e.g. algoritmos genéticos, pesquisa tabu, algoritmos genéticos, relaxação Lagrangeana) aplicadas a diversos tipos de problemas de gestão florestal (e.g. maximização do valor actual líquido (MVAL), MVAL com restrições de sustentabilidade de produção de material lenhoso MVAL com restrições espaciais (FALCÃO e BORGES 2002)). De acordo com o tipo de problema de gestão, assim variam os requisitos de informação necessários. Em qualquer dos casos, a solução corresponde a uma associação de uma alternativa de gestão a cada povoamento da área em análise.

Pré-processador

O programa de pré-processamento fornece a informação suficiente para o visualizador de acordo com os resultados provenientes dos modelos de decisão. Esta fase é crítica na preparação dos dados que vão entrar no simulador. Foram desenvolvidos modelos empíricos que permitem a tradução das variáveis simuladas em dados para árvores individuais. Estes modelos não fazem parte directamente do Pré-processador, podendo ser substituídos quando existirem equações melhores. Assim, usa como *input* as tabelas produzidos pelos

modelos de decisão bem como o ficheiro VIS3D gerado pelo simulador. O programa processa então, para cada povoamento, qual o conjunto de intervenções culturais que lhe está associado ao longo do horizonte de planeamento, e combina esses dados com a informação visual proveniente do simulador. São produzidos assim tantas tabelas quantos os períodos de simulação no horizonte de planeamento escolhido. Cada tabela contém uma representação das árvores tipo para cada povoamento nesse mesmo período

Visualizador

O Visualizador corresponde ao fim da cadeia, sendo possível para o utilizador definir que período quer visualizar. O programa selecciona então o ficheiro proveniente da fase de pré-processamento que contém a informação relevante e constrói em tempo real, os povoamentos virtuais, nos quais é possível "navegar". Necessita para o seu funcionamento de informação proveniente do SIG (mapa de ocupação, modelo digital do terreno e orto-imagem da área de gestão) bem como de modelos digitais de árvores. O programa reduz ou aumenta a dimensão destes modelos de acordo com o estado de desenvolvimento do povoamento

Tratamento da informação gráfica

Num Visualizador de paisagens florestais as duas características visuais mais evidentes são as árvores e o terreno. A segunda componente para a qual geralmente há pouca informação é o terreno. É por vezes também difícil recolher todas as características humanas e fisiográficas que permitam um fácil reconhecimento do local observado. Por

exemplo, além da altimetria, geralmente disponível, seria desejável incluir no sistema os caminhos, os afloramentos rochosos ou as povoações. Essas características não estão muitas vezes identificadas em formato digital e são absolutamente essenciais para o utilizador ter referências dos locais que está a observar e que são muitas vezes inalteráveis ao longo do tempo. A metodologia escolhida foi a utilização de fotografias aéreas ortorectificadas sobrepostas ao mapa digital do terreno. Esta técnica garante a preservação das características do terreno que se assumem imutáveis ao longo do período de planeamento considerado.

No momento presente utilizaram-se as fotografias aéreas do voo de 1995 realizado pela CELPA/CNIG. Contudo, estas imagens foram recolhidas usando filme de infravermelhos. Esta película ignora o canal azul, mas apanha informação na banda dos infravermelhos, que são invisíveis ao olho humano. Este tipo de imagens, apesar de ser ideal para a fotointerpretação de cobertos vegetais, torna a informação correspondente de difícil percepção pelos utilizadores do sistema. Foi assim aplicada uma correcção nas imagens, eliminando o canal infravermelho, substituindo o canal verde pelo canal azul e o canal vermelho pelo canal verde. Dado o facto de, na generalidade das fotografias terrestres, o canal azul estar geralmente muito correlacionado com o verde Desta forma, fez-se uma cópia do canal Verde que foi posteriormente escurecida e incluída como canal azul. Apesar das imagens resultantes serem na verdade representações em falsa-cor (têm apenas 2 canais distintos) os resultados são suficientemente realistas quando comparados com as imagens originais (Figura 2).

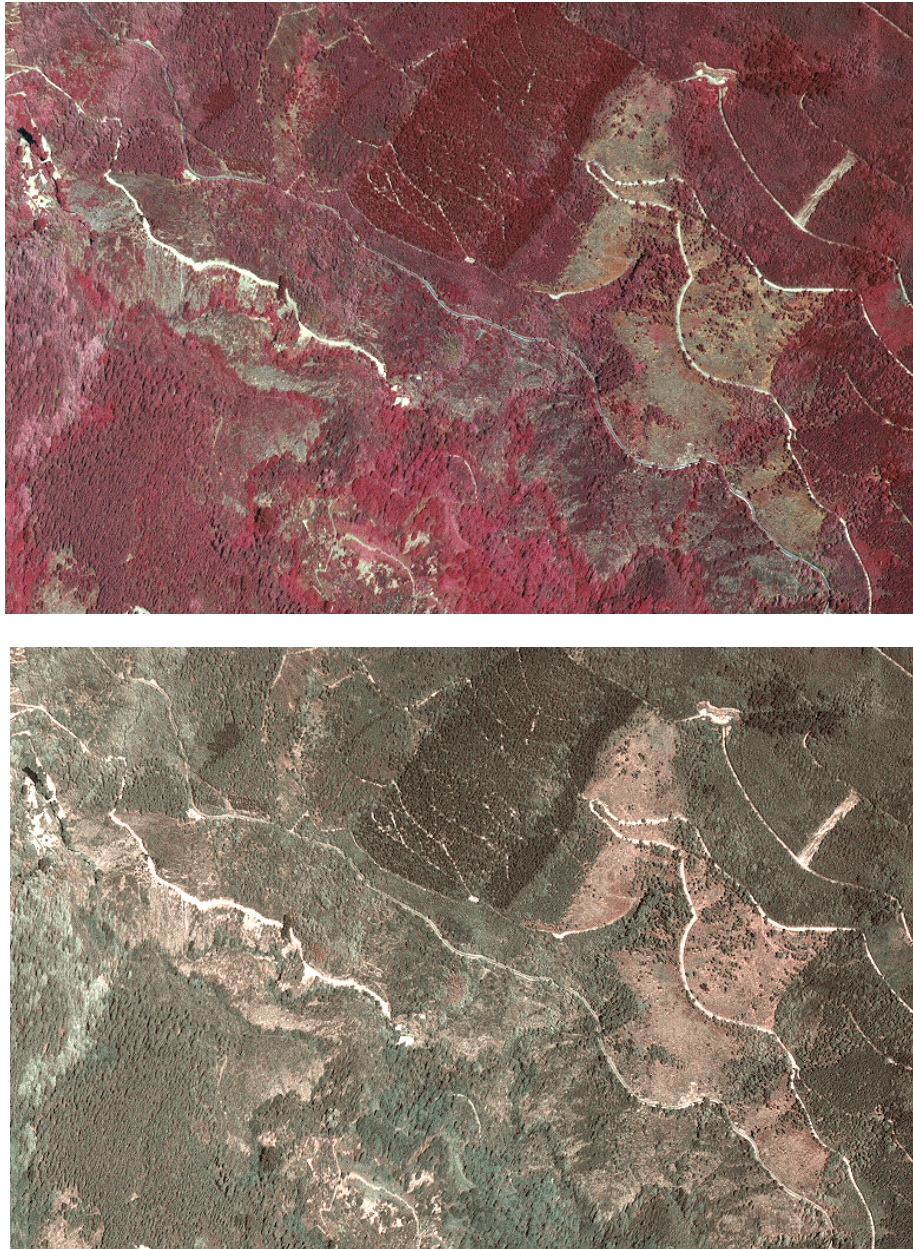


Figura 2 - Fragmento de fotografia aérea de infravermelhos antes de ser corrigida cromaticamente (em cima) e depois da correcção para o visível

A última componente da informação necessária era a representação visual das árvores no terreno. Dado o enorme número de árvores potencialmente visíveis foi necessário escolher modelos muito simplificados, baseados em imagens o mais realistas quanto possível. Numa primeira fase do trabalho procurou-se recolher informação factual das imagens no campo. Para isso procedeu-se a uma recolha fotográfica dos diferentes tipos de árvores existentes. Este esforço não teve grande sucesso devido a vários factores. Em primeiro lugar pretendiam-se imagens de árvores inseridas em povoamentos que são particularmente difíceis de fotografar dado que é complicado ter ângulo de visão que permita enquadrá-las sem que fiquem obstruídas por outras. O segundo facto é o problema dos erros de paralaxe difíceis de eliminar sem equipamento especializado. O terceiro factor envolve as condições de iluminação deficiente na altura da captura das imagens. É particularmente difícil, a não ser com iluminação artificial fotografar uma árvore captando toda a sua gama cromática. Os problemas são ainda significativamente agravados se se fotografa contra o horizonte/céu, em que a iluminação difusa, ultrapassa largamente a luminosidade reflectida pelo tronco e folhas. Este efeito faz com que as fotografias fiquem excessivamente escuras ou percam resolução cromática no processo de tratamento

Assim recorreu-se, neste primeiro protótipo, à utilização de desenhos de árvores do domínio público que retinham as principais características das espécies encontradas no Cantão das Hortas. Essas imagens foram digitalizadas, tratadas e processadas para serem

incluídas no visualizador. Nesta versão do visualizador estão presentes as seguintes espécies: *Eucalyptus globulus Labill*, *Pinus pinaster Ait*, *Castanea Sativa L.*, *Quercus robur L.*, *Quercus rubra L.*, *Betula pubescens L.* Verificou-se que imagens artificiais podem apesar funcionar, dado que o utilizador não foca uma árvore em particular mas sim o povoamento e o seu enquadramento na paisagem em que se insere. As imagens artificiais usadas são suficiente simples para não distrair o utilizador com algum defeito particular, conseguindo apesar de tudo comunicar as características estéticas mais importantes da espécie.

Implementação do visualizador

A representação tridimensional de paisagens florestais é um problema computacional complexo dado ser necessário representar objectos com uma grande complexidade geométrica (árvores) em grande quantidade. Para se ter uma ideia genérica da quantidade de informação envolvida, se se considerar uma área de gestão 50% florestal, com uma densidade média de 500 árvores por ha. Admitindo um horizonte visual de 10km, o número de árvores potencialmente visível é de 1,250,000 árvores. O problema torna-se ainda mais complexo quando paisagens naturais devem ser representadas em tempo real, ou seja todas essas árvores deverão ser desenhadas pelo menos 20 vezes por segundo. Para tentar retirar o máximo partido dos recursos computacionais existentes, o Visualizador foi programado em C++, utilizando para aceder ao hardware gráfico a biblioteca OpenGL. Usou-se como ambiente de trabalho o Visual Studio 6.0 a trabalhar em plataforma Windows 2000, que corria

num computador com processador Pentium III com 866 MHz e 256 MB de RAM. A placa gráfica utilizada foi uma nVIDIA Geforce 256, que permite a execução de transformações geométricas e modelos de iluminação directamente no hardware. O visualizador pede como *input* ao utilizador, o directório onde se encontra a informação geográfica e os ficheiros de simulação (provenientes do pré-processamento) bem como o período que deseja visualizar.

O programa permite depois ao utilizador deslocar-se virtualmente no terreno com o auxílio das teclas direccionais do computador. Dada o enorme volume de informação presente em cada cena o programa permite dois níveis de visualização. O primeiro, dito normal ou interactivo, dá a facilidade descrita do utilizador se deslocar sobre o terreno em tempo real, mas com um horizonte visual limitado (cerca de 500 metros). O segundo, dito modo de Paisagem, não é susceptível de movimentação do ponto de vista, tem contudo um horizonte visual que se estende por 10 km. Ambos os modos são intercomutáveis através de uma tecla. O que se recomenda na sua utilização é o utilizador usar o modo normal para tentar captar a informação que um utilizador normal teria a percorrer a pé. Ao encontrar um local característico e com horizonte visual não encoberto por árvores, seleccionar o modo de paisagem para recolher o máximo de informação possível.

Demonstração do sistema no Perímetro Florestal do Cantão das Hortas

A presente área de estudo compreende o Cantão das Hortas, incluído no Perímetro Florestal da Lousã.

É uma área de 460 hectares sob gestão pública e a sua composição actual reflecte o cuidado com que foi gerida no passado. Assim, 41.3% da sua área é constituída por povoamentos mistos de pinheiro bravo e castanheiro, este último aparecendo geralmente num andar mais baixo. Predominam ainda as áreas de pinheiro bravo puro (53.0 ha). Há ainda manchas com áreas significativas de várias outras espécies, por exemplo, pinheiro silvestre, *Cupressus* spp, *Chamaecyparis*, Pinheiro negro, Carvalhos alvarinho e americano, entre outras espécies.

Simulação do crescimento

Os modelos de produção utilizados neste sistema são os definidos num trabalho anterior (FALCÃO e MARQUES, 2002). Trata-se de um modelo de produção ao nível do povoamento, que procura modelar o crescimento da área basal e altura dominante por meio de equações às diferenças, procurando estimar o volume com base nestas duas variáveis. Este modelo inclui ainda equações de inicialização da idade para povoamentos em que esta variável não tenha sido medida. Existem assim 2 funções de crescimento para cada variável biométrica (altura dominante e área basal) uma para o caso de se utilizar a idade conhecida, outra para uma idade estimada. As equações que constituem o modelo são iguais para quase todas as espécies consideradas, variando apenas os parâmetros das funções respectivas. As excepções a esse modelo genérico foram o eucalipto e o pinheiro bravo, para os quais já havia modelos disponíveis (TOMÉ *et al.*, 1997) e FALCÃO (1997)). Este procedimento além de facilitar a implementação do código,

permite ainda a parametrização dinâmica dos modelos. Os parâmetros para as diferentes espécies são assim fornecidos externamente ao programa ao mesmo tempo que os modelos de silvicultura.

A simulação de alternativas de gestão para povoamentos mistos reveste-se de um procedimento mais complicado do que para povoamentos puros. Optou-se, para manter o maior leque de possibilidades admissível, considerar opções de gestão separadas para cada espécie constituinte. Admite-se ainda que cada espécie pode ser tratada em separado.

Quatro aspectos contudo devem ser realçados. Em primeiro lugar, considerou-se o rendimento líquido ao nível do produtor. Assim, não foram imputados custos a nenhuma operação florestal (desbaste, corte final ou regeneração). Da mesma forma, o valor da madeira é calculado em pé (valor no povoamento). Tentando afastar o produtor o mais possível dos custos na floresta, assumiu-se também que após o corte, sucede-se uma regeneração natural com a espécie que anteriormente existia. Para esta área de gestão, devido aos procedimentos de inicialização, os desbastes são regulados com base no factor de Wilson, em que, de acordo com a altura dominante de uma dada espécie, se estabelece um número de árvores desejável no povoamento. Assume-se que os desbastes são uniformes, sendo removidas árvores em todas as classes de diâmetro.

Finalmente, e porque se pretendia essencialmente com este trabalho de simulação uma avaliação paisagística de diferentes opções de gestão florestal, não se fez discriminação entre áreas de protecção e de produção. Assim, áreas florestais situadas em linhas de água ou em áreas pertencentes à Reserva Ecológica Nacional foram igualmente

incluídas no processo de simulação.

Definição de alternativas de gestão

Devido às limitações dos modelos existentes considerou-se, para efeitos de simulação, que cada espécie pode ser gerida independentemente das outras que compõem cada povoamento. Para evitar uma grande explosão combinatorial, a definição de alternativas de gestão foi feita seguindo a seguinte regra de combinação de modelos de silvicultura: O modelo de silvicultura aplicado após um corte final é idêntico ao que lhe deu origem.

Como exemplo, tomemos o caso de um povoamento misto constituído por Pinheiro e Castanheiro. Podemos assumir que as revoluções possíveis para estas espécies são, respectivamente, 30 a 50 anos e 50 a 80 anos. Admitindo apenas um nível de regulação de desbastes, as 651 alternativas de gestão possíveis para este povoamento são:

1. Cortar o Pinheiro com 30 anos e o Castanheiro com 50
2. Cortar o Pinheiro com 31 anos e o Castanheiro com 50
22. Cortar o Pinheiro com 30 anos e o Castanheiro com 51
651. Cortar o Pinheiro com 50 anos e o Castanheiro com 80.

As diferentes operações geradas por cada alternativa de gestão são armazenadas nos ficheiros de saída. Apesar de ser possível guardar informação para cada tipo de produto, optou-se por salvar a totalidade dos volumes como um só (madeira de serração). A valorização de cada produto é contudo diferenciada. Esta opção foi tomada por duas razões: Em primeiro

lugar, os modelos de decisão correntemente utilizados só estão preparados para lidar com um produto. Em segundo lugar, devido à reduzida representatividade de cada uma das espécies na área de gestão considerada, não se justifica a existência de restrições de fluxo de volumes separadas.

Modelação da gestão

A ligação com os modelos de gestão é trivial, uma vez que o simulador desenvolvido produz a informação proveniente da simulação num formato compatível com os diferentes módulos de DECFLOR (FALCÃO e BORGES, 1999). Para a exemplificação do funcionamento do sistema com a informação do Cantão das Hortas, compararam-se os cenários resultantes da aplicação de dois diferentes modelos de gestão: o Modelo A, que não entra com quaisquer restrições, o único objectivo é obter o rendimento actual líquido proveniente da exploração comercial da floresta; Modelo B, que contempla uma exploração sustentada em que se retiram no máximo 7000 m³ de material lenhoso todos os anos. O horizonte de planeamento considerado foi de 30 anos.

Resultados e conclusões

Dada a natureza deste trabalho, não é possível demonstrar a interactividade do Visualizador desenvolvido, mas os resultados da aplicação dos 2 modelos de gestão propostos podem ser capturados em imagens fixas, ilustradas aqui. O tempo de desenho de cada imagem é de cerca de 1 segundo na máquina com as

características enumeradas acima, usando o modo de paisagem. Na Figura 3, podemos observar as diferenças verificadas na paisagem em 2 pontos de vista diferentes 2 anos após o momento presente. A Figura 4, ilustra os mesmos 2 pontos mas 15 anos após o início da simulação. É possível identificar os efeitos característicos dos 2 cenários propostos e as alterações provocadas por ambos na paisagem, no médio e no longo prazo. É evidente a diferença grande entre os dois cenários sobretudo dois anos após o início do planeamento (Figura 3). Pode-se ver que, para o cenário A, dado o facto da maior parte dos povoamentos já ter ultrapassado o termo de explorabilidade, foram cortados nos primeiros períodos mostrando-se uma paisagem mais despida. Em contrapartida no cenário B, nenhum povoamento visível é cortado, mostrando uma paisagem típica coberta. Para o segundo ponto de observação, são observados resultados semelhantes. É possível ver que, para o primeiro cenário, o povoamento principal de resinosas foi cortado, mostrando apenas os castanheiros em primeiro plano.

Quinze anos após o início do período de planeamento, é possível ver como, no caso do primeiro ponto de observação, um extenso e denso povoamento juvenil enquanto temos uma paisagem mais heterogénea e recortada para o segundo cenário. No segundo ponto de observação as diferenças são menos visíveis, mas é possível verificar o aparecimento de regeneração de resinosas no caso do cenário A e apenas uma diminuição da densidade dos castanheiros no cenário B

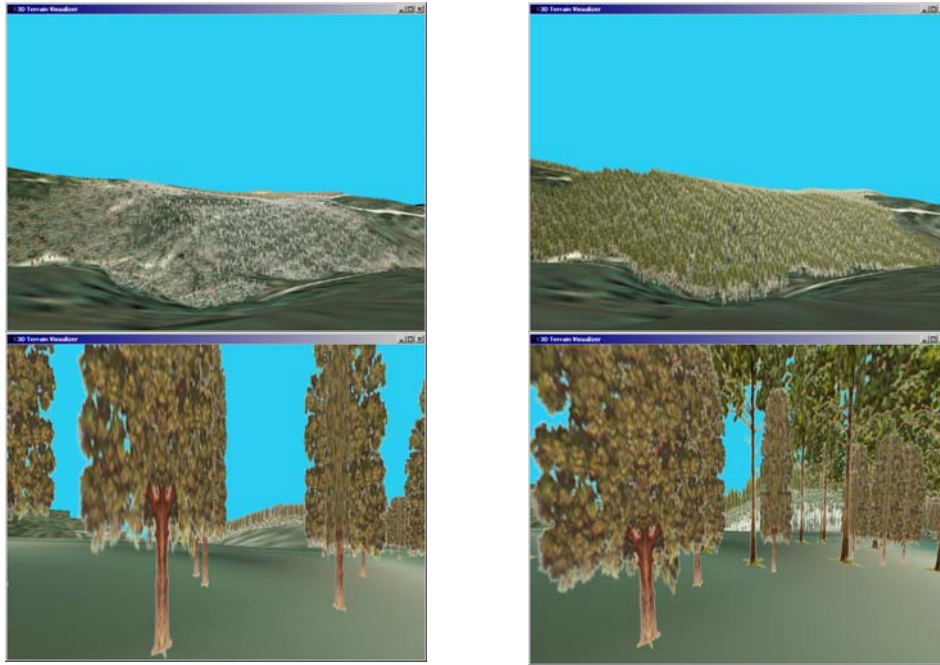


Figura 3 - Comparação dos cenários A (esquerda) e B (direita) em dois pontos distintos no Perímetro Florestal do Cantão das Hortas, dois anos após o momento inicial

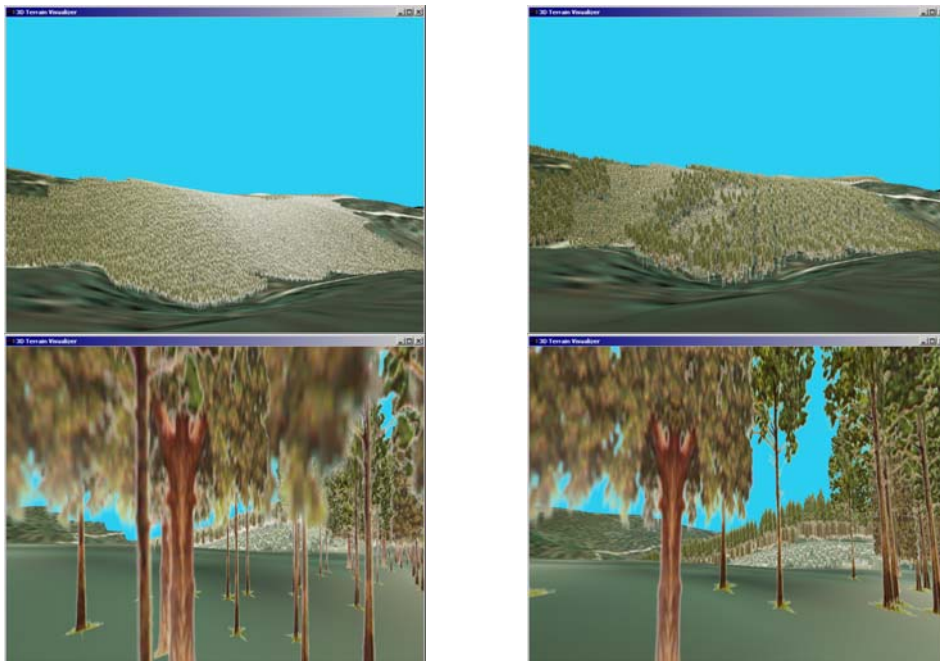


Figura 4 - Comparação dos cenários A (esquerda) e B (direita) em dois pontos distintos no

Perímetro Florestal do Cantão das Hortas, quinze anos após o momento inicial

Conclusões

Mostrou-se como, mesmo em condições de informação incompleta é possível definir diferentes cenários de intervenção e input suficiente para alimentar o Visualizador. Os resultados produzidos por este módulo são suficientemente realistas para permitir uma percepção da realidade florestal pelo utilizador mesmo para momentos distantes no tempo.

O trabalho desenvolvido até agora é um princípio promissor, mas ainda há algumas limitações no sistema presente que serão resolvidas nas iterações seguintes do desenvolvimento deste módulo Assim, por exemplo, o programa não permite para já a inclusão de relações especiais entre o DAP, a altura e o diâmetro da copa. Contudo, apesar de não dar uma representação tão exacta quanto seria de desejar, o programa já confere um grau de realismo suficiente para permitir ao utilizador alguma sensação de realidade, sem contudo procurar imitá-la. Outro problema é o número limitado de árvores passível de entrar no sistema. Devido ao elevado espaço de memória que cada árvore utiliza, não é possível neste momento diferenciar árvores isoladas, de bordadura ou interiores. Essa possibilidade será naturalmente explorada à medida que maiores recursos de memória estiverem disponíveis no hardware gráfico dos computadores que correrão este *software*.

O programa desenvolvido não procura substituir a realidade, procura antes permitir ao utilizador a recolha de uma experiência que lhe comunique o impacte visual de uma paisagem natural, mas sem contudo deixar de reflectir a artificialidade do sistema

Agradecimentos

Este trabalho foi realizado no âmbito do projecto Sapiens 36332/AGR/2000, com o título "Gestão de ecossistemas florestais: integração de escalas espaciais e temporais, biodiversidade e sustentabilidade ecológica, económica e social", aprovado pela FCT e pelo POCTI, participado pelo fundo comunitário europeu FEFER.

Bibliografia

- DANAHY, J., 2001. Considerations for digital visualisations of landscape. Sheppard, S., Harshaw, H (eds) 2001. *Forests and Landscapes: Linking ecology sustainability and aesthetics*. Cabi Publishing. Wallingford. UK. pp. 225-246
- FALCÃO, A., 2001. *Implementação de métodos heurísticos para modelação da gestão em ecossistemas florestais - Integração num Sistema de Apoio à Decisão*. Dissertação de doutoramento, ISA, Lisboa.
- FALCÃO, A.O. 2002. *Simulação e Geração de Alternativas de Gestão para o Perímetro Florestal do Cantão das Hortas (Serra da Lousã)- Integração no Sistema de Apoio à Decisão*. Documento Técnico 02/02, Grupo de Economia e Gestão de Recursos Naturais, Departamento de Engenharia Florestal. Instituto Superior de Agronomia. Lisboa. 19 pp
- FALCÃO, A., BORGES, J.G., 1999. *SAGFLOR 2.0 - Simulador de Alternativas de Gestão. Manual de Utilização*. Grupo de Economia e Planeamento em Recursos Florestais, Documento nº5, DEF, Lisboa, 43 p.
- FALCÃO, A.O, BORGES, J.G., 2002, *Combining random and systematic search heuristic procedures for solving spatially constrained forest management scheduling models*. Forest Science

- FALCÃO, A.A., MARQUES, A., 2002. *Metodologia expedita para simulação do crescimento e produção de algumas espécies florestais portuguesas GEGREN*. Documento Interno 01/02. DEF1, ISA, Lisboa, 18 pp.
- LUYMES, D., 2001. *The Rhetoric of visual simulations in forest design: some research directions*. In Sheppard, S., Harshaw, H (eds) 2001. *Forests and Landscapes: Linking ecology sustainability and aesthetics*. Cabi Publishing. Wallingford, UK, pp.191-204
- McGAUHEY, R.J., 1997. *Visualizing forest stand dynamics using the stand visualization system*. In Proceedings ACSM/ASPRS /RT, Seattle Washington. *American Society for Photogrammetry and remote sensing*. Bethesda, Maryland, Technical papers 4 : 248-257
- ORLAND, B., UUSITALO, J., 2001. *Immersion in a virtual forest - some implications*. In Sheppard, S., Harshaw, H (eds) 2001. *Forests and Landscapes: Linking ecology sustainability and aesthetics*. Cabi Publishing. Wallingford, UK, pp 205-224
- SHEPPARD, S., HARSHAW, H., 2001. *Forests and Landscapes: Linking ecology sustainability and aesthetics*. Cabi Publishing. Wallingford, UK, 294 pp.