

UNIVERSIDADE DE LISBOA
FACULDADE DE CIÊNCIAS
DEPARTAMENTO DE ESTATÍSTICA E INVESTIGAÇÃO OPERACIONAL



Modelos e sistemas de decisão em análise de cenários florestais no Alentejo

Paulo Jorge de Almeida Borges

MESTRADO EM INVESTIGAÇÃO OPERACIONAL
(Investigação Operacional)

2010

UNIVERSIDADE DE LISBOA
FACULDADE DE CIÊNCIAS
DEPARTAMENTO DE ESTATÍSTICA E INVESTIGAÇÃO OPERACIONAL



Modelos e sistemas de decisão em análise de cenários florestais no Alentejo

Paulo Jorge de Almeida Borges

MESTRADO EM INVESTIGAÇÃO OPERACIONAL
(Investigação Operacional)

Orientadores: Prof. Miguel Fragoso Constantino e Prof. José Guilherme Borges

2010

*“ A análise de decisão não resolve o problema de decisão, nem pretende. O seu objectivo é produzir informação e promover a criatividade afim de ajudar o decisor a tomar a melhor decisão.”
(Keeney 1982)*

Esta tese representa a concretização de um esforço pessoal e interdisciplinar, contando com a cooperação efectiva de diversas instituições, professores, amigos e familiares, aos quais considero ser imprescindível incluir um sinal múltiplo de reconhecimento, pois deram forma e “peso”, directa e indirectamente, a esta dissertação.

Ao Instituto Superior de Agronomia – Departamento de Engenharia Florestal pela disponibilidade dos dados necessários para este trabalho e pelo acolhimento enquanto bolseiro de investigação.

Ao Professor Miguel Fragoso Constantino, na qualidade de meu orientador pela preciosa orientação, disponibilidade e interesse sempre demonstrados em caso de dúvidas ou dificuldades que surgiam, e pelas sugestões oportunas prestadas durante a redacção do dissertação.

Ao Professor Doutor José Guilherme Borges pela co-orientação dada neste trabalho e pela partilha da sua sabedoria, fundamental para a elaboração desta dissertação.

Aos docentes do Departamento de Estatística e Investigação Operacional da Faculdade de Ciências da Universidade de Lisboa, pela forma como partilharam os seus conhecimentos e como me ensinaram a “vibrar” com esta recente ciência – Investigação Operacional.

A todos os “Intocáveis”, que apesar da “distância” que hoje nos separa, muitos momentos serão nossos e só nossos.

Ao João e Miguel, meus amigos de sempre e para sempre por tudo o que partilhamos e por saber que por pior que as nossas vidas possam estar, nós estaremos uns para os outros.

Ao Miguel e a Ana, por terem sido aquele apoio numa das piores fases da minha vida, jamais esquecerei!

A todos os colegas da FCUL que conheci e com os quais cultivei laços de amizade, por me acolherem de braços abertos revelando-se uma ajuda indispensável para a conclusão dessa etapa.

Agradecimentos

Ao Rui, pela força mútua partilhada na “batalha” conquistada (Licenciatura), por momentos quase causa perdida...

Aos meus novos colegas da SISCOG, pela forma como me acolhem no seu dia-a-dia.

Ao Ricardo Saldanha, meu responsável na SISCOG, pela compreensão e disponibilidade fundamentais na conclusão deste projecto.

Ao Jordi, Susete e Marco, colegas de investigação, pela presença nos bons e maus momentos passados na minha experiência como investigador.

À Brigitte, por tudo o que vivemos, pela amizade e companheirismo cultivados no decorrer deste último ano e por todo o auxílio prestado nos momentos mais difíceis. Afinal aos “30” ainda se fazem amigos para sempre!!!

À Lurdes, Tó e Diogo, vizinhos e “familiares” incansáveis, durante todos estes anos, para vocês um agradecimento muito especial!

À minha Avó, a “Dona Ninfa”, por ter sido e ainda ser a minha segunda mãe, pelo estímulo e apoio incondicional desde a primeira hora, pela perseverança e enorme carinho com que sempre me ouviu, não só neste percurso mas ao longo de toda a minha vida.

À minha Mãe, a quem devo tudo aquilo que sou, por todos os sacrifícios no sentido de me proporcionarem a concretização deste objectivo, etapa tão importante na minha vida, para ela a minha mais profunda admiração, respeito e gratidão.

A todos aqueles por quem tenho enorme consideração mas que pela escassez de espaço não me é permitido individualizar.

A todos o meu muito obrigado!

RESUMO

Os ecossistemas de sobreiro (*Quercus suber* L.) e azinheira (*Quercus rotundifolia*) são característicos da floresta mediterrânica portuguesa e o seu principal produto, a cortiça, é um dos mais valiosos produtos no sector florestal português. Este trabalho irá focar-se nas técnicas usadas para este tipo de ecossistemas. Tanto o modelo de programação linear como a arquitectura do sistema de apoio à decisão (SAD) serão abordados. O modelo matemático inclui objectivos como por exemplo, o valor actual líquido (VAL), fluxos de cortiça e madeira e ainda armazenamento de carbono. O SAD, engloba uma estrutura modular, composto por um sistema de base de dados (INfLOR2.1), gerador de prescrições, um módulo de análise de cenários e uma interface gráfica. Os resultados são discutidos para uma aplicação de larga escala envolvendo mais de 1 milhão de hectares de sobreiro e azinheira, ecossistemas florestais no Sul de Portugal. Esta abordagem demonstra a utilidade e relevância das plataformas tecnológicas para a integração efectiva dos dados, informações e modelos, fornecendo simulações e resultados que os decisores podem usar para orientar as suas decisões.

Palavras-chave: Análise de cenários / Planeamento de gestão florestal / Ecossistemas de montado / Programação Linear / Sistemas de apoio à decisão

ABSTRACT

Cork oak (*Quercus suber* L.) and holm oak (*Quercus rotundifolia*) ecosystems are characteristic of Mediterranean forestry in Portugal, and its main product, cork, is one of the most valuable products in the Portuguese forest sector. This work focuses on techniques for oak ecosystems' scenario analysis. Both the linear programming model and the decision support system (DSS) architecture are addressed. The mathematical model includes objectives such as net present value, cork and timber flows and carbon stocks. The DSS, encompasses a modular structure, comprising a database system (INfLOR2.1), a prescription writer, a scenario analysis module and a graphical user interface. Results are discussed for a large-scale application encompassing over 1 million ha of cork and holm oak forest ecosystems in Southern Portugal. This approach demonstrates the usefulness and relevance of technological platforms for the effective integration of data, information and models, providing simulations and outputs that decision makers can use to guide their decisions.

Key words: Scenario analysis / forest management planning / cork oak forest ecosystems / linear programming / decision support systems

ÍNDICE

Agradecimentos.....	I
RESUMO.....	III
ABSTRACT	IV
ÍNDICE	V
LISTA de FIGURAS.....	VII
LISTA de TABELAS.....	IX
Acrónimos, Abreviaturas e Conceitos	XI
Capítulo I	1
INTRODUÇÃO.....	1
1.1. Enquadramento	2
1.2. Objectivos.....	7
1.3. Metodologia geral.....	9
1.4. Estrutura da tese.....	11
Capítulo II	13
MATERIAL E MÉTODOS	13
2.1. Área de estudo	14
2.1.1. Montados.....	14
2.1.1.1. O Sobreiro e a Azinheira.....	14
2.1.1.2. Produtos	15
2.1.1.3. Operações Silvícolas	19
2.2 Caso de estudo.....	20
2.2.1 Localização.....	20
2.2.2 Caracterização.....	22
2.3. Planeamento integrado do montado	25
2.3.1. Caracterização do problema de decisão	25
2.3.1.1. Abordagem genérica.....	25
2.3.1.2. Abordagem no caso de estudo.....	29
2.4. Ferramentas de planeamento.....	38
Capítulo III	42
ANÁLISE DE RESULTADOS E DISCUSSÃO	42
3.1. Sistema de Apoio à Decisão	43
3.1.1. Conceitos de progamação	43
3.1.2. Sistemas de informação de bases de dados	44

ÍNDICE

3.1.2.1. SIBD – SILVfLOR-----	44
3.1.2.2. SIBD – SIMfLOR-----	45
3.1.2.3. SIBD – MATfLOR-----	45
3.1.2.4. Sistemas de informação geográfica (SIG)-----	46
3.1.3. Ferramentas dos módulos -----	47
3.1.3.1. Visualização da informação disponível-----	47
3.1.3.2. Gerador de silviculturas -----	49
3.1.3.3. Simulador de indicadores de crescimento e produção -----	50
3.1.3.4. Simulador de indicadores económicos -----	51
3.1.3.5. Gerador de modelos matemáticos-----	52
3.1.3.6. Solver-----	53
3.1.3.7. Resultados -----	53
3.2. Cenários de Gestão -----	56
3.2.1. Variáveis de decisão em números -----	56
3.2.2. Análise comparativa dos indicadores globais -----	56
3.2.3. Análise comparativa dos indicadores periódicos -----	59
3.2.4. Análise de sensibilidade -----	62
3.2.4.1 Valor do hectare em função da taxa de actualização e das restrições de fluxo -----	62
3.2.4.2 Valor médio do hectare em função da classe densidade e idade ---	63
Capítulo IV -----	66
CONSIDERAÇÕES FINAIS -----	66
Capítulo V -----	71
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS -----	71
Capítulo VI -----	77
ANEXOS -----	77
Anexo I. Sistema de apoio à decisão -----	78
1. Descrição das tabelas do SIBD SILVfLOR-----	78
2. Descrição das tabelas do SIBD SIMfLOR -----	80
3. Descrição das tabelas do SIBD MATfLOR -----	80
Anexo II. Cenários de Gestão -----	83
1. Análise de indicadores globais -----	83
2. Análise de indicadores periódicos-----	92
3. Análise sensibilidade -----	94

LISTA de FIGURAS

Figura 1- Esquema de multifuncionalidade dos montados de azinho e sobreiro com identificação dos principais sistemas de exploração e respectivos produtos.....	16
Figura 2 – Distribuição do uso do solo no alentejo.....	20
Figura 3 – Áreas florestais por espécie no Alentejo.....	21
Figura 4 – Distribuição do sobreiro em Portugal.....	21
Figura 5 – Distribuição da Azinheira em Portugal (ha).....	22
Figura 6 – Área de estudo e exemplo da sua heterogeneidade espacial.....	23
Figura 7 – Diagrama de influências no planeamento florestal.....	30
Figura 8– Interacção entre as ferramentas e os sistemas de informação.....	41
Figura 9 – Modelo relacional do SIBD SILVfLOR.....	44
Figura 10 – Modelo relacional do SIBD SIMfLOR.....	45
Figura 11 – Modelo relacional de um SIBD MATfLOR.....	46
Figura 12 – Formulário com informação sobre os estratos.....	47
Figura 13 – Formulário para visualização de inventário.....	48
Figura 14 – Formulários de visualização 2D.....	48
Figura 15 – Formulário para parametrização e geração de modelos silvícolas.....	49
Figura 16 – Detalhe dos modelos silvícolas gerados para tipo de ocupação.....	50
Figura 17 – Formulário para geração de prescrições e simulação de indicadores de crescimento e produção.....	50
Figura 18 – Detalhe de parte de uma prescrição.....	51
Figura 19 – Formulário para simulação de indicadores económicos.....	51
Figura 20 – Formulário para geração de modelo linear base.....	52
Figura 21 – Formulário para definição de restrições adicionais e resolução do respectivo problema matemático associado.....	53
Figura 22 – Visualização da solução em tabela.....	54
Figura 23 – Visualização de um gráfico para o indicador stock médio de carbono.....	54
Figura 24 – Visualização tabular dos resultados obtidos para toda a região de estudo.....	54
Figura 25 – Visualização da solução em mapa.....	55
Figura 26 – Rendimento Líquido Actual, a) variação em função das restrições de fluxo b) variação em função das taxas de actualização.....	57
Figura 27 – Stock Médio de Carbono acumulado, a) variação percentual em função das restrições de fluxo b) variação em função das taxas de actualização.....	58

LISTA de FIGURAS

Figura 28 – Cortiça Adulta Extraída, a) variação em função das restrições de fluxo b) variação em função das taxas de actualização.	58
Figura 29 – Variação percentual dos volumes de Madeira de sobre e azinho, com taxas fixas.....	59
Figura 30 – Evolução dos fluxos do VAL nos cenários sem gestão de sustentabilidade.	60
Figura 31 – Evolução dos fluxos do VAL nos cenários sem gestão de sustentabilidade.	60
Figura 32 – Evolução dos stocks médios de carbono, para um cenário de restrições de fluxo a 10% em todas as taxas.	61
Figura 33 – Evolução dos stocks médios de carbono, para um cenário de taxa fixa a 4% variando as restrições aplicadas.....	61
Figura 34 – Exemplo de fluxos de cortiça em cenários sem restrições de fluxo.	61
Figura 35 – Exemplo de fluxos de cortiça com aplicação de restrições de fluxo.	61
Figura 36 – Exemplo de fluxos de madeira de sobre.	62
Figura 37– Exemplo de fluxos de madeira de sobre.	62
Figura 38 – Madeira de Sobre Extraída, a) variação em função das restrições de fluxo b) variação em função das taxas de actualização.....	84
Figura 39 – Madeira de Sobre Extraída, a) variação em função das restrições de fluxo b) variação em função das taxas de actualização.....	84
Figura 40 – Madeira de Azinho Extraída, a) variação em função das restrições de fluxo b) variação em função das taxas de actualização.....	84
Figura 41 – Cortiça Virgem Extraída, a) variação em função das restrições de fluxo b) variação em função das taxas de actualização.....	85

LISTA de TABELAS

Tabela 1 – Classe espécie dominante/dominada.....	23
Tabela 2 – Classe densidade.....	24
Tabela 3 – Classe idade	24
Tabela 4 – Síntese da definição dos cenários base.	32
Tabela 5 – Regeneração natural considerada nos modelos silvícolas em arvha-1ano33	
Tabela 6 – Custos das operações florestais	34
Tabela 7 – Preços dos produtos.	34
Tabela 8 – Síntese de cenários a analisar.	37
Tabela 9 – Estrutura da tabela de polígonos.....	46
Tabela 10 – Valores de stocks de carbon acumulados em cada cenário	57
Tabela 11 – Estrutura da tabela de espécies.	78
Tabela 12 – Estrutura da tabela de operações.....	78
Tabela 13 – Estrutura da tabela de parâmetros.	78
Tabela 14 – Estrutura da tabela de tipos de silvicultura.	78
Tabela 15 – Estrutura da tabela de tipos de povoamento.	79
Tabela 16 – Estrutura da tabela de silviculturas.....	79
Tabela 17 – Estrutura da tabela de revoluções.....	79
Tabela 18 – Estrutura da tabela que detalha as silviculturas.....	79
Tabela 19 – Estrutura da tabela que detalha as revoluções.....	79
Tabela 20 – Estrutura da tabela de períodos.	80
Tabela 21 – Estrutura da tabela de Unidades de Gestão.....	80
Tabela 22 – Estrutura da tabela de Indicadores Globais.....	80
Tabela 23 – Estrutura da tabela de indicadores periódicos.....	80
Tabela 24 – Estrutura da tabela de variáveis de decisão.....	81
Tabela 25 – Estrutura da tabela dos coeficientes das variáveis	81
Tabela 26 – Estrutura da tabela dos coeficientes dos indicadores.....	81
Tabela 27 – Estrutura da tabela de coeficientes das.....	81
Tabela 28 – Estrutura da tabela de coeficientes	81
Tabela 29 – Estrutura da tabela de coeficientes	81
Tabela 30 – Estrutura da tabela de restrições.....	82
Tabela 31 – Estrutura da tabela de tipos de restrições.	82
Tabela 32 – Estrutura da tabela de adjacências.	82
Tabela 33 – Valores obtidos para os indicadores globais.	83

LISTA de TABELAS

Tabela 34 – Variações em % nos valores obtidos com restrições fluxo fixas e variando as taxas.	86
Tabela 35 – Variações em % nos valores obtidos com taxas fixas e variando as restrições de fluxo.	86
Tabela 36 – Valores obtidos para os indicadores periódicos.	92
Tabela 37 – Média do valor do hectare no cenário C.-.40.2.	94
Tabela 38 – Média do valor do hectare no cenário C.-.40.4.	94
Tabela 39 – Média do valor do hectare no cenário C.-.40.6.	95
Tabela 40 – Média do valor do hectare no cenário C.15.40.2.	95
Tabela 41 – Média do valor do hectare no cenário C.15.40.4.	96
Tabela 42 – Média do valor do hectare no cenário C.15.40.6.	96
Tabela 43 – Média do valor do hectare no cenário C.10.40.2.	97
Tabela 44 – Média do valor do hectare no cenário C.10.40.4.	97
Tabela 45 – Média do valor do hectare no cenário C.10.40.6.	98
Tabela 46 – Valor médio do hectare por classe de idade em cada cenário.	99
Tabela 47 – Valor médio do hectare por classe de densidade em cada cenário.	100
Tabela 48 – Valor médio de um hectare por cenário e por espécie.	100
Tabela 49 – Média de desbastes aplicados por classe de idade e densidade.	101
Tabela 50 – Média de descortiçamentos aplicados por classe de idade e densidade.	101

Acrónimos, Abreviaturas e Conceitos

Área de Gestão – Área de impacte do projecto florestal. Divide-se em unidades de gestão de acordo com critérios de classificação territorial.

Unidade de Gestão – Área geograficamente contígua e homogénea no que diz respeito a características físicas: topografia, solos, rocha-mãe, hidrologia, tipo de *habitat* e atributos que caracterizam a forma de exploração.

Estrato – Para efeitos de análise de potencial, pode ser visto como uma Unidade de Gestão, sendo a diferenciação apenas na área que é geograficamente não contígua mantendo a homogeneidade.

Modelo de silvicultura e/ou silvícola – O modelo geral de silvicultura tem como fim consubstanciar os objectivos de produção a partir da definição de um conjunto de técnicas a adoptar na gestão dos povoamentos florestais. Entende-se por produção todo e qualquer bem, serviço e/ou amenidade resultante da actividade florestal. Segundo ALVES (1988) "somente a floresta em consequência das suas características biológicas está apta a produzir enquanto conserva e a conservar enquanto produz".

Alternativa de gestão – Alternativas de gestão, actividades ou prescrições: consistem em sequências de intervenções culturais a desenvolver ao longo do horizonte de planeamento na área a considerar para efeitos de planeamento. Pode ser visto também como combinação de modelos silvícolas específicos de uma espécie florestal, aplicados sucessivamente durante o horizonte de projecção definido.

Revolução – Sequência ordenada de modelos silvícolas específicos de uma espécie florestal, a aplicar à perpetuidade.

Modelo de gestão – Entre diferentes alternativas de gestão selecciona a melhor para a UG. É um modelo de decisão.

Sustentabilidade florestal – “*O conceito implica satisfazer as necessidades da presente geração, sem comprometimento da possibilidade das gerações futuras satisfazerem as suas*”, Relatório Brundtland, 1987, Comissão Mundial para o Ambiente e Desenvolvimento (WCED).

Acrónimos, Abreviaturas e Conceitos

Alto Fuste – É a primeira rotação, ou seja, indica que o povoamento ainda não foi cortado desde a sua plantação.

Talhadia – Indica que o povoamento já foi cortado pelo menos uma vez desde a sua plantação.

GEE – Gases com efeito estufa

PLE – Produtividade Líquida do ecossistema

AG – Área de gestão

DGRF – Direcção Gera dos Recursos Florestais

DRAPAL – Direcção Regional de Agricultura e Pescas do Alentejo

IFN – Inventário Florestal Nacional

SIBD – Sistema de informação de bases de dados.

SIG – Sistema de informação geográfico

SAD – Sistema de apoio à decisão

UG – Unidade de Gestão

VAL – Valor Actual Líquido ou Rendimento Líquido Actualizado

INTRODUÇÃO

1.1. Enquadramento

A área florestal nacional, apesar de vir a ser fruto de uma exploração desregrada, ocupa parte significativa do território (38%)¹. Os montados (ainda) são a imagem de marca das paisagens do Sul do país e assumem-se, apesar de tudo, como a maior mancha contínua de arvoredado nativo, e em boa parte de regenerado naturalmente, que se pode encontrar em território português (Silva, 2007), cobrindo uma área de 1125 mil hectares, dos quais, 65% da espécie *Quercus suber* (sobreiro) e 35% da *Quercus rotundifolia* (azinheira) (Tomé *et al.*, 2007). Dado o seu carácter híbrido em termos de utilização do solo, existe igualmente toda uma série de produtos e de actividades que se pode desenvolver com base nos montados. Os Montados são, portanto, sistemas distintos e mais complexos que meros povoamentos de sobreiros ou azinheiras (Silva, 2007).

Os ecossistemas mediterrânicos e, em particular os montados de sobro e azinho, são geralmente caracterizados por uma diversidade de recursos e de utilizações e por uma fragilidade que resulta das condições climáticas e da envolvente socioeconómica. O conceito de uso múltiplo² do montado de sobro e azinho assenta em considerar igualmente importante todos os bens, por ele fornecidos: por um lado, os produtos da actividade florestal resultantes da utilização directa das árvores, que são, neste caso, a cortiça/madeira e as lenhas provenientes de podas; por outro lado, os produtos resultantes da utilização associada à presença dos povoamentos, como sejam, por exemplo, a caça, o pastoreio, a agricultura e pastagens; e finalmente, os bens menos tangíveis resultantes da presença das árvores, tais como a sua contribuição para o equilíbrio ecológico na conversação do solo e regularização dos regimes hídricos, retenção de carbono, *habitat* vida selvagem (biodiversidade) e para actividades de recreio. Como elementos suplementares ambientalmente positivos, destaca-se a grande resistência dos montados, bem demonstrado pelo facto destes estarem entre os povoamentos que menos ardem (Ministério da Agricultura, Desenvolvimento Rural

¹ Ocupação do solo em 10³ hectares para Portugal Continental – IFN 2005/2006

² Convém clarificar o significado da designação “Uso Múltiplo”, por esta perspectiva nem sempre ter sido entendida da forma mais correcta. BUGALHO *et al.* (s.d) in PAULO (1994) entende Uso Múltiplo como: “Compromisso e sobreposição no mesmo espaço, de usos compatíveis, harmonizáveis e complementares, de modo a que o sistema possa em cada momento corresponder da forma mais rentável às necessidades de procura, respeitando simultaneamente e de forma sustentada a capacidade produtiva do meio”.

e das Pescas, 2000). Neste tipo de exploração não se trata de maximizar todas as produções no mesmo espaço, o que seria quase impossível porque existem incompatibilidades entre elas, mas sim, numa perspectiva de sustentabilidade ecológica e económica do ecossistema, maximizar uma ou outra das produções, o que vai condicionar o tipo de sistema cultural e de explorações aplicados. (Costa & Pereira, 2007a). No entanto, as características multifuncionais que lhe são inerentes, não podem omitir a importância das actividades complementares e reforçar a necessidade da sua preservação, o que implica a presença activa e regular do Homem nos montados, sendo fundamental para a sustentabilidade destes sistemas (Goes & Tenreiro, 2001; Morais, 2001).

Apesar das muitas qualidades desta multifuncionalidade e deste cenário único estar fortemente relacionado com o enquadramento regional, a sua exploração intensiva perturbou o equilíbrio que existia entre as diferentes componentes do ecossistema e levou a uma fase de declínio. A progressiva artificialização a que o montado tem sido sujeito, a par de uma exploração intensiva e desregrada e condições climáticas desfavoráveis têm tido, em alguns casos consequências negativas na saúde e vitalidade, que importa corrigir. A constatação da existência do fenómeno de decrepitude, mortalidade e incapacidade de regeneração natural da componente florestal, assim como do empobrecimento da sua biodiversidade, da degradação dos solos, com sinais de erosão e de esgotamento do seu fundo de fertilidade, aconselham a implementação urgente de um sistema de gestão que promovam a sustentabilidade³ deste ecossistema. (Costa & Pereira, 2007a).

Os finais do século XX e o início do novo século trouxeram grandes alterações aos paradigmas da gestão florestal. Por um lado, a política de protecção ambiental e da biodiversidade começou a prevalecer face ao produtivismo do período anterior. Por outro lado, face às alterações climáticas⁴, a gestão deve ser adaptativa (isto é, ajustar-se não só às necessidades do mercado e à lógica dos serviços múltiplos e conservação da natureza, mas «aprender» a dar resposta a novas condições ambientais (Bormann *et al.*, 2007). O sequestro de carbono nas florestas promove a mitigação das emissões de GEE pois retém na floresta (biomassa perene no solo)

³ Este visa a garantia da “*satisfação das necessidades presentes sem comprometer a capacidade das gerações futuras satisfazerem as suas próprias necessidades.*” (Relatório Brunthand citado por Mota *et al.*, 2004).

⁴ As alterações climáticas resultam do aumento das concentrações de gases com efeito de estufa (GEE) na atmosfera, nomeadamente o CO₂ (IPCC, 2007).

carbono que de outro modo estaria na atmosfera na forma de CO₂. A produtividade líquida do ecossistema (PLE) é a medida do balanço de carbono em termos anuais e ao nível do ecossistema. A retenção de carbono varia com a vegetação e com o clima, sendo o tempo de residência do carbono da ordem dos 14 anos na madeira e de cerca de 100 anos nos solos das florestas boreais (frias) (Malhi *et al.*, 1999).

Alguns dos principais problemas que hoje se verificam na nossa floresta de sobreiro e azinheira são motivados ou, pelo menos, agravados por práticas de gestão menos adequadas. Uma gestão sustentável é pois o paradigma da boa gestão florestal. A introdução do conceito de *serviços do ecossistema* tem inerente a gestão da multifuncionalidade da floresta. Todavia, nem sempre é possível conciliar num mesmo local todos os serviços potenciais que os ecossistemas podem assegurar.

Nas florestas, actualmente, sustentabilidade implica mais do que o fornecimento de matérias-primas para a indústria (madeira, fibra, cortiça, energia) e de outros bens de importância económica directa à perpetuidade. A floresta bem gerida proporciona serviços de ecossistema intangíveis tais como a integridade dos sistemas fluviais, a conservação e protecção dos solos e da biodiversidade, ou a possibilidade de lazer e de fruição estética e estímulo intelectual e cultural pela sociedade (Martins e Borges, 2007). Gerir o montado de sobreiro e azinho de forma sustentável significa que se exploram os seus recursos de forma racional, preservando a sua produtividade e diversidade biológica, capacidade de regeneração e a sua vitalidade, simultaneamente assegurar as suas funções ecológicas, económicas e sociais, a nível local, regional e nacional (AFLOSOR, 2004). Só deste modo se poderá garantir a sua passagem para as gerações futuras.

A floresta em Portugal não pode ser entendida como um bem público – mas como um bem privado que desenvolve fortes externalidades positivas de que a sociedade em geral usufrui. Os fluxos financeiros que o montado de sobreiro gera são em grande parte transferidos para a preservação do meio rural. O sobreiro e a cortiça constituem o pilar que o sustenta. (Goês & Tenreiro, 2001). A exploração da cortiça é, em todo o sector florestal português, aquela que melhor reúne condições de sustentabilidade em termos ecológicos. (Silva, 2007) a acrescentar a estes factos, estão ainda as características intrínsecas da própria espécie e de exploração que lhe está associada. A espécie *Quercus suber* é sem sombra de dúvida, a espécie mais importante da floresta portuguesa. Esta importância advém não apenas do facto de Portugal deter mais de

um terço de toda a superfície ocupada pelo sobreiro no mundo, mas também pelo facto do nosso país ser responsável por mais metade da produção de cortiça do planeta. Em 2006, ano do último inventário Florestal Nacional, a mancha de sobreiros ocupava uma área correspondente a 737 mil hectares do território nacional (ou seja 22,6% da área florestal), a maior do Mundo, 70% da qual concentrada no Alentejo. A cortiça é o único produto em que Portugal tem a liderança mundial e os montados de sobreiro são um factor importante para o desenvolvimento económico do nosso país, particularmente no interior a sul do Tejo. (Goês & Tenreiro, 2001).

A conservação, condução e exploração dos povoamentos de sobreiro apresentam aspectos muito particulares que as distinguem das técnicas utilizadas noutros povoamentos florestais, pois estes estão orientados para a produção de madeira, enquanto o sobreiro é explorado para a produção de cortiça. Deste modo, as práticas de gestão dos povoamentos de sobreiro são feitas na perspectiva de maximização da produção de cortiça e do seu respectivo valor (Costa & Pereira, 2007a). Por isso, se a gestão deve integrar permanentemente preocupações de ordem ambiental, social e cultural, sobrepondo-se a estas estão as de natureza económica que condicionam a performance global do sistema (Goês & Tenreiro, 2001).

A consequente complexidade deste ecossistema sugere a urgência do desenvolvimento de sistemas e tecnologias de informação que permitam confrontar os problemas específicos com que se debatem os responsáveis pela gestão destes ecossistemas. Face a esta complexidade os sistemas de apoio à decisão (SAD) oferecem a possibilidade de organização e análise de informação muito diversa pelo que surgem como instrumentos potenciadores de uma gestão informada e eficaz dos ecossistemas mediterrânicos, em particular dos montados de sobreiro e de azinho (Borges & Loff, 2007). As características de um SAD permitem confrontar eficazmente a complexidade de planeamento de um sistema como o montado de sobreiro e azinho, contribuindo ainda para aprofundar o conhecimento relativo às inter-relações entre os factores biofísicos, económicos e sociais, inerentes ao planeamento. São, portanto, sistemas tecnológicos de grande utilidade para entidades públicas e privadas, que neles se podem apoiar na definição de planos operacionais de gestão e na tomada de decisões relativas ao planeamento regional e estratégico dos recursos naturais e do ambiente.

A dimensão de actuação da investigação operacional tem vindo a ampliar-se e, nos dias que correm, o papel desempenhado por esta ciência é de elevada importância, para apoiar e orientar decisões. O sector florestal é muito rico em termos de problemas que podem ser modelados e resolvidos usando técnicas de optimização matemática. Os primeiros trabalhos a registar a utilização da programação linear como técnica para resolver problemas de gestão florestal foram publicados na década de 60 (Curtis, 1962; Leak, 1964; Loucks, 1964; Nautiyal e Pearse, 1967). Foram, entretanto, os trabalhos de Navon (1971), trabalhando para o Serviço Florestal americano, e Ware e Clutter (1971), na Universidade da Georgia em colaboração com a indústria de celulose do sul dos EUA, que marcaram o início do uso extensivo da programação linear no planeamento florestal. O sistema Timber RAM (Timber Resource Allocation Method) de Navon (1971) deu origem a uma série de sistemas usados pelo Serviço Florestal Norte-Americano, dos quais o FORPLAN (Iverson e Alston, 1986) e mais recentemente o SPECTRUM (Estados Unidos, 1999). Analisando a forma como são definidas as variáveis nessas aplicações, e seguindo os critérios publicados por Johnson e Scheurman (1977) definiram-se duas estruturas básicas, conhecidas como Modelo I e Modelo II. No final da década de 80 em Portugal havia pouca formação e não havia qualquer experiência de utilização de modelos e sistemas de decisão na gestão da floresta.

Entre as modernas técnicas de modelação de problemas de gestão florestal, a programação linear é de longe a mais usada. Diversas aplicações de modelos de programação matemática, podem ser encontradas em livros de gestão florestal (Clutter et al., 1983; Dykstra, 1984; Buongiorno e Gilless, 1987; Davis e Johnson, 1987; Leuschener, 1984; Hof, 1993; e Hof e Bevers, 1998). Formulações de todos os tipos, incluindo modelos lineares, não lineares, com variáveis inteiras, estocásticas, por metas, e multi-objetivos, têm aparecido regularmente nos principais jornais científicos florestais (Bare *et al.*, 1984; Garcia, 1990; Snyder e ReVelle, 1996; Yoshimoto e Brodie, 1994; e Murray, 1998). Ao mesmo tempo que essa popularidade prova a utilidade dos modelos de programação linear, é também sinal de um contínuo esforço de pesquisa para resolver limitações impostas pelo uso desses modelos.

Hoje, amparada em técnicas matemáticas de optimização, a gestão florestal é capaz de considerar simultaneamente não só a meta de se atingir o planeamento de uma floresta, mas também a fase de transição para esta situação, além de questões económicas, restrições operacionais e ambientais. Tem surgido, principalmente na

última década, um grande número de publicações nas áreas da Investigação operacional aplicada as florestas mediterrânicas envolvendo temas da actualidade como o sequestro de carbono e alterações climáticas (Bravo *et al.*, 2008). A literatura aborda métodos exactos (Borges *et al.* 1997; Diaz-Balteiro & Romero, 1998 e 2003; Palahi & Pukkala, 2003; Bravo *et al.*, 2008) e heurísticas (Falcão e Borges, 2005; Gonzalez *et al.* 2005) para representar e resolver problemas de planeamento do ecossistema do montado. Existe também alguma experiência com o desenvolvimento e aplicação de SAD para a gestão de florestas Mediterrânicas (Borges *et al.*, 2003; Palahí *et al.*, 2004; Falcão & Borges, 2005). Na sua maioria foram desenvolvidos com intuito de investigação e demonstração. A plataforma protótipo – MFLOR – (Borges *et al.*, 2008) da qual resultou o presente trabalho esta a ser usado em Portugal pela Direcção Geral da agricultura (DRAPAL).

O conteúdo da presente pesquisa segue nesse sentido e é um estimulante contributo para aprofundar conhecimentos e fomentar o debate sobre as matérias de maior actualidade do desenvolvimento de aplicações tecnológicas de apoio à gestão de Florestas Mediterrânicas.

1.2. Objectivos

O ecossistema do montado trata-se de um sistema florestal multifuncional e multi-usos por excelência. A complexidade da sua gestão advém do facto do proprietário ter de decidir entre usos alternativos e complementares do solo. Estas decisões têm de contemplar a articulação entre os objectivos económicos da exploração do montado e a preservação dos valores cultural, social e ecológico. O mosaico de dados apresentado, promove uma situação particular que foi fundamental para a selecção da área de actuação – a Região do Alentejo mas, sem dúvida pela evidência do tema, que suscitou a curiosidade científica para desenvolver com motivação a presente pesquisa.

Em sinal de interesse pelo aprofundamento de uma matéria tão complexa e inesgotável como esta o objectivo geral traçado para a dissertação encontra na questão seguinte a sua linha mestra de orientação: **Que montado queremos e como consegui-lo?** Este trabalho dá ênfase especial a questões como estas, e às técnicas de apoio à decisão, que permitem responder ou proporcionar a estrutura necessária para uma análise adequada.

Pretende-se ter uma estimativa dos valores monetários dos fluxos do ecossistema (de madeira e cortiça) e stocks médios de carbono. Esta estimativa utiliza os custos das operações florestais (plantação, regeneração, desbaste e descortiçamento) e os lucros (valor monetário dos produtos: madeira e cortiça) associados a cada estratégia de gestão.

A escolha do tema pela preocupação crescente com os acontecimentos sobretudo numa região em que o montado mantém uma relação de proximidade com o sector agro-florestal. Ambicionando, com os modelos e sistemas de informação aqui apresentados, contribuir para a melhor compreensão, gestão e previsão das futuras necessidades dos ecossistemas do montado.

O presente trabalho pretende implementar uma ferramenta de apoio (SAD) ao planeamento de áreas de montados de sobro e azinho existentes na região do Alentejo, o que requer um conhecimento consistente dos produtos associados ao ecossistema do montado, bem como das particularidades das operações florestais a ele associado.

A apresentação de técnicas de gestão florestal para um sistema da complexidade dos montados de sobro e azinho, num horizonte temporal de 40 anos reforçando o papel determinante da interacção entre os vários indicadores do montado. A criação de um sistema de decisão voltado para a análise de potencial dos fluxos de produtos e indicadores relevantes na gestão do montado, baseada em modelos matemáticos de apoio à decisão, tendo em linha de conta parâmetros de natureza económica e ecológica é o objectivo e tema fundamental da presente tese.

Para tal, vários objectivos intermédios foram concretizados:

- Desenvolvimento de um modelo de optimização ao nível do planeamento estratégico, recorrendo à utilização da programação linear como técnica de selecção de alternativas de gestão.

- Desenvolvimento de uma aplicação tecnológica - Sistema de Apoio à Decisão para planeamento da gestão operacional, tática e estratégica em áreas florestais de Ecossistemas Mediterrânicos.

Com intuito de dar respostas as problemáticas anteriormente expostas, como já foi ressaltado anteriormente, a presente tese dá ênfase à programação e apresentação de um sistema de apoio à decisão (SAD), que permitirá encontrar valores para indicadores importantes na gestão dos montados. O SAD permitirá criar diferentes cenários estratégicos de gestão, bem como ter em conta factores económicos.

Este trabalho procura apresentar técnicas que permitam ao gestor de recursos florestais desenvolver modelos que sustentem tecnicamente as suas decisões. Com esta abordagem multidisciplinar é possível definir os indicadores económicos e ecológicos, considerados fundamentais para rentabilizar a produção e aumentar a sustentabilidade das práticas florestais dos montados.

Tem como finalidade servir para a gestão dos montados de sobro de forma sustentável e destina-se a produtores florestais, em particular gestores e proprietários de áreas de montado de sobro, e a associações de produtores, mas poderá também interessar nomeadamente a entidades de investigação e ensino, empresas fornecedoras.

1.3. Metodologia geral

A metodologia de base que se encontra subjacente a este estudo parte do geral para o particular⁵, suportada por uma componente de revisão bibliográfica e outra de aplicação prática decorrente do exercício de desenvolvimento de um modelo de optimização e de um sistema de informação, combinando metodologias e técnicas de investigação operacional e de optimização, que adiante, no espaço próprio para o efeito, se explanará.

Com efeito, para se cumprir os objectivos esboçados foram adoptadas as seguintes orientações:

Contextualização teórica: efectuada através de revisão bibliográfica, sobre as teorias de suporte com destaque para a definição e contextualização de conceitos centrais para apoio à compreensão integral do conteúdo da tese;

Recolha e pré-tratamento de dados: recolha de informação e dados relevantes para a elaboração do estudo, sua análise e validação para a compreensão do ecossistema

⁵ Das reflexões teóricas ao caso de estudo.

montado e do seu contexto sócio-económico, com base em dados oficiais, estatísticas e diversos instrumentos de planeamento do território que mereceram especial atenção. A abordagem que é dada, no âmbito da presente tese, ao sobreiro é algo diferente daquela que é dada à azinheira. No caso do sobreiro, centramo-nos sobretudo na produção de cortiça, dada a posição cimeira do nosso país neste domínio, ao passo que no caso da azinheira reportamo-nos para a madeira;

Apresentação do Modelo matemático: A funcionalidade do modelo básico de gestão florestal com recursos de programação linear é ilustrada aplicando ao problema de gestão do caso de estudo. Formulação do modelo de gestão básico para o caso de estudo com PL;

Programação do SAD: Recorrendo aos mais recentes paradigmas da programação. A abordagem não passou apenas pelo uso de uma linguagem que permitisse a programação por objectos, mas sim de todas as potencialidades que advém deste mesmo paradigma.

Geração de cenários de gestão: Serão criados três cenários base e sobre estes serão aplicados distintos objectivos de gestão, serão consideradas três diferentes taxas de actualização; 2, 4 e 6 % (factor económico) , o horizonte de projecção (factor planeamento) será de 40 anos. A informação gerada por cada cenário, será um dado para o modelo linear proposto, descrito no capítulo III;

Análise dos resultados: Os resultados obtidos pela resolução dos modelos permitirão comparar as diferentes opções de gestão do montado ao nível dos produtos e indicadores. Sendo o principal objectivo comparar o impacto que a taxa de actualização produz na gestão do montado ao nível dos seus produtos e indicadores. Será realizada uma breve análise de sensibilidade ao nível do valor dual associado às restrições de área, por forma a conhecer o valor que cada hectare vale em cada estrato. Tratamento de informação quantitativa e qualitativa recolhida e da elaboração de quadros explicativos, sucintos e integrados das realidades estudadas em cada cenário alternativo;

Propostas finais: Definição de opções estratégicas com base na articulação de elementos anteriores e da reflexão própria. Recentes contribuições são apresentadas

e discutidas no contexto das mais modernas tendências da pesquisa voltada para a gestão sustentável de recursos florestais.

Deste modo, a tese proposta tem como ferramenta base os modelos e sistemas de informação e incide especialmente sobre a Avaliação do efeito de diferentes modelos de gestão dos montados sobro e azinho ao nível da valorização comercial da produção cortiça e lenho, respectivamente na economia e no equilíbrio de stock médio de carbono; criando as condições para que o trabalho se desenvolva numa plataforma pluridisciplinar de modo a que resulte num instrumento de qualidade para apoio e orientação técnica de estruturas locais especializadas na implementação e dinamização de instrumentos de planeamento dos recursos florestais.

1.4. Estrutura da tese

Na presente dissertação são descritos os aspectos referidos no índice, sendo ao longo do texto, indicadas as referências bibliográficas onde poderão ser encontrados mais pormenores, explicações e conclusões relativamente a cada um dos assuntos referenciados.

A elaboração da dissertação está dividida em fases distintas, dependentes e cronologicamente ordenadas. A estrutura da tese traduz-se num conjunto de 5 capítulos que se complementam de forma a fazer uma descrição abrangente:

O **Capítulo I**, inicia-se com esta “Introdução” integrando o enquadramento e revisão de literatura nos temas centrais com o intuito de evidenciar a importância do tema proposto, apresentando as motivações, objectivos e contribuições da tese, metodologia geral adoptada e organização do documento;

O **capítulo II** onde é introduzido o caso de estudo desta dissertação para ilustração futura da aplicação das técnicas que vão sendo tratadas ao longo do trabalho. O seu enquadramento é descrito em três partes fundamentais:

I. Montados,

II. Planeamento integrado do montado,

III. Ferramenta de planeamento

Este capítulo apresenta numa primeira parte “Caracterização dos Montados” os aspectos gerais relacionados com montados de sobro e azinho, como a evolução em termos de ocupação, caracterização dos seus ecossistemas, principais

indicadores económicos e ambientais e operações silvícolas. Reporta-se ainda, a descrição da presença quantitativa/qualitativa destas duas espécies na região do Alentejo. Na segunda parte de “Planeamento”, a formulação fundamental dos modelos de programação linear que são parte integrante do sistema de apoio à gestão de recursos florestais, conceitua e formaliza os procedimentos práticos descrevendo o modelo matemático, primeiramente de âmbito geral e seguidamente relativo ao caso de estudo tendo em linha de conta as restrições a aplicar. É dado ênfase às consequências dessa abordagem sobre o valor e fluxos de produção total da floresta; Num último ponto “Ferramentas de planeamento”, serão apresentadas algumas técnicas de implementação da aplicação tecnológica de apoio a gestão florestal – MfLOR.

Um **terceiro capítulo**, dedicado numa primeira fase à apresentação da ferramenta de apoio desenvolvida - MFfOR. As ilustrações apresentadas tentam apoiar de forma apelativa, os textos respectivos e foram o resultado de um laborioso trabalho de programação; numa segunda fase a apresentação de todos os cenários de gestão obtidos são analisados e comparados mediante parâmetros económicos e ecológicos, seguindo-se uma síntese conclusiva sobre a comparação entre os vários cenários de gestão para os ecossistemas do montado.

Um **último capítulo**, com uma síntese conclusiva tendo em conta numa primeira parte a apresentação de um “diagnóstico ao sistema de informação desenvolvido” sucinto e detalhado que permita cumprir o objectivo determinado, tecendo as principais e mais relevantes considerações finais; numa segunda fase, algumas tendências de pesquisa na área de gestão de recursos florestais com sugestões para futuros desenvolvimentos em relação aos assuntos abordados na tese.

MATERIAL E MÉTODOS

2.1. Área de estudo

2.1.1. Montados

Constituindo os montados e outros povoamentos de sobreiro e de azinheira cerca de um terço da floresta nacional, a política florestal portuguesa não pode deixar de considerar como um dos seus principais propósitos a manutenção e valorização deste tipo tão particular de floresta. Para tal concorre também de forma decisiva o seu indubitável valor ecológico, conferido pela função protectora do coberto arbóreo e pela elevada biodiversidade que sustentam.

Os montados, um tipo peculiar de povoamento florestal, sendo sistemas de produção e não – como alguns poderão julgar – formas evolutivas mais ou menos artificiais do bosque primordial das regiões que hoje ocupam, foram criados, num passado ainda relativamente recente, porque os seus proprietários viram vantagem económica em fazê-lo. Subsistem actualmente porque, apesar das vicissitudes decorrentes da sucessão das eras económicas, continuam ainda a ter interesse na sua manutenção.

A prova da importância dos factores económicos no desenvolvimento dos nossos montados é dada ainda pela estreita correlação entre a evolução da valia económica dos seus principais produtos e o historial do seu crescimento e decréscimo, em que, curiosamente, montado de sobreiro e montado de azinho parecem ter uma certa tendência para se alternar.

A constatação de que alguns dos principais problemas que hoje se verificam na nossa floresta de sobreiro e azinheira são motivados ou, pelo menos, agravados por práticas de gestão menos adequadas.

2.1.1.1. O Sobreiro e a Azinheira

O **sobreiro** (*Quercus suber*), é uma espécie florestal da família do carvalho que se distribui pela zona mediterrânica onde se faz sentir maior influência Atlântica, estas características ocorrem sobretudo em Portugal, pelo que é este país que tem melhores condições para o sobreiro, que se encontra distribuído por todo o território continental, excepção nas terras de alta altitude. O sobreiro é uma árvore preciosa e segundo o maior investigador, de todos os tempos, da ciência suberícola, Vieira Natividade em “...condições normais nenhuma árvore dá mais, exigindo tão pouco.” (Natividade,

1950). Cultivada no Sul da Europa e a partir da qual se extrai a cortiça. É devido à cortiça que o sobreiro tem sido cultivado desde tempos remotos. A extracção da cortiça não é (em termos gerais) prejudicial à árvore, uma vez que esta volta a produzir nova camada de "casca" (*súber*) com idêntica espessura a cada 9 - 10 anos, período após o qual é submetida a novo descortiçamento. Cerca de 40 a 50 arv/ha equivalente a 600 - 1000 Kg de cortiça cada nove anos. O sobreiro também fazia parte da vegetação natural da Península Ibérica, sendo espontâneo em muitos locais de Portugal e Espanha, onde constituía, antes da acção do Homem, frondosas florestas em associação com outras espécies, nomeadamente do género *Quercus*.

A **azinheira** (*Quercus rotundifolia*) é conhecida em Portugal sobretudo como uma árvore do Sul, associada às formações abertas características do Alentejo. No entanto, a sua área de expansão é bastante mais alargada, o que decorre de alguma plasticidade da espécie, na sua adaptação a diferentes tipos de solo e de clima. (Capelo & Catry 2007). As azinheiras são árvores que chegam a medir até 10 metros, da família das fagáceas, de folhas discolores, ligeiramente espinhosas nos espécimes adultos, flores masculinas em amentos, as femininas em panículas, e frutos ovóides, revestidos, em parte, por escamas. Nativa da região Mediterrânea da Europa e Norte da África, a sua madeira é dura e resistente à putrefacção, sendo largamente utilizada, desde a antiguidade até os dias actuais na construção (vigas e pilares), na fabricação de ferramentas, embarcações e barris para envelhecimento de vinhos.

2.1.1.2. Produtos

Os montados, sendo um ecossistema muito particular, criado pelo Homem, são florestas de sobreiros de equilíbrio muito delicado e que subsistem apenas no Mediterrâneo, Argélia, Marrocos e sobretudo nas regiões a sul da Península Ibérica. No caso de Portugal, país com a maior extensão de sobreiros do mundo (33% da área mundial), o montado é legalmente⁶ protegido, sendo proibido o seu abate e incentivada a exploração, transformando Portugal o principal exportador mundial de cortiça e no fabrico de rolhas.

O montado de sobreiro é um sistema de uso múltiplo agro-florestal típico das regiões planas mediterrânicas – continentais, criado pela intervenção do Homem e com uma

⁶ A lei portuguesa estabelece normas de protecção do sobreiro e azinheira e a legislação florestal de 2009 reforça as restrições do Decreto-Lei n.º 172/88, de 16 de Maio de 1988.

tendência cultural extensiva (Figura 1). No entanto, independentemente do tipo de tipo de sistema em que estão integrados, montados ou sobreiral, os sobreiros são hoje em dia explorados para a produção de cortiça (Costa & Pereira, 2007a). Em Portugal, os montados são responsáveis pela produção de mais de 50% da cortiça consumida em todo o mundo (cerca de 185 000 toneladas de cortiça por ano). A finalidade da cortiça é o fabrico de isolantes térmicos e sonoros de aplicação variada, mas especialmente na produção de rolhas para engarrafamento de vinhos e outros líquidos. Pode também ser utilizada na construção civil ou em vestuário. A sua extracção é renovável a cada nove anos.

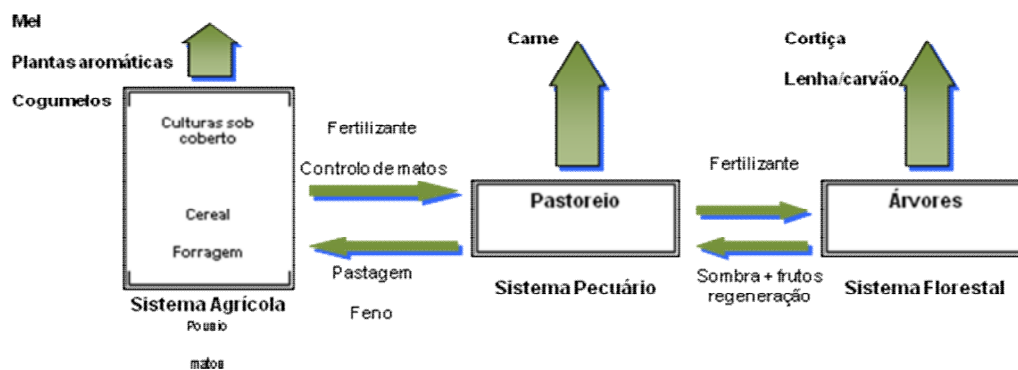


Figura 1- Esquema de multifuncionalidade dos montados de azinho e sobreiro com identificação dos principais sistemas de exploração e respectivos produtos

(Adaptado de Pinto Correia e Vos, 2004).

A importância económica desta exploração tem vindo a aumentar nos últimos anos, levando a que a rentabilidade dos sistemas dependa quase exclusivamente da cortiça, pelo que o montado de sobreiro tende a transformar-se gradualmente num sistema cultural de monofuncionalidade, orientado para aumentar a produtividade da cortiça. (Costa & Pereira, 2007a).

No entanto do montado pode extrair-se outra riqueza:

Riqueza natural: O ecossistema do montado propicia alimento e abrigo a várias espécies de aves e é o *habitat* onde o lince ibérico pode ser reintroduzido. O ecoturismo é uma actividade de futuro.

Suicultura: Nos montados, para além do aproveitamento dos produtos com origem

na componente florestal, existe uma forte componente de pastagem extensiva. A qualidade da carne de porco preto alentejano não seria a mesma sem o montado. As varas alimentam-se de bolota, e semente do sobreiro.

Contra a erosão: O Alentejo é a região mais ameaçada pela desertificação dos solos. A manutenção do montado contribui para travar este processo, reter a humidade e proteger o solo.

Cereais e plantas: Tradicionalmente, a produção de cereais alterna com a criação de gado e a caça. Lá podem encontrar-se uma grande variedade de plantas aromáticas e medicinais. Metade das 25 mil espécies de plantas da Bacia Mediterrânica vive no montado.

De facto, para além da função produtiva directa já mencionada, os povoamentos suberícolas também produzem bens e prestam importantes serviços ecológicos à sociedade que, por não terem um mercado no sentido económico do termo, são de difícil contabilização. Muitos desses serviços são comuns a outros tipos de floresta, sendo que outros são específicos dos sistemas suberícolas.

Entre os primeiros destacam-se:

- a fixação do carbono na biomassa perene, contribuindo para contrariar a tendência para o aumento do teor de dióxido de carbono na atmosfera e para reduzir o muito nocivo “efeito de estufa” daí resultante;
- a libertação de oxigénio para a atmosfera e a filtração de poeiras atmosféricas e gases nocivos, favorecendo a qualidade e pureza do ar;

A este conjunto de importantes serviços, generalizáveis a outras formas de ocupação silvícola, somam-se, no caso dos montados de sobreiro, as suas funções específicas de conservação de um raro, sensível, diversificado e rico ambiente natural e de barreira à expansão da desertificação física, que ameaça uma parte das regiões mediterrânicas.

Os azinhais densos são actualmente raro em Portugal, correspondendo a maioria da área de azinheira a “montados” de azinho, ou seja estrutura abertas, em parque, submetidas a um regime agro-silvo-pastoril correspondente a um sistema de agricultura específico. (Capelo & Catry 2007).

Nos nossos dias, a madeira de azinho é ainda utilizada como lenha e na fabricação de carvão, que continua sendo importante fonte de combustível doméstico em muitas regiões Ibéricas.

Actualmente, configura-se o montado de azinho também como produtor de bens indirectos, mas igualmente importantes para a qualidade de vida como sejam, os cinegéticos, ambientais (biodiversidade) e estéticos (paisagem). A pastorícia foi e continua a ser componente estruturantes desses sistemas, e de modo mais acentuado nos montados de azinho, e a diversos níveis, económico, social e ambiental (Silva, 2007). As bolotas da azinheira são as mais doces de entre as de todos os carvalhos, pelo que se empregaram na alimentação humana, assadas ou para a confecção de farinhas, em épocas de escassez de cereal, à semelhança das castanhas. Como alimento de porcos de “montanheira” (porcos de raça preta) teve (e ainda tem) importância económica local na produção de carnes e enchidos de qualidade. (Capelo & Catry 2007b). Actualmente em Espanha, (em Extremadura) a azinheira cultiva-se nomeadamente pelos seus frutos, as bolotas, servirem como alimento aos porcos para a produção de presunto.

A possibilidade das abelhas realizarem a sua actividade forrageira nas regiões de climas relativamente amenos , como é o caso dos montados de azinho, durante praticamente todo o ano e a existência de flora apícola rica e variada conferem a estes sistemas de ocupação do solo um potencial apícola elevado. (Vasconcelos & Branco, 200).

Apesar da beleza da paisagem resultante, o sistema de montado em que a Azinheira tem sido explorada , tem-se revelado tudo menos sustentável. Ao contrário do seu “primo” sobreiro, a azinheira não dá origem a rendimentos directos importantes , o que fez com que muito poucos proprietários tivessem , altruisticamente, investido esforços em arborizações com esta espécie. Os resultados estão à vista: nos últimos 40 anos perdeu-se mais de um quarto da área de montado de azinho em Portugal. De muito pouco tem assim valido à azinheira, o estatuto de árvore protegida por uma legislação não rigorosa coma a do sobreiro. (Silva, 2007).

2.1.1.3. Operações Silvícolas

O sobreiro e a azinheira são árvores de crescimento lento e, portanto, com baixa produtividade, que é ainda menor ao nível do povoamento devido à baixa densidade arbórea. As práticas de gestão do montado incidem sobretudo na componente herbácea-arbustiva, sendo sujeitos a lavouras frequentes como medida preventiva de fogos e regeneradora de pastos (Pereira *et al.*, 2010).

A silvicultura dos povoamentos de sobreiro orientados para a produção de cortiça pode resumir-se em cinco operações principais, a título indicativo: o repovoamento⁷, as podas⁸, as mobilizações de solo para limpezas de matos, os desbastes e o descortiçamento. (Costa & Pereira, 2007 b). Tanto as silviculturas (sequência de operações florestais) para o sobreiro como para a azinheira englobam desbastes. No caso do sobreiro, as silviculturas também envolvem extracção de cortiça. O primeiro descortiçamento não pode ter lugar até que o perímetro à altura do peito da árvore chegue a 70 cm. Assim, o descortiçamento tem início geralmente quando a idade está entre os 20 e os 30 anos. A actual legislação ainda estabelece uma idade mínima para descortiçamento um ciclo de 9 anos. A primeira cortiça extraída da árvore – a cortiça virgem – possui um valor económico reduzido, assim como a segunda cortiça produzida – a cortiça secundária. É só a partir do terceiro descortiçamento consecutivo que se obtém um cortiça que atinge o seu pleno valor económico – a cortiça amadia – dado que possui as características adequadas para o processamento industrial. O sobreiro é uma espécie de crescimento lento, de grande longevidade, que pode ir até aos 250 – 300 anos. No entanto, a sua explorabilidade económica não vai além dos 150-200 anos, que correspondem a 12 a 14 tiradas consecutivas de cortiça amadia, periodicamente de 9 em 9 anos a iniciar a explorabilidade económica por volta dos 40 anos de idade da árvore (Costa & Pereira, 2007a). Os desbastes ocorrem em anos de descortiçamento, removendo árvores recentemente descortiçadas.

Modelar a gestão destes ecossistemas é uma tarefa particularmente complexa, tanto o crescimento da árvore como a produção de cortiça, devem ser tomadas em consideração (Falcão e Borges, 2005).

⁷ O repovoamento em sobreiro inclui a instalação de novos povoamentos e o adensamento de povoamentos já existentes, quer através do aproveitamento da regeneração natural, quer artificialmente, através de sementeira ou plantação.

⁸ As podas correspondem ao corte de ramos para dar forma e equilibrar as dimensões relativas do fuste e das copas das árvores.

2.2 Caso de estudo

2.2.1 Localização

A actividade agrícola e florestal nos terrenos do Alentejo é um sector preponderante na dinamização do processo de desenvolvimento de toda a região (Figura 2). Os espaços agrícolas e florestais da região do Alentejo têm, em termos económicos e sociais, um papel muito importante na economia portuguesa. Embora com graus de aproveitamento, em termos de criação de valores através da transformação local dessas produções, aquém dos desejados e possíveis, a manutenção deste património regional e o seu enriquecimento constituem preocupações.

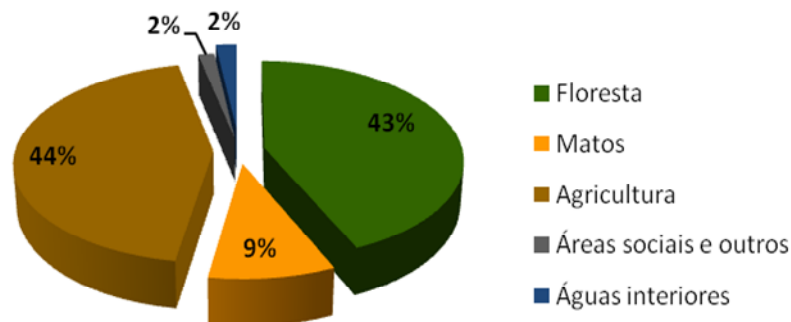


Figura 2 – Distribuição do uso do solo no Alentejo.

(Fonte: IFN 2005/2006 – DGRF)

O Alentejo, região situada no centro/sul de Portugal, onde o ecossistema predominante é o mediterrânico, é constituído essencialmente por montados de sobro e azinho, que representam cerca de 49% e 31%, respectivamente da área florestal do Alentejo (Figura 3).

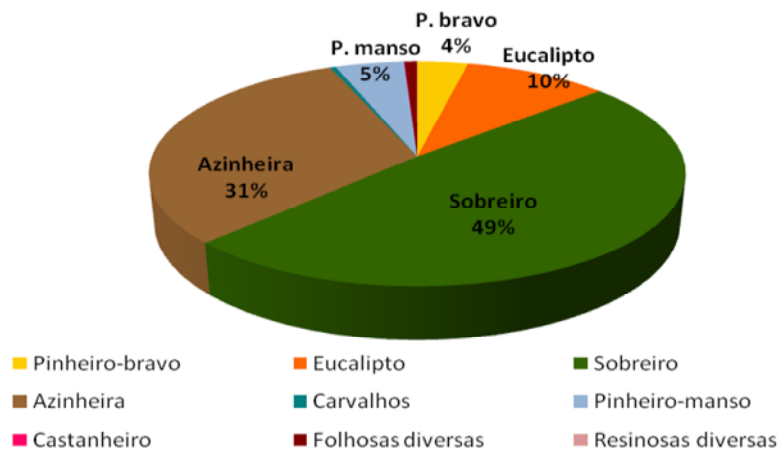


Figura 3 – Áreas florestais por espécie no Alentejo.
(Fonte: IFN 2005/2006 – DGRF)

Embora existam manchas de sobreiros em quase todo o território, 70% encontra-se concentrado no Alentejo com 527.2×10^3 hectares, com maior presença actualmente no Alentejo central (179.2×10^3 hectares). De facto, é no Alentejo e Vale do Tejo regiões situadas no centro/sul de Portugal que na última década se registou uma evolução positiva destes ecossistemas (Figura 4).

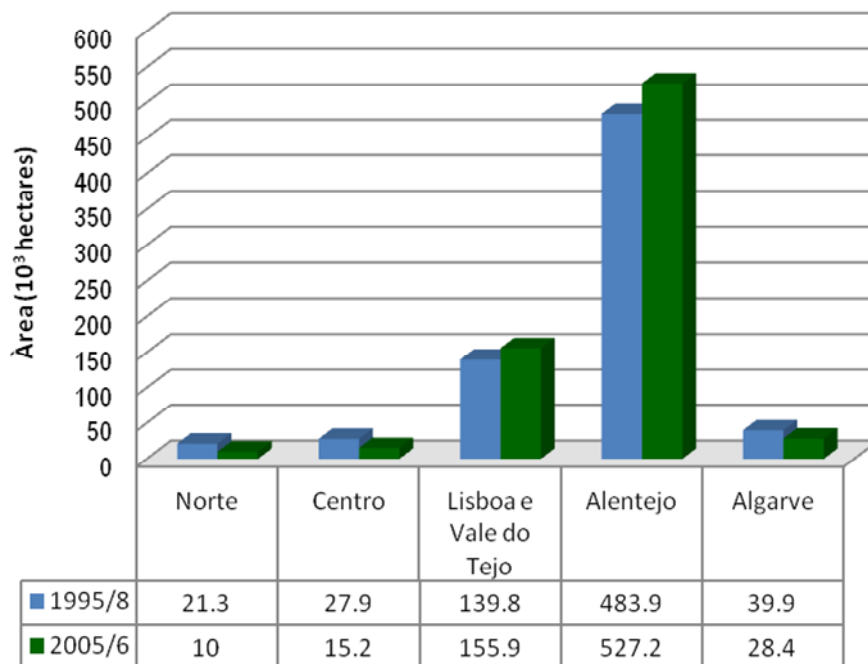


Figura 4 – Distribuição do sobreiro em Portugal
(Fonte: IFN 2005/2006 – DGRF)

Por seu turno, verifica-se um decréscimo da Azinheira nesta região, segundo os dados da 5ª revisão do IFN, esta espécie ocupava 355.2 mil hectares no Alentejo (Figura 5), com maior ocupação no Baixo Alentejo (129 ml hectares).

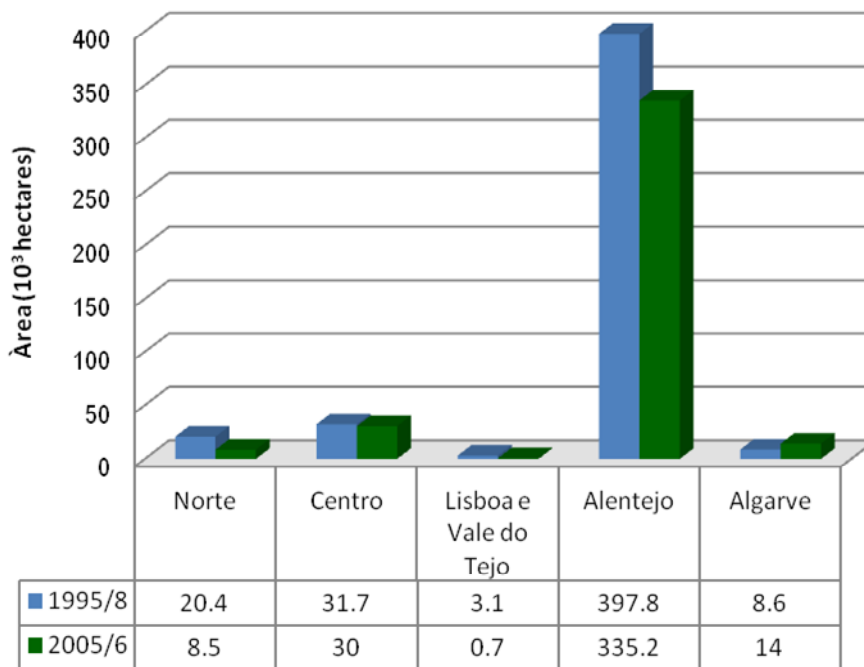


Figura 5 – Distribuição da Azinheira em Portugal (ha)
(Fonte: IFN 2005/2006 – DGRF)

2.2.2 Caracterização

De forma a delimitar a área de estudo, recorreu-se a ferramentas de geoestatística. A selecção foi realizada por diagnóstico da probabilidade de ocorrência de 90% de povoamentos de sobreiro e azinheira, calculada com base nos fotopontos da 3ª Revisão do Inventário Florestal Nacional. Esta informação permitiu delimitar uma área de cerca de 1 milhão de hectares classificados em 23373 polígonos (Borges & Loff, 2007). Este problema de análise estratégica envolveu uma agregação prévia destes polígonos em estratos de áreas não contíguas mas homogêneas em termos de ocupação florestal (Figura 6).

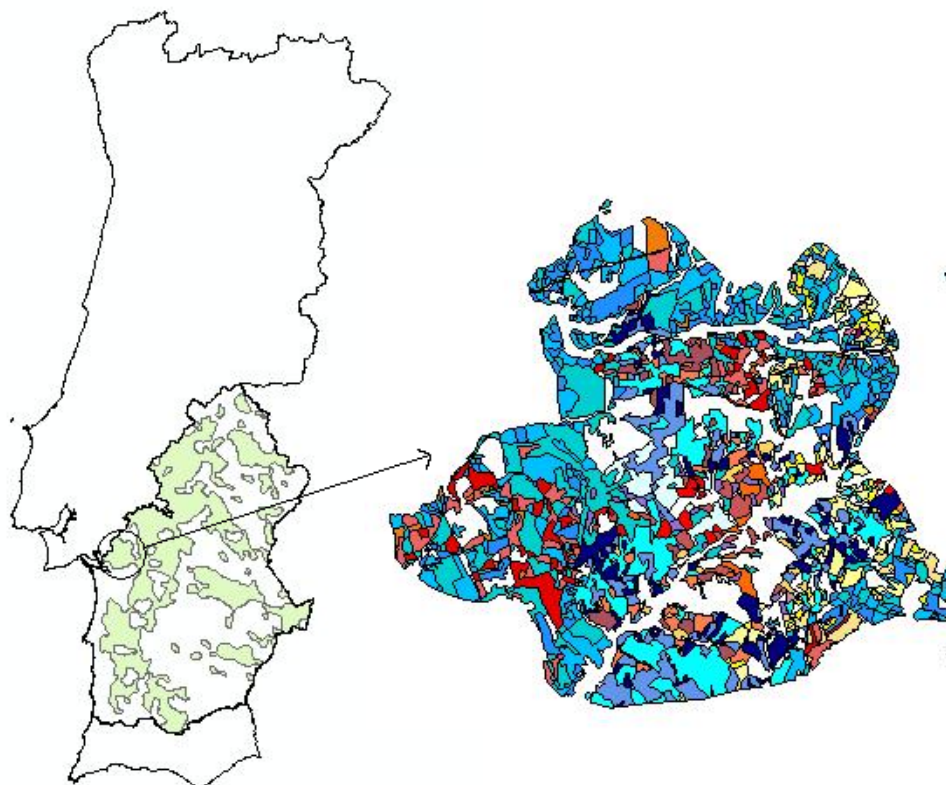


Figura 6 – Área de estudo e exemplo da sua heterogeneidade espacial.

A homogeneidade é definida com base em classes de idade, densidades e tipos de ocupação (espécies florestais dominante e dominada). Um estrato inclui pelo menos um polígono e a agregação baseia-se na classificação dos estratos segundo, seis classes de espécie (dominante/dominada) (Tabela 1), três classes de densidade (Tabela 2) e cinco classes de idade (Tabela 3).

Tabela 1 – Classe espécie dominante/dominada

IDClasse	Espécie Dominante	Espécie Dominada
AzAz	Azinhreira	Azinhreira
AzSb	Azinhreira	Sobreiro
AzOu	Azinhreira	Outra
SbAz	Sobreiro	Azinhreira
SbSb	Sobreiro	Sobreiro
SbOu	Sobreiro	Outra

Tabela 2 – Classe densidade

IDClasse	Densidade
1	10% a 30%
2	30% a 50%
3	> 50%

Tabela 3 – Classe idade

IDClasse	Idade
0	Várias
1	<10
2	10 a 35
3	35 a 60
4	>60

De acordo com os critérios definidos, das 90 combinações possíveis, apenas 84 foram detectadas. Assim, a área de estudo consiste em 84 estratos homogêneos.

A representação alfanumérica definida segue a estrutura que se segue:

<IDClasseEspécie><IDClasseDensidade><IDClasseldade>

Exemplos:

AzAz23 – É um estrato (Puro) composto apenas por azinheiras com densidade entre 30% e 50% e com idade entre 35 a 60 anos.

SbAz14 – É um estrato (Misto) composto por sobreiros (dominante) e azinheiras (dominada) com densidade entre 10% e 30% e com idade superior a 60 anos.

2.3. Planeamento integrado do montado

2.3.1. Caracterização do problema de decisão

Ciente do emaranhado de factores que intervêm na gestão do montado, o decisor tem de definir concretamente o(s) objectivo(s) que pretende atingir com a gestão e, mediante a informação técnica de que dispõe, qual a estratégia para os alcançar, em termos de planeamento, ordenamento e gestão.

Tradicionalmente, o objectivo de gestão do montado era a maximização do rendimento proveniente da produção de cortiça, das culturas cerealíferas e/ou da pecuária. No entanto, mais do que a maximização do rendimento num determinado instante, há que garantir um fluxo de rendimento constante ao longo do tempo, o que se insere num contexto de sustentabilidade económica. Por outro lado, a decisão insere-se num determinado contexto social que terá que ser integrado. Entramos assim no domínio da sustentabilidade social, uma vez que há que ter em conta as vontades, expectativas e necessidades dos vários agentes que intervêm no processo de decisão. As preocupações ambientais e de conservação do espaço florestal, materializadas em vários instrumentos de ordenamento regional, impõem outros objectivos de gestão: a manutenção dos processos e funções do ecossistema ao nível local ou regional, o que insere no contexto da sustentabilidade ecológica.

2.3.1.1. Abordagem genérica

O sector florestal é muito rico em termos de problemas que podem ser modelados e resolvidos usando técnicas de optimização matemática. A forte competição que enfrenta este sector, e o crescimento da capacidade computacional, têm motivado a utilização de modelos de optimização em vários níveis deste sector. Além disso, os modelos recentemente propostos tendem a apresentar um aumento do nível de realismo. Como resultado, existe um interesse crescente por técnicas de optimização em problemas florestais.

Nos últimos anos, avanços significativos sobre diversos aspectos da gestão florestal têm surgido na literatura de investigação operacional (ver, por exemplo, Borges *et al.* 1997, Falcão e Borges. 2005)

Neste contexto, foi desenvolvido um modelo de programação linear, modelo tipo I (Johnson e Scheurman 1977).

Este modelo descreverá uma situação *standard*, e que de agora em diante será chamado de modelo base ou cenário base.

De salientar que um indicador pode ser global ou periódico. Sendo geralmente o global a soma ou a média dos respectivos indicadores periódicos.

Modelo:

$$\text{Max (Min) } INDICADOR^k = \sum_{t=1}^T INDICADOR_t^k \quad (1)$$

Sujeito a,

$$\sum_{j=1}^{M_i} x_{ij} = Area_i, i = 1, \dots, N \quad (2)$$

$$INDICADOR_t^k = \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^{M_i} indicador_{ijt}^k \times x_{ij}, \forall t, k \quad (3)$$

$$x_{ij} \geq 0, \forall i, j \quad (4)$$

Onde,

N – Nº de estratos

T – Nº de períodos no horizonte

M_i – Nº de prescrições da unidade gestão i .

x_{ij} – Nº de hectares da unidade de gestão i geridos com a prescrição j

$Area_i$ – Área da unidade de gestão i .

$indicador_{ijt}^k$ – Valor obtido para o indicador k na unidade de gestão i usando a prescrição j no período t .

A equação 1 define a função objectivo. A equação 2 indica que toda a área de cada unidade de gestão deve ser gerida. A equação 3 indica quantidades obtidas de um indicador genérico em cada período. A equação 4 indica a não negatividade das variáveis.

Um olhar mais atento sobre o modelo descrito, permite constatar que, não reflecte ainda qualquer objectivo de gestão, à excepção do indicador que se pretende otimizar. Observe-se que o modelo descrito pode ser decomposto em vários submodelos, um para cada estrato, uma vez que não há restrições que liguem

variáveis correspondentes a estratos distintos. Como consequência a solução natural deste modelo consiste em escolher, de forma independente para cada estrato, a prescrição que otimiza o indicador escolhido para função objectivo. Este tipo de cenário dá-nos uma ideia da grandeza dos valores para cada indicador.

As restrições de ligação entre os vários estratos decorre a quando da definição de restrições para toda a área em estudo e a modelação é feita com a inclusão de restrições adicionais ao modelo base e nesta conjectura foram considerados dois grandes tipos de restrições: as de fluxo e as limitantes.

Restrições limitantes:

As restrições limitantes obrigam a que determinado indicador tome valores acima ou abaixo ou mesmo iguais a uma constante definida pelo decisor.

Temos então como possíveis restrições adicionais:

Indicador global

$$INDICADOR^k \leq (\geq, =)const \quad (5)$$

Indicador periódico

$$INDICADOR_t^k \leq (\geq, =)const \quad (6)$$

Restrições de fluxo:

Dentro das restrições de fluxo são definidos dois grupos: as de fluxo não decrescente que obrigam um indicador a tomar sempre valores superiores ou iguais entre períodos consecutivos e as flutuantes que permitem que os valores de determinado indicador possam variar entre períodos consecutivos dentro de certos limites, geralmente uma percentagem.

Neste tipo de restrições os indicadores alvos são sempre periódicos e as possibilidades para estes casos são:

Fluxos não decrescentes

$$INDICADOR_t^k \leq INDICADOR_{t+1}^k, t = 1, \dots, T - 1 \quad (7)$$

Mais genericamente,

$$INDICADOR_t^k \leq (1 + \alpha) \times INDICADOR_{t+1}^k, t = 1, \dots, T - 1 \quad (8)$$

$$\alpha \in [0,1]$$

Fluxos flutuantes

$$INDICADOR_t^k \leq (1 + \alpha) \times INDICADOR_{t+1}^k, t = 1, \dots, T - 1 \quad (9)$$

$$INDICADOR_t^k \geq (1 - \alpha) \times INDICADOR_{t+1}^k, t = 1, \dots, T - 1 \quad (10)$$

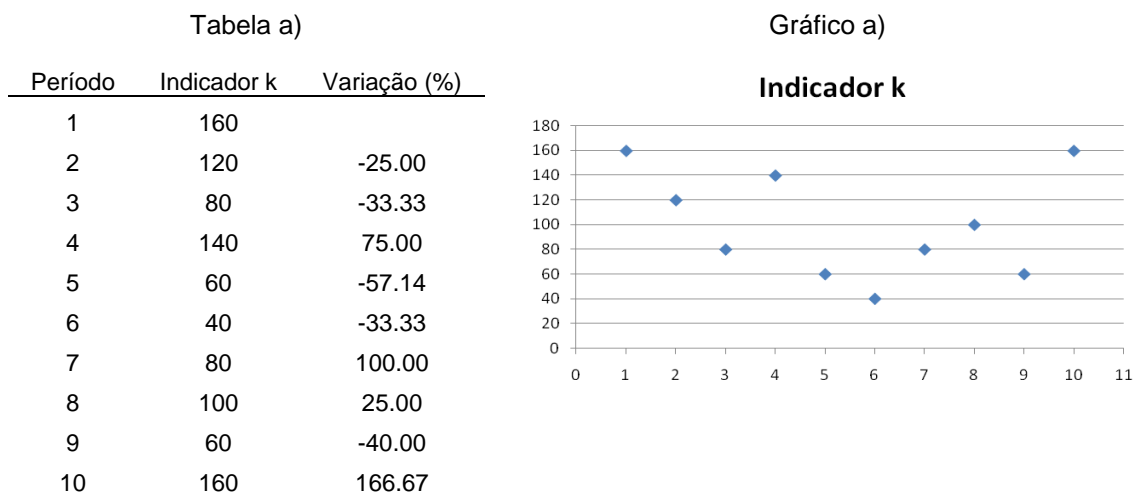
$$\alpha \in [0,1]$$

A inclusão deste tipo de restrições torna, em geral, a gestão da floresta mais sustentável, não permitindo grandes oscilações de indicadores entre períodos consecutivos.

Qualquer combinação das restrições (5) - (10) é válida para ser integrada no modelo base.

Os exemplos seguintes mostram alguns possíveis efeitos que estes tipos de restrições causam nos indicadores periódicos e consequentemente no respectivo indicador global.

Supondo que estamos num caso em que estão definidos 10 períodos de planeamento e que os valores obtidos para um determinado indicador k em cada período são os que constam na tabela a), o gráfico a) mostra a oscilação deste indicador sem estar sujeito a qualquer tipo de restrição.

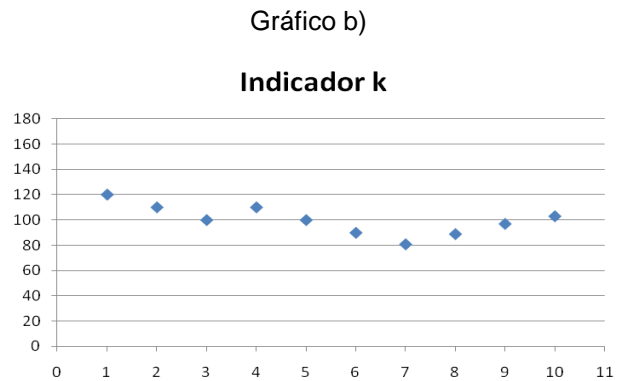


A tabela e gráfico b) mostram o resultado da inclusão de uma restrição de fluxo flutuante de 10%, uma restrição limitante de menor ou igual sobre o período 1 com a

constante igual a 120 e ainda uma restrição ao indicador global indicando que se pretende manter o valor total obtido.

Tabela b)

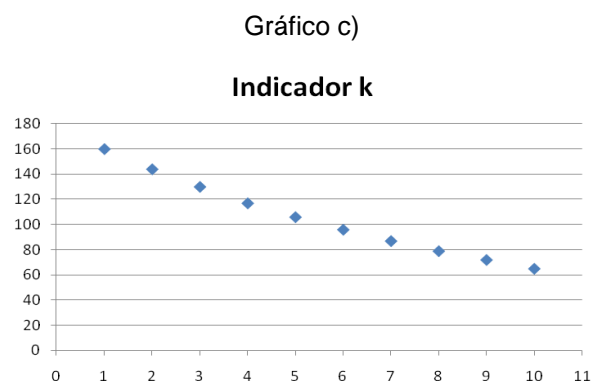
Período	Indicador k	Variação (%)
1	120	
2	110	-8.33
3	100	-9.09
4	110	10.00
5	100	-9.09
6	90	-10.00
7	81	-10.00
8	89	9.88
9	97	8.99
10	103	6.19



Outro exemplo e tomando como referência os dados da tabela a) mas, agora aplicando apenas uma restrição de fluxo flutuante de 10%, dois casos extremos podem ocorrer, ou seja, de período para período apenas acréscimos ou apenas decréscimos (tabela e gráfico c)) ocorrem.

Tabela c)

Período	Indicador k	Variação (%)
1	160	
2	144	-10.00
3	130	-9.72
4	117	-10.00
5	106	-9.40
6	96	-9.43
7	87	-9.38
8	79	-9.20
9	72	-8.86
10	65	-9.72



Com o exemplo anterior conclui-se que, as restrições de fluxo flutuante podem não ser suficientes para garantir uma gestão sustentável, tomando as restrições limitantes um papel não menos importante para a obtenção desse objectivo.

2.3.1.2. Abordagem no caso de estudo

O planeamento em gestão florestal, tal como em outros sectores de actividade como o ferroviário, rodoviário, etc ..., baseia-se em 3 níveis temporais de planeamento.

Planeamento estratégico: longos períodos de tempo (20 anos) e atende a questões como o fornecimento de madeira a longo prazo, recuperação e desenvolvimento de habitats, necessidade de adquirir mais terra.

Planeamento tático: períodos médios de 1 a 5 anos e atende a questões como desenvolvimento de acessos e rede viária, contratação de trabalho, orçamentos.

Planeamento operacional: curtos períodos de tempo que vão de meses a 1 ano e atende a questões como corte de árvores, mitigação de impactes na exploração florestal.

Associados a estes planeamentos, é frequente definir períodos de revisão dos mesmos. No caso de planeamento estratégico (planeamento a longo prazo), é frequente que a revisão deste ocorra no período associado ao plano tático (planeamento a médio prazo). A duração do plano operacional (planeamento a curto prazo) no âmbito deste sector e mais concretamente das espécies florestais envolvidas neste caso de estudo é quase sempre anual, que é também visto como a duração para a revisão do plano tático. Estas três dimensões vão interagindo entre si, com relações de influência, de gestão, de controlo e de impacto, como se mostra na Figura 7.

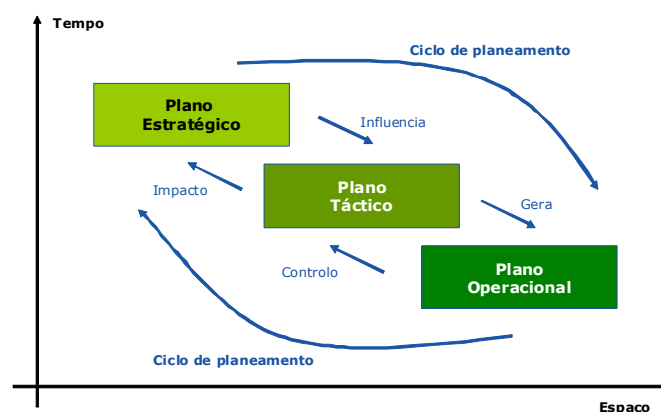


Figura 7 – Diagrama de influências no planeamento florestal

Tendo por base a informação disponível sobre a área abrangida, quer de natureza florestal quer legislativa, estão reunidos os factores que enquadram este trabalho no plano estratégico do planeamento florestal.

Posto isto, resta então definir, os **cenários** que serão alvo de avaliação, e nesse sentido, dos vários indicadores devolvidos pelo simulador de crescimento e produção foram contabilizados, no modelo base descrito em 2.3.1.: os volumes extraídos de azinho e sobro, os volumes extraídos de cortiça virgem e adulta, o *stock* médio de carbono sequestrado. O objectivo foi a maximização dos rendimentos actualizados dentro do horizonte de projecção.

O Valor Actual Líquido (VAL) tem como objectivo avaliar a viabilidade de um projecto de investimento através do cálculo do valor actual de todos os seus *cash-flows*. Por valor actual entende-se o valor hoje de um determinado montante a obter no futuro. Como qualquer investimento apenas gera *cash-flow* no futuro, é necessário actualizar o valor de cada um desses *cash-flows* e compará-los com o valor do investimento. Para actualizar os *cash-flows* futuros é utilizada uma taxa a que se chama taxa de desconto. Esta taxa de desconto é não mais do que uma taxa de juros sem risco acrescida de um prémio de risco estabelecido para o tipo de projecto em causa.

Assim, o VAL em cada ano foi calculado tendo em conta os rendimentos a cada ano actualizados ao ano de início do planeamento. O cálculo para um determinado ano t é efectuado por meio da seguinte fórmula:

$$VAL_t = \frac{CF_t}{(1+i)^t},$$

onde,

CF é o *cash-flow* no ano t , i é a taxa de desconto

O stock médio de carbono em cada período é calculado em função do carbono sequestrado a cada ano, no entanto este indicador é medido de forma cumulativa, assim foi necessário proceder ao cálculo de um valor médio para o período, por forma a obter um valor aproximado.

A fórmula usada para o cálculo do stock médio de carbono num período T , foi então a seguinte:

$$CARB_T = \frac{1}{p} \sum_{i=1}^p carb_i, \quad T \text{ é um período, } p \text{ número anos no período } T, carb_i \text{ é o}$$

carbono do ano i

Os restantes indicadores são calculados recorrendo a soma aritmética dos valores que se obtêm a cada ano.

A integração destes indicadores no modelo base, permitiu que outros objectivos fossem reflectidos nas opções de gestão, nomeadamente o equilíbrio económico que é garantido com a regularidade dos fluxos de volumes de madeira e/ou cortiça extraídos, aliado ao equilíbrio ecológico que neste estudo é garantido pelo *stock* médio de carbono. Não existindo para o caso de estudo indicadores explícitos que permitam integrar a componente social, esta última não foi tomada em consideração no modelo matemático.

Foram definidos três cenários base, que diferem entre si na taxa de actualização a aplicar aos rendimentos obtidos pela exploração do montado. Como horizonte de projecção foi definido 40 anos e para as taxas 2%, 4% e 6%, os períodos serão de 10 anos para todos os casos (Tabela 4).

Tabela 4 – Síntese da definição dos cenários base.

ID Cenário	Horizonte (anos)	Taxa de desconto (%)
C.40.2	40	2
C.40.4	40	4
C.40.6	40	6

Para geração de **modelos silvícolas**, teve-se em conta a legislação em vigor, nomeadamente as regras associadas à periodicidade em que os descortiçamentos podem ocorrer. Outras, como os desbastes, que estão proibidos pois as espécies em questão estão protegidas pela própria legislação, foi neste estudo considerado. O simulador de crescimento e produção (SUBER) incorporado no SAD, considera na sua rotina de desbaste apenas árvores potencialmente decrépitas ou em fim de vida, e estas por sua vez, a legislação segundo autorização, permite que sejam abatidas.

O descortiçamento pode ser realizado sempre que a idade da cortiça seja superior a 9 anos, neste sentido foram considerados descortiçamentos com idades de cortiça entre os 9 e os 11 anos, ocorrendo aí o fim dos modelos silvícolas associados ao Sobreiro.

Os modelos respeitantes às Azinheiras englobam durações que variam entre os 10 e 12 anos, podendo o desbaste ser realizado se o grau de coberto for de 40%,

50% ou 60% no caso de se tratar de um estrato puro; no caso de se tratar de um estrato misto o grau de coberto considerado foi 20% ou 30%. O desbaste no Sobreiro, segue o mesmo critério podendo ocorrer apenas em anos de descortiçamento.

A regeneração natural considerada (Tabela 5), medida em árvores por hectare e por ano ($\text{arvha}^{-1}\text{ano}^{-1}$), teve em linha de conta o tipo de estrato e a tabela seguinte:

Tabela 5 – Regeneração natural considerada nos modelos silvícolas em $\text{arvha}^{-1}\text{ano}^{-1}$

Dominante	Dominada		
	Azinheria	Sobreiro	Outra
Azinheria	8	3	2
Sobreiro	3	11	2

Assim, temos como **intervenções produtivas** o descortiçamento, que retorna cortiça virgem e adulta e o desbaste que retorna madeira de azinho e de sobreiro, estas geram custos e receitas. Foram ainda consideradas 3 intervenções que geram apenas custos, as gradagens que decorrem de 5 em 5 anos, as desramações que ocorrem na periodicidade do desbaste e/ou descortiçamento têm em conta o número de árvores existentes e ainda as podas que ocorrem de 3 em 3 anos, visto que se considerou a existência de regeneração natural.

A definição de **alternativas de gestão** (prescrições) envolve a combinação de modelos silvícolas específicos de uma espécie florestal, aplicados sucessivamente durante o horizonte de projecção definido, integrando determinados elementos essenciais:

- Definição de objectivos a alcançar (área protegida; distribuição de classes de idade, entre outros);
- Compreensão dos processos históricos de que resultaram composições e estruturas actuais;
- Definição de uma sequência cronológica de operações adequada aos objectivos.
- Quantificação de resultados e condições de interesse que resultam (no tempo e no espaço) da implementação da alternativa de gestão no povoamento (ex: qualidade de habitat, fluxos de volumes, rendimentos, entre um leque de indicadores possíveis).

De salientar, que no âmbito deste trabalho, o não intervir, ou seja, deixar o montado evoluir sem intervenção humana, foi considerado uma prescrição válida. Fornecido unicamente valores relativos a acumulação de carbono.

Os **valores económicos** considerados para as operações florestais e para os preços dos produtos constam nas seguintes tabelas:

Tabela 6 – Custos das operações florestais

Operação	Unidade	Valor
Extracção Cortiça	€/@	0
Gradagem entrelinha	€/ha	38
Desramação	€/planta	0
Poda	€/planta	0
Desbaste Sobreiro	€/planta	7
Desbaste Azinheira	€/planta	7
Plantação Sobreiro	€/planta	0
Plantação Azinheira	€/planta	0

Tabela 7 – Preços dos produtos.

Produto	Unidade	Valor
Cortiça Virgem	€/@	6
Cortiça Adulta	€/@	30
Sobro	€/Ton	20
Azinho	€/Ton	60

Para o cálculo dos coeficientes das variáveis dos vários cenários base será usado o simulador de alternativas de gestão (prescrições) que será desenvolvido no sistema de apoio à decisão. Este simulador irá fornecer valores tendo em conta a agregação da informação contida no caso de estudo e as definições de cada cenário.

Assim, os modelos associados aos **três cenários base** têm a seguinte estrutura:

$$\text{Max } \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^{M_i} \text{val}_{ij} x_{ij} \quad (1)$$

Sujeito a

$$\sum_{j=1}^{M_i} x_{ij} = \text{Area}_i, i = 1, \dots, N \quad (2)$$

$$\text{WOODSbr}_t = \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^{M_i} \text{woodSbr}_{ijt} x_{ij}, t = 1, \dots, T \quad (3)$$

$$\text{WOODIlx}_t = \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^{M_i} \text{woodIlx}_{ijt} x_{ij}, t = 1, \dots, T \quad (4)$$

$$CORKA_t = \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^{M_i} corkA_{ijt} x_{ij}, t = 1, \dots, T \quad (5)$$

$$CORKV_t = \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^{M_i} corkV_{ijt} x_{ij}, t = 1, \dots, T \quad (6)$$

$$CARB_t = \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^{M_i} carb_{ijt} x_{ij}, t = 1, \dots, T \quad (7)$$

$$VAL_t = \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^{M_i} val_{ijt} x_{ij}, t = 1, \dots, T \quad (8)$$

$$x_{ij} \geq 0, \forall i, j \quad (9)$$

Onde,

N – Número de estratos.

T – Número de períodos no horizonte.

M_i – Número de prescrições do estrato i .

x_{ij} – Número de hectares do estrato i geridos com a prescrição j .

$Area_i$ – Área do estrato i .

val_{ij} – Valor actual líquido obtido no estrato i com a prescrição j .

$woodSbr_{ijt}$ – Madeira de sobre extraída no estrato i com a prescrição j no período t .

$woodIlx_{ijt}$ – Madeira de azinho extraída no estrato i com a prescrição j no período t .

$corkA_{ijt}$ – Cortiça adulta extraída no estrato i com a prescrição j no período t .

$corkV_{ijt}$ – Cortiça virgem extraída no estrato i com a prescrição j no período t .

$carb_{ijt}$ – Stock médio de carbono existente no estrato i com a prescrição j no período t .

A equação 1 define o objectivo de maximizar o valor actual líquido. A equação 2 indica que toda a área do estrato deve ser gerida. As equações 3, 4, 5, 6, 7 e 8 indicam respectivamente as quantidades obtidas de madeira de sobre, madeira de azinho, cortiça adulta, cortiça virgem, média de *stock* de carbono sequestrado e valor actual líquido em cada período. A equação 9 indica a não negatividade das variáveis.

De salientar que existem indicadores que competem entre si. Temos por exemplo a extracção de madeira e cortiça a competir com os *stocks* médios de carbono, pois a extracção destes produtos da floresta leva a um menor sequestro de carbono, mais concretamente tem-se: a extracção de madeira de sobre a competir com a extracção de cortiça, se desbastamos árvores para obtenção de madeira, menos cortiça é possível extrair. Outros indicadores que competem entre si, são o valor actual líquido e os *stocks* médios de carbono pois, para obter um maior valor actual líquido obriga a extracção de maiores volumes de produtos da floresta, o que originará um decréscimo nos *stocks* de carbono.

Posto isto, os cenários de gestão propostos para estudo, baseiam-se na sustentabilidade⁹ do montado e tendo em conta que a preservação deste é apenas garantida graças à componente económica, é natural que seja esta a componente a maximizar. Deste modo,, a cada cenário base serão aplicadas numa primeira fase apenas restrições adicionais de fluxo flutuante sobre a cortiça adulta extraída e sobre os *stocks* médios de carbono. A escolha dos indicadores não foi ao acaso, pois a cortiça adulta é o principal, ou o mais valioso produto extraído do montado e a escolha dos *stocks* médios de carbono prendem-se com questões de sustentabilidade ecológica como já referido.

Serão testadas flutuações entre 10% e 15% destes dois indicadores, o que leva à inclusão das seguintes restrições adicionais no modelo base:

$$CORKA_t \leq (1 + \alpha) \times CORKA_{t+1}, t = 1, \dots, T - 1 \quad (10)$$

$$CORKA_t \geq (1 - \alpha) \times CORKA_{t+1}, t = 1, \dots, T - 1 \quad (11)$$

$$CARB_t \leq (1 + \alpha) \times CARB_{t+1}, t = 1, \dots, T - 1 \quad (12)$$

$$CARB_t \geq (1 - \alpha) \times CARB_{t+1}, t = 1, \dots, T - 1 \quad (13)$$

$$\alpha \in \{0.10, 0.15\}$$

As equações 10 e 11 indicam que as quantidades obtidas de cortiça adulta, flutuem entre períodos consecutivos não mais de α %. De forma análoga as equações 12 e 13

⁹ Definido nos conceitos chave pág. V

indicam o mesmo para os *stocks* médios de carbono. A inclusão destas restrições a cada cenário base aumenta o número total de cenários a analisar (Tabela 8).

Tabela 8 – Síntese de cenários a analisar.

ID Cenário	Fluxos (%)	Horizonte (anos)	Taxa de desconto (%)
C.-.40.2	-	40	2
C.-.40.4	-	40	4
C.-.40.6	-	40	6
C.10.40.2	10	40	2
C.10.40.4	10	40	4
C.10.40.6	10	40	6
C.15.40.2	15	40	2
C.15.40.4	15	40	4
C.15.40.6	15	40	6

A questão que agora se pode colocar é: Como conseguir integrar a complexidade do problema de decisão e os objectivos de sustentabilidade, nas suas múltiplas vertentes, no planeamento, ordenamento e gestão do montado?

2.4. Ferramentas de planeamento

Os sistemas de apoio à decisão como ferramentas de planeamento de gestão florestal sustentável, têm características que permitem confrontar eficazmente a complexidade de planeamento de um sistema como o montado de sobro, contribuindo ainda para aprofundar o conhecimento relativo às inter-relações entre os factores biofísicos, económicos e sociais, inerentes ao planeamento.

Os antigos sistemas de apoio à decisão (Borges *et al.* 2003, Falcão e Borges 2005) tiveram de ser adaptados e “alargados” de modo a que novas funcionalidades necessárias para a análise de cenários no montado pudessem ser incluídas. Neste contexto, um SAD consiste num interface computacional caracterizado por uma estrutura modular e deve integrar os seguintes módulos:

Sistema de Gestão de Informação:

Sistemas de gestão de informação associado a um sistema informação geográfica (SIG); consiste em bases de dados relacionais que armazenam e produzem nova informação, nomeadamente de natureza biométrica, faunística, social, económica. Inclui ainda informação geográfica. É a este nível que se realiza a classificação hierárquica do espaço florestal, delimitando as Áreas e Unidades de Gestão.

A informação referente à UG é utilizada como *input* do módulo do Simulador de Alternativas de Gestão.

Simulação:

-a) Simulador de indicadores de crescimento e produção

A definição das alternativas de gestão requer sempre a integração do conhecimento técnico disponível, como modelos de produção e crescimento, modelos de silvicultura e outros modelos referentes a objectivos que não a produção lenhosa, como modelos de gestão de qualidade de *habitat*.

Este módulo pode ser utilizado:

- de forma independente, destinado a gerar apenas uma alternativa a implementar em cada UG. No entanto, o conjunto destas decisões poderá não corresponder ao planeamento óptimo de gestão para a totalidade da área a considerar.
- de forma dependente, para definir todas as alternativas de gestão para a UG, que serão as variáveis de decisão num modelo de gestão. O modelo de

gestão reflecte os objectivos a alcançar e as disponibilidades de recursos para o conseguir (restrições) bem como as interdependências entre as UG's.

-b) Simulador económico

Aplica aos resultados obtidos com a simulação de indicadores de crescimento e produção de custos às operações florestais e preços aos produtos resultantes caso a operação florestal devolva um produto com valor económico no mercado. Na realidade não é um simulador mas, sim um módulo de cálculo.

Optimizador:

A solução do problema, que corresponde à identificação da alternativa de gestão possível ao nível da UG, pode ser obtida, com recurso a técnicas de Programação Linear, ou programação inteira, ou ainda a métodos heurísticos (os métodos heurísticos são técnicas que permitem aproximar soluções sem incorrer em custos computacionais demasiado elevados).

Resultados:

Por fim, com recurso ao módulo de resultados, pode visualizar-se a solução proposta ao nível da UG num determinado momento, através de modelos bidimensionais, tridimensionais do terreno ou gráficos que traduzem a evolução das variáveis dendrométricas ao longo do tempo. Permite a criação de relatórios, visualização de mapas promovendo a disponibilização de informação de natureza espacial, destinado a apoiar a gestão integrada dos espaços florestais à escala da Paisagem.

O processo de desenvolvimento do SAD para análise de cenários no montado, envolveu a conceptualização e implementação de um sistema de informação de gestão que possa armazenar e organizar os dados de 608 parcelas de inventário em 84 estratos na área de estudo. A resultante base de dados relacional em *MicrosoftAccess* INF LOR 2.1¹⁰ engloba 39 entidades e armazena os dados de 3764 árvores de sobreiro e 1637 de azinheira.

O simulador foi adaptado de forma a incluir novos modelos de crescimento e produtividade para o sobreiro e azinheira - SUBER v. 4.0. Estes modelos fornecem

¹⁰ INF LOR 2.1 - Para maior detalhe consultar o relatório de execução do Sistema de Gestão de Informação INF LOR 2.1, no âmbito do projecto INTERREG III A, GEGREN – Documento técnico nº 05/07 do Instituto Superior de Agronomia.

estimativas de madeira e cortiça no caso do sobreiro e de madeira no caso da azinheira; prevêem ainda estimativas de *stock* de carbono na árvore acima do solo. Os modelos foram encapsulados em *FORTTRAN* um arquivo executável que é chamado pelo simulador desenvolvido com o *software Microsoft VisualBasic.NET*. O freeware MapWinGis armazena os dados espaciais dos estratos.

Combinando os dados armazenados na base de dados com os modelos de crescimento e produtividade, o simulador tem um papel fundamental no SAD, pois permite a geração automática para todos os estratos de todas as estratégias que sejam pertinentes para a análise de cenários. Esta informação é formatada como uma matriz de programação linear para posterior otimização por um freeware de programação linear GlpkSol que está integrado no módulo de otimização do SAD.

O SAD proposto, envolve os 4 módulos descritos, que consistem então num *interface* computacional caracterizado por uma estrutura modular e irá integrar em cada módulo as seguintes ferramentas e sistemas de informação:

I. Módulo de Gestão de Informação

Para além da base de dados relacional INfLOR 2.1, o SAD usa ainda outros três sistemas de informação de bases de dados (SIBD) implementados em *Microsoft Access*, que suportam os resultados obtidos pelas ferramentas, assim temos: (1) SILVfLOR, que permitem armazenar os modelos e as revoluções silvícolas geradas, (2) SIMfLOR, armazena e organiza os dados resultantes das simulações e finalmente (3) MATfLOR, que suporta os modelos matemáticos gerados a partir das simulações. Existe ainda uma componente gráfica, que é assegurada por um sistema de informação geográfica (SIG).

II. Módulo de simulação

Envolve quatro ferramentas; (1) gerador de modelos silvícolas e revoluções, (2) simulador de indicadores de crescimento/produção, (3) simulador de indicadores económicos e (4) gerador de indicadores económicos.

III. Modulo de optimização

Este módulo integra duas ferramentas: (1) gerador de modelos matemáticos, (2) *solver* para os modelos matemáticos gerados.

IV. Módulo de resultados

Neste módulo está integrada uma ferramenta que permite a visualização da solução proposta em formato tabular, com recurso a gráficos, visualizador em formato bidimensional.

A interacção entre as ferramentas e os sistemas de informação encontra-se representada na Figura 8. Esta é a estrutura geral do SAD que está implementada na presente tese e que se descreve mais detalhadamente no capítulo dos resultados.

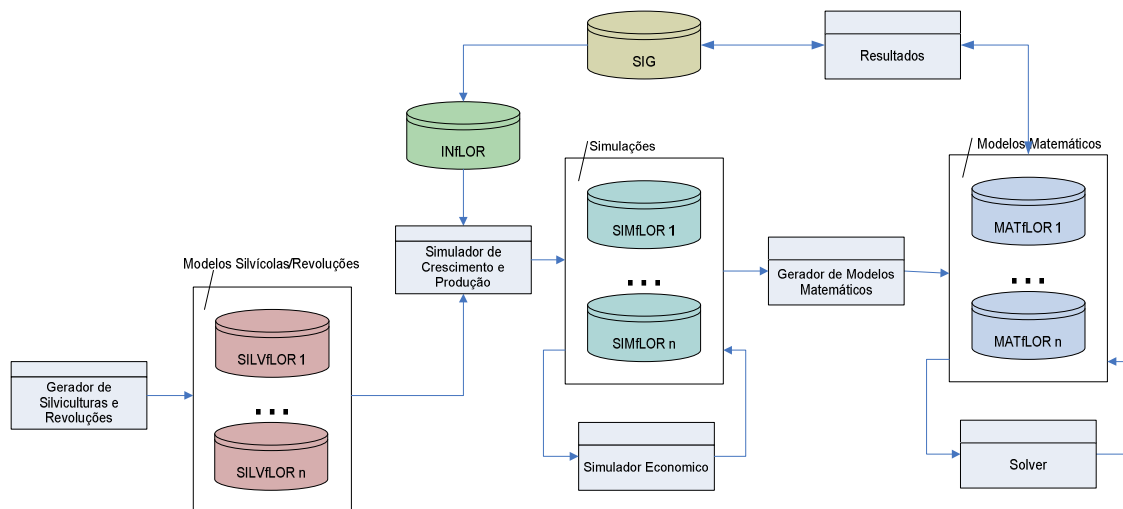


Figura 8– Interação entre as ferramentas e os sistemas de informação.

Cada ferramenta tem a sua função no SAD, todas necessitam de dados de entrada e geram resultados, na maior parte dos casos o resultado de uma ferramenta é usado como dado de entrada de outra, apesar destas dependências o SAD pode ser considerado como uma ferramenta modular, isto é, a utilização de uma ferramenta não implica a necessidade da utilização da ferramenta que lhe gerou os dados de entrada. Uma ferramenta necessita apenas de dados de entrada formatados numa estrutura que conheça, seja ela criada com uma ferramenta ou manualmente.

**ANÁLISE DE RESULTADOS
E DISCUSSÃO**

3.1. Sistema de Apoio à Decisão

Neste item passa-se a apresentar com maior detalhe o SAD desenvolvido para o montado de sobre e azinho, ao nível dos estratos, de acordo com dois dos princípios atrás definidos para a gestão florestal sustentável destes ecossistemas (económico e ecológico).

3.1.1. Conceitos de programação

A componente dos sistemas de informação utilizados no desenvolvimento do SAD, teve em conta os mais recentes paradigmas da programação. Houve a preocupação em encapsular propriedades comportamentos e tipos de dados, por forma a permitir uma mais fácil leitura do código produzido, bem como uma manutenção redefinição e reutilização mais facilitada. Esta preocupação no encapsulamento levou á utilização não apenas de Tipos Abstractos de Dados (ou de Informação TAD ou TAI), mas sim ao recurso ao paradigma da Programação Orientada por Objectos (POO). A abordagem não passou apenas pelo uso de uma linguagem que permiti-se a programação por objectos, mas sim de todas as potencialidades que advém deste mesmo paradigma, tais como:

Herança que nos permite a criação de Classes (Tipo dos Objectos) que “herdam” comportamento e atributos das suas super-classes (Classes “Pai”), podendo na sua implementação acrescentar ou redefenir comportamentos.

Polimorfismo que vem do grego e significa "muitas formas" (poli = muitas, morphos = formas), e nos permite a referência a diferentes classes concretas a partir duma mesma superclasse abstracta/ mais genérica ou interface da qual as subclasses concretas derivem.

Em relação á persistência da informação, foi utilizado o paradigma vigente que são as Base de Dados Relacionais. A Base de Dados foi construída partindo de um modelo conceptual especificado num "Modelo Entidade Associação" a partir do qual se derivaram as tabelas que existem “fisicamente” na BD.

3.1.2. Sistemas de informação de bases de dados

Os três sistemas de informação de bases de dados desenvolvidos para organização e armazenamento de informação recolhida e gerada, foram parte fundamental para o bom funcionamento do SAD.

3.1.2.1. SIBD – SILVfLOR

Este tipo de SIBD serve de suporte a dados referentes a modelos silvícolas e revoluções a aplicar a espécies florestais.

O modelo relacional (Figura 9) foi construído tendo em conta os seguintes pressupostos:

Na gestão de uma floresta, as espécies florestais são sujeitas a modelos silvícolas, estes modelos podem ser de dois tipos distintos: Alto Fuste e Talhadia. Podem ainda ser definidos para povoamentos puros ou mistos. Uma espécie tem sempre modelos silvícolas de Alto Fuste e consoante a espécie, pode ter ou não modelos silvícolas de Talhadia. Os modelos silvícolas são constituídos por operações florestais, sendo que determinadas operações apenas se realizam em um dos tipos e outras em ambos. Estas operações são definidas por parâmetros que indicam de que forma a operação deve ser realizada e por momentos que indicam quando a operação deve ser realizada. Por sua vez e de forma a poder tornar os valores económicos associados às prescrições comparáveis entre si, é necessário criar revoluções florestais.

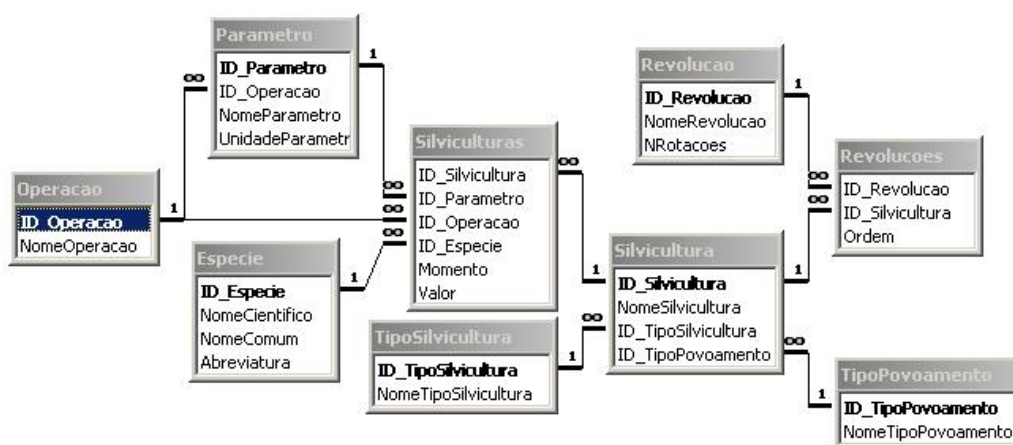


Figura 9 – Modelo relacional do SIBD SILVfLOR.

As nove entidades, de diferentes níveis hierárquicos são descritas no Cap.VI, Anexo – I.

3.1.2.2. SIBD – SIMfLOR

O SIMfLOR (Figura 10) permite organizar de forma estruturada os resultados obtidos pelas simulações de crescimento e produção aplicadas às unidades de gestão constituintes de uma área de estudo. Este SIBD suporta também informação económica resultante do simulador económico aplicado à respectiva simulação de indicadores de crescimento e produção.

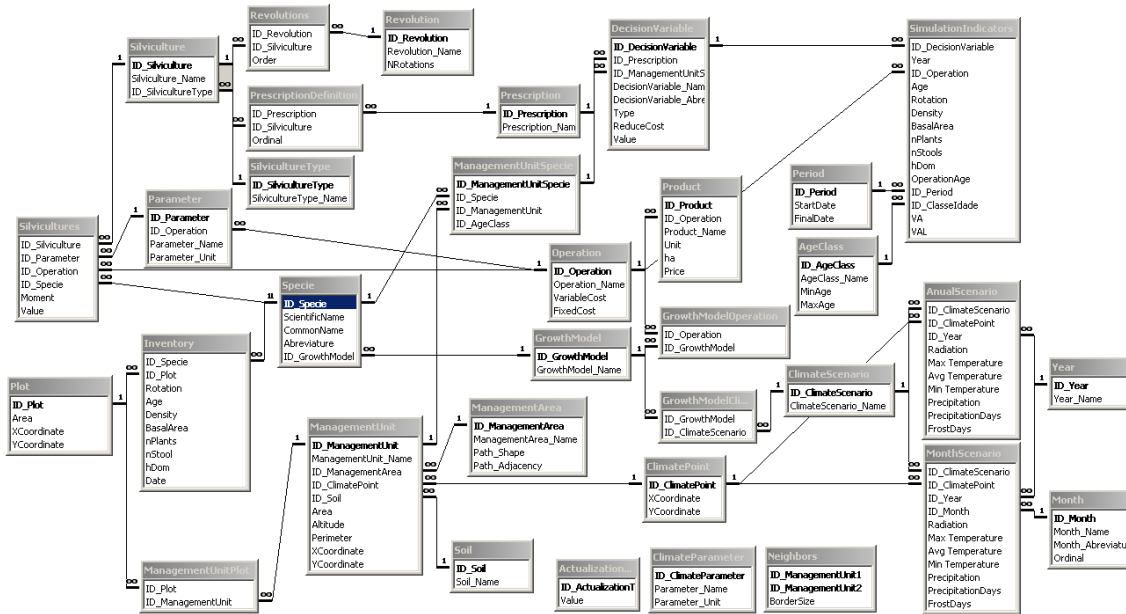


Figura 10 – Modelo relacional do SIBD SIMfLOR.

Estão envolvidas 35 entidades de diferentes níveis hierárquicos.

3.1.2.3. SIBD – MATfLOR

Este tipo de SIBD serve de suporte para a organização dos dados referentes a modelos matemáticos bem como para a solução encontrada.

O modelo relacional (Figura 11) foi construído tendo em conta os pressupostos seguintes:

Num modelo linear para recursos florestais, é possível otimizar um dos possíveis indicadores globais. Estes indicadores globais podem ser definidos à custa dos seus indicadores periódicos, sendo necessário conhecer de que forma o cálculo é feito, pois irá influenciar o coeficiente associado. Haverá tantos indicadores periódicos por indicador global, quantos períodos estejam definidos.

Cada unidade de gestão tem as suas variáveis de decisão. O indicador periódico é definido à custa das variáveis de decisão, sendo necessário conhecer os

coeficientes associados. As adjacências são definidas em cada área de gestão e devem indicar para cada par de unidades de gestão contíguas o tamanho do arco que as une.

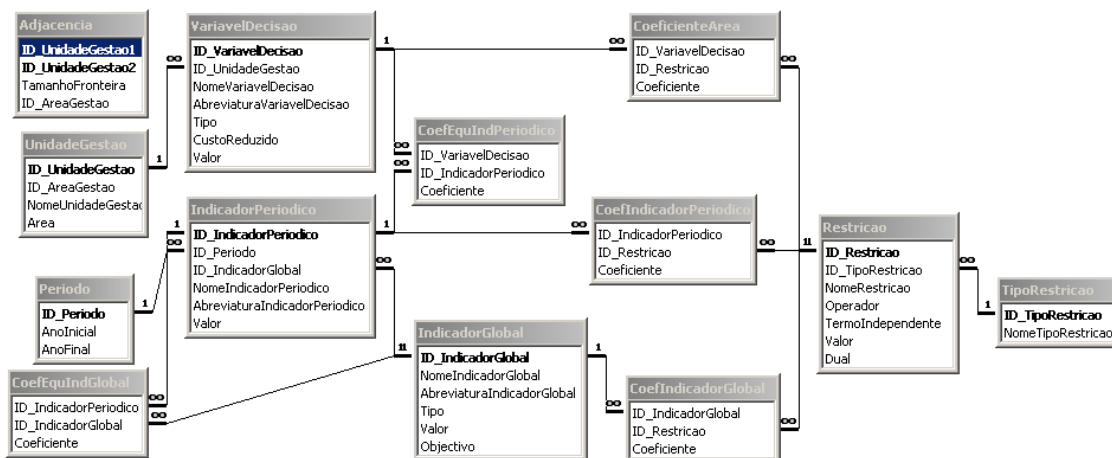


Figura 11 – Modelo relacional de um SIBD MATfLOR.

As 13 entidades necessárias de diferentes níveis hierárquicos são descritas no Cap.VI, Anexo – I.

3.1.2.4. Sistemas de informação geográfica (SIG)

Basicamente o papel do SIG neste SAD, é permitir a visualização da área de estudo e dos resultados obtidos em 2D. Foram criados dois ficheiros com auxílio de um *software* de manipulação de dados geográficos – *ARCGIS 9.1*:

- Shape Name.shp, fornece informação relativa à forma dos polígonos, é o ficheiro que permite a visualização em 2D da área.
- Data Name.dbf, que contém os primeiros dados para definir as unidades de gestão. Contém atributos iniciais relativos aos polígonos.

Tabela 9 – Estrutura da tabela de polígonos.

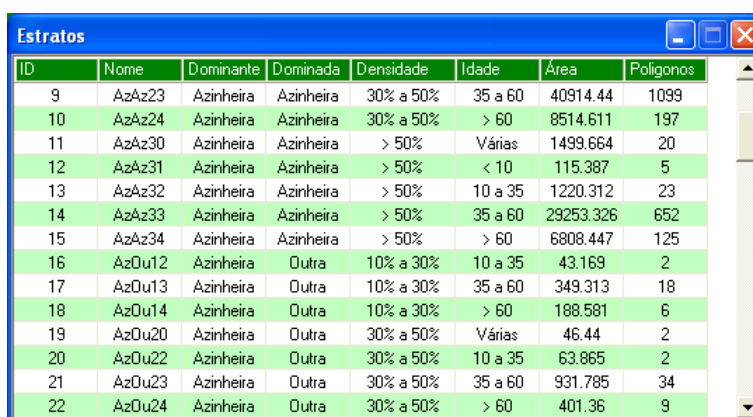
Nome do Campo	Tipo	Descrição
ID_Poligono	Inteiro	Identificador do poligono
ID_UG	Inteiro	Identificador da unidade de gestão
Nome_UG	Texto	Nome da unidade de gestão
Área	Real	Área da unidade de gestão
CoordenadaX	Real	Coordenada x da unidade de gestão
CoordenadaY	Real	Coordenada y da unidade de gestão
Ocupação	Texto	Ocupação florestal da unidade de gestão (ID_Estrato)
Solo	Texto	Tipo de solo

3.1.3. Ferramentas dos módulos

Nesta secção serão abordados sucintamente os formulários desenvolvidos. Estes permitem um ambiente gráfico agradável e simples de utilizar. O acesso a cada um é gradual, pois como referido em 2.4, a utilização de cada módulo depende de certa forma de informação produzida por outro.

3.1.3.1. Visualização da informação disponível

A visualização da informação é disponibilizada, assim que é feita a conexão à Base de dados. Neste módulo foram desenvolvidos 4 formulários que permitem ver informação inicial relevante sobre a área alvo, neste caso específico a região de montado no Alentejo. Na Figura 12 é possível observar um pequeno formulário sobre os estratos considerados.



ID	Nome	Dominante	Dominada	Densidade	Idade	Área	Polígonos
9	AzAz23	Azinheira	Azinheira	30% a 50%	35 a 60	40914.44	1099
10	AzAz24	Azinheira	Azinheira	30% a 50%	> 60	8514.611	197
11	AzAz30	Azinheira	Azinheira	> 50%	Várias	1499.664	20
12	AzAz31	Azinheira	Azinheira	> 50%	< 10	115.387	5
13	AzAz32	Azinheira	Azinheira	> 50%	10 a 35	1220.312	23
14	AzAz33	Azinheira	Azinheira	> 50%	35 a 60	29253.326	652
15	AzAz34	Azinheira	Azinheira	> 50%	> 60	6808.447	125
16	AzOu12	Azinheira	Outra	10% a 30%	10 a 35	43.169	2
17	AzOu13	Azinheira	Outra	10% a 30%	35 a 60	349.313	18
18	AzOu14	Azinheira	Outra	10% a 30%	> 60	188.581	6
19	AzOu20	Azinheira	Outra	30% a 50%	Várias	46.44	2
20	AzOu22	Azinheira	Outra	30% a 50%	10 a 35	63.865	2
21	AzOu23	Azinheira	Outra	30% a 50%	35 a 60	931.785	34
22	AzOu24	Azinheira	Outra	30% a 50%	> 60	401.36	9

Figura 12 – Formulário com informação sobre os estratos

Outro tipo de informação além da caracterização da área e partindo geral do particular, tem-se o inventário disponível. A Figura 13 apresenta o formulário disponível para a visualização deste último.

The screenshot shows the 'Inventário' window with a table of tree inventory data. The table has columns for ID, cod_t, d, ct, du, d_1m, ct_1m, du_1m, hd, hs, hdv, hdt, nbru1, idlcort, ID_extr, and Ar. The data rows correspond to trees numbered 52 through 67.

ID	cod_t	d	ct	du	d_1m	ct_1m	du_1m	hd	hs	hdv	hdt	nbru1	idlcort	ID_extr	Ar
52	1	42.34	0	39.33	0	0	0	7.50	2.02	0	0.00	0	1	0	
53	1	31.99	0	29.49	0	0	0	7.00	1.56	0	0.00	0	1	0	
54	1	31.51	0	29.03	0	0	0	4.75	2.70	0	0.00	0	1	0	
55	1	43.61	0	40.55	0	0	0	4.75	2.17	0	0.00	0	1	0	
56	1	36.76	0	34.02	0	0	0	6.75	2.80	0	0.00	0	1	0	
57	1	14.01	0	12.61	0	0	0	4.75	1.53	0	0.00	0	1	0	
58	1	50.93	0	47.56	0	0	0	6.75	2.48	0	0.00	0	1	0	
59	1	12.41	0	11.14	0	0	0	4.00	1.93	0	0.00	0	1	0	
60	1	14.32	0	12.91	0	0	0	4.00	1.81	0	0.00	0	1	0	
61	1	12.73	0	11.43	0	0	0	4.00	2.22	0	0.00	0	1	0	
62	1	35.01	0	32.35	0	0	0	5.00	2.24	0	0.00	0	1	0	
63	1	39.15	0	36.29	0	0	0	5.50	1.56	0	0.00	0	1	0	
64	1	8.59	0	7.63	0	0	0	4.25	2.16	0	0.00	0	1	0	
65	1	7.64	0	6.76	0	0	0	4.25	2.68	0	0.00	0	1	0	
66	1	11.30	0	10.11	0	0	0	4.25	3.56	0	0.00	0	1	0	
67	1	24.83	0	22.72	0	0	0	4.75	1.89	0	0.00	0	1	0	

Figura 13 – Formulário para visualização de inventário

A Figura 14 refere-se ao formulário desenvolvido para disponibilizar a visualização da área em 2D, bem como um outro auxiliar para aceder a informação do polígonos seleccionados.

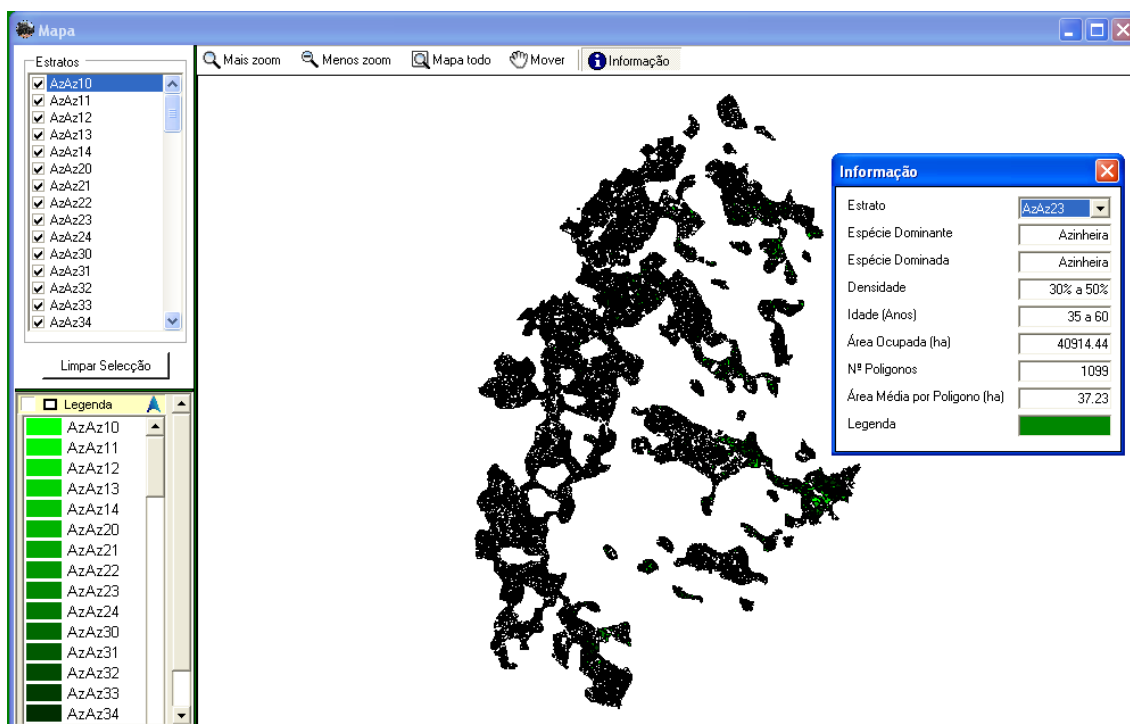


Figura 14 – Formulários de visualização 2D

3.1.3.2. Gerador de silviculturas

Esta ferramenta permite a parametrização das operações silvícolas e com essa informação gera automaticamente todos os modelos silvícolas possíveis para as espécies florestais (Figura 15).

Figura 15 – Formulário para parametrização e geração de modelos silvícolas.

Após escolhida a parametrização na zona (1) e (2), o utilizador pode gerar os modelos silvícolas primindo o botão “Gerar”. A zona (1) refere parametrização para estratos onde o Sobreiro é a espécie dominante, a zona (2) analogamente para estratos de onde domina a Azinheira.

Os modelos gerados para cada estrato e para cada espécie (Figura 16) estão disponíveis no Link “Modelos gerados” (3).

ID	Duração	%Coberto	Regeneração	Gradagem	Desramação	Poda
31	9	20	3	5	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
32	9	30	3	5	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
40	10	20	3	5	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
41	10	30	3	5	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
49	11	20	3	5	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
50	11	30	3	5	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>

Figura 16 – Detalhe dos modelos silvícolas gerados para tipo de ocupação.

3.1.3.3. Simulador de indicadores de crescimento e produção

A finalidade desta ferramenta (Figura 17) é a simulação automática de indicadores de crescimento/produção para as espécies presentes na área de estudo.

Horizonte (anos) 40

Prescrição Nula

Silviculturas a Simular 134735

Prescrições Geradas 71003

Filtros

Classe Ocupação SbSb

Classe Densidade 30% a 50%

Classe Idade 10 a 35

Espécie Sobreiro

Estrato SbSb22

Prescrições Filtradas 4159

ID	Nome	Duração	Ano Final	Seleccionada	Mod. Silvícolas
54121	Pr54121	41	2050	<input checked="" type="checkbox"/>	28 - 28 - 28 - 46 - 46 -
54122	Pr54122	41	2050	<input checked="" type="checkbox"/>	28 - 28 - 28 - 46 - 47 -
54123	Pr54123	41	2050	<input checked="" type="checkbox"/>	28 - 28 - 28 - 46 - 48 -
54124	Pr54124	41	2050	<input checked="" type="checkbox"/>	28 - 28 - 28 - 47 - 46 -
54125	Pr54125	41	2050	<input checked="" type="checkbox"/>	28 - 28 - 28 - 47 - 47 -
54126	Pr54126	41	2050	<input checked="" type="checkbox"/>	28 - 28 - 28 - 47 - 48 -
54127	Pr54127	41	2050	<input checked="" type="checkbox"/>	28 - 28 - 28 - 48 - 46 -
54128	Pr54128	41	2050	<input checked="" type="checkbox"/>	28 - 28 - 28 - 48 - 47 -
54129	Pr54129	41	2050	<input checked="" type="checkbox"/>	28 - 28 - 28 - 48 - 48 -
54130	Pr54130	41	2050	<input checked="" type="checkbox"/>	28 - 28 - 29 - 46 - 46 -
54131	Pr54131	41	2050	<input checked="" type="checkbox"/>	28 - 28 - 29 - 46 - 47 -
54132	Pr54132	41	2050	<input checked="" type="checkbox"/>	28 - 28 - 29 - 46 - 48 -
54133	Pr54133	41	2050	<input checked="" type="checkbox"/>	28 - 28 - 29 - 47 - 46 -
54134	Pr54134	41	2050	<input checked="" type="checkbox"/>	28 - 28 - 29 - 47 - 47 -
54135	Pr54135	41	2050	<input checked="" type="checkbox"/>	28 - 28 - 29 - 47 - 48 -
54136	Pr54136	41	2050	<input checked="" type="checkbox"/>	28 - 28 - 29 - 48 - 46 -
54137	Pr54137	41	2050	<input checked="" type="checkbox"/>	28 - 28 - 29 - 48 - 47 -
54138	Pr54138	41	2050	<input checked="" type="checkbox"/>	28 - 28 - 29 - 48 - 48 -
54139	Pr54139	41	2050	<input checked="" type="checkbox"/>	28 - 28 - 30 - 46 - 46 -
54140	Pr54140	41	2050	<input checked="" type="checkbox"/>	28 - 28 - 30 - 46 - 47 -
54141	Pr54141	41	2050	<input checked="" type="checkbox"/>	28 - 28 - 30 - 46 - 48 -
54142	Pr54142	41	2050	<input checked="" type="checkbox"/>	28 - 28 - 30 - 47 - 46 -
54143	Pr54143	41	2050	<input checked="" type="checkbox"/>	28 - 28 - 30 - 47 - 47 -
54144	Pr54144	41	2050	<input checked="" type="checkbox"/>	28 - 28 - 30 - 47 - 48 -
54145	Pr54145	41	2050	<input checked="" type="checkbox"/>	28 - 28 - 30 - 48 - 46 -

Calendário

Adiciona Adiciona Todas

Remove Remove Todas

Prescrições Seleccionadas 71003

Figura 17 – Formulário para geração de prescrições e simulação de indicadores de crescimento e produção.

O utilizador deverá seleccionar os anos de projecção (1) e tendo em conta os modelos silvícolas definidos são geradas todas as prescrições possíveis. Tanto o número de prescrições como de silviculturas a simular é indicado. São disponibilizados em (2) filtros para selecção e visualização das prescrições geradas para cada estrato. Em (3) é permitido ao utilizador fazer a selecção de quais as prescrições que pretende simular, pode também aceder com detalhe uma prescrição seleccionada premindo em “Calendário”(Figura 18).

Horizonte	Ano Civil	Silviculture	% Coberto	Fim	Regeneração	Gradagem	Desramação	Poda
0	2010	28	40	<input checked="" type="checkbox"/>	11	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
1	2011	28	40	<input type="checkbox"/>	11	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
2	2012	28	40	<input type="checkbox"/>	11	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
3	2013	28	40	<input type="checkbox"/>	11	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
4	2014	28	40	<input type="checkbox"/>	11	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
5	2015	28	40	<input type="checkbox"/>	11	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
6	2016	28	40	<input type="checkbox"/>	11	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
7	2017	28	40	<input type="checkbox"/>	11	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
8	2018	28	40	<input type="checkbox"/>	11	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
9	2019	28	40	<input checked="" type="checkbox"/>	11	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
10	2020	28	40	<input type="checkbox"/>	11	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
11	2021	28	40	<input type="checkbox"/>	11	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
12	2022	28	40	<input type="checkbox"/>	11	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
13	2023	28	40	<input type="checkbox"/>	11	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
14	2024	28	40	<input type="checkbox"/>	11	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
15	2025	28	40	<input type="checkbox"/>	11	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
16	2026	28	40	<input type="checkbox"/>	11	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
17	2027	28	40	<input type="checkbox"/>	11	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
18	2028	28	40	<input checked="" type="checkbox"/>	11	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
19	2029	46	40	<input type="checkbox"/>	11	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
20	2030	46	40	<input type="checkbox"/>	11	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
21	2031	46	40	<input type="checkbox"/>	11	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
22	2032	46	40	<input type="checkbox"/>	11	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
23	2033	46	40	<input type="checkbox"/>	11	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
24	2034	46	40	<input type="checkbox"/>	11	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
25	2035	46	40	<input type="checkbox"/>	11	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
26	2036	46	40	<input type="checkbox"/>	11	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
27	2037	46	40	<input type="checkbox"/>	11	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
28	2038	46	40	<input type="checkbox"/>	11	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
29	2039	46	40	<input checked="" type="checkbox"/>	11	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
30	2040	46	40	<input type="checkbox"/>	11	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>

Figura 18 – Detalhe de parte de uma prescrição

3.1.3.4. Simulador de indicadores económicos

O simulador económico (Figura 19), como o próprio nome indica destina-se à simulação de indicadores económicos associados a determinada simulação de crescimento e produção. A ferramenta elabora apenas simples cálculos aritméticos.

Figura 19 – Formulário para simulação de indicadores económicos.

Deste modo, o utilizador imputa custos associados às operações silvícolas (1), preços aos produtos resultantes (2) e ainda uma taxa de actualização (3) para os rendimentos obtidos ao longo do horizonte de projecção. Para iniciar os cálculos deve primir o botão “Calcular”.

3.1.3.5. Gerador de modelos matemáticos

Na realidade, esta ferramenta (Figura 20) não gera modelos matemáticos mas, sim um conjunto de equações que exprimem indicadores sócio-económicos associados a área de estudo em questão. Neste conjunto de equações devem estar sempre presentes, aquelas que definem as equações referentes ao cálculo da área gerida de cada unidade de gestão, as de cálculo em cada período dos indicadores sócio-económicos e as dos cálculos das quantidades obtidas dos produtos.

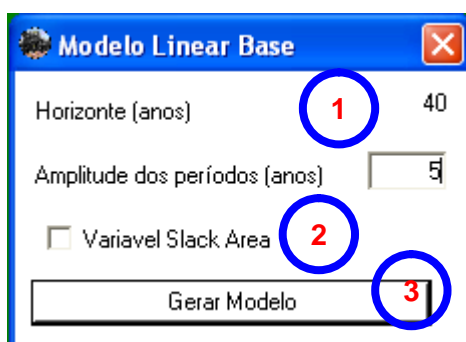


Figura 20 – Formulário para geração de modelo linear base.

Em (1) o utilizador tem conhecimento de qual é a amplitude da projecção para o auxiliar na escolha da amplitude para a definição dos períodos de revisão. Em (2) é permitido ao utilizador a inclusão de uma variável adicional ao modelo, mais concretamente às restrições de área. Esta variável, permite ao modelo não seleccionar nenhuma das prescrições definidas pelo utilizador e pode ser vista como área do estrato não gerida. Para dar início (3) à construção do modelo linear base associado à simulação indicadores e produção definida e indicadores económicos basta primir “Gerar Modelo”. O modelo matemático final que será realmente optimizado, será criado com a ferramenta solver (3.1.2.6).

3.1.3.6. Solver

É nesta ferramenta (Figura 21) que é definido o modelo matemático a otimizar. É aqui que se definem as restrições adicionais a incluir.

Figura 21 – Formulário para definição de restrições adicionais e resolução do respectivo problema matemático associado.

Na zona (1) é disponibilizado ao utilizador produtos e indicadores sobre os quais pode definir restrições adicionais. Em (2) podem ser definidos os tipos de restrições de fluxo e em (3) e (4) as variações permitidas entre períodos consecutivos.

As zonas (5) e (6) permitem ao utilizador definir restrições limitantes para o primeiro e último período (inventário final). Por último, em (7) o utilizador deve dar um nome ao problema, para posterior identificação. Para iniciar o processo de optimização deve ser primido o botão “Optimizar”.

3.1.3.7. Resultados

O propósito desta ferramenta é bastante simples, a ideia é permitir a visualização da solução obtida tanto em forma tabular, como em formato 2D.

O utilizador poderá ver os valores obtidos para os indicadores e produtos por estrato e espécie florestal em determinado período (Figura 22). Dentro deste módulo tem acesso à visualização de gráficos (Figura 23). Pode ainda ver os resultados obtidos para toda a área de estudo (Figura 24).

Solução Tabelas - NewOBJ_6_10										
Filtros	Estrato	Espécie	Prescrição	Período	Cortiça Virge	Cortiça Adulta	Área	Carbono	Revd. Liq.	Revd. Liq. Act.
	AzAz10	Az	163	1	0.00	0.00	2414.84	2637.22	0.00	0.00
	AzAz10	Az	163	2	0.00	0.00	2414.84	2924.07	0.00	0.00
	AzAz10	Az	163	3	0.00	0.00	2414.84	3219.19	0.00	0.00
	AzAz10	Az	163	4	0.00	0.00	2414.84	3522.12	0.00	0.00
	AzAz11	Az	213	1	0.00	0.00	421.21	1048.70	-32,011.96	-20,900.44
	AzAz11	Az	213	2	0.00	0.00	421.21	1097.04	-269,654.43	-85,770.99
	AzAz11	Az	213	3	0.00	0.00	421.21	905.72	-105,075.05	-19,236.66
	AzAz11	Az	213	4	0.00	0.00	421.21	1174.76	-269,376.43	-26,713.14
	AzAz12	Az	705	1	0.00	0.00	1913.97	2168.24	0.00	0.00
	AzAz12	Az	705	2	0.00	0.00	1913.97	2833.62	0.00	0.00
	AzAz12	Az	705	3	0.00	0.00	1913.97	3522.44	0.00	0.00
	AzAz12	Az	705	4	0.00	0.00	1913.97	4228.43	0.00	0.00
	AzAz13	Az	1192	1	0.00	0.00	38999.6	47435.06	0.00	0.00
	AzAz13	Az	1192	2	0.00	0.00	38999.6	56833.49	0.00	0.00
	AzAz13	Az	1192	3	0.00	0.00	38999.6	66578.64	0.00	0.00
	AzAz13	Az	1192	4	0.00	0.00	38999.6	76584.14	0.00	0.00
	AzAz14	Az	1679	1	0.00	0.00	7651.48	11713.38	0.00	0.00
	AzAz14	Az	1679	2	0.00	0.00	7651.48	13379.78	0.00	0.00
	AzAz14	Az	1679	3	0.00	0.00	7651.48	15063.03	0.00	0.00
	AzAz14	Az	1679	4	0.00	0.00	7651.48	16746.43	0.00	0.00
	AzAz20	Az	1818	1	0.00	0.00	1967.7	2745.33	0.00	0.00
	AzAz20	Az	1818	2	0.00	0.00	1967.7	3204.41	0.00	0.00
	AzAz20	Az	1818	3	0.00	0.00	1967.7	3680.81	0.00	0.00
	AzAz20	Az	1818	4	0.00	0.00	1967.7	4170.33	0.00	0.00

Figura 22 – Visualização da solução em tabela.

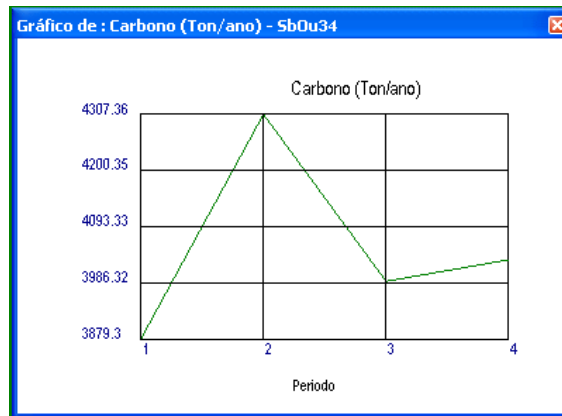


Figura 23 – Visualização de um gráfico para o indicador stock médio de carbono.

Solução Região - NewOBJ_6_10		
Produto	Período	Valor
Azinho	1	138776
Azinho	2	484571
Azinho	3	81054.2
Azinho	4	154156
Carbono	1	1812320
Carbono	2	1993560
Carbono	3	2192910
Carbono	4	2335110
CortAdlt	1	71578300
CortAdlt	2	78736100
CortAdlt	3	86609700
CortAdlt	4	95270700

Figura 24 – Visualização tabular dos resultados obtidos para toda a região de estudo

É também disponibilizado a solução em mapa, onde se pode visualizar em gradiente de cores aplicados aos estratos os intervalos onde se situam os valores obtidos em cada indicador/produto (Figura 25).

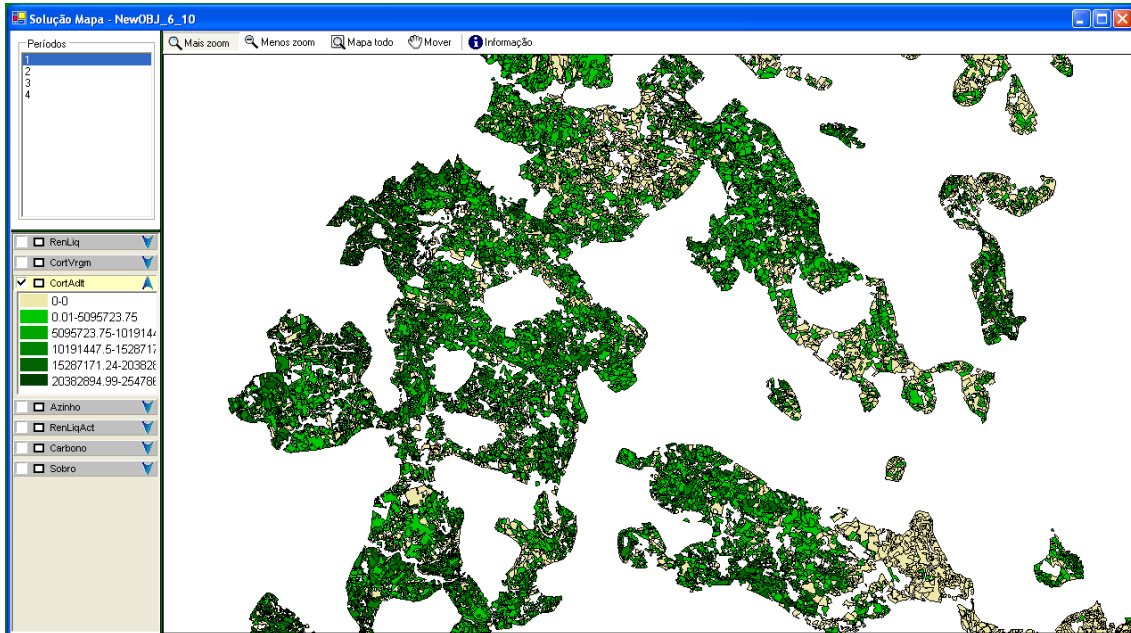


Figura 25 – Visualização da solução em mapa.

O SAD descrito apesar de direccionado para o planeamento estratégico, permite dar respostas para qualquer tipo de planeamento (estratégico, tático e operacional) em gestão florestal. A flexibilidade na definição do horizonte de projecção dos indicadores e da duração dos períodos na construção do modelo matemático, dão aos potenciais agentes decisores, uma ferramenta potente para a avaliação de decisões.

3.2. Cenários de Gestão

Nesta secção são expostos os resultados obtidos para os cenários em análise. A exposição inicia-se pela discussão de alguns números obtidos relativamente ao número de variáveis de decisão geradas em função das práticas silvícolas escolhidas. Seguidamente, os resultados obtidos para os indicadores globais são comparados, o mesmo é feito tendo em conta os valores obtidos para os indicadores periódicos. Em ambas as etapas é efectuado um estudo comparativo entre os cenários e por fim é realizada uma abordagem a alguns resultados interessantes, ao nível de variáveis duais associadas às restrições de área.

3.2.1. Variáveis de decisão em números

Tendo em conta as práticas silvícolas escolhidas para a projecção dos indicadores e produtos, foram gerados 54 modelos silvícolas distintos,

A aplicação destes 54 modelos no horizonte de projecção fixo em 40 anos gerou 35198 prescrições (variáveis de decisão). Adicionando a este número, as prescrições de não intervir, que são uma por espécie e por estrato, este número sobe para as 35342 possíveis alternativas para gestão do montado.

3.2.2. Análise comparativa dos indicadores globais

A motivação neste tópico, reside em mostrar em que medida a variação da taxa de actualização dos rendimentos e a adição das restrições adicionais provocam alterações nos principais produtos e indicadores globais do montado.

Ter uma visão global destes, permite obter uma visão mais alargada das consequências favoráveis e desfavoráveis da gestão sustentável.

As tabelas de suporte para a análise que se segue podem encontrar-se no Anexo.II, das quais resultaram alguns gráficos para uma melhor compreensão dos resultados. Os indicadores serão discutidos individualmente, sendo no final feito uma avaliação global.

Começando pelo valor da Função Objectivo (VAL), os resultados (Figura 26) foram os já esperados, i.e. este decresce tanto em função da aplicação de restrições de fluxo mais severas (26.a), como em função do aumento das taxas de actualização (26.b).

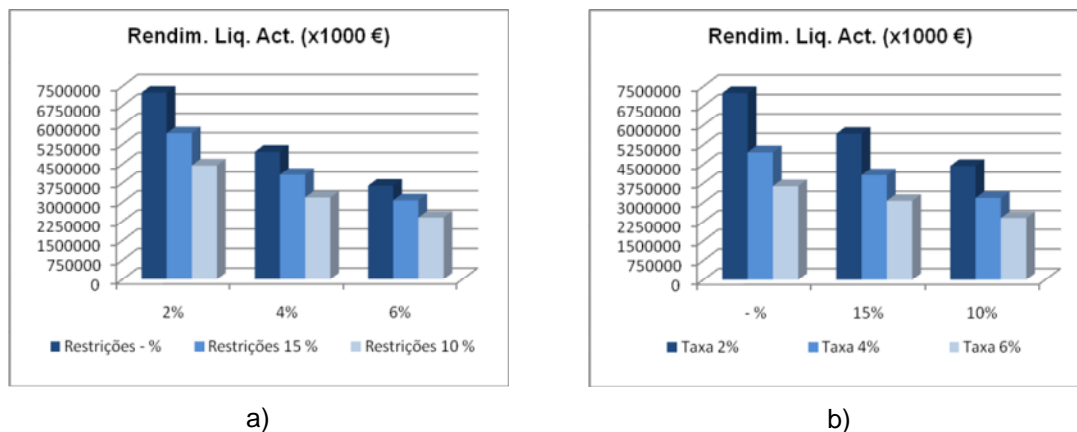


Figura 26 – Rendimento Liquido Actual, a) variação em função das restrições de fluxo b) variação em função das taxas de actualização.

Em termos percentuais, este decréscimo, é mais acentuado com o aumento da taxa de actualização, a cada aumento de 2% nesta o decréscimo em média ronda os 28%. Por sua vez, quando se aplicam restrições de fluxo mais severas, este decréscimo ronda os 20%, sugerindo assim que fluxos de outros produtos valorizados para além da cortiça adulta aumentem.

Ao nível do indicador de sustentabilidade ecológica, os resultados sugerem que este é bastante estável relativamente às alterações das taxas de actualização, ou seja, definida uma prática de gestão mais ou menos severa quanto à sustentabilidade, em termos percentuais a variação deste indicador não excede os 2% (Figura 27b). Da Tabela 10, também se conclui que este último rondará sempre em valores acima das 2000 Toneladas.

Taxa	Restrições de fluxo		
	C.-%	C. - 15%	C. - 10%
2%	2386	2302	2065
4%	2375	2306	2065
6%	2378	2272	2083

Tabela 10 – Valores de stocks de carbon acumulados em cada cenário

Observando os resultados do ponto de vista em que as taxas não sofrem alteração, as percas neste indicador serão em média 9,5%, se a gestão definida for a mais severa e de sensivelmente 4% se a gestão definida for menos severa.

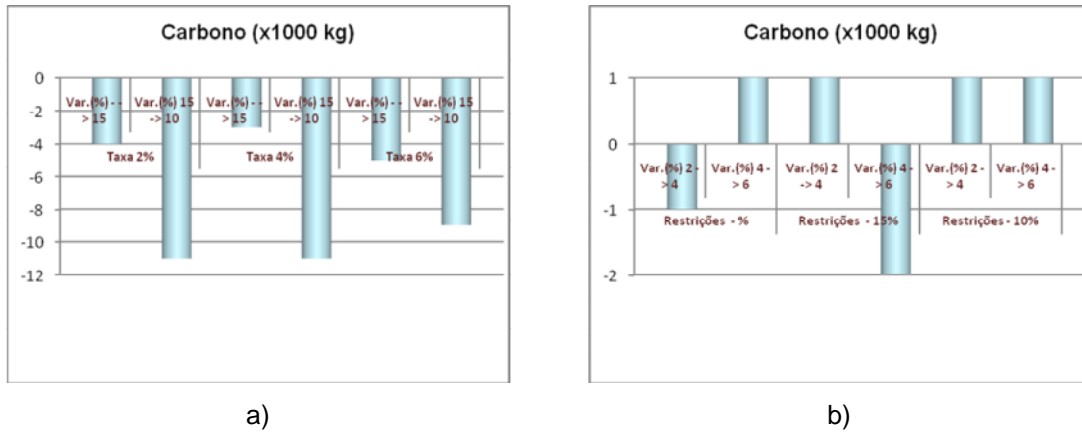


Figura 27 – Stock Médio de Carbono acumulado, a) variação percentual em função das restrições de fluxo b) variação em função das taxas de actualização.

Quanto ao indicador definido, para a sustentabilidade económica; a cortiça adulta, por observação das Figuras 28 a) e b) os fluxos extraídos são imunes quando a taxa de actualização é fixa. No entanto, quanto maior a severidade nas práticas de sustentabilidade menores serão estes volumes, sendo o decréscimo na ordem dos 24% a cada aumento de 2% na taxa de actualização.

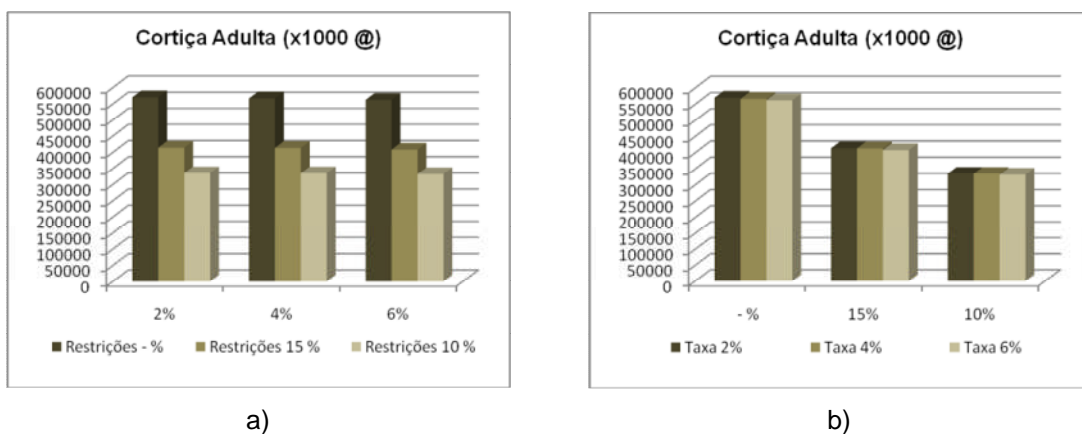


Figura 28 – Cortiça Adulta Extraída, a) variação em função das restrições de fluxo b) variação em função das taxas de actualização.

Este resultado, desperta interesse em função da competitividade entre indicadores, como referido na página 32 secção 2.3.1.2., seria de esperar que houvesse um

aumento nos stocks médios de carbono com o descréscimo no volume extraído de cortiça, no entanto tal não se verifica, sugerindo assim que a potencial competitividade entre estes dois indicadores é insignificante e que os volumes de madeira de Azinho e Sobre são mais predominantes nesta competitividade, como mostram as Figuras 38, 39 e 40 do Anexoll.1.

Deste resultado, extrai-se a confirmação que os volumes de madeiras são produtos que ganham maior preponderância quando o volume de cortiça diminui, tornando as percas no rendimento liquido actualizado (função objectivo) menores. No entanto a Figura 29 mostra que grande parte do volume extraído é madeira de sobre e que o recurso à extracção de madeira de azinho apenas se faz nos casos em que a prática de gestão seja a mais severa.

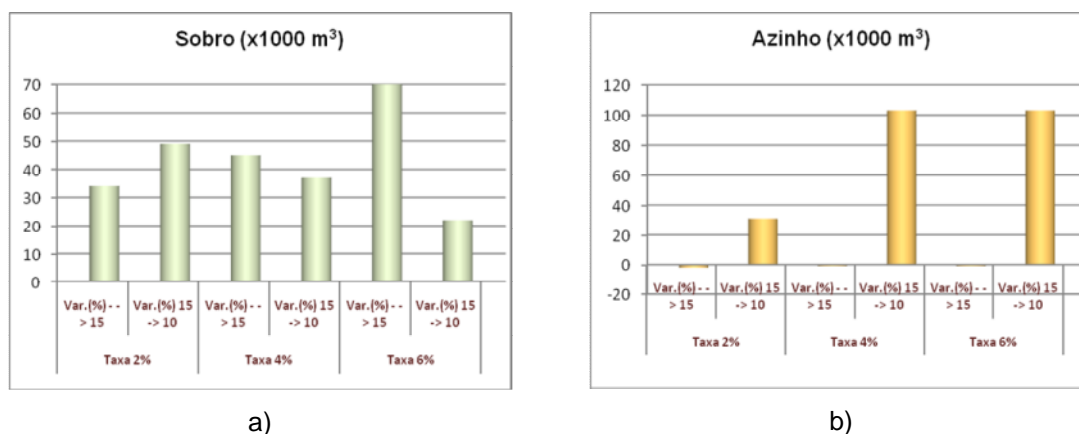


Figura 29 – Variação percentual dos volumes de Madeira de sobre e azinho, com taxas fixas.

Outro aspecto relevante é que o impacte causado no carbono sequestrado, pela maior extracção destes volumes não mostra ser muito significativo, mas tal deve-se a limitação das quantidades permitadas para extracção impostas pela legislação, reflectidas na construção das alternativas de gestão.

3.2.3. Análise comparativa dos indicadores periódicos

Em analogia com a análise elaborada sobre os indicadores e produtos globais do montado, o que se pretende neste item é entender o comportamento dos mesmos entre os 4 períodos de planeamento definidos. A análise, que se segue visa mostrar as situações descritas na secção 2.3.1.1., ou seja, o que sucede na realidade quando se aplicam as restrições de fluxo aos cenários base.

Inevitavelmente, comecemos pelo VAL, visto se tratar do indicador da função objectivo. Este mostrou ser bastante oscilante nos cenários sem aplicação das restrições como mostra a Figura 30. De realçar a mudança de tendência do terceiro para o quarto período, quando a taxa aplicada aos rendimentos deixa de ser 2% e sobe para os 4% ou 6%. A Figura 31 por sua vez mostra que com a aplicação das restrições de fluxo o descontrolo, consegue ser controlado como se esperava, no entanto incorre na situação extrema como a descrita no segundo exemplo da página 27, podendo aqui fazer uso das restrições limitantes.

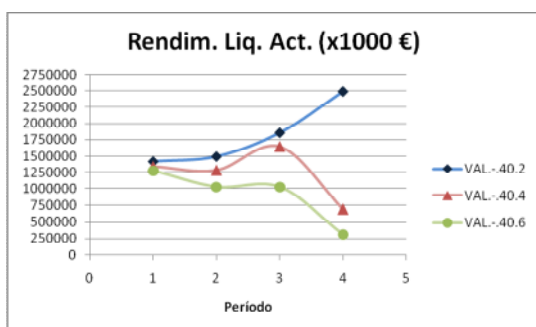


Figura 30 – Evolução dos fluxos do VAL nos cenários sem gestão de sustentabilidade.

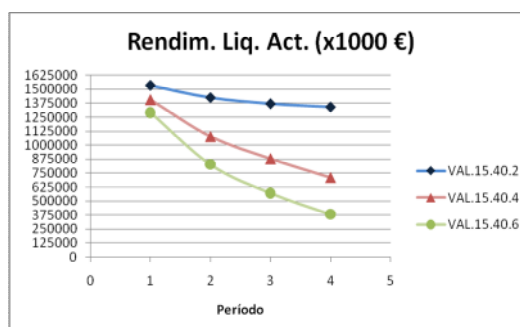


Figura 31 – Evolução dos fluxos do VAL nos cenários sem gestão de sustentabilidade.

O sequestro de carbono por sua vez e em qualquer que seja o cenário mostra seguir uma tendência crescente, como mostra a Figura 32. No entanto, com a aplicação de restrições de fluxo, mostra ligeiras quebras. Estas por sua vez parecem acentuar-se com o aumento do constrangimento (Figura 33). Este resultado é a evidência da competição entre indicadores descrita do capítulo II e é reflexo do exposto na secção anterior, deve-se sobretudo à maior extração de madeira de sobreiro.

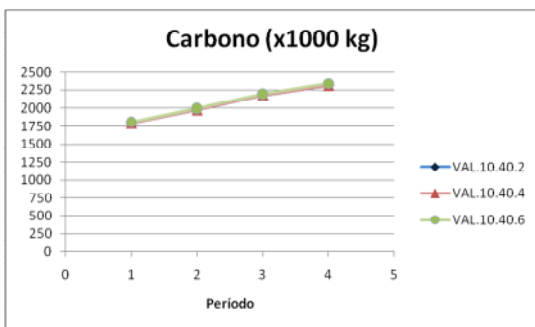


Figura 32 – Evolução dos stocks médios de carbono, para um cenário de restrições de fluxo a 10% em todas as taxas.

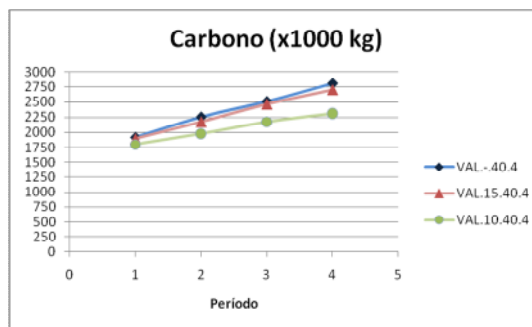


Figura 33 – Evolução dos stocks médios de carbono, para um cenário de taxa fixa a 4% variando as restrições aplicadas.

A cortiça adulta, mostrou como se esperava um comportamento muito semelhante ao VAL (Figura 34), evidenciando assim o papel financeiramente preponderante que desempenha no montado. A Figura 35, ilustra bem que a quebra significativa que existe nos fluxos quando se aplicam as restrições de fluxo, e que mais uma vez e tendo em conta a figura 31, mostra o grande impacto da cortiça.

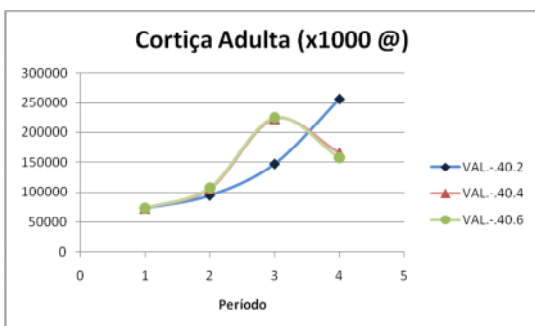


Figura 34 – Exemplo de fluxos de cortiça em cenários sem restrições de fluxo.

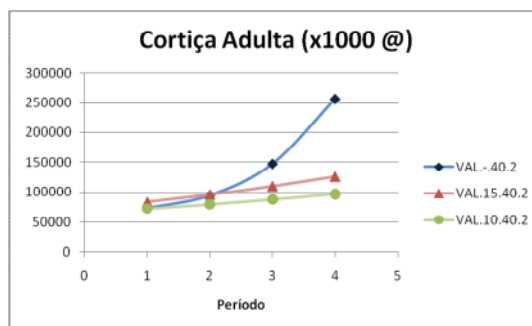


Figura 35 – Exemplo de fluxos de cortiça com aplicação de restrições de fluxo.

De seguida mostram-se exemplos (Figura 36 e Figura 37) sobre os fluxos obtidos tanto de madeira de sobro e azinho, estes vêm realçar o que anteriormente já foi referido, o aumento dos destes no caso do sobro quando se aplicam restrições mais severas, e no caso do azinho que apenas aparece quando se aplicam as restrições de fluxo a 10%.

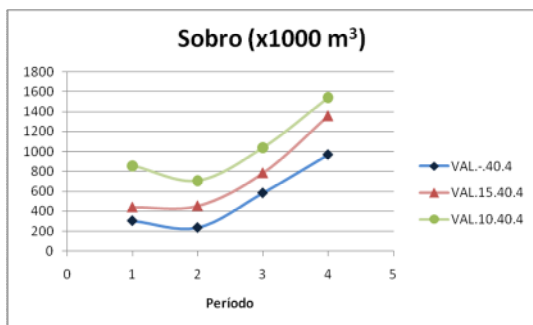


Figura 36 – Exemplo de fluxos de madeira de sobreiro.

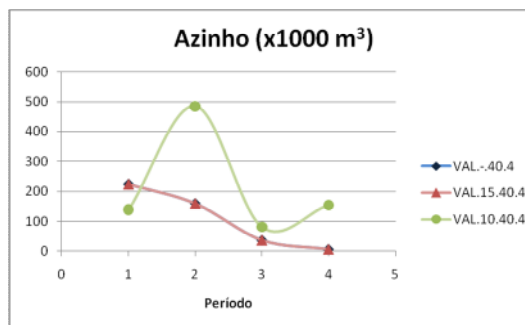


Figura 37– Exemplo de fluxos de madeira de sobreiro.

Da análise feita e dos resultados obtidos, parece notório que nos cenários onde se aplicam as restrições de fluxo o indicador alvo, acaba por seguir ou uma tendência crescente ou decrescente, seria sem dúvida um exercício interessante verificar se a aplicação das restrições limitantes a estes casos produziria o efeito desejado.

Para finalizar este tópico, resta referir que os restantes resultados sobre esta temática, representados graficamente, encontram-se no anexo.II 2, para consulta e apreciação.

3.2.4. Análise de sensibilidade

O montado não é imutável ao longo do tempo, é natural pois que este transite entre as classificações definidas (classes de idade e densidade). A gestão de que seja alvo provoca também alterações nestas, neste sentido, conhecer a evolução da valorização do hectare em cada uma delas é um factor importante para os agentes decisores. Este conhecimento, permite que as paisagens de montado possam ser “re-desenhadas” de forma mais sustentada.

Com intuito de entender quais os estratos mais valiosos, isto é, quanto vale um hectare de cada estrato, foi elaborado um estudo às variáveis duais associadas às restrições de área dos vários cenários em estudo.

3.2.4.1 Valor do hectare em função da taxa de actualização e das restrições de fluxo

Com base nos resultados obtidos, a primeira grande conclusão remete-nos para o facto do valor médio de um hectare de sobreiro ser mais valioso do que um hectare de azinheira, sendo este na ordem de 4.5 vezes superior. No entanto, esta diferença desvanecesse nos cenários onde se aplicaram restrições de fluxo a 10%. Esta perda de relevância do valor do hectare de sobreiro relativamente ao da azinheira, ou a valorização do hectare da azinheira em face ao do sobreiro, deve-se em grande parte ao constrangimento excessivo aplicado aos fluxos permitidos entre períodos consecutivos, esta condição obrigou o modelo a ajustar-se de tal forma que passou a haver mais intervenções de desbaste nos estratos onde existe presença de azinheira¹¹.

Um outro resultado evidente, é o aumento do valor médio do hectare quando se restringe cada vez mais o fluxo permitido entre períodos consecutivos dos indicadores propostos (stock médio de carbono e cortiça adulta). Sendo o seu aumento considerável quando se passa de 15% para 10% de fluxo permitido entre períodos.

Também se constata que, em termos médios, o valor de um hectare tanto de azinheira como de sobreiro tende a diminuir na maioria dos cenários com o aumento da taxa de actualização, tanto em cada classe de idade como em classe de densidade, no entanto no caso da azinheira existem duas excepções nas classes idade 2 e 3 (idades compreendidas entre os 10 e os 60 anos) onde o valor do hectare aumenta quando as restrições de fluxo são de 10%¹² e nas classes de densidade 1 e 2 (densidades entre os 10% e 50%) onde se mantém praticamente constante¹³, quando as restrições de fluxo são de 15%. No caso do sobreiro apenas existe uma excepção¹¹ e esta verifica-se na classe de densidade 1 (densidade entre 10% e 30%) com restrições de fluxo a 10%.

Apesar destes valores não serem significativos, não deixam de ser relevantes estes comportamentos, apesar de aparentemente não fazerem sentido.

3.2.4.2 Valor médio do hectare em função da classe densidade e idade

¹¹ Ver Figura 29, ANEXOII.1

¹² Ver AnexoII.3 Tabela 46

¹³ Ver AnexoII.3 Tabela 47

Relativamente a esta temática, os resultados mostram que o valor médio do hectare tanto de azinheira como de sobreiro sobe em função da classe de densidade, naturalmente estratos mais densos impliquem estratos mais valiosos.

Destaca-se ainda que o hectare do sobreiro é sempre mais valioso que o da azinheira, à excepção dos cenários onde as restrições de fluxo são de 10% e a classe de densidade 1 (10% a 30%)¹¹, onde o hectare do sobreiro sofre uma grande desvalorização.

Quanto ao valor do hectare em função da classe de idade, seria de esperar o mesmo comportamento que se verifica na classe densidade, ou seja, que estratos mais maduros sejam mais valiosos que estratos mais jovens, no entanto tal não se verifica. De referir que a classe 0 (várias idades) não será considerada pois, não corresponde à hierarquia ordinal que se pretende estudar. Assim sendo, não será alvo de discussão.

Voltando à discussão iniciada, os resultados mostraram que no valor médio do hectare para azinheira existe um decréscimo acentuado nas classes 2 e 3 (idades entre 10 a 60 anos), tomando as classes extremas maior importância. Passando a mais valia da azinheira apenas pelos stocks de carbono para a gestão sustentável e para a maximização dos rendimentos pela venda da sua madeira, é na última classe de idade que ambas se conseguem maximizar, o facto da primeira classe ser igualmente valorizada deve apenas prender-se com questões de sustentabilidade, ou seja, é necessário que esta exista para que no futuro atinja a última classe de idade.

O fenómeno descrito no parágrafo anterior, também ocorre para o hectare de sobreiro, mas, não da mesma forma, este parece ser “oscilante”, isto é, o hectare é mais valorizado nas classes 2 e 4 e menos valorizado nas classes 1 e 3 e apenas ocorre nos cenários em que se aplicam restrições de fluxo. Aparentemente parecem ser estas restrições a fonte provocatória de tal distúrbio, no entanto a explicação para este fenómeno não é evidente e na realidade, é reflexo da actividade florestal a que os estratos foram sujeitos na simulação da área de estudo. Tendo em conta o estado actual do montado e o horizonte de projecção definido, o número de descortiçamentos aplicados foi distinto¹⁴. O menor número de descortiçamentos efectuados na classe de

¹⁴ Ver Anexoll.3 Tabela 50

idade 3 acaba por desvalorizar o valor do hectare dos estratos classificados nesta classe. Por outro lado, , sendo o número de descortiçamentos aplicados na classe de idade 1 idêntico ao da classe 2 este, não é valorizado na mesma ordem de grandeza, de salientar que se trata do primeiro descortiçamento feito aos sobreiros e deste apenas se extraí cortiça virgem que, como se sabe é pouco interessante financeiramente. Já no caso da classe de idade 4, também aqui foram aplicados menos descortiçamentos, no entanto a quantidade de cortiça adulta extraída é nesta classe em quantidade suficiente para que o estrato seja valorizado.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Nos dias de hoje, a pressão sobre os recursos naturais aumenta a cada dia, mas o espaço onde estes se encontram diminui, surgindo a necessidade de uma gestão responsável. “*O impacto do amanhã, no plano de hoje ...*” Praticar uma gestão economicamente viável, ambientalmente sustentável e socialmente aceite deverá ser uma prioridade na exploração dos recursos naturais.

A actividade florestal do montado de sobro decorre em horizontes de planeamento muito longos e está fortemente condicionada por factores naturais imprevistos, tais como fogos, pragas e doenças e alterações de mercados de produtos (AFLOSOR, 2004). As crescentes preocupações ambientais, sociais e económicas com este ecossistema, devido a fenómenos de decrepitude acentuada, mortalidade e incapacidade de regeneração natural da componente florestal, ao empobrecimento da sua biodiversidade, à degradação dos solos com acentuados sinais de erosão e ao esgotamento do seu fundo de fertilidade, aconselham a urgente implementação de um sistema de gestão florestal sustentável (Tomé, 2006).

O estudo deste peculiar ecossistema permite concluir que existe uma relação complexa de influência entre os vários sistemas (económico, e ecológico). Trata-se de um objectivo ambicioso tentar compreender o impacto dos sistemas envolvidos na gestão do montado mas, também aprender como pode a conjectura actual contribuir para a alteração de comportamentos e mentalidades. Foram precisamente estes desafios que se aceitaram, quando se colocou a questão sobre o “futuro do montado?”.

Seguem-se, algumas notas finais, de reflexão e observação crítica, que de forma sintética, foi sendo desenvolvida, ao longo dos capítulos anteriores, sempre com o intuito de contribuir, para um estudo actualizado, da situação actual e futura do montado Alentejano.

O modelo matemático proposto mostrou ser capaz de dar respostas e gerar informação relevante à problemática em torno da sustentabilidade do montado. As soluções produzidas com os cenários propostos mostraram que é possível gerir o montado controlando a oscilação dos fluxos dos indicadores alvo. Contudo, , seria interessante a criação de mais cenários com diferentes tipos de fluxos sobre mais indicadores.

A análise de sensibilidade, no entanto veio mostrar uma lacuna na produção de informação para os coeficientes da função objectivo, ou seja, os valores económicos associados às prescrições não consideraram os rendimentos fora do horizonte de projecção.

Esta situação, não invalida o estudo elaborado em torno da sustentabilidade, no entanto poderia ter sido evitada se em vez de se considerar apenas os rendimentos dentro do horizonte de projecção, fossem também considerados os rendimentos fora dele. A estes últimos dá-se o nome de valor esperado do solo (VES) que quando somado ao VAL de cada prescrição se desingam por rendimentos actualizados à perpetuidade.

A ideia chave para o cálculo financeiro do VES, passa por definir o modelo silvícola a seguir à perpetuidade após o termino da prescrição e a fórmula a usar deve ser a que se apresenta de seguida

$$V_0 = VES = \frac{\sum_{t=0}^r (R_t - C_t)(1+i)^{r-t}}{(1+i)^r - 1}$$

onde,

r é a duração do modelo silvícola em anos, i é a taxa de desconto, t é o índice de ano 0, 1, 2, . . . r , R_t são as receitas no t -ésimo ano e C_t são as despesas no t -ésimo ano

O VES, por sua vez deve voltar a ser actualizado ao início do planeamento, visto que se trata apenas de um rendimento actualizado mas ao inicio da série, que por sua vez coincide com o fim de uma prescrição.

As decisões que se inserem no contexto social não foram integradas nem no modelo matemático, nem no SAD proposto. Este domínio de sustentabilidade social é sem dúvida um ponto crítico na tomada de decisão, pois há que ter em conta as vontades, expectativas e necessidades dos vários agentes que intervêm no próprio processo de decisão.

Pelo exposto, , se tivermos em conta as várias componentes da sustentabilidade, o objectivo deixa de ser maximizar o rendimento de um dado uso, mas sim integrar os

multi-usos e funções de forma a alcançar a sustentabilidade global do sistema, num contexto espaço-temporal. A utilização de técnicas de optimização multi-critério, podem nesse sentido ser uma mais valia na geração de soluções.

Cabe somente ser ressaltado o papel do sistema de apoio à decisão desenvolvido, como uma ferramenta de planeamento bastante poderosa na gestão destes ecossistemas. Tecnologia em que o volume de informação que produz e organiza, de forma simples e eficiente, potencia e fundamenta as tomadas de decisão aos agentes decisores, estas entidades poderão assim planear e agir para melhor benefício da população.

Em suma, urge realizar apostas estratégicas para o desenvolvimento sustentável do montado alentejano, que possui características únicas no país com diversos factores de competitividade no espaço rural da região, inerentes às características da sua estrutura produtiva. Como já enfatizado, toda a região alentejana, possui boas, senão excepcionais aptidões, para uma agricultura de excelência e o sector primário com as suas ligações à Indústria Transformadora, apesar de não ser o sector preponderante em termos de emprego, é e continuará a ser a génese da especialização desta região. Mas é nos sectores terciário e secundário que a região tem sabido encontrar os novos fundamentos e complementaridades ao seu processo de desenvolvimento integrado.

No sentido de continuar a contribuir para a divulgação de eficientes técnicas matemáticas de apoio à gestão florestal, é objectivo do autor usar este trabalho como base para no futuro, poderem ser integrados outros modelos de decisão que visem objectivos de planeamento de carácter mais biofísico e social. Contudo, a diversificação de objectivos obriga a um maior número de alternativas de gestão e à utilização de modelos de decisão mais sofisticados.

Pretende-se, ainda, em trabalhos futuros que o perfil do utilizador, correspondente a cada área de ensaio, seja envolvido no feedback dos usuários finais, sendo considerado uma etapa crucial para a aceitação e aplicação destas novas tecnologias, satisfazendo deste modo as expectativas relacionadas com as potencialidades dos resultados desta investigação.

Espera-se, contudo, que este estudo tenha contribuído para a discussão da dinâmica dos montados nos tempos actuais, em particular naquilo que se refere às

características, localização e práticas a implementar . Esta pesquisa não pretende ser um produto acabado, mas sim um caminho para estudos que possam revelar mais sobre este ecossistema, que vive tempos difíceis e desprovido da possibilidade de atender as necessidades básicas daqueles que fazem do montado o seu sustento mas como área apta para receber incentivos na promoção do desenvolvimento.

REFERÊNCIAS
BIBLIOGRÁFICAS

AFLOSOR – Associação de Produtores Florestais da Região da Ponte de Sôr, 2004. O estudo do montado de sobro no Alto Alentejo e alternativas de gestão. CORTIÇA – Estratégia de Cooperação entre empresas de cortiça para o desenvolvimento territorial do Alentejo e da Estremadura Espanhola. Interreg III – Cofinanciamento FEDER, Ponte de Sor, 78 p.

Bare, B.; Briggs, D.; Roise, J.; Schrender, G., 1984. A survey of systems and models in forestry and the forest product industry. *European J. Oper. Res.* 18:1-18,

Bormann, B. T., R. W. Haynes e J. R. Martin, 2007. Adaptive Management of Forest Ecosystems: Did Some Rubber Hit the Road?, *BioScience*, 57, pp. 86-191.

Borges J. G., A. C. Oliveira and M. A. Costa. 1997. A quantitative approach to cork oak forest management. *Forest Ecology and Management* 97:223-229.

Borges, J. G., Falcão, A., Miragaia, C., Marques, P. and Marques, M. 2003. A decision support system for forest resources management in Portugal. In: G. J. Arthaud and T. M. Barrett (Eds.)

Bravo, F., A. Bravo-Oviedo and L. Diaz-Balteiro. 2008. Carbon sequestration in Spanish Mediterranean forests under two management alternatives: a modeling approach. *European Journal of Forest Research* DOI 10.1007/s10342-007-0198-y

Buongiorno, J.; Gilless, J.L., 1987. *Forest Management and Economics*. New York: MacMillan, 285p.

Capelo J. & Catry F. (2007) *Biologia, ecologia e distribuição da azinheira* In: Silva, J.S.. (Ed). *Árvores e Florestas de Portugal*. 03. Os montados. Muito para além das árvores. Público e Fundação Luso-Americana para o Desenvolvimento, Lisboa, pp. 119 – 130.

Costa, A. & Pereira, H. (2007a). *Montados e sobreirais: uma espécie, duas perspectivas*. In: Silva, J.S.. (Ed). *Árvores e Florestas de Portugal*. 03. Os montados. Muito para além das árvores. Público e Fundação Luso-Americana para o Desenvolvimento, Lisboa, pp. 17-37.

Costa, A. & Pereira, H. (2007b). A silvicultura do sobreiro. In: Silva, J.S.. (Ed). Árvores e Florestas de Portugal. 03. Os montados. Muito para além das árvores. Público e Fundação Luso-Americana para o Desenvolvimento, Lisboa, pp. 39-58.

Clutter, J.L.; Fortson, J.C.; Pienaar, L.V. et al., 1983. Timber management, a quantitative approach. New York: John Wiley, 351p.

Curtis, F.H., 1962. Linear programming in the management of a forestry property. Journal of Forestry, 60:611-616.

Davis, L.S.; Johnson, K.N., 1987. Forest Management. New York: McGraw-Hill, 790p.

DGRF 2006, Resultados do Inventário Florestal Nacional 2005/2006, 5ª Revisão , Direcção-Geral dos Recursos Florestais, Lisboa, 70 pp.

Diaz-Balteiro L and Romero C. 1998. Modeling timber harvest scheduling problems with multiple criteria: An application in Spain. Forest Science 44: 47-57.

Dykstra, D.P., 1984. Mathematical programming for natural resource management. New York: McGraw-Hill, 336p.

Falcão, A. and J. G. Borges. 2005. Designing decision support tools for Mediterranean forest ecosystems management: a case study in Portugal. Annals of Forest Science 62: 751-760.

Garcia, O., 1990 Linear programming and related approaches in forest planning. New Zealand Journal of Forest Science, 20:307-331

Goes J.M. & Tenreiro, P.M., 2001 Março. A gestão do montado de sobro na charneca de Ponte de Sôr, Aflosor – Associação Produtores Florestais da Região de Ponte de Sôr.

Gonzalez J, M. Palahi and T. Pukkala. 2005. Integrating fire risk considerations in

forest management planning in Spain - a landscape level perspective. *Landscape Ecology* 20: 957-970.

Hof, J., 1993. *Coactive forest management*. New York: Academic Press, 189p.

Hof, J.; Bevers, M., 1998. *Apatial optimization for managed ecosystems*. New York: Columbia University Press, 258p.

IPCC, 2007. *Summary for Policymakers, Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*, em, *Climate Change 2007: The Physical Science Basis*, S. Solomon, D. Qin, M. Manning, e M. M. Z. Chen, K. B. Averyt, M. Tignor e H.L. Miller (eds.), Cambridge University Press, Cambridge, Reino Unido e Nova Iorque, EUA.

Iverson, D.C.; Alston, R.M., 1986. *The genesis of FORPLANL a historical and analytical review of Forest Service planning models*. USDA Forest Service General Technical Report, INT-214:1-25.

Johnson, K.N. and H. L. Scheurman. 1977. *Techniques for prescribing optimal timber harvest and investment under different objectives - discussion and synthesis*. Forest Science Monograph. No. 18.

Leak, W.B., 1964. *Estimating maximum allowable timber yields by linear programming - a case study*. *Journal of Forestry*. 65:644-646.

Leuschener, W.A., 1984. *Introduction to forest resource management*. New York: Wiley & Sons, 298p.

Loff, J., Marques, S., Borges, P., Rodrigues, A., Borges, J., 2007, *Relatório de execução do Sistema de Apoio à Decisão GLOBfLOR, Globland - Modeling pulp wood and carbon sequestration sustainability of Eucalyptus plantations at landscape level*, Documento Técnico Interno n.º 03/07, Grupo de Economia e Gestão dos Recursos Naturais, Lisboa

Loucks, D.P., 1964. The development of an optimal program for sustained-yield management. *Journal of Forestry*, 62:485-490.

Malhi, Y., D.D. Baldochi & P. G. Jarvis, 1999. "The carbon balance of tropical, temperate and boreal forests." *Plant, Cell and Environment*, 22: 715-740.

Martins, H. e J. G. Borges, 2007, Addressing collaborative planning methods and tools in forest management, *Forest Ecology and Management*, 248, pp. 107-118.

Morais, C., 2001 19, Abril/Junho. Montados de sobro e azinho, *Revista Floresta e Ambiente* 53.

Mota, I.A.; Pinto, M.; Sá, J.V.; Marques, V.S.; e Ribeiro, J.F., 2004
"Estratégia Nacional para o Desenvolvimento Rural - ENDS – 2005-2015 . Lisboa

Murray, A.T., 1998 Spatial restrictions in harvest scheduling. *Forest Science*, 45(1): 45-52.

Natividade, J.V., 1950, Subericultura, DGSFA, Lisboa.

Nautiyal, J.C.; Pearse, P.H.,1967. Optimizing the conversion to sustained-yield - a programming solution. *Forest Science*, 13:131-139.

Navon, D.I.,1971. Timber RAM: a long-range planning method for commercial timber lands under multiple-use management. USDA Forest Service Research Paper, PNW-70: 1-22.

Palahí M and T. Pukkala. 2003. Optimising the management of Scots pine (*Pinus sylvestris* L.) stands in Spain based on individual-tree models. *Annals of Forest Science* 60: 105-114.

Palahí, M., Pukkala, T., Pascual, L., Trasobares, A. 2004. Examining alternative landscape metrics in ecological forest landscape planning: a case for capercaillie in Catalonia. *Investigaciones Agrarias: Sist. Recur. For.* 13 (3), 527-538.

Paulo, H.G.S.O. (1994). "Estudo e análise da floresta de Uso Múltiplo na região

Alentejo”. Trabalho de Fim de Curso em Engenharia Biofísica. Universidade de Évora. Évora.

Pereira, J. S., Correia, A., Correia, A. & Borges, J. G. 2010. Floresta. In Pereira, H. M., Domingos, T. & Vicente, L. (Eds). *Ecosistemas e Bem-Estar Humano – Avaliação para Portugal do Millenium Ecosystem Assessment*. Escolar Editora, Lisboa.

Pinto-Correia, T. Vos, W. 2004. “*Multifunctionalit in Mediterranean landscapes – past and future*”. In Jongman, R. (ed). *The New Dimensions of the European Landscape*, Springer. wagenig EU frontis Séries. Berlim. pp. 135-164.

Silva, J.S. et al., 2007. “Os Montados – muito para além das árvores” , (Eds). *Árvores e Florestas de Portugal – Fundação Luso-Americana para o desenvolvimento*, Ed. Publico, Comunicação Social, SA, Abril, pp. 15-38.

Snyder, S.; ReVelle; C.,1996 The grid packing problem: selecting a harvesting pattern in an area with forbidden regions. *Forest Science*, 42(1):27-34.

System Analysis in Forest Resources. Kluwer Academic Publishers, *Managing Forest Ecosystems* Vol. 7: 155-164.

Tome, M., A. Corticada, S. Barreiro, J. A. Paulo, A. Meyer e T. Ramos, 2007. *Inventário Florestal 2005-2006: Áreas, volumes e biomassas dos povoamentos florestais*. Relatório resultante do protocolo de cooperacao DGRF/ISA no ambito do Inventario Florestal Nacional de 2005-2006, Publicacoes GIMREF RT 4/2007, Universidade Tecnica de Lisboa, Instituto Superior de Agronomia, Centro de Estudos Florestais, Lisboa.

Vasconcelos, T; Branco, M., 2007. A apicultura nos montados de azinho. *Arvores e Florestas de Portugal* (vol. 3): 211-230. Publico/FLAD/LPN. Lisboa.

Ware, G.O.; Clutter, J.L., 1971. A mathematical programming system for the management of industrial forests. *Forest Science*, v. 17, n. 3, p. 428-445

Yoshimoto, A.; Brodie, J.D., 1994, Comparative analysis of algorithms to generate adjacency constraints. *Can. J. For. Res.*, 24(6):1277-1288,

ANEXOS

Anexo I. Sistema de apoio à decisão

1. Descrição das tabelas do SIBD SILVfLOR

Tabela 11 – Estrutura da tabela de espécies.

Nome do Campo	Tipo	Descrição
ID_Especie	Inteiro	Identificador da espécie
NomeCientifico	texto	Nome científico da espécie
NomeComum	texto	Nome comum da espécie
Abreviatura	texto	Abreviatura da espécie

Tabela 12 – Estrutura da tabela de operações.

Nome do Campo	Tipo	Descrição
ID_Operacao	Inteiro	Identificador da operação
NomeOperacao	texto	Nome da operação

Tabela 13 – Estrutura da tabela de parâmetros.

Nome do Campo	Tipo	Descrição
ID_Parametro	Inteiro	Identificador do parâmetro
ID_Operacao	Texto	Identificador da operação
NomeParametro	Texto	Nome do parâmetro
UnidadeParametro	Texto	Unidade em que o parâmetro é medido

Tabela 14 – Estrutura da tabela de tipos de silvicultura.

Nome do Campo	Tipo	Descrição
ID_TipoSilvicultura	Inteiro	Identificador do tipo de silvicultura
NomeTipoSilvicultura	Texto	Nome do tipo de silvicultura

Tabela 15 – Estrutura da tabela de tipos de povoamento.

Nome do Campo	Tipo	Descrição
ID_TipoPovoamento	Inteiro	Identificador do tipo de povoamento
NomeTipoPovoamento	Texto	Nome do tipo de povoamento

Tabela 17 – Estrutura da tabela de revoluções.

Nome do Campo	Tipo	Descrição
ID_Revolucao	Inteiro	Identificador da revolução
NomeRevolucao	Texto	Nome da revolução
Nrotacoes	Inteiro	Número de rotações que compõem a revolução

Tabela 19 – Estrutura da tabela que detalha as revoluções.

Nome do Campo	Tipo	Descrição
ID_Revolucao	Inteiro	Identificador da revolucao
ID_Silvicultura	Inteiro	Identificador da silvicultura
Ordem	Inteiro	Ordem pela qual a silvicultura é feita na revolução

Tabela 16 – Estrutura da tabela de silviculturas.

Nome do Campo	Tipo	Descrição
ID_Silvicultura	Inteiro	Identificador da silvicultura
NomeSilvicultura	Texto	Nome da silvicultura
ID_TipoSilvicultura	Inteiro	Identificador do tipo de silvicultura
ID_TipoPovoamento	Inteiro	Identificador do tipo de povoamento

Tabela 18 – Estrutura da tabela que detalha as silviculturas.

Nome do Campo	Tipo	Descrição
ID_Silvicultura	Inteiro	Identificador da silvicultura
ID_Parametro	Inteiro	Identificador do parâmetro
ID_Operacao	Inteiro	Identificador da operação
ID_Especie	Inteiro	Identificador da espécie
Momento	Inteiro	Momento em que a operação se realiza
Valor	Real	Valor do parâmetro da operação

2. Descrição das tabelas do SIBD SIMfLOR

3. Descrição das tabelas do SIBD MATfLOR

Tabela 20 – Estrutura da tabela de períodos.

Nome do Campo	Tipo	Descrição
ID_Periodo	Inteiro	Identificador do período
AnoInicial	Inteiro	Ano de início do período
AnoFinal	Inteiro	Ano de fim do período

Tabela 21 – Estrutura da tabela de Unidades de Gestão.

Nome do Campo	Tipo	Descrição
ID_UnidadeGestao	Inteiro	Identificador da unidade de gestão
ID_AreaGestao	Inteiro	Área de gestão da unidade de gestão
NomeUnidadeGestao	Inteiro	Nome da unidade de gestão
Area	Inteiro	Área da unidade de gestão

Tabela 22 – Estrutura da tabela de Indicadores Globais.

Nome do Campo	Tipo	Descrição
ID_IndicadorGlobal	Inteiro	Identificador do indicador global
NomeIndicadorGlobal	Texto	Nome do indicador global
AbreviaturaIndicadorGlobal	Texto	Abreviatura do indicador global
Tipo	Texto	Tipo de indicador global
Valor	Real	Valor do indicador global na solução
Objectivo	Boleano	Indica se o indicador global é objectivo

Tabela 23 – Estrutura da tabela de indicadores periódicos.

Nome do Campo	Tipo	Descrição
ID_IndicadorPeriodico	Inteiro	Identificador do indicador periodico
ID_Periodo	Inteiro	Identificador do período
ID_IndicadorGlobal	Inteiro	Identificador do indicador global
NomeIndicadorPeriodico	Texto	Nome do indicador periodico
AbreviaturaIndicadorPeriodico	Texto	Abreviatura do indicador periodico
Valor	Real	Valor do indicador periodico na solução

Tabela 24 – Estrutura da tabela de variáveis de decisão.

Nome do Campo	Tipo	Descrição
ID_VariavelDecisao	Inteiro	Identificador da variável de decisão
ID_UnidadeGestao	Inteiro	Identificador da unidade de gestão
NomeVariavelDecisao	Texto	Nome da variável de decisão
AbreviaturaVariavelDecisao	Texto	Abreviatura da variável de decisão
Tipo	Texto	Tipo da variável de decisão
CustoReduzido	Real	Custo reduzido da variável de decisão
Valor	Real	Valor da variável de decisão na solução

Tabela 26 – Estrutura da tabela dos coeficientes dos indicadores periodicos na definição dos indicadores globais.

Nome do Campo	Tipo	Descrição
ID_IndicadorPeriodico	Inteiro	Identificador do indicador periodico
ID_IndicadorGlobal	Inteiro	Identificador do indicador global
Coeficiente	Real	Coeficiente do indicador periodico

Tabela 28 – Estrutura da tabela de coeficientes das restrições sobre os indicadores periodicos.

Nome do Campo	Tipo	Descrição
ID_Restricao	Inteiro	Identificador da restrição
ID_IndicadorPeriodico	Inteiro	Identificador do indicador periodico
Coeficiente	Real	Coeficiente do indicador periodico

Tabela 25 – Estrutura da tabela dos coeficientes das variáveis de decisão na definição dos indicadores periódicos.

Nome do Campo	Tipo	Descrição
ID_IndicadorPeriodico	Inteiro	Identificador do indicador periodico
ID_VariavelDecisao	Inteiro	Identificador da variável de decisão
Coeficiente	Real	Coeficiente da variável de decisão

Tabela 27 – Estrutura da tabela de coeficientes das restrições de área.

Nome do Campo	Tipo	Descrição
ID_Restricao	Inteiro	Identificador da restrição
ID_VariavelDecisao	Inteiro	Identificador da variável de decisão
Coeficiente	Real	Coeficiente da variável de decisão

Tabela 29 – Estrutura da tabela de coeficientes das restrições sobre os indicadores globais.

Nome do Campo	Tipo	Descrição
ID_Restricao	Inteiro	Identificador da restrição
ID_IndicadorGlobal	Inteiro	Identificador do indicador global
Coeficiente	Real	Coeficiente do indicador global

Tabela 30 – Estrutura da tabela de restrições.

Nome do Campo	Tipo	Descrição
ID_Restricao	Inteiro	Identificador da restrição
ID_TipoRestricao	Inteiro	Identificador do tipo de restrição
NomeRestricao	Texto	Nome da restrição
Operador	Texto	Operador da restrição
Termo Independente	Real	Termo independente da restrição
Valor	Real	Valor da restrição na solução
Dual	Real	Valor dual da restrição na solução

Tabela 31 – Estrutura da tabela de tipos de restrições.

Nome do Campo	Tipo	Descrição
ID_TipoRestricao	Inteiro	Identificador da restrição de área
NomeTipoRestricao	Texto	Nome da restrição de área

Tabela 32 – Estrutura da tabela de adjacências.

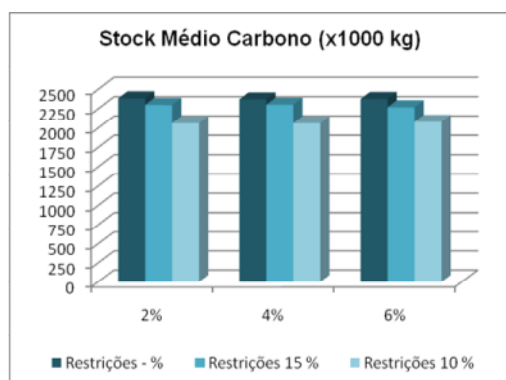
Nome do Campo	Tipo	Descrição
ID_UnidadeGestao1	Inteiro	Identificador da UG1
ID_UnidadeGestao2	Inteiro	Identificador da UG2
TamanhoFronteira	Real	Tamanho do arco que une UG1 com UG2
ID_AreaGestao	Inteiro	Área de gestão da unidade de gestão

Anexo II. Cenários de Gestão

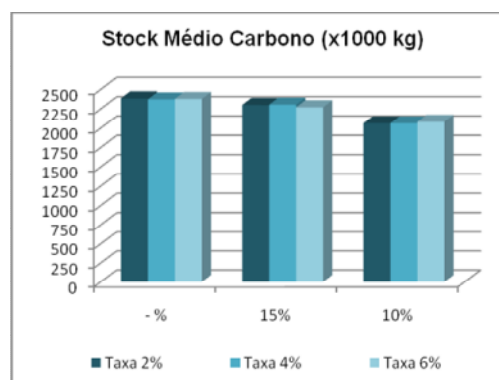
1. Análise de indicadores globais

Tabela 33 – Valores obtidos para os indicadores globais.

	Cenários								
	C.-.40.2	C.15.40.2	C.10.40.2	C.-.40.4	C.15.40.4	C.10.40.4	C.-.40.6	C.15.40.6	C.10.40.6
Azinho (x1000 m ³)	671.2	664.31	864.52	423.98	423.98	858.56	423.98	423.98	858.56
Sobro (x1000 m ³)	2108.42	2804.85	4153.87	2102.28	3034.87	4143.5	1948.63	3307.05	4029.93
Carbono (x1000 kg)	2386.005	2302.3	2064.5075	2374.625	2306.0525	2064.9625	2378.365	2272	2083.475
Cortiça Adulta (x1000 @)	570343.6	414122.7	335426.3	566944.7	413541.5	335115.5	562644.5	408317.8	332194.8
Cortiça Virgem (x1000 @)	59155.6	51135.32	40802.72	61202.7	51128.58	40807.78	60312.77	51287.04	40815.27
Rendim. Liq. (x1000 €)	11405190	8291490	6520860	11354210	18256410	6517660	11271760	8136720	6473270
Rendim. Liq. Act. (x1000 €)	7249790	5669550	4437474	4965345	4074659	3181557	3638413	3072258	2397150

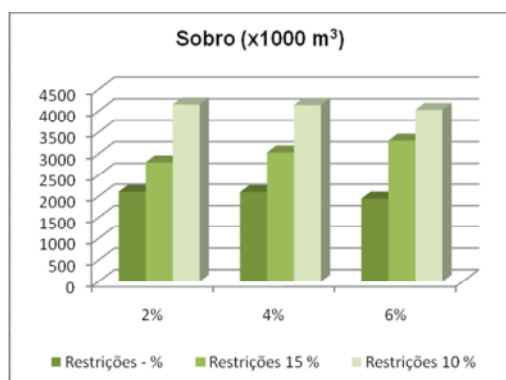


a)

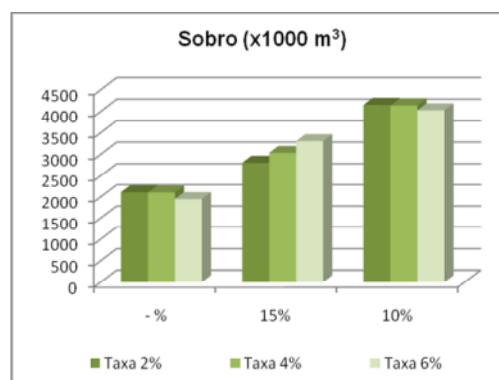


b)

Figura 38 – Madeira de Sobro Extraída, a) variação em função das restrições de fluxo b) variação em função das taxas de actualização.

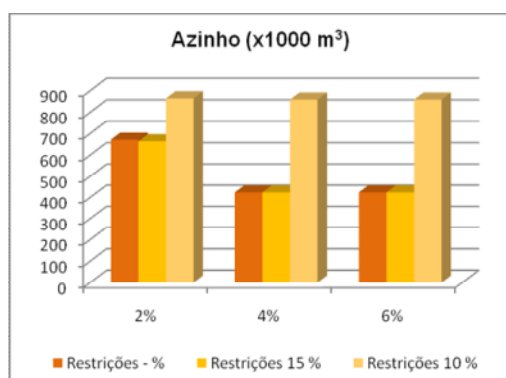


a)

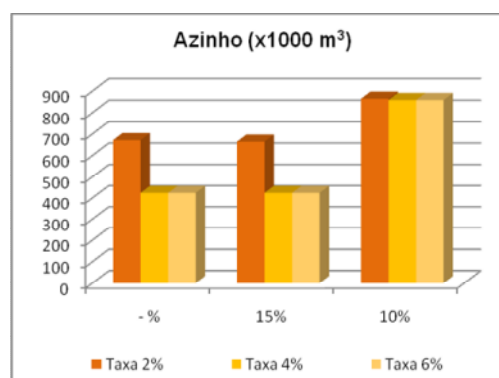


b)

Figura 39 – Madeira de Sobro Extraída, a) variação em função das restrições de fluxo b) variação em função das taxas de actualização.



a)



b)

Figura 40 – Madeira de Azinho Extraída, a) variação em função das restrições de fluxo b) variação em função das taxas de actualização.

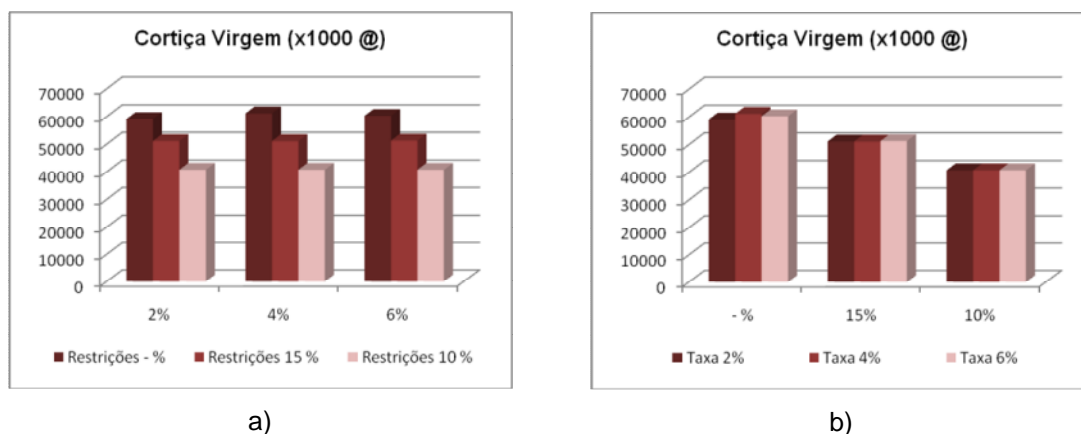


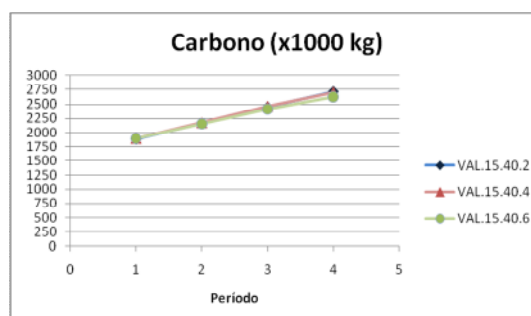
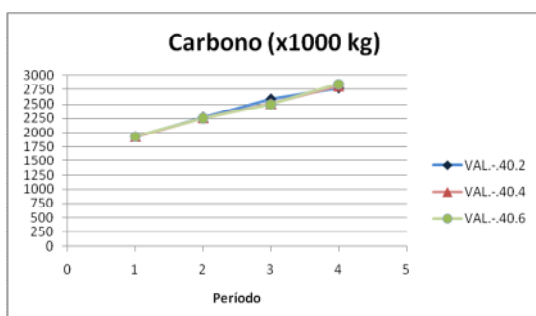
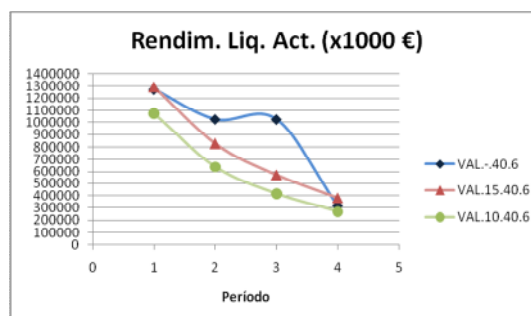
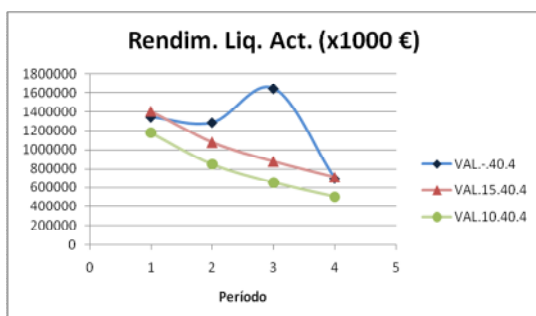
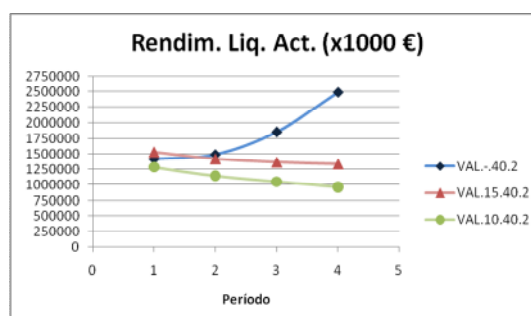
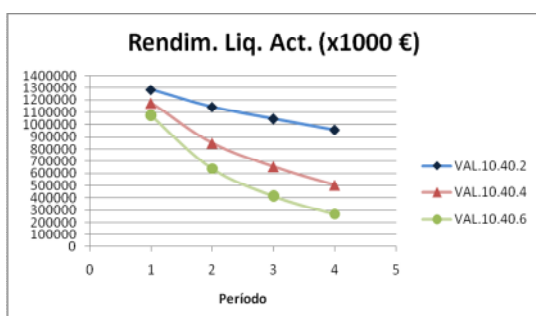
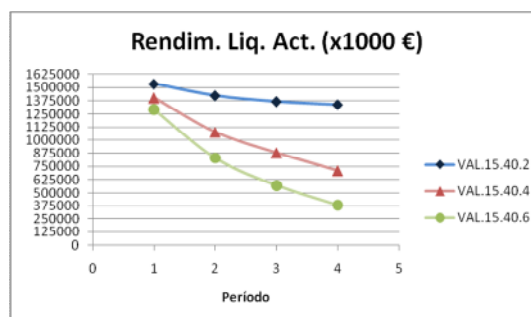
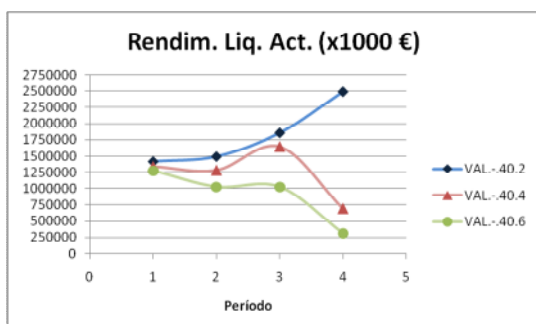
Figura 41 – Cortiça Virgem Extraída, a) variação em função das restrições de fluxo b) variação em função das taxas de actualização.

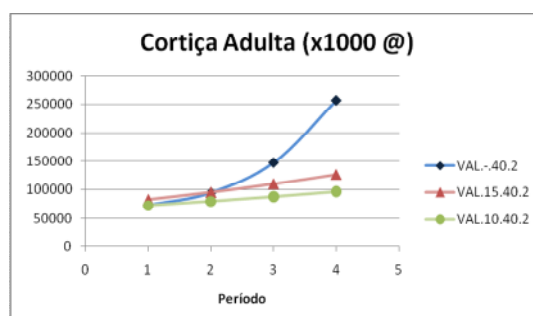
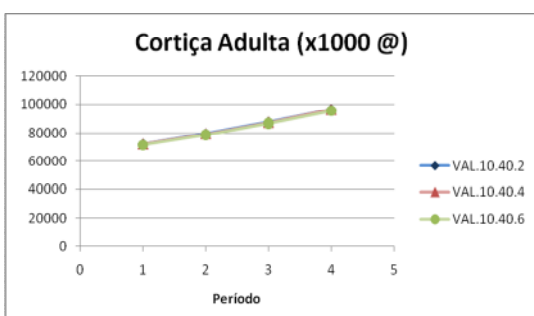
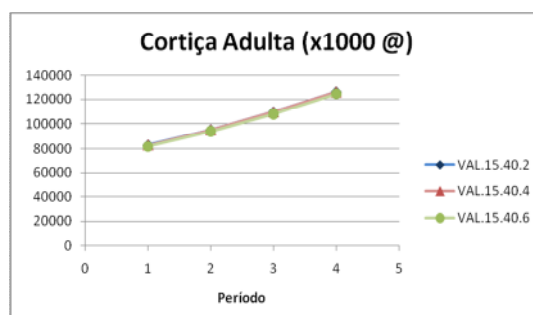
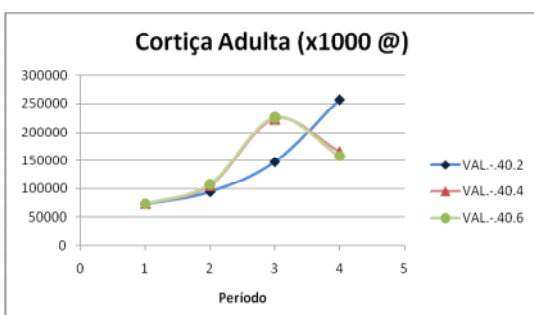
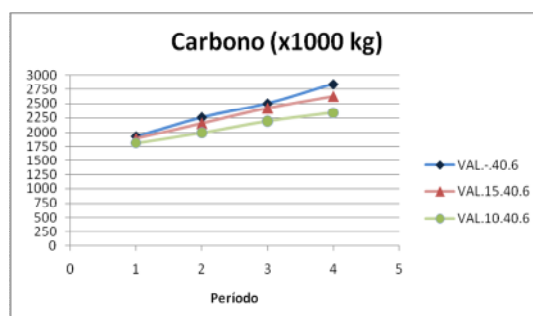
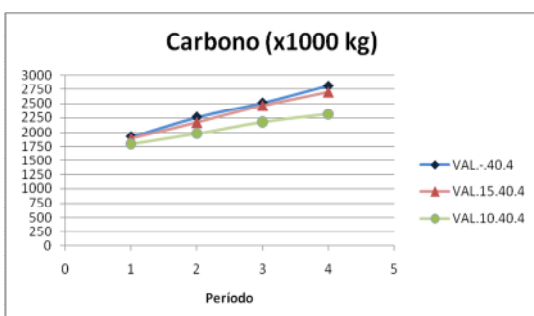
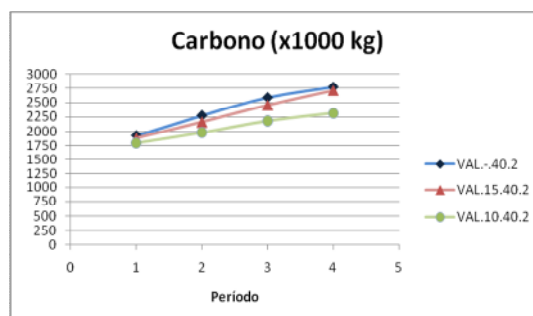
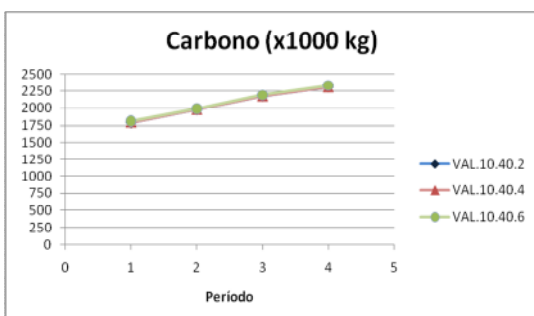
Tabela 34 – Variações em % nos valores obtidos com restrições fluxo fixas e variando as taxas.

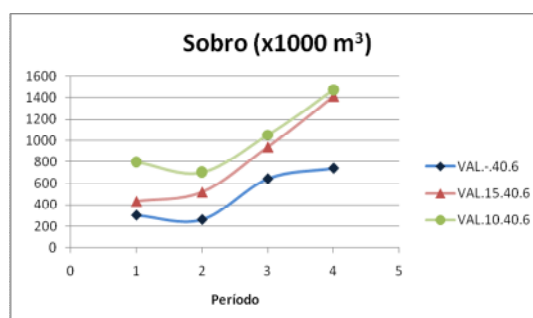
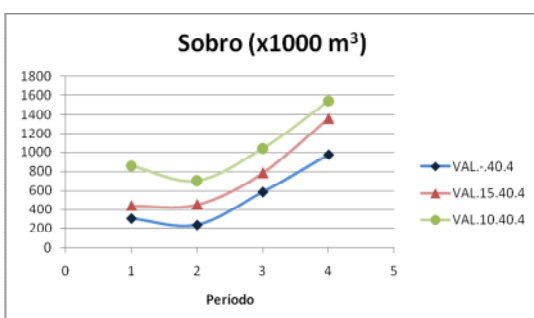
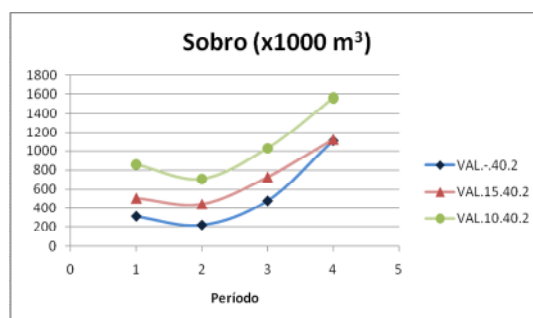
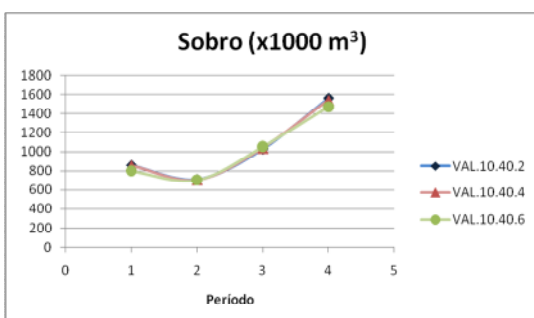
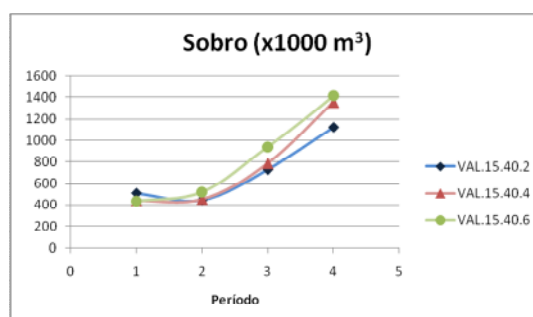
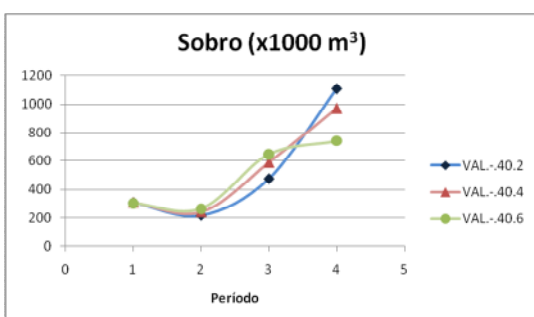
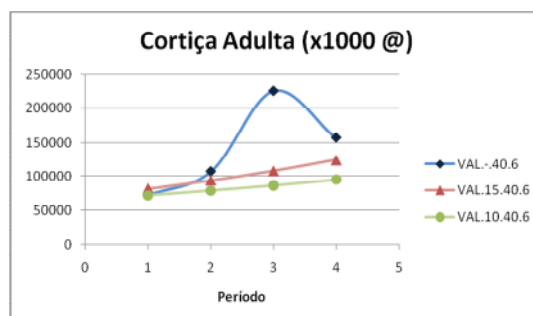
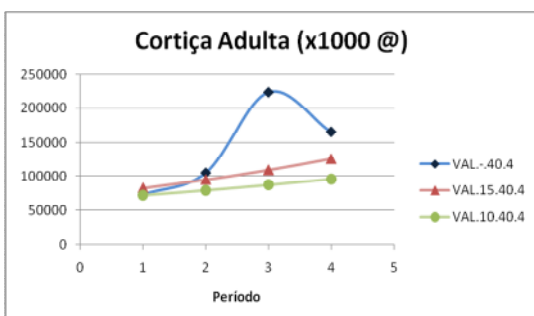
	Restrições - %		Restrições - 15%		Restrições - 10%	
	Var.(%) 2 -> 4	Var.(%) 4 -> 6	Var.(%) 2 -> 4	Var.(%) 4 -> 6	Var.(%) 2 -> 4	Var.(%) 4 -> 6
Azinho (x1000 m ³)	-37	-1	-37	-1	-1	0
Sobro (x1000 m ³)	-1	-8	9	9	-1	-3
Carbono (x1000 Kg)	-1	1	1	-2	1	1
Cortiça Adulta (x1000 @)	-1	-1	-1	-2	-1	-1
Cortiça Virgem (x1000 @)	4	-2	-1	1	1	1
Rendim. Liq. (x1000 €)	-1	-1	121	-56	-1	-1
Rendim. Liq. Act. (x1000 €)	-32	-27	-29	-25	-29	-25

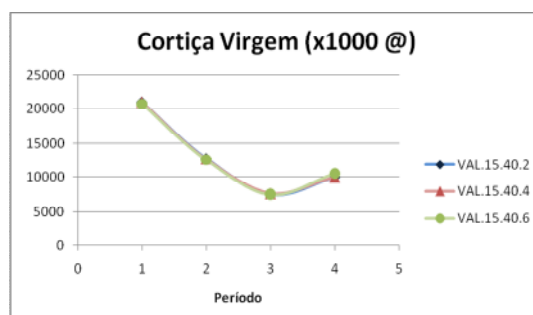
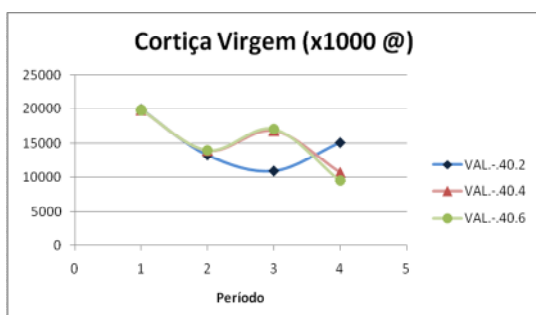
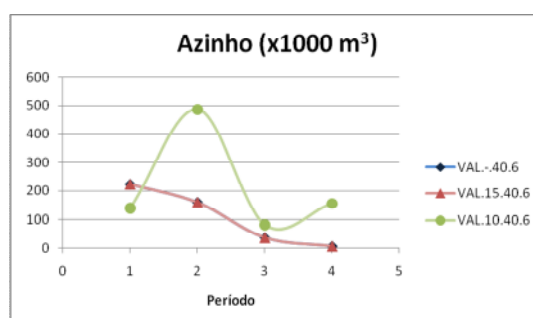
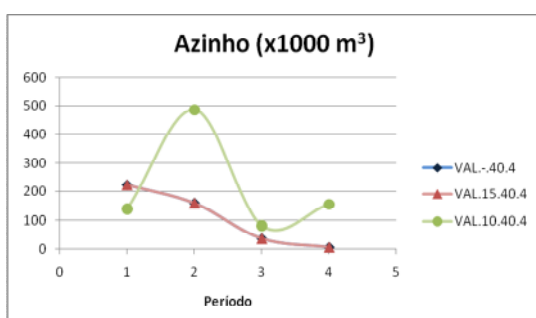
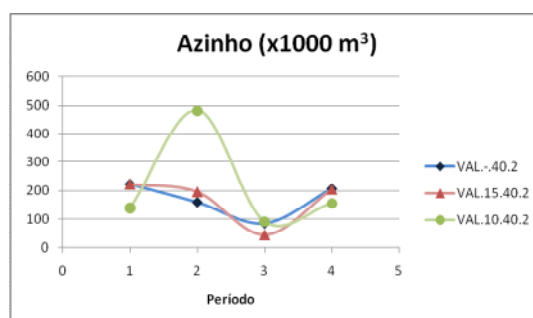
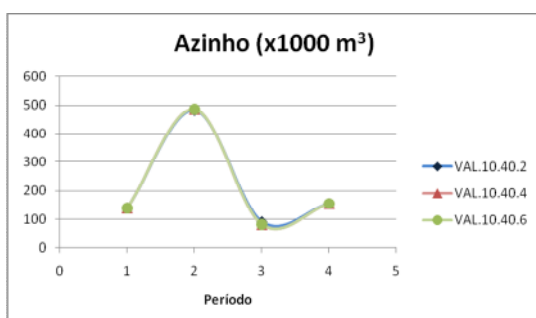
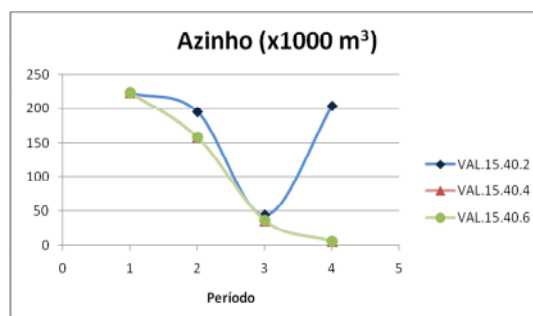
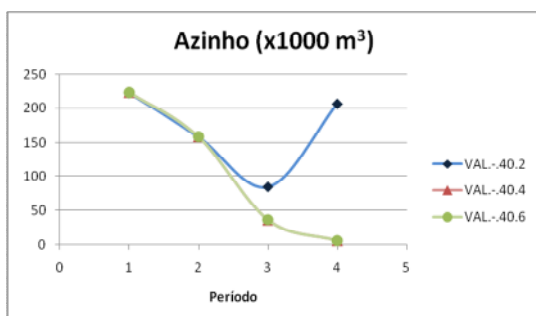
Tabela 35 – Variações em % nos valores obtidos com taxas fixas e variando as restrições de fluxo.

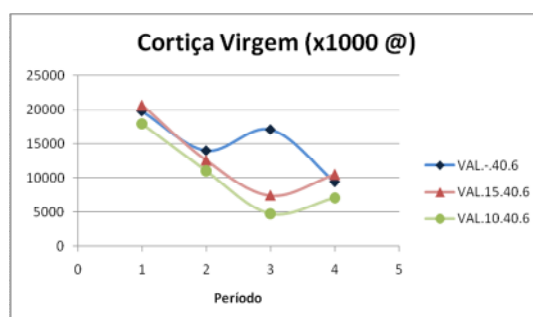
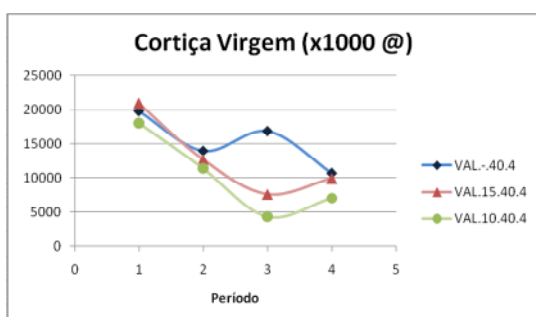
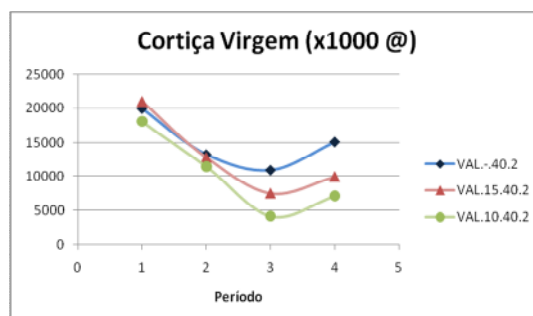
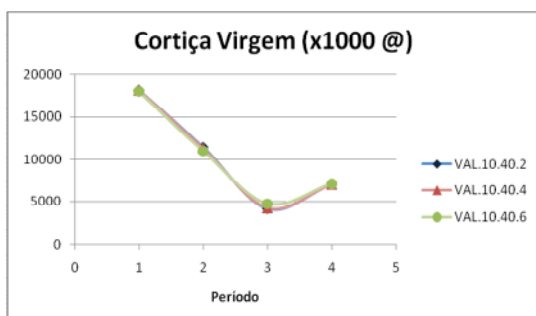
	Taxa 2%		Taxa 4%		Taxa 6%	
	Var.(%) - -> 15	Var.(%) 15 -> 10	Var.(%) - -> 15	Var.(%) 15 -> 10	Var.(%) - -> 15	Var.(%) 15 -> 10
Azinho (x1000 m ³)	-2	31	-1	103	-1	103
Sobro (x1000 m ³)	34	49	45	37	70	22
Carbono (x1000 Kg)	-4	-11	-3	-11	-5	-9
Cortiça Adulta (x1000 @)	-28	-20	-28	-19	-28	-19
Cortiça Virgem (x1000 @)	-14	-21	-17	-21	-15	-21
Rendim. Liq. (x1000 €)	-28	-22	61	-65	-28	-21
Rendim. Liq. Act. (x1000 €)	-22	-22	-18	-22	-16	-22











2. Análise de indicadores periódicos

Tabela 36 – Valores obtidos para os indicadores periódicos.

	Período	Cenários								
		C.-.40.2	C.15.40.2	C.10.40.2	C.-.40.4	C.15.40.4	C.10.40.4	C.-.40.6	C.15.40.6	C.10.40.6
Azinho (x1000 m ³)	1	222.04	222.04	138.78	223.1	223.1	138.78	223.1	223.1	138.78
	2	158.57	194.93	480.87	158.57	158.57	484.57	158.57	158.57	484.57
	3	84.52	43.86	90.43	36.36	36.36	81.05	36.36	36.36	81.05
	4	206.07	203.48	154.44	5.95	5.95	154.16	5.95	5.95	154.16
Sobro (x1000 m ³)	1	309.34	509.44	857.42	306.61	440.48	857.21	302.78	433.48	799.98
	2	217.08	445.2	707.48	238.69	453.36	705.09	262.2	519.75	704.78
	3	476.26	728.39	1027.29	586.29	784.04	1038.94	644.34	938.47	1052.63
	4	1105.74	1121.82	1561.68	970.69	1356.99	1542.26	739.31	1415.35	1472.54
Carbono (x1000 kg)	1	1924.17	1878.68	1797.43	1924	1892.55	1797.51	1924.33	1894.95	1812.32
	2	2267.95	2160.49	1977.17	2256.54	2172.86	1977.26	2251.61	2156.56	1993.56
	3	2581.82	2453.53	2174.89	2508.63	2459.3	2174.98	2495.86	2415.21	2192.91
	4	2770.08	2716.5	2308.54	2809.33	2699.5	2310.1	2841.66	2621.28	2335.11
Cortiça Adulta (x1000 @)	1	72821.3	82934.3	72274.6	72609.7	82817.9	72207.6	72582.5	81772	71578.3
	2	94268.3	95374.4	79502	105080	95240.6	79428.4	107314	94037.8	78736.1
	3	147267	109681	87452.2	223273	109527	87371.2	225170	108143	86609.7
	4	255987	126133	96197.5	165982	125956	96108.3	157578	124365	95270.7
Cortiça Virgem (x1000 @)	1	19907.3	20917.1	18089.7	19799.9	20921.3	18075.1	19780.5	20693.2	17945.4
	2	13235.6	12776.4	11459.4	13902	12642.5	11377.8	13970.9	12564.2	11024.3
	3	10916.5	7493.5	4153.05	16831.8	7625.12	4293.35	17070.9	7488.84	4736.78
	4	15096.2	9948.32	7100.57	10669	9939.66	7061.53	9490.47	10540.8	7108.79

	1	1491550	1684710	1408960	1487530	1688920	1407580	1486860	1667980	1400900
Rendim. Liq. (x1000 €)	2	1888650	1891830	1550990	2109580	1876920	1549590	2152380	1843000	1532650
	3	2926480	2168300	1696970	4480250	12166100	1695860	4519890	2136110	1683200
	4	5098510	2546650	1863940	3276850	2524470	1864630	3112630	2489630	1856520
	1	1413390	1533470	1285620	1340340	1405250	1175880	1274060	1292450	1074800
Rendim. Liq. Act. (x1000 €)	2	1490110	1424820	1143400	1283950	1077960	849856	1025840	827457	638742
	3	1855890	1370180	1048220	1645260	879407	653932	1024780	571463	415267
	4	2490400	1341080	960234	695795	712042	501889	313733	380888	268341

3. Análise sensibilidade

Tabela 37 – Média do valor do hectare no cenário C.-.40.2.

Average of C.-.40.2		Classe Densidade			
Especie	Classe Idade	1	2	3	Grand Total
Az	0	0	0	406	122
	1	115	0	354	156
	2	0	177	62	81
	3	0	0	0	0
	4	115	296	227	212
Az Total		45	100	198	112
Sb	0	761	794	479	678
	1	0	144	87	77
	2	413	320	1053	596
	3	577	662	440	560
	4	359	1056	705	707
Sb Total		422	595	553	523
Grand Total		243	354	390	329

Tabela 38 – Média do valor do hectare no cenário C.-.40.4.

Average of C.-.40.4		Classe Densidade			
Especie	Classe Idade	1	2	3	Grand Total
Az	0	0	0	325	97
	1	88	0	237	108
	2	0	65	22	29
	3	0	0	0	0
	4	93	256	224	191
Az Total		35	68	156	85
Sb	0	512	545	322	460
	1	0	112	126	79
	2	293	234	790	439
	3	399	451	290	380
	4	248	754	500	501
Sb Total		291	419	406	372
Grand Total		170	248	291	236

Tabela 39 – Média do valor do hectare no cenário C.-.40.6.

Average of C.-.40.6		Classe Densidade			
Especie	Classe Idade	1	2	3	Grand Total
Az	0	0	0	260	78
	1	63	0	156	73
	2	0	17	4	7
	3	0	0	0	0
	4	81	237	232	183
Az Total		29	54	129	69
Sb	0	370	401	232	334
	1	0	102	155	86
	2	223	187	633	348
	3	296	332	204	277
	4	185	574	381	380
Sb Total		215	319	321	285
Grand Total		127	190	233	183

Tabela 40 – Média do valor do hectare no cenário C.15.40.2.

Average of C.15.40.2		Classe Densidade			
Especie	Classe Idade	1	2	3	Grand Total
Az	0	-6	-14	983	288
	1	87	-125	599	187
	2	-45	128	117	62
	3	-13	-13	19	-2
	4	121	371	332	275
Az Total		28	79	382	158
Sb	0	611	985	9	535
	1	-483	340	2111	656
	2	764	704	4389	1952
	3	298	417	275	330
	4	368	2525	1167	1354
Sb Total		312	994	1590	965
Grand Total		177	549	1035	583

Tabela 41 – Média do valor do hectare no cenário C.15.40.4.

Average of C.15.40.4		Classe Densidade			
Especie	Classe Idade	1	2	3	Grand Total
Az	0	-6	-13	891	261
	1	104	32	592	242
	2	-41	24	69	13
	3	-12	-13	19	-2
	4	108	349	271	243
Az Total		29	78	342	145
Sb	0	426	633	-8	351
	1	-437	230	1264	352
	2	461	416	2597	1158
	3	205	320	182	236
	4	247	1551	782	860
Sb Total		180	630	963	591
Grand Total		109	361	678	380

Tabela 42 – Média do valor do hectare no cenário C.15.40.6.

Average of C.15.40.6		Classe Densidade			
Especie	Classe Idade	1	2	3	Grand Total
Az	0	-3	-7	597	175
	1	87	41	381	169
	2	-22	-3	25	-3
	3	-7	-7	10	-1
	4	83	283	259	208
Az Total		26	62	240	106
Sb	0	319	496	33	283
	1	-234	261	1053	360
	2	376	328	2077	927
	3	148	232	147	176
	4	187	1201	591	660
Sb Total		159	504	780	481
Grand Total		96	289	532	303

Tabela 43 – Média do valor do hectare no cenário C.10.40.2.

Average of C.10.40.2		Classe Densidade			
Especie	Classe Idade	1	2	3	Grand Total
Az	0	-273	-520	9459	2548
	1	3152	4373	7896	5140
	2	-818	-149	906	-105
	3	-443	-24	169	-99
	4	823	2082	2493	1799
Az Total		382	983	3849	1685
Sb	0	354	1305	-1374	95
	1	-6802	1147	8435	927
	2	1443	1789	11417	4883
	3	-280	-105	194	-64
	4	224	6041	2632	2965
Sb Total		-1012	2036	4261	1761
Grand Total		-352	1523	4072	1725

Tabela 44 – Média do valor do hectare no cenário C.10.40.4.

Average of C.10.40.4		Classe Densidade			
Especie	Classe Idade	1	2	3	Grand Total
Az	0	-255	-485	8440	2261
	1	3201	4245	7296	4914
	2	-702	-189	837	-96
	3	-365	11	141	-71
	4	736	1881	2273	1630
Az Total		418	927	3493	1565
Sb	0	268	1084	-1335	5
	1	-5893	1054	7585	915
	2	1311	1737	10134	4394
	3	-298	-150	91	-119
	4	161	5253	2256	2557
Sb Total		-890	1796	3746	1550
Grand Total		-271	1372	3630	1557

Tabela 45 – Média do valor do hectare no cenário C.10.40.6.

Average of C.10.40.6		Classe Densidade			
Especie	Classe Idade	1	2	3	Grand Total
Az	0	-209	-397	6876	1842
	1	2742	3605	6016	4121
	2	-561	-163	676	-79
	3	-287	16	114	-52
	4	604	1562	1853	1340
Az Total		368	784	2857	1298
Sb	0	223	922	-1195	-17
	1	-4718	1051	6405	913
	2	1134	1471	8638	3748
	3	-262	-158	25	-132
	4	142	4415	1867	2141
Sb Total		-696	1540	3148	1331
Grand Total		-192	1172	3014	1315

Tabela 46 – Valor médio do hectare por classe de idade em cada cenário.

Classe Idade	C.-.40.2	C.-.40.4	C.-.40.6	C.15.40.2	C.15.40.4	C.15.40.6	C.10.40.2	C.10.40.4	C.10.40.6
Azinheira									
0	122	97	78	288	261	175	2548	2261	1842
1	156	108	73	187	242	169	5140	4914	4121
2	81	29	7	62	13	-3	-105	-96	-79
3	0	0	0	-2	-2	-1	-99	-71	-52
4	212	191	183	275	243	208	1799	1630	1340
Sobreiro									
0	678	460	334	535	351	283	95	5	-17
1	77	79	86	656	352	360	927	915	913
2	596	439	348	1952	1158	927	4883	4394	3748
3	560	380	277	330	236	176	-64	-119	-132
4	707	501	380	1354	860	660	2965	2557	2141

Tabela 47 – Valor médio do hectare por classe de densidade em cada cenário.

Classe Densidade	C.-.40.2	C.-.40.4	C.-.40.6	C.15.40.2	C.15.40.4	C.15.40.6	C.10.40.2	C.10.40.4	C.10.40.6
Azinheira									
1	45	35	29	28	29	26	382	418	368
2	100	68	54	79	78	62	983	927	784
3	198	156	129	382	342	240	3849	3493	2857
Sobreiro									
1	422	291	215	312	180	159	-1012	-890	-696
2	595	419	319	994	630	504	2036	1796	1540
3	553	406	321	1590	963	780	4261	3746	3148

Tabela 48 – Valor médio de um hectare por cenário e por espécie.

	C.-.40.2	C.-.40.4	C.-.40.6	C.15.40.2	C.15.40.4	C.15.40.6	C.10.40.2	C.10.40.4	C.10.40.6
Azinheira	112	85	69	158	145	106	1685	1565	1298
Sobreiro	523	372	285	965	591	481	1761	1550	1331
	4.67	4.38	4.13	6.11	4.08	4.54	1.05	0.99	1.03

Tabela 49 – Média de desbastes aplicados por classe de idade e densidade.

Média de Desbastes		Classe Densidade			
Espécie	Classe Idade	1	2	3	Grand Total
Az	0	0.00	0.00	1.00	0.30
	1	1.50	1.50	1.86	1.63
	2	2.00	2.55	2.00	2.24
	3	1.33	1.33	1.71	1.47
	4	2.00	3.11	3.75	3.23
Az Total		1.55	2.03	2.56	2.10

Tabela 50 – Média de descortiçamentos aplicados por classe de idade e densidade.

Média de Descortiçamentos		Classe Densidade			
Espécie	Classe Idade	1	2	3	Grand Total
Sb	0	4.45	4.24	4.11	4.27
	1	4.90	4.73	4.68	4.77
	2	4.67	4.90	4.83	4.79
	3	4.08	4.19	4.48	4.24
	4	4.43	4.57	4.42	4.48
Sb Total		4.50	4.54	4.51	4.51