

**Impacto da gestão no carbono armazenado na biomassa de  
*Pinus pinaster* nas províncias de Cuenca (Espanha)**

**Ana Filipa Maximino Tina**

*Dissertação apresentada á Escola Superior Agrária de Bragança para  
obtenção do Grau de Mestre em Tecnologia Ambiental*

**Orientador: Professor Doutor Filipe Bravo**

**Co-Orientadora: Professor Doutora Maria do Sameiro Patrício**

**Bragança**

**2013**

*Editado por*

INSTITUTO POLITÉCNICO DE BRAGANÇA – ESCOLA SUPERIOR AGRÁRIA DE  
BRAGANÇA

Campos de Santa Apolónia Apartado - 1172

5301-855 BRAGANÇA

Portugal

Telefone: (+351) 273 303 200 ou (+351) 273 331 570

✉ sacd@ipb.pt ou [grei@ipb.pt](mailto:grei@ipb.pt)

🌐 <http://www.esa.ipb.pt>

Reproduções parciais deste documento serão autorizadas na condição que seja mencionado o Autor e feita referência a *Mestrado de Tecnologia Ambiental, Escola Superior Agrária do Instituto Politécnico de Bragança*.

As opiniões e informações incluídas neste documento representam unicamente o ponto de vista do respectivo Autor, não podendo o Editor aceitar qualquer responsabilidade legal ou outra em relação a erros ou omissões que possam existir.

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço ao meu orientador, Professor Doutor Felipe Bravo, da Universidade de Valladolid- Campus La Yutera, Palência, pela paciência, disponibilidade, o apoio e ensinamentos científicos prestados ao longo deste trabalho, sendo essencial para a sua conclusão.

À minha coorientadora, Professora Doutora Maria do Sameiro Patrício, da Escola Superior Agrária de Bragança pela disponibilidade, colaboração no trabalho da correção e afinação da dissertação pelos demais conhecimentos transmitidos.

Ao Professor Doutor Amílcar Teixeira, da Escola Superior Agrária de Bragança, pela sua disponibilidade e simpatia e tudo o apoio prestado na elaboração da dissertação.

Ao Professor Ángel Cristóbal Ordoñez, da Universidade de Valladolid- Campus La Yutera, Palencia, por toda a ajuda na realização dos cálculos e as saídas de campo enquanto estive em Palencia.

Agradeço aos meus pais Madalena Maximino e Luís Tina, por tudo, em especial a minha MÃE por toda a dedicação, pela minha educação, pelo amor, pela confiança que em mim sempre teve.

À minha irmã Vera, pela compreensão e amizade prestada ao longo deste trabalho.

Agradeço em especial aos meus amigos, Miguel, Maria, Patrícia e Rita que sempre me apoiaram e deram forças para nunca desanimar.

Os meus colegas de turma, Carla, Patrícia, João, Ricardo, Mónica e Filipe por me terem acompanhado nesta caminhada.

Aos meus amigos que me apoiaram.

A todos que, de alguma forma, contribuíram para a realização desta tese.

## RESUMO

Neste trabalho, procedeu-se á avaliação do impacto da gestão no armazenamento do carbono na biomassa da *Pinus pinaster* ao longo de um período de 10 anos. Para avaliar esses efeitos, realizaram-se 3 ciclos de medições efetuadas com periodicidade de 5 anos (2003-2013) em quatro províncias espanholas (Cuenca, Teruel, Sória e Guadalajara). A avaliação do carbono foi efetuada por estimativa. Para tal usaram-se as equações já existentes para a espécie com aplicabilidade nas regiões em estudo. Procedeu-se também à avaliação do contributo deste tipo de floresta para a redução dos gases de efeito de estufa e melhoria da qualidade ambiental. Os resultados obtidos permitiram verificar que nas províncias em estudo o armazenamento de carbono na biomassa aumentou ao longo dos anos. Os desbastes aplicados nos últimos 10 anos provocaram uma redução da competição entre árvores e um aumento das taxas de crescimento individuais. A condução efetuada contribuiu para aumentar a capacidade da floresta para o sequestro de carbono e consequentemente para uma redução dos GEE. Comparou-se também a rentabilidade de diferentes alternativas de gestão silvícola com base no cálculo do Valor Esperado da Terra (LEV). Para isso testaram-se várias hipótese com inclusão/não inclusão do valor do carbono com diferentes taxas de juro (3, 4, 5 e 6%) e diferentes valores de referência por tonelada de carbono (5, 10 e 20 €). Os resultados demonstraram que o pagamento de serviços ambientais como o sequestro de carbono pode aumentar o valor esperado da terra entre 40 % a 272 %, relativamente ao valor tradicional obtido somente com o valor da madeira produzida.

**Palavras-chave:** floresta, armazenamento de carbono, fixação do CO<sub>2</sub>, Pinheiro bravo, redução gases efeito de estufa, qualidade ambiental

## ABSTRACT

In this work, we tried to evaluate the impact of management on carbon storage in the biomass of *Pinus pinaster* over a period of ten years. To evaluate these effects, there were three cycles of measurements made at intervals of five years (2003-2013) in four Spanish provinces (Cuenca, Teruel, Soria and Guadalajara). The results of the carbon evaluation must be considered as an estimate. To achieve this, we used the existing equations for the species with applicability in the regions under study. We also made an appraisal of the contribution of this type of forest to the reduction of greenhouse gas emissions and improvement environmental quality. The results obtained showed that in the provinces under study, the carbon storage in biomass increases over the years. Thinnings applied over the last ten years led to a reduction in competition between trees and an increase in individual growth rates. This action contributed to increase the capacity of forests to absorb the carbon and the consequently reduction of GHG. We compared also the profitability of different forest management alternatives based on calculating the Land Expected Value (LEV). To achieve it, we tested several hypothesis with inclusion/ non-inclusion of the carbon value with different rates of interest (3, 4, 5 and 6 %) and different reference values per tonne of carbon dioxide (5, 10 and 20€). The results showed that the payment of environmental services such as carbon sequestration can increase the expected value of the land between 40% to 272% compared to traditional value obtained only with the value of the timber produced.

**Key words:** Carbon Storage, fixation of CO<sub>2</sub>, *Pinus pinaster*, reduction of greenhouse gases, environmental quality

## ÍNDICE

<b>AGRADECIMENTOS .....</b>	<b>I</b>
<b>RESUMO.....</b>	<b>II</b>
<b>ABSTRACT.....</b>	<b>III</b>
<b>1. INTRODUÇÃO .....</b>	<b>1</b>
1.1. Contextualização do impacto dos GEE e da fixação do CO <sub>2</sub> .....	4
1.1.1 Impacto da gestão florestal sobre a fixação do CO <sub>2</sub> no século XX. ....	7
1.1.2 Análise da fixação de carbono.....	7
1.1.3 Absorção do CO <sub>2</sub> na floresta.....	8
1.1.4 Efeitos do aumento de CO <sub>2</sub> .....	9
<b>2. MATERIAL E MÉTODOS.....</b>	<b>11</b>
2.1. Área de estudo.....	11
2.2. Caracterização da espécie em estudo.....	12
2.3. Procedimento laboratorial e análise da informação .....	13
2.4. As propostas da gestão silvícola em estudo .....	17
<b>3. RESULTADOS E DISCUSSÃO .....</b>	<b>24</b>
3.1. Análise da fixação do carbono.....	24
3.2. Análise Económica .....	30
<b>4. CONSIDERAÇÕES FINAIS .....</b>	<b>33</b>
<b>5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....</b>	<b>36</b>

# 1. INTRODUÇÃO

Silvicultura é a arte de aplicar as técnicas baseadas em conhecimentos científicos e biológicos com o propósito de controlar o desenvolvimento natural das florestas e de conduzir a sua evolução na direção desejada, no momento próprio, de forma racional, sem menosprezar os fatores ecológicos que fazem da floresta um sistema equilibrado. É também o ordenamento ou a gestão científica das florestas para a contínua produção de bens e serviços. Esta ciência foi desenvolvida na Europa durante o século XVIII, para atender, inicialmente, às necessidades de fornecimento de combustível e madeira de construção. A gestão florestal sustentável pode contribuir para a redução das alterações climáticas através de estratégias chave, como: 1) a preservação ou manutenção do carbono que se encontra armazenado nas florestas, 2) a captura e aumento do carbono armazenado, e a substituição de materiais e combustíveis derivados de combustíveis fósseis, 3) fonte de energias renováveis. Atualmente estão sendo desenvolvidas novas técnicas de silvicultura que poderão se adaptar, às técnicas tradicionais com um impacto significativo sobre a capacidade das florestas para conservar e reter o dióxido de carbono (BRAVO *et al.*, 2007).

A utilização das florestas como fonte de energia é de extrema importância a nível Mundial uma vez que pode substituir os combustíveis fósseis por material (madeira) que é renovável. Em Espanha, até aos anos 60, a floresta foi abandonada devido ao desenvolvimento económico e migração em massa do campo para a cidade. Diferentes estudos demonstraram que a acumulação de gases de efeito estufa na atmosfera está a causar mudanças nas condições climáticas do planeta Terra. De acordo com a recente estimativa da situação global de carbono, 44% de carbono permanece na atmosfera, enquanto os restantes 56% são distribuídos pelo oceano e pelos ecossistemas terrestres (Bravo, 2008). As florestas, independentemente da sua localização geográfica, desempenham um papel importante na fixação de CO<sub>2</sub>. Por conseguinte, o Protocolo de Kyoto permite aos países avaliar as mudanças líquidas nas emissões de gases devido ao uso do solo induzidas pelo homem, como por exemplo através de diversas práticas de silvicultura, como sejam o florestamento, reflorestamento e desflorestamento (Protocolo de Kyoto, art. 3.3) e, opcionalmente, a gestão florestal (art. 3.4) (Protocolo de Kyoto). WATSON *et al.* (2000) afirmam que 6,42% do *stock* terrestre de carbono se situa nas

florestas temperadas, ressaltando a importância destas no armazenamento de carbono (BRAVO *et al.*, 2008).

As alterações climáticas deverão ter consequências ecológicas ao nível dos ecossistemas florestais. Os impactos previstos abrangem uma ampla gama de efeitos, como sejam a evolução para novos tipos de plantas (JACKSON e OVERPECK, 2000), o deslocamento na distribuição espacial (IVERSON e PRASAD, 1998) e a redistribuição das populações adaptados ao clima local (TCHEBAKOVA *et al.*, 2003). Recentemente foi relatado um aumento de temperatura de 0,9 °C para o período de 1901-2005 (ALCAMO *et al.*, 2007) e um incremento ainda maior do que a média entre 1979 e 2005. Embora estas tendências sejam mais elevadas no norte e centro da Europa do que no sul (KLEIN TANK e KONNEN, 2003), a área mediterrânica é considerada muito sensível às mudanças climáticas (SALA *et al.*, 2000). Os modelos climáticos preveem um aumento significativo da temperatura devido à elevada concentração de CO<sub>2</sub> e de outros gases de efeito de estufa, bem como uma redução na precipitação anual, incluindo a sua distribuição sazonal, com mais frequência de fenómenos de seca grave (CASTRO *et al.*, 2005). Em paralelo com estas tendências, tem havido uma redução da área florestal adequada para as espécies da região do Mediterrâneo (SCHROTER *et al.*, 2005; del BARRIO *et al.*, 2006; HARRISON *et al.*, 2006) e uma diminuição na taxa de crescimento das árvores (SARRIS *et al.*, 2007). No entanto, outros estudos não encontraram tendências positivas na dinâmica da floresta, assim como no crescimento em diâmetro, que indica uma resposta específica do local para as alterações climáticas (VILA *et al.*, 2008). Da mesma forma, alguns modelos foram baseados em métodos que preveem um impacto em cenários mais quentes no Mediterrâneo (SABATE *et al.*, 2002).

As estratégias adaptativas da gestão florestal (silvicultura adaptativa) são necessárias para obter bens e serviços florestais de forma sustentável. Alguns resultados de modelação sugerem que as práticas de gestão influenciam a dinâmica da floresta nas alterações climáticas (LINDNER, 1999, 2000). A inclusão das tendências de crescimento do local na gestão florestal poderão ajudar ao desenvolvimento de estratégias para avaliação da redução potencial da floresta e da sua capacidade de adaptação. A estratégia para adaptação

da gestão florestal exige informações básicas sobre os impactos das alterações climáticas a médio e longo prazo (SPITTLEHOUSE e STEWART, 2003).

Neste contexto o objetivo deste estudo consistiu na avaliação do carbono sequestrado em florestas de *Pinus*, nas províncias de Cuenca, Guadalajara, Teruel e Sória (Espanha) a partir da base de dados existente na Universidade de Valladolid. Fazem parte especificamente do estudo:

- i.** Cálculo da quantidade de carbono com base em equações já desenvolvidas e Cálculo do Valor Esperado da Terra LEV (Análise Económica);
- ii.** Desenvolver simulações para a gestão sustentável dos povoamentos de *Pinus pinaster*, na província de Cuenca (Espanha), a partir da base de dados SIMANFOR, tendo em consideração 3 ciclos de medições efetuadas com periodicidade de 5 anos (2003, 2008 e 2013).
- iii.** Monitorizar a evolução dos stocks de carbono ao longo dos últimos 10 anos tendo em conta alternativas de gestão que visem uma maior conservação do carbono.
- iv.** Avaliar o contributo deste tipo de floresta para a redução dos gases de efeito de estufa e melhoria da qualidade ambiental.

## 1.1. Contextualização do impacto dos GEE e da fixação do CO<sub>2</sub>

Existe um consenso alargado de que as emissões dos chamados gases de efeito de estufa (GEE), sendo o CO<sub>2</sub> o principal, são responsáveis pelas alterações do clima à escala global. Assim, no período da Revolução Industrial (em geral, datada de 1750), as emissões de CO<sub>2</sub> aumentaram drasticamente em 31%, passando de 280 ppm para 379 ppm (FORSTER *et al.*, 2007) devido às atividades humanas (*e.g.* carvão para aquecimento, produção de energia a partir de combustíveis fósseis, transporte), contribuindo para o aquecimento global e outros problemas ecológicos associados. A sociedade exige, atualmente, ações para mitigar as causas das alterações climáticas. Nesta medida, a floresta pode desempenhar um papel crucial neste processo, conforme indicado no Guia de Boas Práticas para o uso da terra, uso mudança e silvicultura (ARNOLD *et al.*, 2005). As alterações climáticas podem afetar o crescimento florestal porque a taxa de crescimento das florestas depende do estado de saúde em que elas se encontram, bem como da disponibilidade de nutrientes, água e energia para a atividade fotossintética, e outros fatores.

A gestão do ecossistema, que pode ser definida como o equilíbrio entre as funções do ecossistema e as exigências humanas em recursos naturais (GRUMBINE, 1994) pode ajudar os silvicultores a lidar com os desafios das alterações climáticas. A gestão dos ecossistemas representa uma mudança da intervenção sobre uma única espécie para uma abordagem mais holística, que reconhece os valores e serviços intrínsecos e a natureza interligada de funções do ecossistema para além das necessidades humanas (BLOCKSTEIN, 1999). Ao entender o ciclo do carbono na dinâmica florestal sob diferentes regimes de gestão, os silvicultores podem projetar estratégias adequadas para a condução das florestas. O ciclo do carbono é essencial para a avaliação ambiental, pois está estreitamente relacionado com atributos ambientais diferentes ou funções socioeconómicas, valores, serviços e benefícios que as florestas prestam (alimentos, produção de combustíveis, biodiversidade, sequestro de carbono, regulação do clima, proteção de bacias hidrográficas e benefícios não materiais, tais como benefícios espirituais ou estéticos). Várias conferências ministeriais foram realizadas na Europa (Estrasburgo, 1990; Helsínquia, 1993, Lisboa, 1998, Viena, 2003; Varsóvia, 2007) para analisar o papel da gestão florestal sob o paradigma da sustentabilidade e seu potencial como um sumidouro de

carbono. Nestas conferências, sugeriu-se que existe uma necessidade de se fazer um inventário do *stock* de biomassa em madeira florestal e comparar o carbono armazenado nas florestas e a quantidade de CO<sub>2</sub> emitido pela combustão de combustíveis fósseis. Para a fixação do CO<sub>2</sub> é necessário calcular o potencial florestal através dos dados de crescimento da biomassa.

A nível nacional, os métodos padronizados para o cálculo da biomassa na floresta, também designados como Sumidouros de CO<sub>2</sub>, são fontes importantes para conseguir que os países possam alcançar os objetivos de redução de emissões propostos no Protocolo de Kyoto. É por isso necessário desenvolver metodologias precisas e adequadas para estimar a quantidade anual de carbono florestal. Os inventários florestais fornecem dados adequados que podem ajudar a monitorizar a biomassa florestal e contribuir para a génese dos orçamentos de carbono de larga escala (a nível regional e nacional). Isto é feito através da conversão de dados do volume de madeira (m<sup>3</sup>) ou biomassa (Mg) para o conteúdo de carbono (Mg C) e fixação de CO<sub>2</sub> (Mg CO<sub>2</sub>), usando equações apropriadas ou fatores de expansão de biomassa. Os Inventários florestais nacionais (IFN) são desenvolvidos rotineiramente em muitos países em todo o mundo: EUA (BROWN *et al.*, 1997; SCHROEDER *et al.*, 1997), Suécia (HÄGGLUND, 1985), da Finlândia (TOMPPO, 1996), China (FANG e WANG, 2001), Espanha (BRAVO e MONTERO, 2003), e Portugal, cuja última atualização data de 2010 (ICNF, 2013).

A metodologia geral inclui dados, tanto ao nível da árvore individual como dos povoamentos, que normalmente são registrados a cada 5-10 anos. Estes dados podem ser utilizados para calcular os balanços de carbono florestais adequadamente para monitorar o cumprimento do Protocolo de Kyoto. O Protocolo de Kyoto (UNFCCC, 1997) no primeiro período de compromissos quantificados de limitação ou redução das emissões, de 2008 a 2012, considera que algumas das mudanças nos stocks de carbono florestais podem ser utilizadas para reduzir as emissões de GEE (Protocolo de Kyoto, art 5.7).

Atualmente, em Espanha, há um forte impulso para o desenvolvimento de indicadores e uma evolução na gestão para que seja apropriada para uma floresta sustentável. O desenvolvimento de indicadores é difícil em diferentes expectativas (dados e usuários finais) e devem ser desenvolvidos com diferentes objetivos (política, design, orientações de gestão,

silvicultura operacional, monitorização, etc.) e em diferentes escalas espaciais e terrestres. Em alguns casos, são utilizados os dados brutos, muitas vezes como indicadores heterogéneos (caso da pegada ecológica) ou índices dimensionais (tais como o índice de sustentabilidade ambiental) como usuário final para uma melhor realização. Assim selecionar as variáveis mais adequadas, como os métodos estatístico (obtenção, gestão e análise de conjuntos de dados), procedimentos rentáveis e estratégias de agregação, são variáveis cruciais no desenvolvimento de indicadores.

Embora os serviços prestados pelas florestas e bosques sejam numerosos a diversos níveis espaciais e temporais, as informações sobre a fixação de carbono florestal poderá ajudar a fornecer um ponto de referência disponível para quem toma a decisão para o desenvolvimento de políticas na conservação, gestão e desenvolvimento sustentável. Os indicadores que se encontram no projeto da Norma Portuguesa, relacionados com os *stocks* de carbono florestal, estão incluídos em diferentes critérios e indicadores de sistemas, mas uma metodologia clara e unificada não foi ainda totalmente estabelecida. Os Critérios pan-europeus para a gestão florestal sustentável são mencionados da seguinte forma:

Critério 1: Manutenção e aumento apropriado dos recursos florestais e o seu contributo para os ciclos globais do carbono;

Critério 2: Manutenção da saúde e vitalidade dos ecossistemas florestais;

Critério 3: Manutenção e fomento das funções produtivas das florestas (lenhosas e não lenhosas);

Critério 4: Manutenção, conservação e fomento apropriado da diversidade biológica nos ecossistemas florestais;

Critério 5: Manutenção e fomento apropriado das funções protetoras na gestão das florestas (principalmente solo e água);

Critério 6: Manutenção de outras funções e condições socioeconómicas.

O responsável pela Unidade de Gestão Florestal (UGF) deve estabelecer uma metodologia para a recolha de informação referente aos indicadores (Anexo A (estes incluídos no

próprio documento)), adequada aos objetivos de gestão e às necessidades de informação para a UGF e a respetiva periodicidade da avaliação (Norma Portuguesa 4406, 2009)

### **1.1.1 Impacto da gestão florestal sobre a fixação do CO<sub>2</sub> no século XX.**

Em Espanha a organização da exploração florestal começou nas montanhas no final do séc. XIX. Desde o início destes trabalhos, foram relatadas as decisões tomadas na gestão e nos resultados obtidos, podendo ser analisada a evolução da concentração do dióxido de carbono fixado na biomassa florestal. Nesta medida, a Lei atual dos Montes reflete nas suas disposições os incentivos para as externalidades ambientais relativamente à gestão das florestas (Lei 43/2003, art. 65 2.b). No entanto, o relatório do Painel Intergovernamental sobre Alterações Climáticas (IPCC) sobre a mitigação (IPCC, 2001) adverte sobre a temporalidade dos *stocks* de carbono em florestas e do perigo que pode causar se as emissões forem descontroladas e provocar grandes incêndios florestais. Também assegura que a quantidade de carbono armazenado e as emissões dependem das práticas de gestão e que estas podem ser orientadas para a acumulação de longo prazo ou para uma menor absorção, devendo haver um acordo entre as duas soluções que deve estar patente na gestão que se aplica no espaço florestal (BRAVO *et al.*, 2007).

Em regiões temperadas do Norte Peninsular e de zonas húmidas, o Inventario Nacional Florestal Espanhol 2 e 3 indicam que num período de 11 anos, o valor da floresta aumentou acentuadamente como um sumidouro de carbono da atmosfera. Este aumento é devido principalmente ao aumento da área florestal (34,4%) e ao aumento do teor de carbono nos ecossistemas florestais (11,6%), dado o aumento das superfícies e o aumento da presença de folhosas. Um estudo de OSORIO *et al.*, (2006), mostrou que há uma evolução positiva de carbono fixado nos pinhais de *Pinus pinaster* Ait. em Almazan (Soria).

### **1.1.2 Análise da fixação de carbono**

As florestas têm um papel importante na purificação do ar e na redução das alterações climáticas. O Centro de Investigação Florestal e Instituto Nacional de Investigação e Tecnologia Agrária e Alimentar (CIFOR-INIA) realizou um estudo que mostra que, na atualidade, as florestas espanholas acumulam em cada ano, cerca de 87 milhões de

toneladas de CO<sub>2</sub> devido ao seu crescimento. Assim, em Espanha as florestas fixam cerca de 24% do total de emissões anuais de CO<sub>2</sub>. Para fins de cumprimento do Protocolo de Kyoto, no período 2008-2012, Espanha acumulou 2,46 milhões de toneladas de CO<sub>2</sub> fixado, correspondentes ao “manejo florestal” (CMNUCC, 2008). O crescimento das florestas é responsável pela maior percentagem de absorção de CO<sub>2</sub> atmosférico da área florestal espanhola, em que 65% correspondem às remoções efetuadas no ano de 2009, cerca de 23% são devidas a outras fixações de carbono no uso da terra que se tornam floresta e 11% resultam da gestão da terra agrícola.

Quantificar a fixação do carbono é muito importante, pois o seu armazenamento em florestas e produtos dela derivada tem sido propostos como uma estratégia adequada para reduzir os efeitos das alterações climáticas, com o intuito de arranjar alternativas para diminuir a dependência energética dos combustíveis fósseis.

A acumulação do carbono e da biomassa nas florestas pode ser aumentada através de várias opções (GRAÇA *et al.*, 2005). São exemplos, segundo os autores, a proteção contra incêndios e pragas, o controlo de doenças, através da alteração da amplitude da mudança, da regulação da densidade de árvores, da melhoria do estado nutricional das plantas, da seleção adequada de espécies e génotipos, do uso da biotecnologia e da gestão adequada dos sobrantes florestais. A maioria destas atividades pode aumentar a taxa de acumulação de carbono entre 0,3 e 0,7 Mg C ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup> (GRAÇA *et al.*, 2005). O armazenamento de carbono depende da composição específica da floresta e qualidade de estação (BRAVO *et al.*, 2006).

### **1.1.3 Absorção do CO<sub>2</sub> na floresta**

As florestas fixam o carbono através da fotossíntese, isto é, convertendo-o em biomassa, e armazenando-o nas árvores e nos solos florestais. Desempenham ainda um papel importante para o ciclo de carbono, dado que absorvem e retêm o CO<sub>2</sub> atmosférico, que em parte volta outra vez para a atmosfera através dos processos de respiração autotrófica e heterotrófica, através da vegetação e dos organismos decompositores do solo respetivamente. Um estudo realizado por RUIZ-PEINADO (2011) determinou que o CO<sub>2</sub>

fixado pelas florestas em 2010, foi de 3.565,69 milhões de toneladas, sendo as emissões anuais totais de Espanha de 353,92 milhões de toneladas. Isto dá uma ideia de como é importante a preservação das florestas também para ganhar tempo na procura de fontes de energia alternativas que substituam a energia fóssil.

#### **1.1.4 Efeitos do aumento de CO<sub>2</sub>**

Um grande aumento dos níveis de CO<sub>2</sub> na atmosfera pode alterar as condições dos ecossistemas terrestres, e portanto, é vital saber os riscos que os afetam. Em relação aos ecossistemas terrestres os efeitos das alterações climáticas recaem mais na região do Atlântico, devido às limitações da temperatura, e nas regiões do Mediterrâneo a limitações de água. Com as alterações climáticas a produtividade poderá aumentar na região Atlântica e diminuir na região Mediterrânica (PASCUAL, 2011).

As mudanças que afetam as florestas e o seu crescimento é o aumento da temperatura em altitudes elevadas e a precipitação em baixas altitudes. Quando há um aumento na temperatura verifica-se uma redução de precipitação, com esta diminuição também ocorrerá uma diminuição na humidade do solo, podendo reduzir o crescimento da floresta e aumentar a possibilidade de ocorrência de incêndios, com a consequente perda da cobertura florestal (PARDOS, 2010). Mudanças na produtividade, como resultado do aumento do CO<sub>2</sub> podem ser moderadas por uma dinâmica de nutrientes, composição de espécies e outros fatores do ecossistema. Um dos componentes essenciais da fertilidade natural é o conteúdo de carbono orgânico do solo (PASCUAL, 2011).

O impacto do clima nos ecossistemas florestais pode variar dependendo dos fatores limitativos na regeneração e crescimento, sendo as baixas temperaturas o fator mais limitante. Nas florestas expostas a altas temperaturas o *stress* hídrico vai ser maior, fomentando os ataques de fungos patogénicos e insetos. Nas florestas do mediterrâneo, quando se verifica uma diminuição da precipitação, o crescimento das árvores é ainda mais reduzido, enquanto o risco de incêndios tende a aumentar (PASCUAL, 2011).

A gestão das florestas podem ser um meio para reduzir a severidade e extensão desses impactos climáticos, nomeadamente através de reflorestação, preservação e conservação,

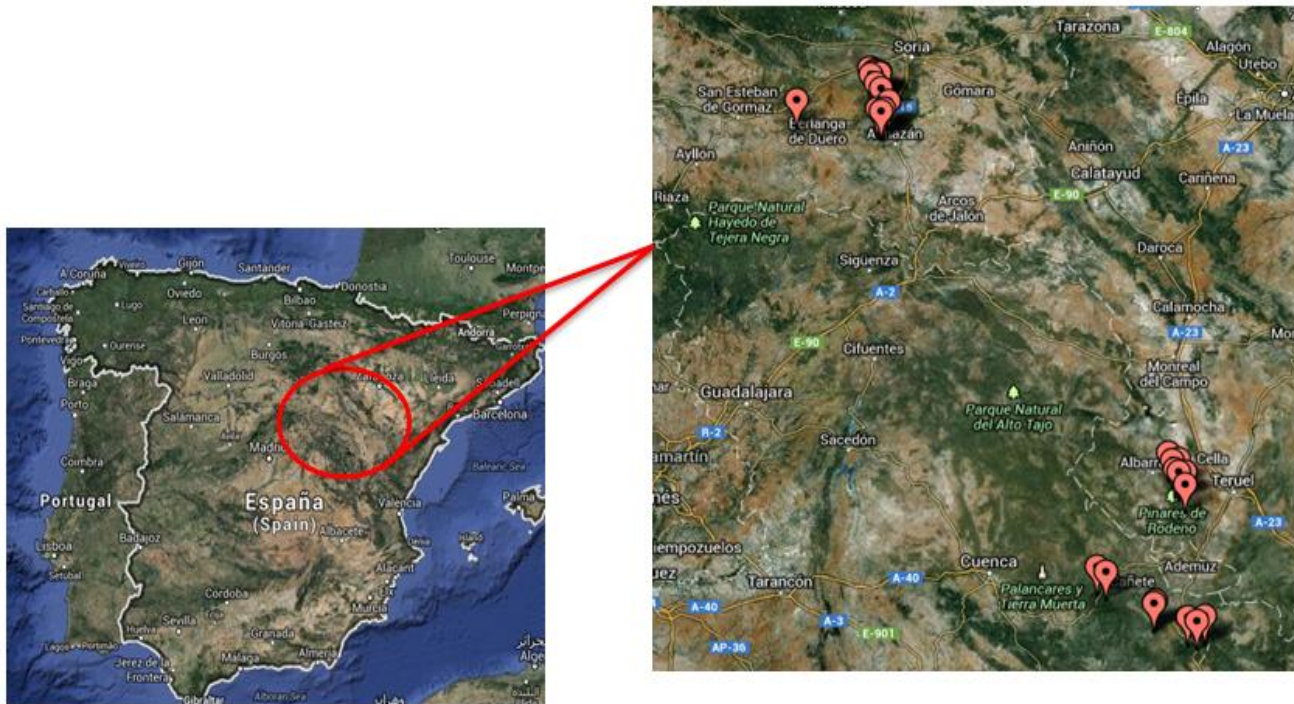
alterações nas taxas de colheita, seleção de espécies de árvores, e diminuição de atrasos nas reflorestações após a colheita (BRAVO *et al.*, 2008). O Protocolo de Kyoto contribuiu para uma melhor gestão florestal através da criação de mecanismo para redução das emissões de CO<sub>2</sub>. No entanto, os benefícios ligados à captura de carbono pelas florestas ainda não podem ser convertidos em Euros, porque eles não são reconhecidos como créditos verdes num regime de comércio. Ainda assim, é amplamente reconhecido que este carbono tem um valor armazenado equivalente ao valor dos créditos verdes num esquema aceite pelo comércio de emissões. A gestão tradicional promove uma produção sustentada, por isso, pode ser útil para conhecer os benefícios económicos da incorporação e da absorção de carbono introduzi-lo como um objetivo nas alternativas de silvicultura. Do ponto de vista económico, a inclusão da captura de carbono na gestão silvícola é um problema abordado na literatura florestal desde os anos 1990. HOEN e SOLBERG (1994) estabeleceram uma fronteira de possibilidade de produção entre o valor líquido atualizado associado com a produção de madeira e a absorção de CO<sub>2</sub> usando uma otimização a nível do modelo florestal com diferentes opções de silvicultura. A determinação da idade ideal de rotação da floresta, seja para a produção de madeira ou sequestro de carbono, tem sido estudada por diversos autores, que tentaram adaptar a abordagem de FAUSTMANN (1849), onde o CO<sub>2</sub> capturado é considerado, utilizando metodologias clássicas (VAN KOOTEN *et al.* 1995) ou técnicas multicritério de tomada de decisão (ROMERO *et al.* 1998). As estratégias de silvicultura são de suma importância para a realização de alternativas satisfatórias para equilibrar a economia e os critérios ambientais (absorção de CO<sub>2</sub>). (BRAVO *et al.*, 2008)

## 2. MATERIAL E MÉTODOS

### 2.1. Área de estudo

A zona estudada (Fig. 1) localiza-se no Sistema Ibérico meridional, mais precisamente nas regiões autónomas de Castilla-La Mancha, Castilla-Leon e Aragón mais propriamente nas províncias de Cuenca, Guadalajara, Sória e Teruel. **Cuenca** situa-se no centro de Espanha, no planalto interior com um clima típico Mediterrânico-Continental. Os **invernos** são relativamente muito frios, podendo as temperaturas atingir **-17,8°C**, e as temperaturas do **verão** rondarem os **+39,6°C**, sendo as estações do outono e primavera de períodos muito curtos. **Sória** situa-se nas margens do Rio Douro, centro-norte de Espanha, o clima é mediterrâneo-continental com invernos conhecidos por serem frios, com temperaturas negativas que podem atingir os **-3,2°C**, enquanto no verão as temperaturas máximas rondam os **+28°C**, podendo chegar aos **+35°C**. **Teruel** localiza-se a sul da região de Aragón, possui uma geografia montanhosa, com um clima bastante seco. As temperaturas oscilam entre um máximo de **39°C** e um mínimo de **-19°C**. **Guadalajara** está situada na parte norte da região autónoma de Castilla-La Mancha, faz fronteira com as províncias de Cuenca, Madrid, Sória, Saragoça e Teruel. O território contém diversas condições climáticas, mas apesar disso recai sobretudo no clima mediterrânico, típico do Planalto Central. A diversidade climática apresentada pela província de Guadalajara, resulta da zona de transição entre o Atlântico e o Mediterrâneo em Espanha.

Quanto ao tipo de solos na zona de estudo estão representados os cambisolos calcários que em zonas/locais húmidas evoluem para luviosolos (LOPEZ *et al.*, 2006)



**Figura 1-Zona de estudo**

## **2.2. Caracterização da espécie em estudo**

A *Pinus pinaster*, conhecida como Pinheiro Bravo (Fig. 2), é uma árvore com função de produção de lenho podendo ter caráter de espécie pioneira, com crescimento médio rápido, que suporta grandes oscilações de temperaturas e apresenta uma longevidade média, podendo viver até aos 300 anos, sendo capaz de atingir um tamanho considerável



**Figura 2- Aspeto da espécie *Pinus pinaster***

A sua presença é muito frequente em solos pobres em nutrientes, contudo, a espécie não se desenvolve tanto neste tipo de solos como em solos de melhor qualidade. Ela está presente em Espanha, no Mediterrâneo Ocidental entre outros países, como Marrocos, Portugal e França. É também uma espécie que apresenta uma grande plasticidade ecológica. Além disso, suporta o frio rigoroso que se faz sentir no inverno ou então frios temperados continentais que existem na proximidade da costa atlântica. O seu clima ideal é do tipo mediterrânico, mais propriamente o de carácter tradicional mediterrânico que atinge a costa nordeste do Atlântico, com uma tendência de clima temperado oceânico. (CASTRO, 1997)

### **2.3. Procedimento laboratorial e análise da informação**

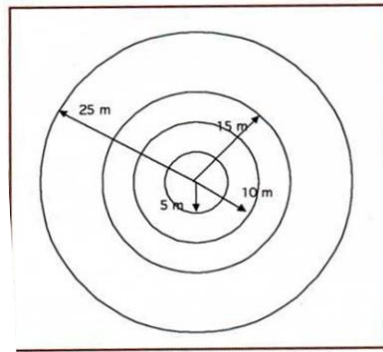
Para uma avaliação da biomassa e do carbono na *Pinus pinaster* é necessário utilizar ferramentas que forneçam informações necessárias para editar o modelo silvícola e também ferramentas que sirvam para gerir o próprio modelo silvícola.

O tipo de modelo utilizado no estudo foi o de árvore individual, independente das distâncias.

#### **Quantificação dos dados da zona de estudo.**

Os dados das parcelas usadas no estudo são de anos distintos, de 2003 até 2013, tendo havido recolha de dados de 5 em 5 anos. Cada parcela é composta por quatro sub-parcelas de raios com comprimentos de 5,10,15 m, com uma forma e tamanho compatível com as parcelas do Inventário Florestal Nacional Espanhol (Fig. 3). Em cada uma destas sub-parcelas do IFN o diâmetro mínimo inventariável é igual a 7.5, 12.5, 22.5 e 42.5 cm respetivamente para as coroas de 5, 10, 15 e 25 metros. (BRAVO, 2002).

Neste estudo as parcelas encontram-se entre os raios que vão dos 5 até aos 25 metros.



**Figura 3-Desenho das parcelas do Inventario Florestal Nacional Espanhol**

Como já foi referido anteriormente o desenho das parcelas é compatível com o Inventario Nacional Florestal Espanhol, e em cada parcela foram recolhidos os seguintes dados: 1) distância de cada árvore ao centro da parcela, em metros, 2) diâmetro à altura do peito (DAP), em centímetros (Fig. 4), 3) a altura ( $H_o$ ), em metros, correspondente à altura dominante.



**Figura 4-Medição de diâmetros com suta e craveira**

Com os dados recolhidos no campo, foram calculados, através de uma plataforma SIMANFOR, os seguintes índices estruturais: 1) a densidade (árvores  $ha^{-1}$ ), 2) a área basal ( $m^2$ ), 3) o diâmetro médio (cm), 4) o diâmetro médio quadrático (cm), 5) a altura total média (m), 6) a idade (anos).

O SIMANFOR é um sistema de simulação de modelos florestais que permite a gestão de inventários florestais e a projeção da dinâmica de sistemas florestais mediante a aplicação de modelos tanto empíricos como processuais, bem como o desenvolvimento e evolução de opções silvícolas desenhadas pelos utilizadores (SIMANFOR, 2012).

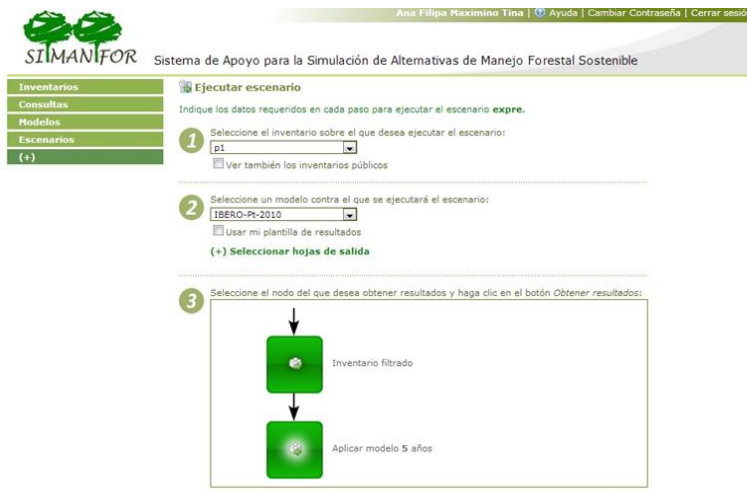
Para a utilização da plataforma é necessário, para além das variáveis dendrométricas já referidas, o conhecimento da altura total das árvores na respetiva parcela. A altura total (Ht) das árvores das várias parcelas foi estimada utilizando uma equação parametrizada com os dados obtidos e tem com estrutura modelo a equação (1) proposta por SCHRÖDER & ÁLVAREZ GONZÁLEZ (2001).

Pino negral

$$HT = 13 + (32.3287 + 1.6688 \cdot H_0 - 0.1279 \cdot Dg) \cdot e^{\left(\frac{-11.4522}{\sqrt{DBH}}\right)} \quad (1)$$

### Equação 1- Equação usada para estimar a altura total (Ht)

Esta equação foi aplicada na folha de Excel que o próprio SIMANFOR fornece para estimar a altura total que juntamente com as restantes variáveis dendrométricas recolhidas nos povoamentos, constituiu a base de dados usada para a realização das simulações no SIMANFOR. Esta base de dados foi completada com o cálculo dos fatores de expansão para parcelas com um raio variável, para expandir os resultados para hectare (BRAVO *et al.*, 2002), Depois do cálculo realizado prosseguiu-se a seleção das parcelas e os dados necessários para efetuar a simulação. Após a criação de um cenário silvícola este era submetido na plataforma para a simulação da sua evolução numa projeção a 5 anos. Esta plataforma foi essencial para elaboração da componente prática, permitindo simular opções de gestão silvícola a longo prazo (Fig. 5).



**Figura 5-Interface da plataforma SIMANFOR**

O estudo centrou-se em várias parcelas das províncias em estudo com o objetivo de verificar o aumento ou a diminuição de biomassa florestal da *P. pinaster*, e consequentemente o respectivo armazenamento de carbono. Estimou-se a biomassa com base nas equações apresentadas por MONTERO *et al.*, (2011) para a *P. pinaster* para a região de Cuenca, Guadalajara, Teruel e Soria.

### **Equações usadas para estimar a biomassa**

MONTERO *et al.*, (2011), utilizaram como variáveis independentes a altura total da árvore e o de diâmetro normal recolhido à altura do peito. O diâmetro (DAP) aparece em todas as equações como  $d$ , uma variável significativa, enquanto a altura  $h$  (Ht) só se encontra presente na equação da biomassa do tronco ( $W_s$ ).

Para estimar a biomassa foram utilizadas as equações ajustadas por Montero *et al.*, (2011) para a *P. pinaster* apresentadas a seguir:

#### **Equações para *Pinus pinaster* Ait.**

- **Biomassa do tronco ( $W_s$ )**

$$W_s = 0.0278 * d^{2.115} * h^{0.618}$$

- **Biomassa de ramos grossos e médios ( $W_{b7}+W_{b27}$ )**

$$W_{b7} + W_{b27} = 0.000381 * d^{3.141}$$

- **Biomassa de ramos finos e agulhas ( $W_{b2+n}$ )**

$$W_{b2} + n = 0.0129 * d^{2.320}$$

- **Biomassa do sistema radical ( $W_r$ )**

$$W_r = 0.00444 * d^{2.804}$$

Em que:

**Wb7** é a biomassa de ramos com diâmetros maiores que 7 cm (Kg); **Wb27** é a biomassa de ramos com diâmetros entre 2 e 7 cm (Kg); **Wb2** é a biomassa de ramos com diâmetros inferiores a 2 cm (Kg); **n** são as agulhas.

Estas equações parciais foram necessárias para o cálculo da biomassa total de cada árvore. As variáveis dependentes vão sendo diferentes para cada componente da árvore. O diâmetro é a variável explicativa, que se encontra em todas as equações.

Após os cálculos efetuados da biomassa total para todas as parcelas das regiões em estudo e para os diferentes anos em avaliação, procedeu-se à análise dos valores comparando a quantidade de carbono armazenado em cada área, através da simulação realizada no SIMANFOR e os valores recolhidos em campo.

#### **2.4. As propostas da gestão silvícola em estudo**

A gestão florestal dos repovoamentos de pinheiro bravo está atualmente condicionada, pela redução do aproveitamento da resina, e pela baixa qualidade da madeira de serração em muita das massas estudadas. Nas áreas menos secas e com boas proveniências, a silvicultura orienta-se geralmente pela produção de madeira.

Nas estações intermédias tem havido a instalação progressiva de folhosas, enquanto nas estações mais secas e solos arenosos o ideal seria a manutenção do pinheiro bravo, pois tem como objetivo ser uma espécie principal de proteção (Plan Florestal de Castilla y Leon, 2002). As propostas de gestão abordadas no estudo consideram a fixação do CO<sub>2</sub>, para verificar se há um armazenamento de carbono nas florestas com a gestão praticada, para a diminuição dos GEE da atmosfera e redução do avanço das alterações climáticas e o cálculo do valor esperado da terra a fim de incluir o pagamento de carbono no preço da madeira. O estudo centrou-se na espécie do Pinheiro bravo, o cálculo do LEV foi efetuado com base no esquema silvícola correspondente à classe qualidade 21 (Quadro 2), a qualidade de estação é a relação entre a altura dominante e a idade da massa, em que neste caso a altura dominante é de 21 m e a idade compreendida entre os 20 e 70 anos.

Os fatores necessários para a realização do esquema proposto pela estação 21, encontra-se no quadro 1.

**Quadro 1- Fatores silvícolas em que se baseia o modelo de gestão**

<b>Fatores</b>	<b>Descrição</b>
<b>Composição específica em estudo</b>	<i>Pinus pinaster</i> (Pinheiro bravo)
<b>Qualidade de estação</b>	21
<b>Idade em estudo</b>	20-40 Anos
<b>Planos de desbaste</b>	Foram realizados 5 desbastes pelo baixo com uma percentagem de corte que varia dos 30 a 60%.

**Quadro 2- Modelo silvícola para a classe de qualidade 21.**

<b>Idade (anos)</b>	<b>Ho (m)</b>	<b>N (pés/ha)</b>	<b>QDM (cm)</b>
25	12,1	1.500	14,6
33	15,6	950	21,5
42	18,8	600	29,4
52	21,5	400	37,4
65	23,9	275	45,9

Em que, Ho é a altura dominante, N é o número de pés por hectare; QDM é o diâmetro médio quadrático.

#### Análise das simulações para o cálculo da análise económica

- 1- A qualidade de estação traduz o potencial de produção de madeira de um local para uma determinada espécie (DAVIS *et al.* 1983). Este estudo foi efetuado para uma qualidade da estação 21. Com base nesta escolha obteve-se o número de árvores existentes na parcela para uma determinada idade. Esta estação demonstrou ser a mais adequada ao modelo

silvícola proposto para a realização da análise do carbono armazenado e assim estimar o benefício da proposta de gestão silvícola com pagamentos de carbono.

- 2- A idade das massas em estudo é uma idade jovem, varia entre os 20-40 anos. Para que se possa elaborar um modelo que seja aplicável ao longo do período de gestão do povoamento é necessário definir a idade do primeiro desbaste, a sua periodicidade e o tipo de desbaste a aplicar. O tipo de desbaste selecionado foi o desbaste pelo baixo.
- 3- Plano dos desbastes:

Um dos objetivos dos desbastes é reduzir a competição entre os indivíduos a fim de assegurar a resistência e a estabilidade da massa, para além de reduzir a quantidade de biocombustível e romper a continuidade da massa. Nas plantações de pinheiro bravo com altas densidades iniciais aplicam-se desbastes entre 10 e 20 anos, dependendo da qualidade da estação e disponibilidade de fundos, deixando uma densidade após desbaste de cerca de 1.500 árvores por hectare. Nos repovoamentos mais recentes as densidades iniciais tendem a ser mais baixas por isso, pode-se evitar uma intervenção e adiar a realização do primeiro desbaste. O desbaste é seguido por um critério de seleção negativa, eliminando os indivíduos com piores fustes, bifurcados, pés muito ramificados ou mortos. A intensidade do desbaste não deve ser forte para não comprometer a estabilidade da massa.

Os desbastes a aplicar para redução de densidade serão do tipo pelo baixo, com eliminação das árvores mortas e mal conformadas e dos andares inferiores podendo chegar aos andares superiores, dependendo do grau de desbaste aplicado. Na altura de selecionar as árvores a extrair num desbaste deve-se ter em conta a presença de outras espécies.

Dentro da plataforma SIMANFOR, utilizando o modelo IBERO PT, modelo este que nos é fornecido pela plataforma e que se refere a esta espécie em estudo, criar-se um inventário silvícola correspondente a uma dada parcela, o qual vai desenhar a atuação silvícola a que vai estar submetida a parcela, nomeadamente os regimes de desbaste utilizados. O SIMANFOR permite-nos obter resultados em vários anos intermédios.

### Análise económica

As atividades de gestão para a produção de madeira são aplicadas em propriedade pública. Neste tipo de gestão, considerada tradicional, as ferramentas mais adequadas podem não ser

aplicadas, e as rotações utilizadas normalmente garantem um nível de produção perto do acréscimo médio anual máximo (MAI) (BRAVO,2003).

O preço da madeira tem sido tradicionalmente definido em leilões públicos, que frequentemente levam a práticas de monopólio pelos compradores o que faz com que haja uma influência sobre o preço estimado.

Para o pinheiro, estima-se um preço base por metro cúbico de 54,1€, excetuando o folheado (BRAVO *et al.*,2007).

À medida que o diâmetro médio de corte das árvores aumenta o preço final do produto também aumenta (Quadro 4). Este aumento foi calculado de acordo com MONTERO *et al.* (1992), sendo o preço final apresentado por classe de diâmetro.

Alguns componentes financeiros, tais como os custos de plantação não foram considerados para a elaboração da análise económica, porque a silvicultura aplicada é orientada para a existência de regeneração natural.

Avaliando cada alternativa de gestão com base na hipótese de Faustmann, em que a expectativa do valor da terra (LEV) é calculada como a soma da biomassa, tendo em conta uma cadeia de ciclos de corte. No cálculo da LEV (Equação 2) para cada alternativa foi considerada uma idade específica, mas isso não significa que o corte seja realizado nessa idade, mas o primeiro corte efetuado foi aos 28 anos. Para facilitar a análise, os níveis de desempenho são agrupados na idade predefinida, embora na realidade não seja realizado nos anos definidos (BRAVO,2003).

Na mitigação das alterações climáticas e na análise de pagamento de carbono, o primeiro passo neste processo foi recorrer à identificação dos dados necessários de rendimento para resolver as questões propostas para a análise de pagamentos de carbono (Quadro 3).

**Quadro 3-Parâmetros do povoamento antes e depois da aplicação dos regimes de desbastes.**

Idade	Antes do desbaste				Depois do desbaste			
	QMD (cm)	Wt (Ton ha <sup>-1</sup> )	Ws (Ton ha <sup>-1</sup> )	Vol (m <sup>3</sup> ha <sup>-1</sup> )	QMD (cm)	Wt (Ton ha <sup>-1</sup> )	Ws (Ton ha <sup>-1</sup> )	Vol (m <sup>3</sup> ha <sup>-1</sup> )
28	14,4	87,0	15,3		19,4	70,9	14,8	59,3
33	16,6	90,5	17,8		19,9	75,5	15,9	64,1
38	19,4	91,9	19,1					
43	20,4	108,0	22,5		23,6	56,5	12,6	50,2
48	23,5	70,4	14,8					
53	24,7	81,2	17,1		27,6	41,7	91,5	37,4
58	27,4	48,1	10,6					
63	28,8	54,8	12,1		31,5	40,9	10,3	41,2
68	31,3	52,7	11,8	47,4				

Em que, o Wt refere-se á biomassa total existente na parcela convertida ao hectare; o Ws é a biomassa do tronco por hectare; QMD é o diâmetro médio quadrático do povoamento e Vol ao volume de madeira.

Os valores apresentados no quadro 2 são-nos dados através do cálculo final das equações de biomassa, e o diâmetro é obtido através de cálculos realizados na plataforma.

O quadro (3) resultou da aplicação do plano de desbaste realizado numa determinada parcela em estudo, a parcela 2 da província de Cuenca no ano 2003, e teve como base o modelo silvícola para a classe de qualidade 21 anteriormente selecionada. Este esquema é realizado em 6 passos, o primeiro passo é a realização do primeiro desbaste, que quando a densidade inicial é superior a 1.500 pés por hectare, em que o valor inicial de pés é de 1924, o desbaste é acompanhado por podas baixas em todos os pés; nos restantes 5 passos serão realizados os restantes cortes de desbaste com uma periodicidade de 5 anos (28 aos 68 anos de idade). Para cada ciclo de idade foram calculados os parâmetros do povoamento antes e depois da operação de desbaste. Os valores obtidos foram utilizados para a realização do cálculo do LEV.

Recorreu-se aos valores de preços da madeira, como é observado no quadro 4, onde se pode verificar que o preço da madeira difere consoante o seu diâmetro médio quadrático (QMD).

**Quadro 4- Preço da Madeira.**

<b>Preço da Madeira</b>	<b>€/m<sup>3</sup></b>
<b>QMD &lt; 20</b>	<b>20</b>
<b>QMD &gt; 20</b>	<b>35</b>
<b>QMD &gt; 45</b>	<b>50</b>

Uma vez que os preços contabilizados para o cálculo final não foram os indicados no quadro 4, por serem considerados valores irrealistas no mercado, foram utilizados os preços que incluem os custos de operação de desbaste apresentados no quadro 5.

**Quadro 5-Custos de Operação**

<b>Custos de operação</b>	
<b>Desbaste</b>	<b>3 €/m<sup>3</sup></b>
<b>Corte final</b>	<b>5 €/m<sup>3</sup></b>
<b>Não há custos anuais</b>	

O valor do rendimento líquido correspondente ao valor do custo final da madeira, é dado por uma simples subtração do preço da madeira com os custos de operação. Estes valores vão ser diferentes consoante a dimensão da madeira. Assim, quando a madeira é de pequena dimensão (QMD <20 cm) obtida em operações de desbaste, o lucro é de  $20-3 = 17$  €/m<sup>3</sup>. Quando a madeira obtida em operações de desbaste é de dimensão média (QMD > 20 cm) o valor do lucro para cada metro cúbico é de  $35-3=32$  €/m<sup>3</sup>. A madeira de grande dimensão (QMD > 45 cm) corresponde ao final da operação de desbaste.

Estes valores foram posteriormente multiplicados pelo volume de material lenhoso resultante do final de desbaste para se obter os valores das rendas sobre o valor da terra (quadro 6) verificando sempre o tamanho do diâmetro médio quadrático, pois o valor altera-se com a dimensão do diâmetro. Estes valores vão ser necessários para a avaliação das questões propostas.

**Quadro 6- Valores da renda obtida com os desbastes nos diferentes anos**

<b>Idade</b>	<b>Vol (m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup>)</b>	<b>Renda (€ ha<sup>-1</sup>)</b>
<b>28</b>	59,3	100,9
<b>33</b>	64,1	108,1
<b>38</b>		
<b>43</b>	50,2	161,4
<b>48</b>		
<b>53</b>	37,4	117,2
<b>58</b>		
<b>63</b>	41,2	132,4
<b>68</b>		151,6

Depois de se terem encontrado todos os valores necessários para a realização do cálculo da Expectativa do Valor da Terra (LEV) utilizou-se a seguinte equação de Faustmann:

$$LEV = \frac{-E(1+r)^R + \sum_{t=1}^{R-1} I_t(1+r)^{(R-t)} + \frac{A[(1+r)^R - 1]}{r} + \sum_{p=1}^n P_p Y_{p,R} - C_h}{(1+r)^R - 1}$$

#### **Equação 2- Equação do LEV**

Em que, **R** é a duração de uma rotação (em anos); **E**, o custo estabelecido por unidade de área; **A**, o custo líquido ou receita por unidade de área de todos os custos e benefícios anuais; **I<sub>t</sub>**, um custo intermediário ou receita por unidade de área que ocorre no tempo **t** maior do que 0, mas menor do que **R**; **Y<sub>p,R</sub>**, rendimento esperado por unidade de área do produto **p** aos **R**; **P<sub>p</sub>**, Preço do produto **p**; **n**, o número de produtos na colheita final; **C<sub>h</sub>** = o custo de venda da madeira; **r** = a taxa de juros real.

Na realização do cálculo, existiram parâmetros que foram definidos como zero tais como o custo de rearboração por unidade de área, o custo líquido e benefícios anuais, e o custo da venda da madeira. As razões para exclusão destes parâmetros são devidas ao facto do custo de rearboração por unidade de área ser considerado nulo, por se recorrer á regeneração

natural sem nenhum custo assumido ( $E=0$ ) e pelo facto do custo da venda da madeira estar já integrado no preço do produto ( $C_h=0$ ) e não haver custo anual.

Para a análise do valor esperado da terra, procedeu-se da seguinte forma:

- i. Estimou-se o valor do benefício da proposta de silvicultura sem entrada do valor de carbono com uma taxa igual a 3%;
- ii. Estimaram-se os benefícios da proposta de silvicultura no carbono com uma taxa de juros equivalente a 3% e do valor de carbono a cada ano igual a 10 € por tonelada de biomassa por ano;
- iii. Analisou-se o impacto de várias taxas de juros (taxa de 3%, 4%, 5% e 6%) sobre o valor de carbono;
- iv. Analisou-se o impacto sobre os resultados das várias taxas anteriores de preços de carbono de 5 €, 10 € e 20 € por tonelada de biomassa.

### **3. RESULTADOS E DISCUSSÃO**

#### **3.1. Análise da fixação do carbono**

A fixação de  $CO_2$  pelas florestas consiste numa nova demanda a que a sociedade florestal atribui um valor muito alto, embora ainda sem um preço definido. É por isso que a partir da gestão florestal se deve cumprir a tarefa de fixar o carbono dado que as florestas contribuem para a mitigação dos GEE que estão na base das alterações climáticas e permitirão, no futuro que se economize tempo em busca de novas fontes de energia limpa. Quantificar este ajuste na fixação é muito importante, por isso, é necessário aplicar novos métodos de gestão que ajudem a utilizar estes recursos e minimizem a fixação do  $CO_2$  combinando-os com a gestão tradicional que se tem vindo a praticar até agora nas florestas.

Neste trabalho estudou-se o sequestro de carbono através da biomassa florestal em 4 zonas de Espanha, Cuenca, Guadalajara, Sória e Teruel. Foram comparadas as fixações de carbono durante um período de 10 anos com 2 ciclos de recolhas de dados de 5 anos. Nesta análise consideraram-se os dados de 2003, 2008 e 2013. Os resultados obtidos dizem respeito á comparação dos valores recolhidos no campo (reais) e os valores estimados

sendo estes últimos obtidos através da simulação realizada no SIMANFOR, ([www.simanfor.es](http://www.simanfor.es)).

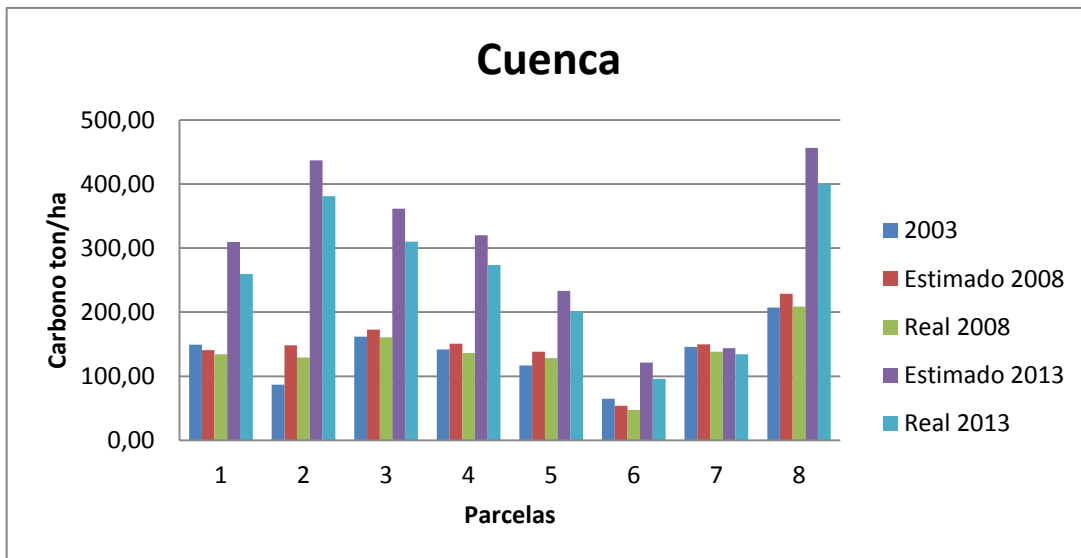
Os valores reais foram comparados com os valores estimados, ou seja, fez-se a comparação dos valores reais de cada ano e parcela com o respetivo valor estimado para aferir as estimativas obtidas através do simulador. Por vezes, a diminuição de armazenamento de carbono pode estar associada à ocorrência de incêndios florestais ou corte total das árvores.

Começando com a observação dos valores obtidos nas parcelas de Cuenca.

#### **Quadro 7-Valores de C (Ton ha<sup>-1</sup>) na Província de Cuenca.**

<b>Parcela</b>	<b>Real 2003</b>	<b>Estimado 2008</b>	<b>Real 2008</b>	<b>Estimado 2013</b>	<b>Real 2013</b>
<b>1</b>	149,46	141,05	134,14	309,60	259,76
<b>2</b>	87,03	148,32	129,12	436,72	381,22
<b>3</b>	161,88	172,54	160,57	361,46	310,00
<b>4</b>	141,71	150,79	136,33	319,97	273,50
<b>5</b>	116,68	138,25	128,48	233,02	201,86
<b>6</b>	64,92	53,76	47,68	121,53	95,87
<b>7</b>	145,70	150,03	138,23	143,57	134,14
<b>8</b>	207,15	228,46	208,56	456,49	399,64

Como podemos verificar através dos valores recolhidos no ano de 2003 (quadro 7) e comparando-os com o ano de 2008, os valores de carbono diminuem nas parcelas 1,3,4,6 e 7. Comparando o ano de 2008 com o 2013 a única diminuição de carbono verificada é na parcela 7. Fazendo a comparação dos valores estimados no ano de 2008 com 2013 há um aumento em todas as parcelas, exceto na parcela 7. Na generalidade dos casos, o simulador estima valores de carbono superiores aos observados, porque este dá informação que há um aumento no número de pés. O aumento verificado nos valores reais de carbono pode ser devido ao aumento da biomassa, que fez com que se conseguisse armazenar mais carbono, devido á diminuição da competição por ação dos desbastes.



**Gráfico 1- Variação de Carbono (C) nas diferentes parcelas de amostragem**

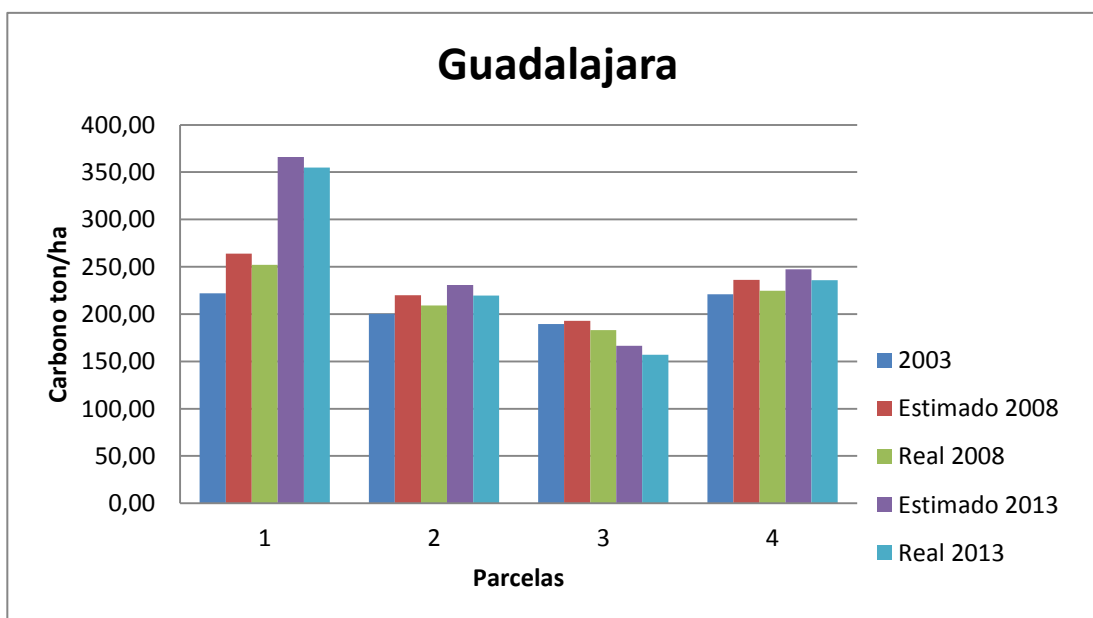
Como se pode observar no gráfico 1 em Cuenca, verifica-se um aumento na quantidade de carbono fixado com a gestão efetuada.

No quadro 8 apresentam-se os valores de carbono obtidos nas parcelas de Guadalajara. Como se pode observar a quantidade de carbono aumenta na generalidade das parcelas em todos os anos observados, com exceção da parcela 3. Os valores obtidos com o simulador seguem a mesma tendência, embora com uma sobrestima desses valores relativamente aos valores reais.

**Quadro 8-Valores de C (Ton ha<sup>-1</sup>) em Guadalajara**

Parcela	2003	Estimado 2008	Real 2008	Estimado 2013	Real 2013
1	221,94	263,78	252,19	366,08	354,90
2	200,34	219,93	209,04	230,72	219,70
3	189,40	192,88	182,96	166,51	157,01
4	221,00	236,29	224,78	247,45	235,85

Comparando os valores reais com os estimados, verifica-se uma sobrestima dos valores estimados obtidos através do simulador.



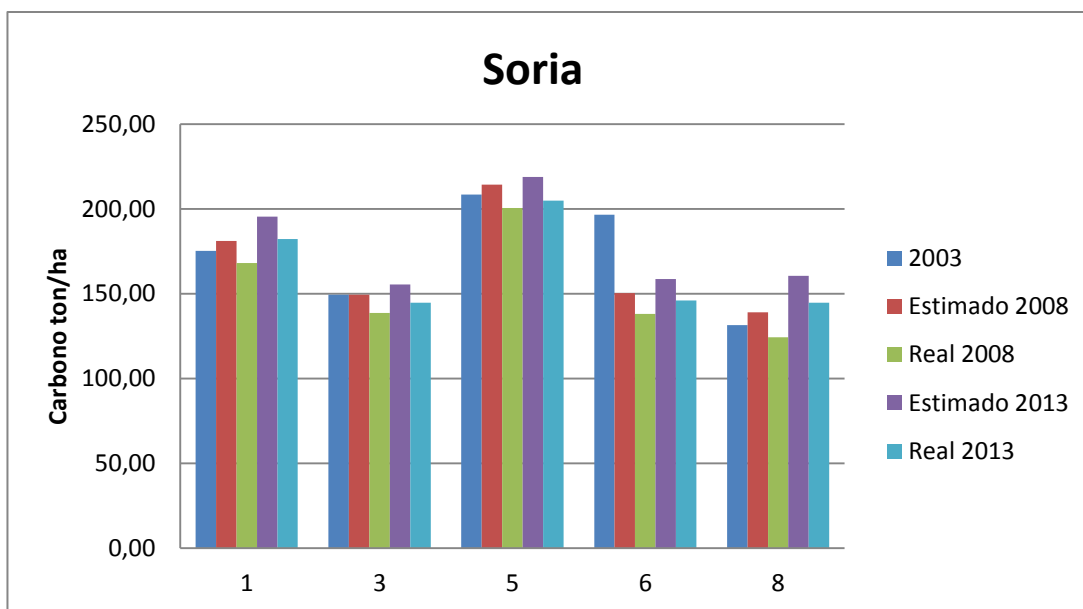
**Gráfico 2- Valores de Carbono (C), nas parcelas de amostragem de Guadalajara**

Como se pode observar graficamente as simulações obtidas aproximam-se dos valores reais mas sempre por excesso.

No Quadro 9 podemos observar os valores que foram recolhidos nas 5 parcelas de Soria. Neste local verifica-se uma diminuição de carbono no ano de 2008 devida a perda de biomassa. Nos valores estimados para 2008 essa mesma diminuição de carbono apenas se verifica na parcela 6.

**Quadro 9-Valores de C (Ton ha<sup>-1</sup>) em Soria**

Parcela	2003	Estimado 2008	Real 2008	Estimado 2013	Real 2013
1	175,27	181,07	168,05	195,42	182,12
3	149,31	149,42	138,72	155,45	144,59
5	208,52	214,37	200,41	218,81	204,89
6	196,63	150,37	138,16	158,61	146,07
8	131,51	138,98	124,29	160,60	144,62



**Gráfico 3- Valores de Carbono (C), nas parcelas de amostragem de Soria.**

Comparando o valor de carbono das parcelas em estudo recolhidos no campo ano 2003 e de 2008, observa-se uma diminuição do valor em todas as parcelas. Na comparação do ano de 2008 com 2013 já se verifica um aumento. Nos valores estimado também se observa um aumento não muito elevado entre os dois anos 2008 e 2013. No ano de 2008 os valores reais demonstram uma diminuição da quantidade de carbono armazenado que não transparece nos valores das simulações para o mesmo ano de observação. No ano de 2013 verifica-se uma recuperação destes valores aproximando-se ou ultrapassando os valores observados em 2003.

Neste local verifica-se, para a generalidade das parcelas, uma diminuição dos valores de carbono ao longo do tempo. Esta diminuição pode ser devida a cortes de árvores ou a incêndios florestais que tenham contribuído para que a quantidade de carbono tenha diminuído.

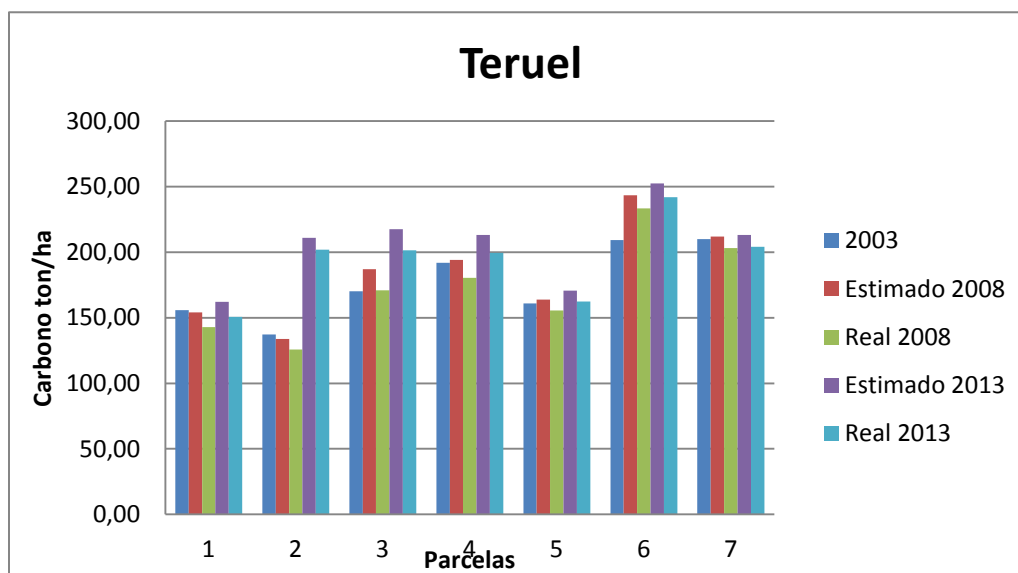
No Quadro 10, podemos observar os valores obtidos nas 7 parcelas de Teruel, quer no campo quer no simulador. Comparando os valores reais do ano de 2003 com os do ano de 2008 observa-se um aumento de carbono somente na parcela 6, enquanto nas restantes

parcelas o valor diminui. Na observação dos valores de 2008 e 2013 verifica-se que os valores nas 7 parcelas aumentam. Na comparação dos valores estimados das 6 parcelas no ano de 2008 e 2013, verifica-se igualmente um aumento do valor obtido mas com valores superiores.

**Quadro 10-Valores de C (Ton ha<sup>-1</sup>) em Teruel**

Parcela	2003	Estimado 2008	Real 2008	Estimado 2013	Real 2013
1	155,64	154,11	142,74	162,19	150,64
2	137,14	133,76	125,78	210,91	201,89
3	170,03	186,92	170,98	217,45	201,34
4	191,95	193,93	180,50	212,97	199,33
5	160,89	163,67	155,58	170,58	162,42
6	209,22	243,35	233,22	252,22	241,97
7	209,97	211,94	202,99	212,98	204,05

Quando comparamos os valores de carbono das 7 parcelas (3 anos de valores reais e 2 anos de valores estimados), não se observa uma grande discrepância entre os que nos foram dados pelo simulador e os recolhidos em campo, muito embora os primeiros sejam sempre superiores.



**Gráfico 4- Valores de Carbono (C), nas parcelas de amostragem**

Como se pode observar no gráfico 4 os valores de carbono nas parcelas 2 e 3 do ano 2013, são mais elevados apresentando um aumento considerável relativamente aos anos anteriores, devido à gestão aplicada que favoreceu o crescimento das árvores.

Em síntese, pode-se dizer que no ano de 2003 e 2008, os valores de carbono andaram sempre em torno dos mesmos resultados, isto é, os valores são muito próximos entre os valores reais e os estimados, enquanto em 2013 eles aumentam um pouco nas parcelas iniciais mas nas restantes parcelas apresentam valores próximos aos dos outros anos em estudo. Assim poderá dizer-se que a aplicação de desbaste é necessária para uma maior capacidade de armazenamento de carbono nas árvores, uma vez que favorece o crescimento individual com o conseqüente aumento no sequestro de carbono. Quanto a simulação efetuada, verifica-se um aumento de número de pés nas várias parcelas, o que faz com que aumente sempre o valor de carbono.

### **3.2. Análise Económica**

Para se realizar o cálculo da análise económica, avaliou-se uma alternativa com base na hipótese de Faustmann, em que o Valor Esperado da Terra (LEV) é calculada através de vários fatores já calculados anteriormente, como o volume, biomassa total, tendo em conta uma cadeia de ciclos de corte efetuados ao longo dos anos. Cada ciclo inclui duas rotações consecutivas, o desbaste e a simulação do próximo ano de corte, das alternativas de silvicultura escolhidas, sendo estas a produção de madeira e o sequestro de carbono. A base da análise utilizada para as escolhas dos desbastes realizados é com base na classe da estação escolhida. A análise não inclui qualquer tipo de imposto sobre os rendimentos recebidos em consequência de corte final. Além disso, nenhum tipo de subsídio foi considerado. Embora o LEV para cada alternativa tenha sido considerado para uma idade específica, isso não significa que o corte seja realizado nessa idade. Basicamente, para facilitar a análise, os níveis de desempenho foram agrupados nas idades certas, embora tenha sido realizado fora dessa idade. As taxas aplicadas neste estudo foram já anteriormente mencionadas, com o fim de verificar se existem aumentos no valor da terra quando se inclui os preços de carbono e o preço da madeira. As propostas de silvicultura

com inclusão / não inclusão do valor do carbono permitirão verificar se é vantajoso haver estes pagamentos de carbono neste tipo de práticas.

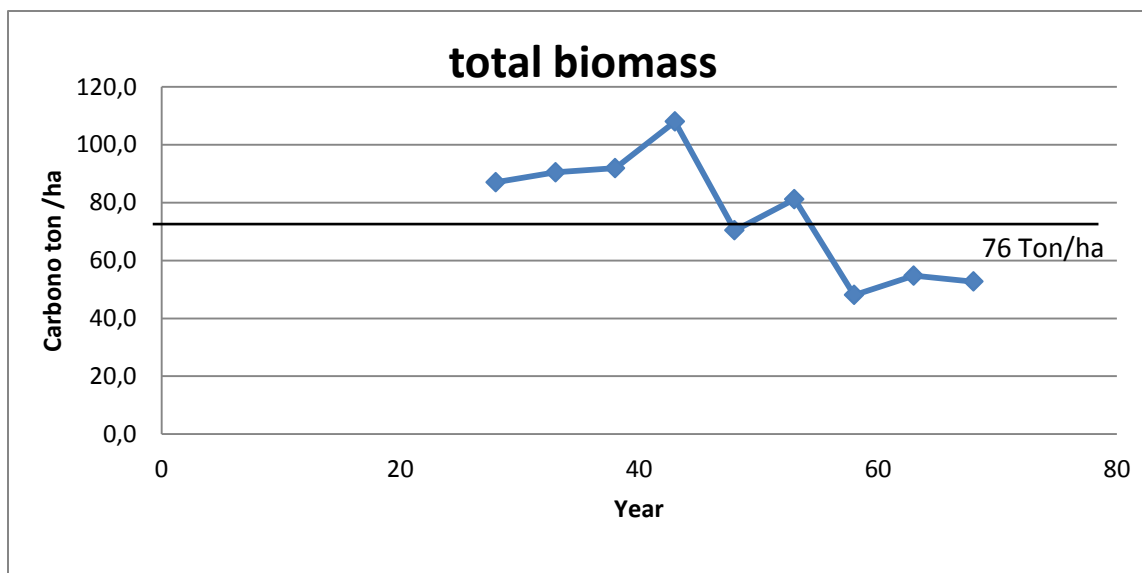
- i. *Estimativa do valor do benefício da proposta de silvicultura com uma taxa igual a 3% sem considerar o valor de carbono sobre o valor da terra.*

Com a taxa de juros igual a 3% e sem entrada do valor de carbono, o benefício das propostas de silvicultura é de **219,6 €** por hectare. Este valor foi obtido através da fórmula do LEV, aplicado á parcela 2 de Cuenca do ano 2003 onde foram aplicados vários desbastes.

- ii. *Estimativa dos benefícios da proposta de silvicultura com uma taxa de juros equivalente a 3% com o pagamento do carbono correspondente com um preço de 10 €/ tonelada de biomassa por ano;*

O valor de carbono estimado para uma taxa de 3% e um preço de carbono de 10€, é de **30305,6€**. Este valor também foi dado pela fórmula de Faustmann, sendo um valor elevado em comparação com o valor obtido quando não se verifica o valor de carbono.

O gráfico 5 mostra a média de carbono em toneladas por hectare ao longo dos anos quando se aplicam os desbastes. O valor médio de carbono obtido é 76 toneladas por hectare. Sendo este valor necessário para a elaboração deste cálculo.



**Gráfico 5- Valor total da Biomassa**

A diferença entre os pagamentos incluindo ou não o valor do carbono, corresponde à diferença entre o valor de **30305,6€** (com valor de carbono) e **219,6€** (sem o valor de carbono). O valor da diferença é de **30086€**, ou seja, 137% mais elevado o que comprova que é mais vantajoso ter pagamentos da fixação de carbono.

- iii. *Análise do impacto de várias taxas de juros (taxa de 3%, 4%, 5% e 6%) no valor da terra sem incluir o valor de carbono.*

**Quadro 11-Valores do LEV, sem as receitas de carbono**

<b>LEV</b>	
<b>Taxa de Juro</b>	<b>€/ha</b>
<b>3%</b>	219,6
<b>4%</b>	135,2
<b>5%</b>	88,4
<b>6%</b>	59,9

Como se pode verificar no quadro 11, quanto maior é a taxa de juro menor é o LEV, na ausência do valor do carbono. Assim poderá dizer-se que se aumentarmos a taxa de juro o valor da terra será menor.

- iv. *Análise o impacto de várias taxas de juros (3,4,5 e 6 %) com o valor de carbono a 5 €, 10 € e 20 €.*

**Quadro 12- Valores do valor da terra, considerando vários preços de carbono a diferentes taxas**

<b>Taxa de juros</b>	<b>Carbono 5 €</b>	<b>Carbono 10€</b>	<b>Carbono 20 €</b>
<b>3%</b>	15670,49	30305,64	59954,53
<b>4%</b>	11206,15	21804,84	42670,71
<b>5%</b>	9761,447	17651,88	33911,7
<b>6%</b>	9031,145	15491,12	28930,39

Como se pode observar no quadro 12, quanto maior é a taxa de juros, menor é o valor esperado da terra para qualquer um dos preços do carbono ensaiados

Quando a fixação do carbono está incluída na análise económica as alternativas de rotações que são feitas ao longo dos anos mostram um LEV positivo. O impacto do armazenamento de carbono no total de LEV é baixo quando este não o inclui, mas verifica-se um aumento com os preços atribuídos (5, 10 e 20€) do mesmo. Verifica-se assim uma grande diferença quando é aplicado o valor de carbono para as diferentes taxas de juros no cálculo do LEV. Assim, quanto maior for o valor de carbono mais elevado é o valor do LEV, mas diminui quando se aplica um aumento da taxa de juros.

Os resultados revelam a adequação de implementação de pagamentos de carbono, porque ele pode complementar claramente objetivos de gestão tradicionais em termos económicos.

#### **4. CONSIDERAÇÕES FINAIS**

O estudo realizado permitiu avaliar o impacto da gestão no armazenamento de carbono na biomassa de *Pinus pinaster* nas florestas espanholas num período de 10 anos, de 2003 até 2013. Estimou-se o sequestro de carbono através de simulações realizadas com o SIMANFOR, florestas concluindo-se que a gestão silvícola praticada contribuiu para um aumento do sequestro de carbono nas árvores. Os ecossistemas em estudo demonstraram uma capacidade de reação às perturbações exercidas sobre o meio, nomeadamente cortes culturais praticados no âmbito da gestão silvícola efetuada e extração do material lenhoso ou mesmo períodos de seca, uma vez que a quebra observada no sequestro de carbono em algumas parcelas em 2008 apresenta uma franca recuperação em 2013.

Na análise do armazenamento do carbono na província de Cuenca, verificou-se que existe um aumento ao longo dos anos praticamente em todas as parcelas. Na comparação dos valores reais (recolhidos no campo) com os estimados (obtidos através do SIMANFOR), verifica-se que não há uma grande diferença entre eles muito embora se verifique uma sobrestima dos valores. O mesmo se verificou nas outras províncias de Teruel, Guadalajara

e Soria, que foram incluídas no estudo. Verificou-se que Cuenca, possui uma maior capacidade de armazenamento do que as restantes.

Os cenários das alterações climáticas, baseados nas predições obtidas em modelos climáticos, referidos na bibliografia, apontam para alterações nas florestas mediterrâneas ao nível do seu crescimento e produtividade, entre outros. Contudo, o nosso estudo demonstrou que nas províncias em estudo os efeitos das alterações climáticas não são evidentes para o conjunto das parcelas observadas em cada uma das regiões. Algumas parcelas apresentaram um decréscimo de produção em biomassa e conseqüentemente em carbono. O facto de esse decréscimo ter sido observado só em algumas parcelas, dentro da mesma região, leva-nos a pensar que essa diminuição não será devida aos efeitos do clima. Contudo, serão necessários mais dados edafoclimáticos, de altitude e exposição das parcelas e do historial da gestão para se fazer este tipo de analogia. Sabe-se todavia que em algumas florestas do Mediterrâneo a seca e a distribuição de chuvas pode criar dificuldades para produção de madeira e armazenamento de carbono.

O pagamento de serviços ambientais como o sequestro de carbono pode aumentar o valor esperado da terra entre 40 % a 272 % relativamente ao valor tradicional obtido somente com o valor da madeira produzida. Na análise económica verificou-se que o valor do LEV é bastante baixo quando o pagamento do carbono não se encontra incluído. Verificou-se que quanto maior é o valor atribuído ao carbono (5, 10 e 20 €), maior é o valor da terra, mas vai-se tornando menor quando a taxa de juros sobre os preços aumenta. Assim, poderemos dizer que é adequado implementar pagamentos de carbono neste tipo de gestão, porque ele pode complementar claramente rendimentos obtidos com a de gestão tradicional (produção de madeira) contribuindo para a sustentabilidade deste tipo de floresta. A gestão florestal sustentável pressupõe uma, interdependência entre os fatores económicos, ecológicos e sociais.

O papel das florestas como sumidouro de dióxido de carbono, contrariando o fenómeno conhecido por aquecimento global, é reconhecido no protocolo de Kyoto (artigo 3.3 e 3.4) uma vez que podem acumular a longo prazo grandes quantidades de carbono, quer no material vegetal, quer na matéria orgânica do solo. A produção de madeira de grandes dimensões destinada à obtenção de bens duradouros tem um papel importante na

conservação do carbono armazenado assim como as técnicas de gestão florestal aplicadas durante o processo de crescimento e colheita do produto final. As simulações realizadas para a área em estudo permitiram perceber o impacto da gestão no armazenamento de carbono pelas florestas. A adoção de técnicas de gestão mais amigas do ambiente e o controlo da competição excessiva contribui para o aumento da quantidade de carbono sequestrado nas árvores. Também a gestão adequada dos sobrantes resultantes da aplicação dos cortes culturais como os desbastes pode contribuir para a melhoria do meio ambiente quando esses subprodutos são canalizados para a produção de bioenergia, ou são restituídos ao solo sob a forma de estilha com reposição de nutrientes contribuindo assim para a sustentabilidade da floresta. A redução dos sobrantes de exploração contribui de forma substantiva para a redução dos incêndios e para a melhoria da qualidade ambiental na medida em que reduz a possibilidade das florestas passarem de sumidouro a fonte emissora de CO<sub>2</sub> para a atmosfera, contribuindo para a redução do aquecimento global e consequente alteração do clima.

No que se refere ao mercado de carbono, o Protocolo de Kyoto criou instrumentos flexíveis para facilitar o cumprimento das metas nas reduções das emissões atmosféricas, com o desenvolvimento de projetos que tenham como resultado a redução de emissão de carbono que podem gerar créditos de carbono, podendo estes ser vendidos aos países industrializados para que estes possam atingir as suas metas. Espera-se que no futuro as florestas possam ter também um papel importante nesta matéria, pois como se viu, o valor esperado da terra pode aumentar substancialmente quando se inclui o valor do sequestro de carbono.

## 5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Alcamo, J. M. (2007). Europe. In *Climate change 2007: impacts, adaptation and vulnerability. In Contribution of Working Group II to the 4th Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change.* (pp. 541–580). Cambridge, U.K.: M.L. Parry, O.F. Canziani, J.P. Palutikof, P.J. van der Linden, and C.E. Handon. Cambridge University .
- Andrés Bravo-Oviedo, C. G.-A. (2010). *Regional changes of Pinus pinaster site index in Spain using a climate-based dominant height model.*
- Berg, D., Franklin, J., Thomburgh, D., & Tappeiner, J. (1997). *Alternative Silvicultural approaches to timber harvesting : variable retention.*
- Bravo, F., & Diaz-Balteiro, L. (2003). *Evaluation of new silvicultural alternatives for Scots pine stands in northern Spain.* Sciences.
- Bravo, F., Álvarez, J. G., & Rio., M. d. (2012). *Growth and yield models in Spain: Historical overview, contemporary examples and perspectives.*
- Bravo, F., Bravo-Oviedo, A., & Díaz-Balterio, L. (2006). *Carbon sequestration in Spanish Mediterranean forests under two management alternatives : A modelling approach.* Sciences
- Bravo, F., Del Rio, M., & Del Peso, P. (2002). *El inventario Forestal Nacional. Elemento clave para la Gestión Forestal Sostenible.* Fundación General de la Universidad de Valladolid.
- Bravo, F., Ordoñez, A. C., & Rodrigues, F. (2010). *Sistema de Apoyo para la Simulación de Alternativas de Manejo Forestal Sostenible.* Obtido em 29 de 07 de 2013, de SIMANFOR: [www.simanfor.es](http://www.simanfor.es)
- Broto, M., Lizarralde, I., & Rodeigues, F. (2007). El Papel de los bosques españoles en la mitigación del cambio climático. In *Capítulo 4 : Impacto de la gestión forestal sobre el efecto sumidero de los sistemas forestales* (pp. 113-127).

- C.Herrero., & F.Bravo. (2011). *Can we get an operational indicator of forest carbon sequestration? A case study from two forest regions in Spain*. Elsevier
- Castro, E. (1997). *Los Bosques Ibéricos: Una Interpretación Geobotánica*.
- Castro, M., Martín-Vide, J., and Alonso, S. 2005. El clima de España: pasado, presente y escenarios de clima para el siglo XXI. In *Evaluación preliminar de los impactos en España por efecto del cambio climático*. Edited by Secretaría General Técnica. Ministerio de Medio Ambiente. Ministerio de Medio Ambiente, Universidad de Castilla La Mancha, Madrid. pp. 1–64.
- Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (CMNUCC)*. (2008).
- del Barrio, G., Harrison, P.A., Berry, P.M., Butt, N., Sanjuan, M.E., Pearson, R.G., and Dawson, T. 2006. Integrating multiple modelling approaches to predict the potential impacts of climate change on species distributions in contrasting regions: comparison and implications for policy. *Environ. Sci. Policy*, 9(2): 129– 147. doi:10.1016/j.envsci.2005.11.005
- FAO. (s.d.). *Situación de los bosques del mundo 2009*. Obtido em 15 de 4 de 2013, de [www.fao.org](http://www.fao.org)
- Iverson, L.R., Prasad, A.M., 1998. Predicting abundance of 80 tree species following climate change in the eastern United States. *Ecol. Monogr.* 68, 465–485.
- Instituto da Conservação da Natureza e das Florestas (ICNF)*. (s.d.). Obtido em 10 de 8 de 2013, de [www.icnf.pt](http://www.icnf.pt)
- Instituto de Conservação da Natureza e das Florestas (ICNF)*. (2013).
- Jackson, S.T., Overpeck, J.T., 2000. Responses of plant populations and communities to environmental changes of the late Quaternary. *Paleobiology* 26, 194–220.
- Linder, M. 2000. Developing adaptive forest management strategies to cope with climate change. *Tree Physiol.* 20(5–6): 299– 307. PMID:12651446.

- Lindner, M. 1999. Waldbaustrategien im Kontext möglicher Klimaänderungen. Forstwiss. Centralbl. (Hamb.), 118(1–6): 1–13. doi:10.1007/BF02768969.
- Lopez, E., Montero, G., & Rio, M. (2006). *Manual de la gestión para masas procedentes de repoblacion de Pinus pinaster Ait. Pinus sylvestris L. y Pinus nigra Arn. Em Castilla y León*. Junta de Castilla y León. Conserjería de Medio Ambiente.
- MONTERO, F. B. (2001). *Site index estimation in Scots pine (Pinus sylvestris L.) stands in the High Ebro Basin (northern Spain) using soil attributes*.
- Montero, G., Muñoz, M., & Ruiz-Peinado. (2006). *Producción de biomasa y fijación de CO<sub>2</sub> por los bosques españoles*. Instituto Nacional de Investigación y Tecnología Agraria y Alimentaria (INIA).
- Montero, G., R., Muñoz, M., & Ruiz-Peinado. (2005). *Producción de biomasa y fijación de CO<sub>2</sub> por los bosques españoles*. Madrid: Monografías, INIA.
- Naturaleza., D. G. (s.d.). Regiones españolas de las especies forestales., pp. 51-53. In D. d. CIFOR-INA.
- Nicholas L. Crookston, G. E. (2010). *Addressing climate change in the forest vegetation simulator to assess*. Elsevier
- Pereira, C. (s.d.). *As Alterações Climáticas e os Fogos Florestais*. Obtido em 28 de Outubro de 2013, de naturlink: <http://naturlink.sapo.pt>
- Plan Nacional de Adaptación al Cambio Climático*. (2006). OFICINA ESPAÑOLA DE CAMBIO CLIMÁTICO.
- Prados, A. (2010). Los ecosistemas forestales y el secuestro de carbon ante el calentamiento global. Instituto de Investigación y Tecnología Agraria y Alimentaria. INIA.. Madrid.
- Projecto de Norma Portuguesa. (2009). *Sistemas de gestão florestal sustentável*.

- Klein Tank, A.M.G., and Konnen, G.P. 2003. Trends in indices of daily temperature and precipitation extremes in Europe. *J. Clim.* **16**(22): 3665–3680. doi:10.1175/1520-0442(2003)016<3665:TIODT>2.0.CO;2.
- Ramos, D. P., Bittencourt, F. R., & Mitkiewicz, J. (1997). *Cadernos IBRT*(Instituto Brasileiro de Relações com Investidores) série sustentabilidade, mercado de carbono.
- Ruiz-Peinado, R. (2011). *Los Bosques y su efecto sumidiero de carbono. Ponencia en situación actual de los bosques retos y oportunidades*. UMIP (Universidad Internacional Menéndez Pelayo) Santander.
- Ruiz-Peinado, R., Montero, G., & del, R. M. (2011). *New models for estimating the carbon sink capacity of Spanish softwood species*. *Forest Systems*
- Sabaté, S., Gracia, C.A., and Sánchez, A. 2002. Likely effects of climate change on growth of *Quercus ilex*, *Pinus halepensis*, *Pinus pinaster*, *Pinus sylvestris* and *Fagus sylvatica* forests in the Mediterranean Region. *For. Ecol. Manag.* **162**(1): 23–37. doi:10.1016/S0378-1127(02)00048-8.
- Sala, O.E., Chapin, F.S., 3rd, Armesto, J.J., Berlow, E., Bloomfield, J., Dirzo, R., Huber-Sanwald, E., Huenneke, L.F., Jackson, R.B., Kinzig, A., Leemans, R., Lodge, D.M., Mooney, H.A., Oesterheld, M., Poff, N.L., Sykes, M.T., Walker, B.H., Walker, M., and Wall, D.H. 2000. Global biodiversity scenarios for the year 2100. *Science*, **287**(5459): 1770–1774. doi:10.1126/science.287.5459.1770. PMID:10710299.
- Schroter, D., Cramer, W., Leemans, R., Prentice, I.C., Araújo, M.B., Arnell, N.W., Bondeau, A., Bugmann, H., Carter, T.R., Gracia, C.A., de la Vega-Leinert, A.C., Erhard, M., Ewert, F., Glendining, M., House, J.I., Kankaanpaa, S., Klein, R.J.T., Lavorel, S., Lindner, M., Metzger, M.J., Meyer, J., Mitchell, T.D., Reginster, I., Rounsevell, M., Sabaté, S., Sitch, S., Smith, B., Smith, J., Smith, P., Sykes, M.T., Thonicke, K., Thuiller, W., Tuck, G., Zaehle, S., and Zierl, B. 2005. Ecosystem service supply and vulnerability to global change in Europe. *Science*, **310**(5752): 1333–1337. doi:10.1126/science.1115233. PMID: 16254151.

- Spittlehouse, D.L., and Stewart, R.B. 2003. Adaptation to climate change in forest management. *BC J. Ecosyst. Manag.* 4(1): 1–11.
- Tchebakova, N.M., Rehfeldt, G.E., Parfenova, E., 2003. Redistribution of vegetation zones and populations of *Larix sibirica* Ledeb., and *Pinus sylvestris* L. in Central Siberia in a winning climate. *Sib. J. Ecol.* 10, 677–686 (in Russian).
- Vila, B., Vennetier, M., Ripert, C., Chandioux, O., Liang, E., Guibal, F., and Torre, F. 2008. Has global change induced divergent trends in radial growth of *Pinus sylvestris* and *Pinus halepensis* at their bioclimatic limit? The example of the Sainte-Baume forest (south-east France). *Ann. For. Sci.* 65(7): 709–718. doi:10.1051/forest:2008048.