



Hinc patriam sustinet

**Instituto Superior de Agronomia
Universidade Técnica de Lisboa**

INFLUÊNCIA DO CLIMA NAS VARIAÇÕES ESTACIONAIS INTERANUAIS DO ÍNDICE DE VEGETAÇÃO DE DIFERENÇA NORMALIZADA (NDVI) NO MONTADO PORTUGUÊS

Isabel González García

Dissertação para obtenção do grau de Mestre em

Engenharia do Ambiente

Orientador: Doutor João Manuel Dias dos Santos Pereira

Co-orientador: Doutor José Miguel Cardoso Pereira

Júri:

Presidente: Doutor Manuel Lameiras de Figueiredo Campagnolo, Professor Associado de Instituto Superior de Agronomia da Universidade Técnica de Lisboa.

Vogais: Doutor João Manuel Dias dos Santos Pereira, Professor Catedrático aposentado do Instituto Superior de Agronomia da Universidade Técnica de Lisboa.

Doutor João Manuel de Brito Carreiras, Investigador Auxiliar do Instituto de Investigação Científica Tropical.

Lisboa, 2012

Agradecimentos

Aos professores J. Santos Pereira e J. Miguel Cardoso Pereira, como orientador principal e co-orientador, respetivamente, de esta dissertação, pela sua ajuda e orientação durante todo este ano.

À S. Cerasoli e ao J. Silva por tuda a sua ajuda, disponibilidade e dedicação.

À T. Sampaio por tuda a ajuda na parte estadística.

Aos Doutores R. Leiva García e J. Peralta Calvillo pela inestimável ajuda, especialmente no fim deste trabalho.

Resumo

Atualmente com amudança climatica faz-se mais necessario o estudo da dinãmica dos ecossistemas. O montado portuguêis é um ecossistema com umas características muito especiais, por ser um sistema silvopastoral, dependente da acção do homem para a sua continuidade. Além do valor economico apresenta uma grande importância ambiental, pela grande biodiversidade e o valor paisagistico entre outras. Para este estudo foi proposta a hipotese de estudio da estacionalidade do montado, desde o 2000 até o 2012, utilizando a deteção remota e os indices de vegetação como ferramentas para obter uma analise da sua resposta aos diferentes fatores ambientais, particularmente as precipitações, a temperatura e a humedade. O indice de vegetação escolhido foi o NDVI (Indice de Vegetação de Diferencia Normalizada) pelas suas vantagens frente a outro indices, e foi calculado a partir de dados do sensor de satellite da MODIS. Para o estudo da relação do nosso NDVI para a vegetação do montado com as variaveis climaticas foi feita uma análise da sere temporal, e também um estudo da correlação de cada uma das variaveis com o indice. Os resultados obtidos resultaram satisfatórios e concordantes com as hipoteses iniciais, encontrando que a variavel que mais influencia tem sobre o NDVI é a precipitação, e que esta correlação aumenta quando são considerados dados acumulados interanual e estacionalmente, e não os dados originais. Os resultados também mostraram o efeito da seca de 2004 a 2005. A deteção remota resultou uma ferramenta muito importante e decisiva para o futuro neste area, e mostrou que pode-se ampliar este trabalho no futuro com a adição de novas direções e hipoteses de investigação.

Palvras chave: deteção remota, indices de vegetação, NDVI, MODIS; serie temporal.

Abstract

Nowadays the climate change makes more necessary the study of ecosystem dynamics. The Portuguese *montado* is an ecosystem with very particular characteristics, because is a combined system with pastures and forest, managed by men, and depends on this manage to continue. More than economic value, *montado* is very important system with a big biodiversity and landscape quality. For this study was propose to study about the seasonal variation of *montado*, since 2000 to 2012, using remote sensing and vegetation index as tools to analyze the response of *montado* to different environmental factors, as the precipitation, temperature and relative humidity. The chosen vegetation index was the NDVI (Normalized Difference Vegetation Index), because of all the advantages, and was calculated using MODIS sensor data. To find the relation between our vegetation index vegetation data, and the meteorological variables, was make a time series analysis, and a correlation study of each variable with the vegetation index. The results was satisfactory and was agree with the initial hypotheses. We find that the precipitation is the variable that influences NDVI the most, and this correlation is bigger when we use the accumulative inter-annual and seasonal data instead the original data. The results show the effects of the big drought of 2004 and 2005 too. The remote sensing appears as a very important and critical tool for this study area future and show that this study could be extend with new directions and new research hypotheses.

Key words: remote sensing, vegetation index, NDVI, MODIS; time series.

Extended abstract

Today the climate change makes more necessary the study of ecosystem dynamics. To study the ecophysiology and the develop of the surface ecosystems helps to quantify the Net Primary Productivity (NPP), wich is the base of all our life cycles. We can estimate the NPP using different indirect tools, all related with the photosynthetic activity. All the data that we need to estimate and calculate NPP from GPP (Gross Primary Productivity) could be taken from remote sensing tools, that use the reflectance to estimate the vegetation state, like health, cover, kind of vegetation, etc.

As the remote sensing is a tool that can take data of the global surface, we can apply the technology for any ecosystem we decide to study.

In our case, we work in the area of Mediterranean *montado*. This is an ecosystem with very particular characteristics; because is a combined system with pastures and forest, managed by men, and depends on this manage to continue. More than economic value, *montado* is very important system with a big biodiversity and environmental values. Is one of the last ecosystems in the Iberia Peninsula that represents sustainability, giving products like bark, cattle, mushrooms, etc. and keeping native species like *Quercus lusitanica* (L), all in a particular landscape.

We wanted to study the seasonal variation of *montado* different vegetal layers, as the herbaceous, trees, and shrub layer. For this, was taken data using remote sensing and vegetation index as tools to analyze the response of *montado* to different environmental factors, as the precipitation, temperature and relative humidity, for a twelve years period. At the same time, was taken in-situ data in the study area, of reflectivity, of the different vegetation layers, to try to relate the satellite vegetation index data with the field vegetation index data.

We choose the vegetation index NDVI (Normalized Difference Vegetation Index), because of all the advantages, and was calculated using MODIS sensor data.

To relate the satellite vegetation index data with the field vegetation index data was complicated, and we started trying to decompose the satellite signal to identify the different frequencies with the field data phenology graphics. As long as we tried this hypothesis we could not take significative results, so we go back to the initial objective and use the meteorological data and the vegetation index data to relate the response of the vegetation to the hard climatic conditions, especially to precipitation.

To find the relation between our vegetation index vegetation data, and the meteorological variables, was make a time series analysis, and a correlation study of each variable with the vegetation index. To make time series analysis was used two methods, choosing the one which gives a better trend of all the variables. To take results, was compared all the functions specially the trends, and in the end was calculated the correlations for each variable with the NDVI.

The results was satisfactory and was agree with the initial hypotheses. We find that the precipitation is the variable that influences NDVI the most, and this correlation is bigger when we use the accumulative inter-annual and seasonal data instead the original data. The results show the effects of the big drought of 2004 and 2005 too.

The remote sensing is a new technology that appears as a trascendental tool for this study area, in the future, and show that this study could be extend with new directions and new research hypotheses.

Key words: remote sensing, vegetation index, NDVI, MODIS; time series.

INDICE

1. INTRODUÇÃO	10
2. ESTADO DA ARTE	15
2.1.. Ecofisiologia do montado	15
2.2. Indices de vegetação	20
3. MATERIAL E METODOS	26
3.1. Caraterização da área de estudo	26
3.1.1.Clima	27
3.1.2.Caracterização edáfica	28
3.1.3.Vegetação	29
3.2. Obtenção e tratamento de dados	30
3.2.1. Dados meteorológicos	30
3.2.2. Detecção remota	31
3.2.3. Calculo do NDVI	34
3.2.4. Medições de campo	35
3.3. Análise dos dados de detecção remota.....	37
3.3.1. Aplicação do filtro ao NDVI	37
3.3.2. Decomposição do sinal: Empirical Mode Decomposition	39
3.4. Estudo da serie temporal	40
4. RESULTADOS	46
4.1. Estudio da serie de dados MODIS e da serie temporal	46
4.2. Analise estadístico	52
5. DISCUSSÃO	65
6. CONCLUSSÕES	68
7. BIBLIOGRAFIA	69

INDICE

Indice de Figuras

Figura 1. Localização da área de estudo	26
Figura 2. Torre Coruche.....	27
Figura 3. Diagrama ombrotermico para o periodo 2000 -2012 da area de estudo.....	28
Figura 4. Representação das variaveis climaticas estudadas para o peirodo de anos 2000 – 2012.....	30
Figura 5. Posição satelite para a toma de dados e imagenes. Fonte: Centro de Investigaciones en Geografia Ambiental, Universidad Nacional Autónoma de Méjico.	32
Figura 6. Media dos NDVI para as herbaceas no periodo 2011 -2012.	35 e 36
Figura 7. Decompose para serie temporal do NDVI	43
Figura 8. Decompose para serie tempora de Precipitações	43
Figura 9. Decompose para serie temporal da Temperatura	43
Figura 10. Decompose para serie tempora da Humedade	43
Figura 11. STL para serie temporal NDVI	44
Figura 12. STL para serie temporal da Precipitação	44
Figura 13. STL para serie temporal Temperatura	44
Figura 14. STL para serie temporal da Humedade	44
Figura 15. Comparação entre os dados NDVI originais e os dados filtrados pelo Rob Filter	46
Figura 16. Serie temporal com as variaveis originais	47
Figura 17. Graficos do STL processados com o Excel.....	48 e 49
Figura 18. Comparação da variavel temperatura e a sua tendência com a variavel NDVI e a sua tendência correspondente.....	50
Figura 19. Comparação da variavel humedade e a sua tendência com a variavel NDVI e a sua tendência correspondente	50
Figura 20. Comparação da variavel precipitaçãoa sua tendência com a variavel NDVI e a sua tendência correspondente	51
Figura 21. NDVI medio frente às temperaturas medias mensuais.....	52

INDICE

Figura 22. NDVI medio frente às precipitaciones medias mensuais.....	52
Figura 23. NDVI medio frente a humedade media mensual.....	53
Figura 24. Representação do valor do NDVI interanual frente às precipitações acumuladas nos meses previos.....	59
Figura 25. Representación del valor del NDVI estacional (para cada uma das estações) frente a las precipitaciones acumuladas en los meses previos.....	60 - 63

Indice de Quadros

Quadro 1. Propriedades técnicas do sensor MODIS. Fonte. NASA.....	33
Quadro 2. Valores de Δ NDVI (%) para cada uno de los años estudiados.....	54
Quadro 3. Valores de los NDVI estacionales y de los NDVI interanuales para la etapa de crecimiento.....	56
Quadro 4. Precipitações anuais para o periodo estudado.....	57

1. INTRODUÇÃO

Encontramo-nos numa época na qual são evidentes os grandes impactos humanos sobre a atmosfera da Terra (Bravo, 2007). A mudança do sistema produtivo associado a um novo modelo de consumo, que supôs a revolução industrial, por volta do ano 1750, significou uma mudança global e uma mudança nos usos da terra (Bravo, 2007). O efeito desses impactos começou-se a estudar mais intensamente há uns vinte anos, quando as consequências dos aumentos das emissões derivadas do uso dos combustíveis fósseis e de outros processos industriais deram lugar ao problema dos gases de efeito estufa, e do buraco da camada de ozono. Estes problemas, são bem conhecidos hoje, sendo o mais importante o efeito da mudança climática (Barros, 2005).

No último relatório do Painel Intergovernamental sobre Mudança do Clima (Intergovernmental Panel on Climate Change), (IPCC, 2007), adverte-se que a concentração na atmosfera de dióxido de carbono (CO_2), o gás de efeito estufa mais importante, tem chegado aos níveis mais elevados dos últimos seiscentos e cinquenta mil anos, com uma concentração de 379 ppm em 2005, (Bravo, 2007). O mesmo informe IPCC (2007), refere que o maior efeito que podemos observar é um aumento da temperatura global, e estima que esta temperatura suba aproximadamente 0.4°C nas próximas décadas.

Outros efeitos comprovados são além do surgimento de secas mais longas, intensas e frequentes, um regime de pluviosidade mais irregular com um maior número de tempestades intensas, o aumento do nível do mar de 2 mm desde os anos 70, ou a redução da superfície dos glaciares e das zonas cobertas de neve (Bravo, 2007). Todos estes desequilíbrios nos factores do clima afectam directamente a vida vegetal, com acidificação de solos, diminuição de reservatórios de água e falta de recursos hídricos, problemas para captar nutrientes do solo, etc., e portanto observa-se e preve-se uma alteração na produtividade primária (Aronson *et al.* 2009).

Os estudos relacionados com o aquecimento global centram-se nas variações do funcionamento e da produção de biomassa vegetal dos ecossistemas. Especialmente aqueles mais sensíveis ao clima, e na dinâmica dos ciclos de gases, em concreto o ciclo do carbono; ambas direcções estando directamente relacionadas, (Running *et al.*, 2000).

O ciclo do carbono tem especial importância agora que é possível observar como os ecossistemas podem retirar o CO_2 da atmosfera e assim diminuir as concentrações deste gás na atmosfera, o que levaria a uma mitigação do efeito estufa (Perez Quezada, 2006). O balanço de carbono nos ecossistemas, e na floresta em

1. INTRODUÇÃO

particular, é o resultado dos fluxos deste gás (inputs-outputs), na interfase atmosfera-biosfera, durante um período de tempo (Perez Quezada, 2006). As florestas tropicais e boreais atuam como reservatórios de carbono devido a capacidade de sequestrar o carbono atmosférico por meio da fotossíntese. A forma em como a produtividade anual funciona, segundo factores meioambientais, faz com que a maior parte do carbono fique na biomassa aérea ou nos depósitos de matéria orgânica do solo, sendo o solo um dos reservatórios mais importantes (Perez Quezada, 2006; Bockel *et al.* 2011). Mas a obtenção de dados de biomassa vegetal em campo é complicada em muitos casos e também supõe um custo económico elevado. Portanto, as novas tecnologias, como a detecção remota, estão a ter um papel fundamental neste campo (Perez Quezada, 2006).

A detecção remota é uma ferramenta fundamental para cobrir as necessidades de informação territoriais, porque permite realizar um seguimento e quantificação da biomassa vegetal, dos usos do solo e das suas variações. Esta informação é muito útil para avaliar as emissões e a captura dos gases de efeito estufa, particularmente o CO₂, directamente relacionados com a vegetação e os usos do solo, (Gonzalez-Alonso *et al.*, 2005).

Uma aplicação directa da detecção remota é a estimacão de fluxos para o cálculo da Produtividade Primária Bruta (Gross Primary Productivity) e de stocks (biomassa) (Gonzalez-Alonso *et al.*, 2005). A produtividade primária ou produção biológica é a base dos ecossistemas terrestres tal e como os conhecemos. Pode-se quantificar e medir, e divide-se em produtividade primária bruta (Gross Primary Productivity, GPP) e produtividade primária neta (Net Primary Productivity, NPP). A NPP é a soma da GPP e da respiração do ecossistema (Running, 2000). A GPP é o total de carbono fixado pela fotossíntese ($NPP = GPP - Reco$). A NPP representa a acumulação neta de carbono e esta é determinada entre a diferença entre a GPP e a soma das componentes de respiração para o ecossistema. A NPP é um importante componente do ciclo global do carbono, também é uma variável chave no estudo dos ecossistemas e joga um papel relevante para perceber o intercâmbio de carbono entre a biomassa e a atmosfera (Huiquing *et al.*, 2008).

Com o incremento dos gases de efeito estufa, especialmente o CO₂, a produção primária neta (NPP) sobre grandes superfícies está a mudar (Running *et al.*, 2000), por isso é tão importante o seu estudo. A medição da NPP pode-se fazer por estimacão a partir de variáveis que podemos medir com relativa facilidade. Aqui a detecção remota também pode aportar uma grande quantidade de informação por

1. INTRODUÇÃO

oferecer uma ferramenta que pode medir de forma rápida e precisa essas variáveis (Gonzalez-Alonso *et al.*, 2005). A NPP foi definida por Monteith em 1977 como o produto de dois fatores: a radiação absorvida fotossinteticamente activa (APAR), e a eficiência da planta no uso desta radiação (EUR), (Garbulsky *et al.*, 2008). A APAR integra a variabilidade estacional da duração do dia, a radiação potencial incidente com fenómenos atmosféricos que atenuem a luz do sol, e quantifica a área foliar da vegetação que esta disponível para captar e absorver essa radiação, expressada como Índice de Área Foliar (LAI), (Garbulsky *et al.*, 2008). A variável da eficiência do uso da radiação transforma a APAR em unidades energéticas utilizadas para o crescimento final da planta, ou produção primária neta (NPP), em biomassa (Running *et al.*, 2000). A medição das variáveis APAR e EUR com diferentes metodologias levará a uma maior exactidão nas medições, a depender dos meios e a escala na que se queiram realizar ou aplicar . (Running *et al.*, 2000). Portanto, podemos ter aparelhos específicos para a estimação das variáveis em campo, mas também podem ser medidas com a detecção remota. A qualidade dos dados proporcionados pelos sensores dos satélites estão a melhorar de forma importante, e além disso, os custos, a livre distribuição, a compensação entre as escalas temporal e espacial, a correção dos fenómenos atmosféricos, a incorporação de dados que automaticamente são processados para obter informação, e a capacidade de cobrir uma superfície de terreno maior com menos esforço, são um conjunto de vantagens significativas à hora de escolher o método de trabalho (Van Leeuwen *et al.* 2006). Por isto, a escolha da detecção remota parece bem justificada.

Para o nosso caso de estudo, são os sensores de satélite que estão a enviar informação de diferentes bandas do espectro electromagnético que são de utilizados. Com esta capacidade dos satélites, podem-se estimar automaticamente parâmetros da produtividade primária, com ferramentas de cálculo que podem estabelecer uma relação biunívoca entre a medida efetuada de reflectividade e os parâmetros biofísicos, de forma que se possa ter uma ideia imediata do estado físico de uma massa vegetal com o tipo de reflectividade que emite, (Gilbert *et al.*, 1997) e por isso escolheram-se os índices de vegetação, que serão descritos em detalhe no Capítulo 2. Já só temos que aplicar estas ferramentas à nossa área particular, mas pelas características do montado não é simples.

O montado é um sistema silvopastoral amplamente distribuído pela Península Ibérica, e também noutras áreas do mundo, como California, Chile, Africa do Sul e Austrália (Carreiras *et al.*, 2006; Potes, 2011), diferenciando-se uns de outros pelo regime de pluviosidade (Potes, 2011). Pode definir-se como o sistema de exploração

1. INTRODUÇÃO

pecuária e cinegética, de carácter multifuncional, no que como mínimo o 50% da superfície está ocupado por pastagens e árvores adultas dispersas e produtoras de bolotas, e com uma fracção de cobertura arborea entre o 5 e o 60%, (Pulido e Picardo, 2010). Na Península Ibérica, temos grandes áreas deste ecossistema de montado, dependente da acção humana, chamado “dehesa” em Espanha, com uma cobertura próxima aos 1,2 Mha em Portugal (Carreiras *et al.*, 2006), e entre 2 e 2,5 Mha em Espanha, (David *et al.*, 2004; Guijarro *et al.*, 2004).

Os produtos principais dos montados em Portugal são a cortiça e as pastagens, estando como tal em zonas com solos com boa estrutura. Quando as pastagens assumem mais importância económica representam um nível intermédio de intensidade no uso da terra (Carreiras *et al.*, 2006), e cobertura das árvores é mais escassa, porque o estrato inferior está dominado por uma grande variedade de comunidades de herbáceas anuais ou bi-anuais. A produtividade destas comunidades está dominada pelos factores climáticos e particularmente pela dispersão anual da cobertura vegetal (Yue-lin, 2008; Carreiras *et al.*, 2006). Os ecossistemas em climas áridos e semiáridos, como este, estão controlados pela disponibilidade de água, conjuntamente com outros factores como a disponibilidade de nutrientes. A evolução e conservação do montado estão condicionadas pela mudança climática a nível regional dentro da mudança climática global, mas não temos de esquecer que também pela utilidade dos produtos (David *et al.*, 2004). O montado oferece produtos importantes para a economia, como o porco preto e a cortiça, e ao mesmo tempo é uma paisagem única de grande valor, capaz de oferecer protecção contra o fogo e refúgio para uma grande biodiversidade. Tem sido explorado e mantido em equilíbrio durante muito tempo, mas o facto de que a sua superfície esteja a diminuir nos últimos anos, pela migração rural e pela mudança na utilização da terra por sistemas de cultivo de maior produção, põe em perigo a continuidade deste ecossistema valioso e sustentável (Aronson *et al.* 2009). É como tal interessante estudar a situação deste sistema silvopastoral no presente e a sua evolução no futuro sob as novas condições ambientais.

O objectivo inicial para este estudo é o de conhecer a estacionalidade do montado a partir de dados do satélite, e a partir dos gráficos obtidos estudar a fenologia e a resposta da camadas vegetal aos diferentes factores ambientais, concretamente à precipitação, à temperatura e à humidade. Também uma das metas era comprovar se os dados do satélite podiam ser separados mediante métodos empíricos e dispor assim numa representação da resposta funcional das diferentes camadas de vegetação do montado. Assim poder-se-ia observar as variações

1. INTRODUÇÃO

estacionais das herbáceas, dos arbustos e das árvores. Os índices de vegetação, concretamente o Índice de Vegetação de Diferença normalizada (NDVI), o que foi escolhido, podem ser uma ferramenta muito útil para o estudo da fenologia. Também é importante considerar que a heterogeneidade da paisagem pode supor um desafio para o tratamento dos dados, mas para uma determinada região, as observações sequenciais do NDVI podem ser representadas em função do tempo para quantificar a estacionalidade e a dinâmica observada com detecção remota (Ricotta *et al.* 1999). O presente trabalho também pretende contribuir para o estudo dos fluxos de carbono e a capacidade de fixação de CO₂ no montado.

Finalmente, podemos concluir que o objetivo deste trabalho é analisar a tendência estacional obtida a partir do índice de vegetação NDVI, calculado a partir dos dados de satélite, aplicado na área de estudo, durante um período de aproximadamente onze anos. Isto contribuirá à consideração da detecção remota como uma ferramenta útil, acessível e fiável para o estudo da fenologia e a ecologia de ecossistemas complexos, e a uma maior profundidade no conhecimento da dinâmica do ecossistema do montado português.

O presente trabalho estrutura-se em cinco capítulos. Segue-se a esta primeira parte introdutória, o “Capítulo 2. Estado da arte”, uma ampliação desta introdução e uma descrição das características da área de estudo e dos antecedentes e as referências deste trabalho. O “Capítulo 3. Material e métodos”, descreve a metodologia de estudo, o trabalho em equipa e individual, e o material utilizado. No “Capítulo 4. Resultados”, expõem-se os resultados obtidos, e finalmente, no “Capítulo 5. Conclusões” desenvolvem-se as conclusões a partir dos resultados obtidos.

2. ESTADO DA ARTE

Nesta secção pretende fazer-se uma descrição da situação inicial ao estudo, por tanto, vai-se proceder à caracterização do ecossistema do montado, e o enfoque para o estudo da sua fenologia. Inicialmente, vão-se descrever as características fisiológicas do ecossistema do montado. Numa segunda parte, vão ser descritos a deteção remota e os índices de vegetação, e a sua utilidade para o estudo dos ecossistemas, e como ferramentas para o estudo da fenologia. Finalmente vai-se falar das series temporais, e da relação entre o nosso caso particular e a deteção remota e os índices de vegetação como importantes elementos para o seu análise.

2.1. Eco fisiología do montado

O montado é um sistema agoflorestal que tenta armonizar os aproveitamentos agrícola, ganadero e florestal com o maior equilibrio possivel, ja que o montado é estavel no tempo pela intervenção do homen. Nela estão relacionados e de forma conjunta e favoravel as suas componendes (árvores, pastagens, e gado), ecologica e economicamente (Campos Palacín, 1992).

O montado é um ecossistema complexo, com um copado aberto e heterogêneo, com arbustos e herbáceas anuais no subcoberto (Carreiras *et al.*, 2006).

Os montados e outras alternativas agro-industriais como o eucalipto e o pinheiro, ficaram nos solos mais pobres, mas associados a sistemas de produção animal extensivos, dando assim um carácter multifuncional e de maior eficiência ao sistema produtivo, (Potes, 2011). Mas esta não é sempre a regra, segundo Carreiras *et al* (2006) temos de ter em conta duas diferentes possibilidades a depender da estrutura da cobertura vegetal e os usos da terra: em primer lugar, os montados mais densos estão em areas mais abruptas com solos mais pobres, que não resultan utilizaveis pela agricultura; a intensidad do uso do solo é baixo, e são os arbustos os que dominam a comunidade vegetal no subcoberto e com as herbáceas.

Atualmente, a evolução e conservação do montado está condicionada pela mudança climatica e também pela utilidade economica dos produtos (David *et al.*,2004).

Como o Potes (2011) tem dito, é necessario decrever e estudar a organização e o funcionamento destes ecossistemas, estudando as características de cada subsistema e as suas inter-relações. A abordagem intgrada ou holística a sistemas produtivos complexos para a respectiva análise tecnico-cientifica leva à sua

2. ESTADO DA ARTE

desagregação em subsistemas de acordo com a trinómio solo-planta-animal, que formam o ecossistema (Potes, 2011). De la Mora (2007) faz uma abordagem similar, com um estudo particularizado para o que é chamado por ele o “montado integrado”, onde expõe que o montado esta estruturado também em três camadas, interrelacionadas. Pode-se fazer a descrição do nosso ecossistema seguindo a linha destes autores e dentro dela, descrever também a ecologia e a fenologia das diferentes camadas vegetais.

Subsistema solo

Já foi referido o estado de degradação generalizado em que se encontram os solos abrangidos pela região que se identifica como sudoeste da Península Ibeirica, pela intensa actividade agrícola e que alguns autores consideram mesmo em vias de desertificação (Potes, 2011; Pulido e Picardo, 2010). As alterações climáticas que já foram referidas, traduzem-se nesta região em concentrações acentuadas de precipitações outonais e primaveras secas, o que origina problemas de erosão agravados no período de inicio de ciclo das culturas e quebras de produtividade das mesmas devido à falta de agua para finalização dos ciclos anuais de culturas praticadas (Guijarro *et al*, 2004; Potes, 2011). Surgem assim, as secas que ultimamente ocorreram de forma mais acentuada e com intensidade agravada (Potes, 2011). Podem ser interessantes planos de ordenamento que visem a recuperação de solos, minimizem os efeitos nefastos dos verões (estios), mais prolongados, e outonos mais rigorosos e o aumento da capacidade de armazenamento de agua, quer ao nível do solo, que a nível de reservatórios para consumo animal e humano, terão que ser objectivos de planificação integrada para desenvolvimento do ecossistema (Potes, 2011; Guijarro *et al*, 2004).

Subsistema planta

A análise do subsistema que abrange o reino vegetal e complexa e dificultada pela multiplicade de recursos genéticos envolvidos (biodiversidade) e funcionalidades distintas (Potes, 2011). A forma mais comum de estruturação é com a compartimentação das plantas por estratos para que as componentes resultantes dessa estratificação se identifiquem por funcionalidades distintas e complementares (Guijarro *et al*, 2004; Pulido e Picardo, 2010, De la Mora, 2007):

2. ESTADO DA ARTE

- **Arbóreo:** composto essencialmente por sobreiro (*Quercus suber*) e azinheira (*Quercus rotundifolia*) ou misturas dos dois. A ecologia das duas espécies é similar. Segundo Sande Silva (2007), os dois são árvores robustas que se adaptam a condições adversas de clima e de solo. Conseguem crescer em todo tipo de solos, excepto os calcários excessivamente húmidos, e precisam de um pH ácido para o seu crescimento. Estas árvores precisam de um valor médio anual de 500 mm, considerando que o valor óptimo situa-se entre os 600 e os 800 mm. No entanto, as árvores sobrevivem durante períodos de seca, já que estão adaptados com extensas e profundas raízes, a capacidade de fechar os estomas das folhas limitando as perdas de água e até deixar cair parte considerável da copa para produzir novas folhas ao regresso das chuvas (Aronson *et al.* 2009). O valor óptimo de t^a é 15-19°C entre 8 e 10°C, e julho entre 22 e 24°C. Estas espécies não se encontram onde as temperaturas médias do mês mais frio desce abaixo dos -10°C, e prefere zonas com temperaturas médias do mês mais quente de aproximadamente 20°C (Sande Silva, 2007).

As árvores dos montados estão bem adaptadas à impredecibilidade climática típica da região mediterrânica. Durante os primeiros anos de crescimento os sobreiros e azinheiras fazem crescer as suas raízes muito mais do que outras árvores, em proporção ao resto dos tecidos. Isto supõe um investimento para as futuras épocas de seca, momento nos quais as árvores poderão aceder aos reservatórios de água no solo. Além disso as folhas têm uma fenologia única (só 1 ano de vida), e são esclerófilas, o que significa que são grossas, cerosas e duras. Isto representa também uma adaptação ao clima mediterrânico semi-árido próprio do montado. (Aronson *et al.* 2009).

Os melhores povoamentos situam-se em altitudes inferiores a 200 m, mas há excepções se as condições são boas. Os sobreiros e azinheiras do montado encontram as melhores condições de vegetação sob a influência atlântica, com pequenas oscilações térmicas anuais e estiagens longas, mas atenuadas pela presença do mar (Sande Silva, 2007). A distribuição do sobreiro na floresta reflecte não só as características dos solos, e o clima, mas também e principalmente a acção do homem, dependente da pressão agrícola (Sande Silva, 2007; Potes, 2011).

O sobreiro e a azinheira são espécies de crescimento lento, de grande longevidade, que pode ir até aos 250-300 anos (Sande Silva, 2007; Aronson *et al.* 2009). No entanto a sua explotabilidade económica não vai além dos 150-200 anos (Sande Silva, 2007).

2. ESTADO DA ARTE

Como qualquer espécie lenhosa de regiões temperadas os sobreiros e as azinheiras apresentam uma sazonalidade anual do crescimento com períodos de repouso e períodos de actividade (Sande Silva, 2007). O período de maior actividade é o período de crescimento de primavera, que se inicia em fevereiro-março, e se prolonga até junho-julho. Durante o verão poderá haver uma paragem ou apenas um abrandamento do crescimento provocados pelas altas temperaturas. Este período de repouso cessa quando se inicia o período de crescimento de outono, entre Setembro e Novembro. Neste último mês inicia-se uma fase de repouso invernal que se prolonga até ao período de crescimento de primavera seguinte. O período de maior actividade e crescimento, entre maio e julho, coincidem com a época de descortiçamento, entre maio e agosto (Sande Silva, 2007). O estrato arbóreo é responsável de da criação duma características edáficas próprias (Sande Silva, 2007). O papel das árvores na dinâmica dos nutrientes é fundamental. O sistema radicular extrai água e nutrientes das zonas mais profundas e faz que fiquem disponíveis na superfície, na zona de degradação das folhas (Gujarro *et al.*, 2004; Rigueiro-Rodriguez *et al.*, 2009). Assim, as árvores, têm um papel fundamental na favorecem por baixo da copa o depósito de mais matéria orgânica, fósforo, potássio, e azoto, e aumenta a disponibilidade hídrica para as herbáceas (Sande Silva, 2007; Rigueiro-Rodriguez *et al.*, 2009). Além disso, as árvores no montado modificam o regime de radiação por baixo da copa, amortecem as oscilações térmicas e a velocidade do vento influenciando a composição florística das herbáceas e a sua fenologia, mas é muito discutido o papel das árvores na qualidade das pastagens, e realmente é a ação do homem o que determina as melhoras das pastagens no montado (Gujarro *et al.*, 2004)

Os problemas das árvores são a mortalidade relacionada com aspectos sanitários e a regeneração das plantas, por isso, estão a trabalhar para melhorar a resistência das árvores ao stress biótico e a gestão para garantir a preservação da componente arbórea (Pulido e Picardo, 2010).

- **Arbustivo:** constituído por um grupo de plantas arbustivas (lenhosas), de reduzido valor nutritivo de uma maneira geral, mas que estrategicamente oferecem recursos nutritivos importantes para os herbívoros na fase vegetativa invernal e na fase de floração primaveril, que liberta pressão de pastoreio sobre os recursos herbáceos (Potes, 2011; Guijarro *et al.* 2004). Os arbustos começam um crescimento ao fim do inverno, e chegam ao máximo na época de máximas precipitações da primavera, momento também de máxima floração (abril-maio), depois o seu

2. ESTADO DA ARTE

desenvolvimento diminui até ser mínimo no verão (período de seca), e resurgir com as precipitações do outono (Hidalgo e Cabezado, 1994).

O matorral é considerado a parte vegetal menos desejável num montado, mas fragmentos de matorral que costumam ser mantidos pelo seu valor cinegético e podem ser muito importantes para a regeneração natural das árvores, por proporcionar cobertura durante o crescimento isolando-os do alcance do gado. No entanto, o desenvolvimento excessivo da flora arbustiva torna-se um obstáculo à produção de pastagem pelo que o seu controlo, biológico ou mecânico, é imprescindível ao equilíbrio do ecossistema (Potes, 2011; Pulido e Picardo, 2010).

Também se incluem nesta componente um conjunto de espécies aromáticas que representam mais um produto do ecossistema e reforça a sua riqueza em termos de biodiversidade vegetal (Potes, 2011).

- **Herbáceo:** componente onde a diversidade vegetal é mais evidente. No montado temos plantas herbáceas com fenologia muito diferentes, mas complementares (Potes, 2011). Todas estas plantas são plantas pratenses anuais de ressementeira natural, cujo ciclo se adapta às estações do ano. Têm início do ciclo de germinação no outono, paragem do crescimento mais ou menos acentuada no inverno, decorrente das baixas temperaturas, retoma do crescimento e produção máxima de biomassa na primavera, pela conjugação de temperaturas e disponibilidades hídricas favoráveis para as fases vegetativa e reprodutiva e conclusão do ciclo, com a produção de semente e secagem antes do verão (Potes, 2011; Sande Silva 2007). Na gestão do montado, a diversidade nas herbáceas é muito fácil de reconhecer, e podem-se encontrar até 70 espécies num m² em pastagens efémeras do montado, e a diversidade pode tornar-se mais complexa porque a composição das pastagens anuais por baixo da copa é diferente à das zonas soleadas e expostas, (Pulido e Picardo 2010).

Por último, citaremos os dois subsistemas que fecham o ciclo da dehesa, e que são o subsistema animal e o subsistema dos produtos obtidos deste ecossistema.

- **Animal:** Subsistema que reúne o conjunto das diversas espécies animais que intervêm na exploração do ecossistema, mas que não vão ser descritas aqui por não ter relevância no estudo. Todos os sistemas de produção animal praticados na

2. ESTADO DA ARTE

pecuária extensiva, que fazem parte integrante da gestão do montado utilizam os recursos naturais e interferem entre si com os componentes vegetais descritas, pelo que o estudo e conhecimento delas e das respectivas interações são essenciais para o desenvolvimento integrado do ecossistema (Potes, 2011).

- **Outputs:** neste apartado consideram-se os produtos como a cortiça e seus derivados, carne e seus derivados, queijo, lã, lenha e carvão, mel, plantas aromáticas e medicinais, cogumelos, turística e lazer (Potes, 2011).

2.2. Índices de vegetação

Neste ecossistema do montado, com as condições climáticas de verões secos e quentes, com falta de água, fazem que haja longas variações intra-anuais na cobertura das plantas (Baldochi *et al.*, 2004). Os estratos de vegetação diferenciam-se em fenologia e funções, por exemplo, enquanto a escassa cobertura das árvores mantém-se verde e tem acesso as fontes de água perenes para as funções metabólicas de todo o ano mas limita o crescimento, a camada de herbáceas seca-se no verão. o estudo da resposta fenológica com series temporais, é uma abordagem interessante para a compreensão dum ecossistema heterogêneo como este (Carreiras *et al.*, 2006).

Dada a importância ecológica, económica e histórica deste ecossistema, é importante fazer uma monitorização das mudanças que o afetam, numa forma temporal (meio e longo prazo) para obter informação da resposta do ecossistema à variabilidade climática.

A deteção remota por satélite é uma ferramenta útil para esta monitorização. Que utiliza as características espectrais das espécies vegetais para obter informação sobre propriedades físicas da mesma (Ollinger, 2010).

No entanto, a refletividade do coberto vegetal está determinada não só pelas características da vegetação, mas também para fatores externos, como a iluminação, o estado da atmosfera, etc. que devem ser necessariamente identificados e eliminados para utilizar a deteção remota para o estudo da vegetação (Gilbert *et al.*, 1997).

2. ESTADO DA ARTE

A partir de valores de reflectividade obtidos por detecção remota em comprimentos de onda específicos podem-se definir os índices de vegetação que permitem extrair desses valores informação relacionada com as características da vegetação, minimizando as perturbações como as propriedades óticas do solo, a irradiância, etc. (Gilabert *et al.*, 1997).

A detecção remota é uma ferramenta com muitas vantagens como a visão global e exaustiva, com uma cobertura completa, a diferentes escalas e em formato digital, por citar algumas (Gilabert *et al.*, 1997). Além disso, é importante também comprovar que os dados obtidos pela detecção remota são, apesar da baixa resolução à que são tomados, são fiáveis e de qualidade para fazer as estimações. Mas, apresenta diversos desafios, pela diversidade intrínseca, a complexidade estrutural e a variabilidade estacional do montado (Carreras, *et al.*, 2006). Para o sistema do montado, os tipos de uso da terra que dão informação acostumam ser muito diferentes desde um ponto de vista espectral, o que está a refletir a sua variabilidade interna. A modelização da vegetação em ecossistemas complexos, como o montado é um desafio relativamente novo, que precisa de uma decomposição em estratos vegetais como tem feito alguns autores como Manevski (*et al.*, 2011), ou Lu (*et al.*, 2002), para poder avaliar e determinar a contribuição aos fluxos naturais de cada camada e os efeitos dos fatores ambientais nelas.

Além disto, há uma grande quantidade de satélites com sensores disponíveis, que ademais de prover de imagens dão também considerações práticas como dados processados, influência da cobertura de nuvens, etc. As plataformas dão produtos processados, como os índices de vegetação calculados, muito úteis (Van Leeuwen *et al.*, 2006). Os sensores mais conhecidos que têm estas características são NOAA Advanced Very High Resolution Radiometer (AVHRR) e o MODIS (Resolution Imaging Spectroradiometer), ambos da NASA.

Os sensores dos satélites podem quantificar que fração da radiação fotosinteticamente ativa é absorvida pela vegetação (Weier e Herring, 2000), que sabemos estar diretamente relacionada com a fotossíntese neta.

Neste trabalho pretende-se fazer um estudo da relação do índice de vegetação de diferença normalizada (Normalized Difference Vegetation Index, NDVI), obtido para a vegetação total com dados do satélite MODIS, e uma análise de série temporal durante dez anos com dados meteorológicos para analisar a influência das variáveis

2. ESTADO DA ARTE

meteorológicas primárias, particularmente a temperatura e a precipitação na biomassa vegetal a escala intra e inter-anual.

Descrição

Os pigmentos, que dão cor verde às folhas das plantas, as clorofilas, absorvem a radiação solar na região espectral da radiação fotosinteticamente ativa (rango de comprimentos de onda entre 400 e 700 nanômetros).

Os índices de vegetação actuais têm em comum a utilização da refletividade nas zonas espectrais do vermelho (620 y 760 nm) e do infravermelho próximo (800 nm a 2500 nm), porque o 90% da informação relativa à vegetação esta contida nestas bandas (Gilbert *et al.*, 1997).

Segundo Gilbert *et al.* (1997), os índices de vegetação podem-se dividir em duas categorias, os índices de vegetação de baixa resolução espectral e os índices de vegetação de alta resolução espectral. Os primeiros são aqueles que utilizam valores de refletividade integrados em bandas de alguns centos de nanômetros de largo, enquanto que os segundos utilizam a zona vermelha do infravermelho próximo, mas não em forma de bandas senão a fazer uso do espectro de refletividade contínuo.

Segundo Gilbert (*et al.*, 1997) entre estes índices podemos destacar os seguintes:

- Índice da razão da vegetação (RVI, Ratio vegetation Index): pouco sensível as condições de iluminação mas muito mais sensível as propriedades ópticas da terra.

- Índice de vegetação de diferença normalizada (NDVI, Normalized Difference Vegetation Index), é um índice de baixa resolução espectral também, e é o mais utilizado atualmente porque a normalização que realiza reduz o efeito da degradação de calibração do sensor e a influência.

- Índice de vegetação ajustado ao solo (SAVI, Soil. Adjusted Vegetation Index): é o mais indicado para o trabalho em zonas semi-áridas, onde a contribuição do solo é muito importante, minimizando o efeito da refletividade do solo mediante a introdução dum fator L.

Outros índices novos que estão a ser utilizados agora são por acaso o índice de refletância fotoquímica (PRI, Photochemical Reflectance Index), sensível aos carotenóides das folhas, relacionados com a eficiência no uso da radiação; o índice de vegetação de diferença normalizada para o vermelho (RNDVI, Ratio Normalized

2. ESTADO DA ARTE

Difference Vegetation Index), e também o índice de vegetação melhorado (EVI, Environmental Vegetation Index). Mas, o índice que no vamos a utilizar, o NDVI.

Índice NDVI

O NDVI é o índice diferencial de vegetação normalizado usualmente utilizado para estimar a quantidade e o desenvolvimento da vegetação (Myneni *et al.*, 1995).

É o índice mais amplamente utilizado desde que foi criado em 1974, por ser um dos mais praticos. Entre as principais vantagens podemos falar de que o NDVI tem um calculo matematico simples, é sensível as propriedades opticas do solo e as condições atmosfericas, minimiza os problemas de iluminação variavel, a escala é lineal e varie entre 1 e -1, e no calculo, os problemas duma possivel divisao entre zero se reduzem drasticamente (Jiang *et al.*, 2006; Gilabert *et al.*, 1997). O NDVI é calculado a partir da reflexão espectral adquiridas nas regiões do vermelho e do infravermelho proximo respectivamente. Foi demonstrado que o NDVI esta diretamente relacionado com a capacidade fotossintetica e por tanto com a absorção de energia por parte das plantas (Myneni *et al.*, 1995).

Ainda que é o mais utilizado, também otros indices como o RVI, o PRI, ou o EVI, são utilizados extensamente para monitorizar as variações estacionais, interanuais e a longo prazo da estrutura, da fenologia e dos parametros biofisicos da cobertura vegetal. (Falk *et al.*, 2004), mas o NDVI foi o escolhido para este trabalho por todas as vantagens que foram referidas anteriormente e para ter facil acesso aos dados. O Verstraete e o Pinty (1991) têm estudada a natureza e extensão das variações do NDVI em areas aridas e semi-aridas, como pode ser o nosso caso de estudo, e a sua conclusão foi que o NDVI tem uma dependência maior pelas mudanças na cobertura da vegetação que por mudanças no espesor do dossel vegetal. Para paisagens parciais ou ecossistemas heterogeneos em areas semi-aridas especialmente é mais razoável derivar as propiedades da vegetação do indice de vegetação NDVI (Jiang *et al.*, 2006). Por tanto, acha-se suficientemente justificado que a escolha de este indice é uma boa opção.

O NDVI e outros indices de vegetação sao medidas da quantidade da biomassa fotossinteticamente ativa e estão relacionados com parametros biofisicos como a biomassa de folhas verdes, a fração de coberta verde vegetal, o indice LAI (Leaf area index, area foliar por unidade de solo), a fração de radiação fotossinteticamente ativa, a materia seca total acumulada e a produtividade primaria

2. ESTADO DA ARTE

neta (NPP) (Lu *et al.*, 2003; Jiang *et al.*, 2006). O LAI (Leaf Area Index) é um índice de superfície foliar.

Segundo Lu (*et al.*, 2003) a estimação dos parâmetros desde o NDVI e os outros índices não é direta, porque estes índices obtidos através de detecção remota contêm informação combinada que se ve afetada por diferentes fatores: (1) a fenologia, diferentes plantas têm diferentes tipos de padrões de desenvolvimento durante o ano, o anos; (2) a variabilidade climática interna, especialmente precipitações e também variações na radiação, a temperatura, e a umidade; (3) alterações em forma de eventos como fogos, alterações humanas, cheias e danos por ventos fortes, etc., (4) condições do sensor, como o efeito do ângulo de visão, o desvio da calibração do sensor, mudanças na órbita do satélite e outras; (5) contaminação do sinal, por nuvens, aerossóis, vapor de água, ou cor do solo de fundo.

De todos estes fatores os três primeiros estão relacionados com as mudanças nas propriedades das plantas, enquanto isso os dois segundos representam a contaminação do sinal da vegetação com ruído.

A eliminação do ruído requer atenção nos temas da calibração do satélite, a correção orbital, a detecção e eliminação da contaminação atmosférica e o registro das imagens (Lu *et al.*, 2003).

Uma ferramenta adicional para tirar o ruído e relacionar o comportamento do NDVI e alguns outros índices de vegetação para obter variáveis (especialmente climáticas) é a análise de séries temporais. Alguns autores têm aplicado técnicas de análise de séries temporais para dados NDVI para caracterizar padrões de coberturas do solo e para relacionar o NDVI com variáveis climáticas (Lu *et al.*, 2003).

Além da utilidade para tirar o ruído, a análise das séries temporais é uma das aplicações mais importantes para o estudo de ecossistemas, porque é possível analisar com respeito à variável tempo, a tendência, a sazonalidade e a variável resposta (que seria o índice de vegetação), e dentro dele a componente descritiva que nos aportará informação do estado da vegetação a estudar (Lu *et al.*, 2003).

As séries de vegetação são uma ferramenta muito poderosa para aprender dos eventos passados, fazer seguimento das condições ambientais presentes e preparar-se para mudanças futuras. A comparação de registros atuais com os de longo prazo tem sido utilizadas para acompanhar a resposta dos ecossistemas face ao aumento das temperaturas e dos níveis de CO₂ (Van Leeuwen *et al.*, 2006).

2. ESTADO DA ARTE

As características espaciais, espectrais e temporais dos resultados dos dados de detecção remota em séries temporais, (como são a correlação consecutiva, a estacionariedade, resolução temporal, ruído, disparidade nos dados ou valores perdidos nas observações), podem afetar a composição final de qualquer classificação ou alguma aproximação de mudança detectada, por isso, é muito importante estar atento ao tratamento dos dados, e realizar as correções precisas em cada caso, como a eliminação de correções consecutivas, diferenciação das observações para eliminar as não estacionárias, ou a aplicação de algum tipo de correções para a atmosfera (Lhermitte *et al.*, 2011).

O fim último da análise das séries temporais dos dados históricos biofísicos será impulsar a capacidade de previsão da informação meteorológica, e fazer deduções sobre o clima e as condições de seca, ao mesmo tempo que são melhoradas as capacidades cartográficas associada com as necessidades críticas, assim como a produção estimada, a dinâmica de combustíveis e a valoração do habitat. A continuidade dos valores do NDVI simulado pelos sensores está a ser estudada para aumentar a precisão dentro da incerteza dos multisensores com dados de séries temporais (Van Leeuwen *et al.*, 2006).

Agora que temos descrito os objetivos, o estado da nossa área de estudo para o estudo e as ferramentas e os princípios que vão ser utilizados para alcançar os objetivos, passa-se no descrever no próximo capítulo a metodologia de trabalho que tem sido realizada.

3. MATERIAL E MÉTODOS

3.1. Caracterização da área de estudo

O local de estudo situa-se na Herdade da Machouqueira do Grou, a aproximadamente 40 km a este da Vila de Coruche, concelho que pertence ao distrito de Santarém. As coordenadas geográficas da parcela de estudo são 39°08' N e 8°19'W, encontrandonos a uma altitude de 160 m. em relação ao nível do mar (Figura 1).

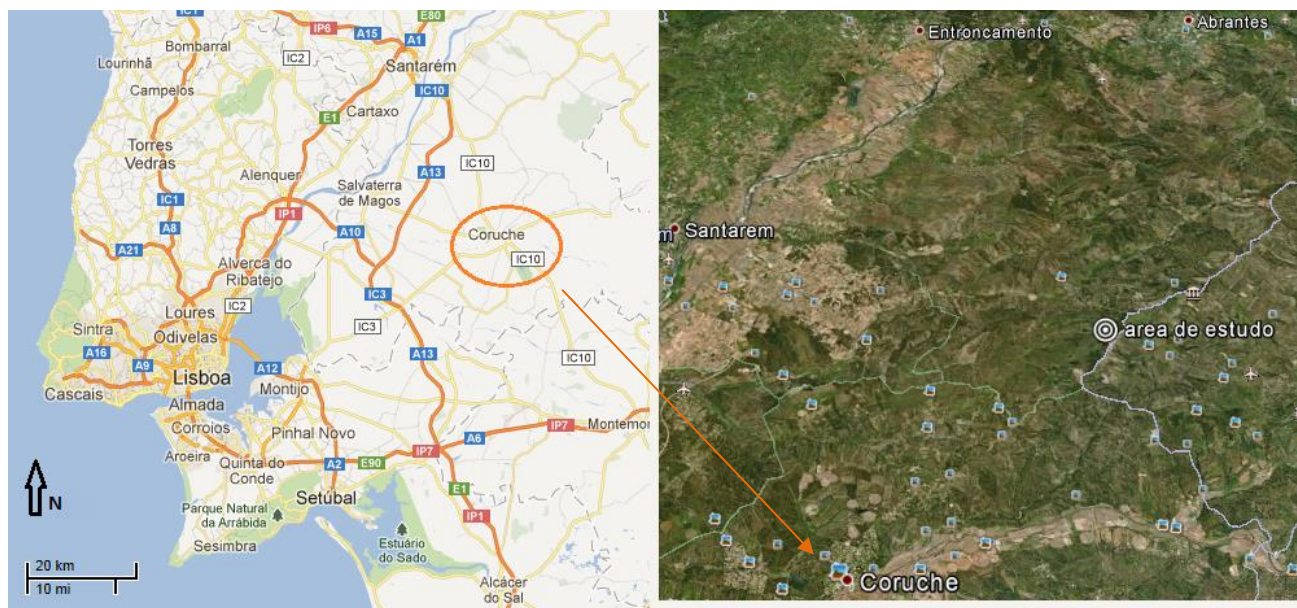


Figura 1. Localização da área de estudo. Fonte: Google

A Herdade é constituída por uma zona de montado de sobreiro (*Quercus suber* L), e azinheira (*Quercus rotundifolia* Lam.) e outra constituída por pinheiro bravo (*Pinus pinaster* Aiton). Embora predomine o montado estão representadas zonas de agricultura intensiva, plantações de eucaliptus (*Eucalyptus spp.*) e largas extensões de pastagens caprinos e bovinos.

Dentro da Herdade, encontra-se uma torre (Figura 2) que suporta os sensores necessários para efetuar medições meteorológicas e dos fluxos de H₂O; CO₂ e energia de acordo com o metodo de eddy covariance (Baldocchi *et al.*, 2004) em funcionamento desde 2009.

3. MATERIAL E MÉTODOS



Figura 2. Torre Coruche. Fonte: propria.

3.1.1. Clima

Para o estudo do clima do local desde 2001 utilizaram-se os dados da Agencia Portuguesa do Ambiente, obtidos através do site (<http://www.apambiente.pt>). Entre as estações meteorologicas disponiveis utilizaram-se as de Coruche, Mohinola e Marianos. Todas a uma distaça aproximada de 20 km da área de estudo. A estação meteorologica de Coruche situa-se nas coordenadas 38°57'N e 8°32'W, e tem uma altitude de 25 metros em relação ao nível do mar. A estação de Mohinola situa-se nas coordenadas 38°58' N, 8°61' W e tem uma altitude de 41 m. A estação de Marianos situa-se nas coordenadas 39°181' N e 8°47' W, com uma altitude de 48 m. Os dados obtidos das diferentes estações forma comparados entre eles e com os dados obtidos pela estação localizada em situ no periodo 2000 a 2011.

No diagrama ombrotermico (Figura 3), pode-se ver a relação entre a pluviometria e a termometria, e por tanto, pode-se ver que o periodo de seca corresponde a aquele onde a linha das temperaturas fica por acima da linha das precipitações. O diagrama foi feito para o periodo de 2001 ate março de 2012. Pode-se apreciar que a area de estudo apresenta as carateristicas tipicas do clima para esta

3. MATERIAL E MÉTODOS

região de Portugal (INMG, 1991), com seca acentuada, especialmente no verão, desde maio até dezembro.

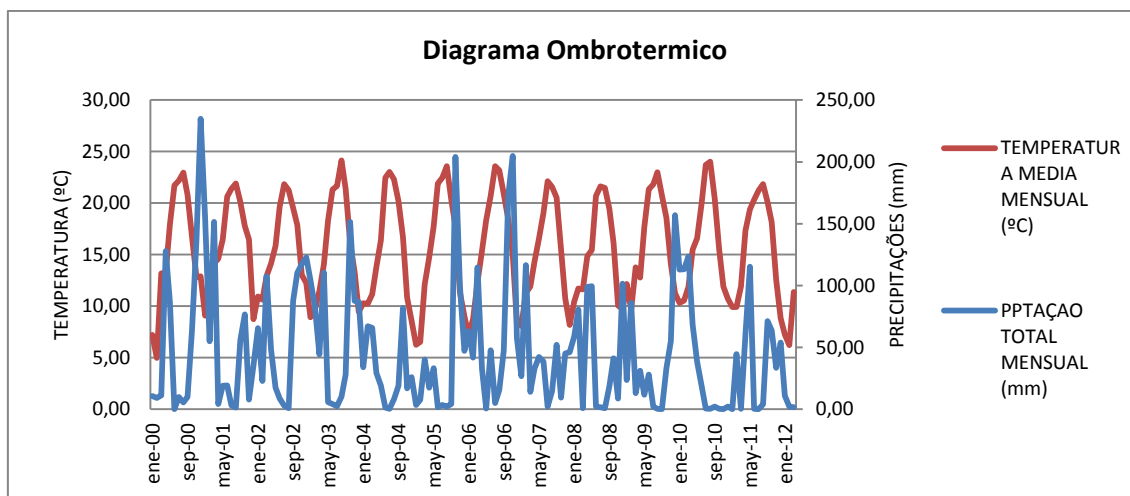


Figura 3. Diagrama ombrotermico para o periodo 2000 -2012 da area de estudo.

O clima da zona corresponde a clima mediterrânico, com verões quentes e secos, e invernos temperados, com uma pluviometra anual entre 450 e 800 mm (Olea *et al.*, 1991), que se concentra-se no periodo entre outubro e maio. É típico um verão longo, seco e quente que se associa uma acentuada irregularidade nas quedas de precipitação, quer a nível intranual (durante o mesmo ano), quer na comparação interanual (entre anos distintos), (Potes, 2011). Seja como for, o clima mediterrânico está caracterizado por uma alta variabilidade anual de precipitação, e uma alta frequência de periodos de secas.

3.1.2. Caracterização edáfica

Para a caracterização edáfica da Herdade da Machuqueira do Grou, consultou-se a Carta de Solos de Portugal, folha numero 31, escala 1:50000 verificando-se que os solos existente no local de estudo pertencem à familia dos Solos Podzólicos não hidromórficos, bons para o desenvolvimento das especies tipicas do montado.

3. MATERIAL E MÉTODOS

3.1.3. Vegetação

O conjunto de especificidades edafo-climáticas descritas conduziram à flora típica desta região que é dominada pela azinheira, o sobreiro (Potes, 2011).

Segundo Potes (2011), o estrato arbóreo é constituído por *Quercus suber* L. , O estrato arbustivo compõe-se de diversas espécies arbustivas com destaque para os géneros *Cistus* ou *Ulex*, (*C. salviifolia*, *C. Ladanifer*, *Genista spp* (piorno), *Ulex spp* (tojo). O estrato herbáceo é dominado pelas gramíneas e leguminosas e caracteriza-se também pela diversidade de espécies dentro destas famílias de plantas pratenses. Predominam as famílias: Leguminosae (trifolium y medicago – *T. Cherleri*, *T. Glomeratum*, *T. Resupinatum*, *T. Stellatum*, *T. Striatum*, *T. Subterraneum*, *M. Aculeata*, *M. Arábica*, *M. Orbicularis*, *M. Polymorfa*, *M. Rigidula*, *M. Truncatual*), e *Ornithopus*, *Biserrula*, e *Scorpiurus*. Gramíneas dos generos *Lolium*, *Hordeum*, *Bromus*, *Poa* e outras. Todas estas plantas são plantas pratenses anuais de ressementeira natural, cujo ciclo se adapta às estações do ano.(Potes, 2011). A alta biodiversidade que ocorre nestes meios é uma forma de defesa da natureza contra a irregularidade climática que os caracteriza (Potes, 2011).

Além da importância botânica, as espécies que encontramos no montado, e particularmente em Coruche, têm um gran valor paisagístico, pela longevidade e por a quantidade de biodiversidade consequencia dela, (Sande Silva, 2007). Destacam pela sua resistência ao fogo, que é sinal de regeneração dos povoamentos, mas também de declínio do ecossistema, dependendo da precocidade e da intensidade com que ocorre. Também há uma grande variedade de cogumelos silvestres, como miscalos o boletos. (Sande Silva, 2007).

Podemos encontrar mais ou menos espaços abertos, com mais arvores ou mais arbustos, com uma densidade variavel desde 10-40 arvores/ha até 50-80 arvores/ha (Guijarro *et al.* 2004), mas a componende que debe encontrarse sempre é o estrato herbáceo, base da exploração pecuária do sistema do montado (Olea, 1991).

3. MATERIAL E MÉTODOS

3.2. Obtenção e tratamento de dados

3.2.1. Dados meteorológicos

Os dados meteorológicos correspondentes às variáveis de precipitação, temperatura e humidade relativa, foram tirados das estações meteorológicas pertencente a rede de observação do SNIRH e disponibilizadas publicamente através do portal web. (<http://snirh.pt/>) de Moinhola, Marianos e Coruche, para o período compreendido entre 2000 e 2012.

Como a estação de Coruche só tem dados do período 2008–2012, o resto foi tirado das outras duas estações. Os dados foram comparados.

Os dados apresentavam uma grande irregularidade em quanto ao formato, para a precipitação. De forma que se tinham dados mensuais de precipitação para a estação de Marianos, mas diários e até horários no caso dos últimos três anos do período, para a estação de Moinhola. Com a temperatura foram tirados dados médios mensuais em todas as estações. Foram calculadas as precipitações mensuais acumuladas, as temperaturas médias mensuais. A humidade mediática muito poucos registos para os anos 2000–2001, por tanto os resultados ficaram exíguos e foram tirados da série para evitar erros nas análises posteriores.

Os gráficos finais de cada uma das variáveis estão representados a seguir (Figura 4).

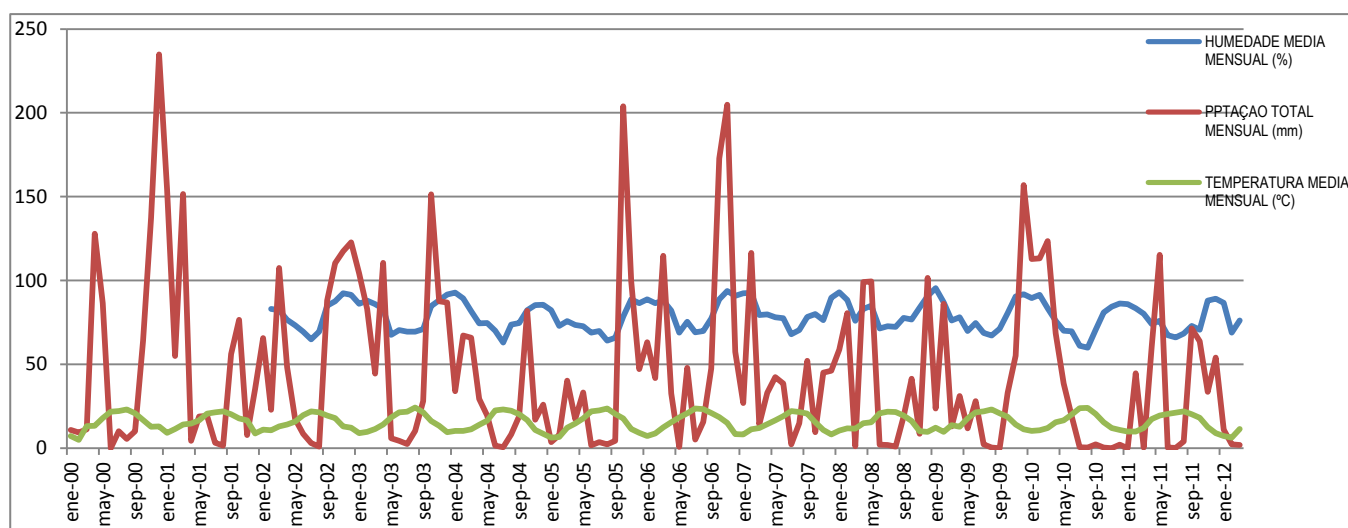


Figura 4. Representação das variáveis climáticas estudadas para o período de anos 2000 – 12.

3. MATERIAL E MÉTODOS

3.2.2. Detecção remota

Os dados de detecção remota foram obtidos da página web da NASA, (https://lpdaac.usgs.gov/products/modis_products_table) onde foi selecionado o produto do sensor MODIS (Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer) do satélite, correspondente a Nadir BRDF-Adjusted Reflectance, para uma frequência de 8 dias e uma resolução de 500 metros.

Versão-5 MODIS / Terra do Aqua BRDF / Albedo produtos são validados Fase 1, o que significa que a precisão foi estimada usando um pequeno número de medições independentes obtidos a partir de locais selecionados e períodos de tempo.

O produto MCD43A, 8 dias de dados fornecidos em uma base de dados de nível 3 em grade definidos em projeção senoidal.

A Nadir BRDF (Função de Distribuição de Refletância Bi-direcional) descreve de forma matemática as mudanças na refletância que são observadas quando aquele que se quer ver ou estudar, está a ser visto desde diferentes ângulos. A BRDF permite a predição da refletância de superfície como uma função de geometria solar. A BRDF depende do comprimento de onda dependente e é determinada pelas propriedades estruturais e ópticas da superfície. Estas propriedades são: sombreado, dispersão, transmitância, refletância, absorção e emissão dos elementos da superfície. ([Earth Observation and Satellite Imagery, 2012](#)). Para o nosso caso de estudo tiramos a refletância captada por o satélite com o sensor MODIS. A alta frequência temporal e a grande área coberta pelo MODIS faz que seja uma boa ferramenta para determinar as propriedades BRDF a partir de observações multi-dados, que são úteis para a análise de séries temporais ([Earth Observation and Satellite Imagery, 2012](#)).

3. MATERIAL E MÉTODOS

Quadro 1. Propriedades técnicas do sensor MODIS. Fonte. NASA.

USO PRIMARIO	BANDA	CUMPRIMENTO DE BANDA	RADIANCIA ESPETRAL	SNR
Terra/ Nuvens/ frontera com aerossóis	1	620 - 670	21.8	128
Terra/ Nuvens/ propiedades aerossóis	2	841 - 876	24.7	201
	3	459 - 479	35.3	243
	4	545 - 565	29.0	228
	5	1230 - 1250	5.4	74
	6	1628 - 1652	7.3	275
	7	2105 - 2155	1.0	110
Color oceano/ fitoplancton/ bioquimica	8	405 - 420	44.9	880
	9	438 - 448	41.9	838
	10	483 - 493	32.1	802
	11	526 - 536	27.9	754
	12	546 - 556	21.0	750
	13	662 - 672	9.5	910
	14	673 - 683	8.7	1087
	15	743 - 753	10.2	586
	16	862 - 877	6.2	516
Amosfera/vapor agua	17	890 - 920	10.0	167
	18	931 - 941	3.6	57
	19	915 - 965	15.0	250
Surface/Cloud Temperature	20	3.660 - 3.840	0.45(300K)	0.05
	21	3.929 - 3.989	2.38(335K)	2.00
	22	3.929 - 3.989	0.67(300K)	0.07
	23	4.020 - 4.080	0.79(300K)	0.07
Atmosfera/ temperatura	24	4.433 - 4.498	0.17(250K)	0.25
	25	4.482 - 4.549	0.59(275K)	0.25
	26	1.360 - 1.390	6.00	150(SNR)
Cirros/ vapor agua	27	6.535 - 6.895	1.16(240K)	0.25
	28	7.175 - 7.475	2.18(250K)	0.25
Propiedades nuvens	29	8.400 - 8.700	9.58(300K)	0.05
Ozono	30	9.580 - 9.880	3.69(250K)	0.25
Superficie nuvens/ temperatura	31	10.780 - 11.280	9.55(300K)	0.05
	31	11.770 - 12.270	8.94(300K)	0.05
Cloud Top Altitude	33	13.185 - 13.485	4.52(260K)	0.25
	34	13.485 - 13.785	3.76(250K)	0.25
	35	13.785 - 14.085	3.11(240K)	0.25
	36	14.085 - 14.385	2.08(220K)	0.35

As bandas 1 a 19 estão em nm. Bandas 20 a 36 estão em μm
Valores de Radiancia espectral em $(\text{W}/\text{m}^2 \cdot \mu\text{m}\cdot\text{sr})$
SNR = Senhal de Ratio de Ruído (Signal-to-noise ratio, $\text{NE}(\Delta T) = (\text{Noise-equivalent temperature difference})$)

Foram utilizados os dados correspondentes as bandas 1 a 7, (resalte) para o período de 2000 a 2012. Para os dias que por questões técnicas o satélite não tinha registros, fizeram-se as médias entre o dia previsto e o dia seguinte.

3. MATERIAL E MÉTODOS

3.2.3. Calculo do NDVI

Como já tínhamos referido, o NDVI é o índice de vegetação de diferença normalizada, é calculado da forma a seguir:

$$NDVI = \frac{(NIR-R)}{(NIR+R)} \in [-1, 1] \quad (1)$$

Fonte: Gilabert *et al.*, 1997

Onde:

NIR = banda do infravermelho próximo ($\lambda < 2,5 \mu\text{m}$)

R = banda do vermelho (620–750 nm)

Em geral quase todos os satélites estão a utilizar esta fórmula para calcular a densidade da vegetação em crescimento. Podem-se interpretar os resultados desta fórmula de forma que folhas que não estejam verdes darão valores próximos a 0, as folhas saudáveis ou as zonas com alta densidade de vegetação, terão valores próximos a 1 (Weier e Herring, 2000).

Por tanto, na aplicação da fórmula temos que o NDVI pode ser calculado da forma:

$$NDVI = \frac{R800-R680}{R800+R680} = \frac{\text{banda2}-\text{banda 1}}{\text{banda 2}+\text{banda 1}} \quad (2)$$

Fonte: Garbulsky *et al.*, 2008

Onde R800 corresponderia à refletância espectral do infravermelho próximo (NIR) e R680 corresponderia à refletância espectral do vermelho (R). Para obter a R800 temos de tirar os dados da banda número 2, por ser a que fica mais próxima do comprimento de onda que precisamos. E de igual forma, para obter a R680, tiramos os dados da banda número um.

Finalmente, os resultados finais correspondem a um conjunto de valores para o índice NDVI desde fevereiro de 2000 até março de 2012.

3. MATERIAL E MÉTODOS

3.2.4. Medições de campo

Foram efetuadas medidas de refletancia em campo de diferentes estratos vegetais para o periodo 2011 - 2012.

Foram tiradas medidas de refletancia de 4 cistus e 4 toxos, 6 sobreiros, 4 áreas de 50 cm² com diferentes espécies de herbáceas, e mais um transepto de herbáceas. Todos eles escolhidos pela sua localização, de forma que recibiam luz direita. Para aquelas medições foi utilizado o Field Spec Spectroradiometer (ASD Inc. Boulder, Colorado, EEUU), um aparelho para medições de espectroscopia de campo, portatil, capaz de medir dentro de todo o rango do espetro visvel (350 – 2500 nm) e infravermelho próximo.

As medições realizaram-se em dias sem nuvens, com céus limpos, por volta do meiodia solar. Tiraram-se se cinco medições de refletancia para cada um dos exemplares, e depois com essas medidas, calculou-se se o indice NDVI para cada um deles nas datas que forma recolhidos os dados. Fizo-se a media, com o erro padrão correspondente, do NDVI de todos os exemplares, para representar as herbaceas, os cistus, os toxos, e os sobreiros, como se pode ver na Figura 6.

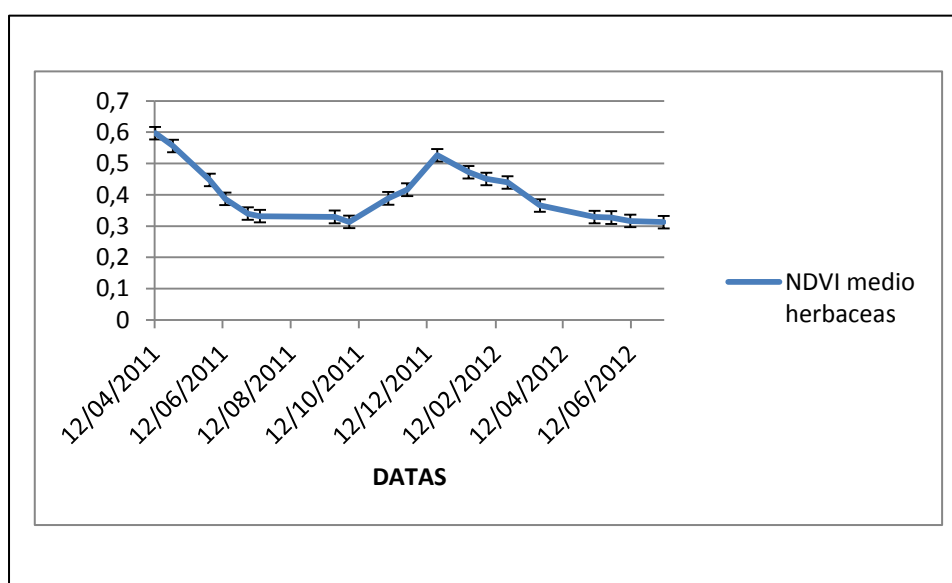


Figura 6. Media dos NDVI para as herbaceas no periodo 2011 -2012.

3. MATERIAL E MÉTODOS



Figura 6 (continuação). Media dos NDVI para as herbáceas no período 2011 -2012.

3. MATERIAL E MÉTODOS

Fizeram-se gráficos separados para os dois tipos de arbustos, os sobreiros e as herbáceas. (Figura 6). Neles pode-se apreciar a sequência do NDVIs. O erro padrão é muito pequenino, o que quer dizer que temos dados de muito boa qualidade.

O sobreiro é uma árvore perfeitamente adaptada ao clima semi-árido. Os valores do NDVI para as árvores são sempre altos, e ainda que é uma árvore de folha persistente, é sensível à seca, mas o possível estresse que pode ter não é percebido pelo índice de vegetação.

Os arbustos apresentam um padrão um bocadinho diferente, com uma diminuição no NDVI resultante do aumento de folhas secas em períodos de seca extrema. Isto é mais evidente nos cistus para depois voltar a reviver na época húmida. Os tojos apresentam uma gráfica mais estável, o que quer dizer que ainda que são capazes de evitar o emurchimento dos tecidos mais do que os cistus.

As herbáceas têm um ciclo vegetativo anual, durante o verão a parte aérea morre, para voltar rebrotar no início da época de chuva em alguns casos ou a reproduzir-se por semente.

3.3. Análise dos dados de detecção remota

3.3.1. Aplicação do filtro ao NDVI

Com o objetivo de decompor o NDVI obtido a partir dos dados de satélite em diferentes frequências, correspondentes ao NDVI de cada estrato vegetal, tentou-se aplicar o método da Modelo da Decomposição Empírica e o Spectro de Hilbert, (EMD, Empirical Model Decomposition). Isto supunha um desafio muito grande, porque não se tinha feito antes, por tanto, a escolha do método de decomposição tem sido feita para outras hipóteses (Blakely, 2005; Lin e Wang, 2006; Liang *et al.*, 2005; Loehle e Scafetta, 2011), mas ainda não há referências para um ecossistema vegetal heterogêneo como o montado.

O método da EMD está baseado na análise de Fourier, onde se afirma que uma série temporal de dados periódicos e estacionários pode ser decomposta em funções sinusoidais. A EMD foi inventada em 1998 por Huang e outros colaboradores, e a chave da característica da EMD é a capacidade de decompor o sinal

3. MATERIAL E MÉTODOS

em funções modelo intrínsecas, chamadas IMF (Intrinsic Mode Function). Além disso, o análise espectral de Hilbert de funções compostas da informação sobre a frequência evoluindo com o tempo, e quantifica a quantidade de variação segundo a oscilação para diferentes escalas de e diferentes localizações geográficas (Donghoh e Hee-Seok, 2009).

Previo a aplicação do análise da EMD, tem de ser feita uma filtragem, com um filtro para tirar o ruído derivado da situação da atmosfera, e outras variáveis, de forma que a sinal ficara o mais limpa possível. Para isso, aplicou-se no R a package Robust Filter, com uma sensibilidade média, e diferentes parâmetros, escolhidos para tirar só o ruído atmosférico mas deixar as singularidades.

Finalmente obteve-se um gráfico para o NDVI filtrado com uma sensibilidade média (width = 11). Na Figura 7, no capítulo a seguir, pode-se ver a diferença entre os dados originais e os dados filtrados. Todas análises seguintes utilizaram os dados do NDVI após aplicação do filtro.

3. MATERIAL E MÉTODOS

3.3.2. Decomposição do sinal: Empirical Mode Decomposition

Com este método esperava-se obter diferentes IMFs a partir da senhal dos dados do NDVI do MODIS. Cada uma de essas IMF corresponderia a um tipo de frequência, relacionando teoricamente os diferentes estratos vegetais e reconhecer as diferentes oscilações e fazer a correspondência de cada IMF com cada estrato, para o período 2011-2012 as graficas do NDVI obtidas em campo para cada uma das camadas vegetais.

O esperado era por tanto, aplicar o software que implementasse a EMD, e obter as IMFs correspondentes sobre os dados do NDVI. Cada uma das IMF seria comparada com os dados de campo para encontrar correspondência com o estrato vegetal. Assim ficaria a senhal geral decomposta em diferentes funções, que poderiam ser estudadas separadamente e assim ver a contribuição de cada uma delas ao sinal original e por tanto ao cômputo total do índice de vegetação.

A ferramenta escolhida para a aplicação foi o R, o programa estatístico com uma package particular de EMD.

Inicialmente o programa deu como resposta um número de IMFs correspondentes às frequências mais importantes que é capaz de detectar. Para o nosso caso saíram sete IMFs. Além disso, também os resíduos, que são os graficos que resulta da diferença entre a senhal original e a IMF correspondente.

Esperava-se encontrar uma coincidência clara entre as IMFs e os graficos do NDVI para os estratos vegetais, de forma que nas IMFs fosse relativamente simples identificar um padrão anual ou uma estacionalidade com forma e comportamento semelhantes. Isto permitiria identificar uma IMF determinada como uma parte da senhal total que diretamente corresponde à aportação na refletividade (e por tanto no índice de vegetação), dum estrato vegetal particular.

Por tanto, com os dois conjuntos de graficos, fez-se uma comparação para detectar nas IMFs alguma coincidência com a aparência das graficas do NDVI para cada estrato vegetal, mas depois de revisar intensivamente os graficos, não foi possível encontrar coincidências neles.

A frequência das IMFs não correspondia com a estacionalidade de nenhum dos estratos, nem das espécies. E não era possível encontrar explicação ao

3. MATERIAL E MÉTODOS

comportamento delas em função da resposta. A forma e tendência das graficas do NDVI para cada estrato vegetal não tinha semelhança com a forma de nenhuma IMF, nem com nenhum dos residuos. Não era possível identificar nem a estacionalidade nem nenhuma resposta da fenologia que pudera ser relacionada com as arvores, os arbustos nem as herbáceas.

Por tanto, esta hipótese de trabalho teve de ser abandonada.

3.4. Estudo da serie temporal

Como os resultados obtidos não resultaram os esperados, nem os graficos apoiavam as hipóteses iniciais, o equipe de trabalho decidiu então aproveitar a informação, especialmente os dados de satélite e o indice obtido com eles do NDVI, e fazer um estudo da serie temporal.

Uma serie temporal defin-se como uma coleção de observações duma variável recolhidas sequencialmente no tempo. Estas observações usualmente são recolhidas em momentos equidistantes no tempo. Se os dados são recolhidos em momentos não equidistantes no tempo é interessante acumular os valores sobre intervalos de tempo para o seu estudo. Como tinhamos referido no capítulo do Estado da Arte, o análise das series temporais, é uma aplicação importante para o estudo de ecossistemas, por dar a possibilidade de ver com respeito ao tempo a resposta das variáveis ambientais e das variáveis derivadas delas. Além disso, pode-se fazer seguimento das condições ambientais, e isto é muito importante numa época como na que estamos, de mudança climática ([Van Leeuwen et al., 2006](#)).

Com este estudo da nossa serie temporal, pretende-se não só fazer uma descrição, senão também analisar quais das variáveis ambientais têm maior influência na resposta dos vegetais, a través do NDVI. Na parte descritiva analisa-se a forma que apresentam os dados (tendencia) se existe influencia de certos periodos em qualquer unidade de tempo (estacionalidade), e se aparecem observações exquistas.

O estudo de series temporais basea-se na ideia de decompor a variação duma serie em diversas componendes basicas. A decricao esta fundamentada em encontrar componendes que correspondam a uma tendencia em longo prazo, um comportamento estacional e uma parte aleatória, como é este o nosos caso de estudo.

3. MATERIAL E MÉTODOS

As componentes e fontes de variação que são consideradas normalmente são as que se apresentam a seguir.

- a) Tendência: pode-se definir como uma mudança em longo prazo que se produz em relação ao nível médio, ou a mudança em longo prazo da média. A tendência identifica-se com um movimento suave da série em longo prazo.
- b) Efeito estacional: muitas séries temporais apresentam certa periodicidade ou também uma variação de certo período (anual, mensal, etc.), por exemplo a própria vegetação tem períodos marcados de atividade relacionados com as estações do ano. Estes tipos de efeitos são fáceis de entender e podem-se medir explicitamente ou também podem-se eliminar do conjunto de dados, desestacionalizando a série original se não foram de interesse.
- c) Componente aleatória: uma vez que temos identificados os componentes anteriores, e depois de tê-los eliminado, ainda ficam alguns valores que são aleatórios. Para esta componente retende-se estudar que tipo de comportamento aleatório apresentam estes valores residuais utilizando algum tipo de modelo probabilístico que possa descrevê-los.

A análise foi feita tanto para a série do NDVI, como para as séries temporais dos dados meteorológicos. Os gráficos finais seriam comparados para fazer a descrição e procurar relações entre as variáveis primárias (meteorológicas) e a variável resposta (NDVI).

O software escolhido foi o programa estatístico R. Inicialmente na procura de uma ferramenta de cálculo foi escolhida o Decompose (Classical Seasonal Decomposition by Moving Averages).

Esta ferramenta faz a análise das séries temporais e as decomposições em séries estacionais, de tendência e irregulares, utilizando médias móveis e funciona tanto com componentes estacionais aditivas e multiplicativas. Os parâmetros fixados foram os que dá o programa por defeito.

O eixo das X mostra o tempo. A diferença entre as frequências às que foram tirados os dados supõe um problema, (por ter frequências de 8 dias para o NDVI e

3. MATERIAL E MÉTODOS

frequências mensuais para as variáveis meteorológicas), porque devia ser mudado atributo da frequência, mas finalmente conseguiu-se encaixar as escalas, de forma que tinham-se anos no eixo das X.

Cada uma das gráficas apresenta um eixo x com o tempo em anos. No momento de fazer as figuras e calcular cada uma das frequências, o programa trabalhava sobre um intervalo de 13 anos, com início no 0 (ano 2000), e fim no 13 (2013), por tanto, foram atribuídos de forma automática pelo software pontos de dois em dois anos na escala do eixo x.

Para perceber a correspondência, simplesmente temos de atribuir ao início do eixo (ponto 0), o ano 2000, e para o fim do eixo o ano 2013. Por tanto temos que: o número 2 do eixo x corresponderia ao ano 2002, o ponto 4 ao ano 2004, o ponto 6 ao ano 2006, e assim sucessivamente. Assim que a escala acaba no ano 2013, a gráfica da decomposição termina no mês de março do ano 2012.

3. MATERIAL E MÉTODOS

Depois de fazer os primeiros graficos com o decompose, podia-se ver que a graficas da tendência ficavam pouco claras, com algum tipo de ruído, como pode-se ver na Figura 7, Figura 8, Figura 9, e Figura 10.

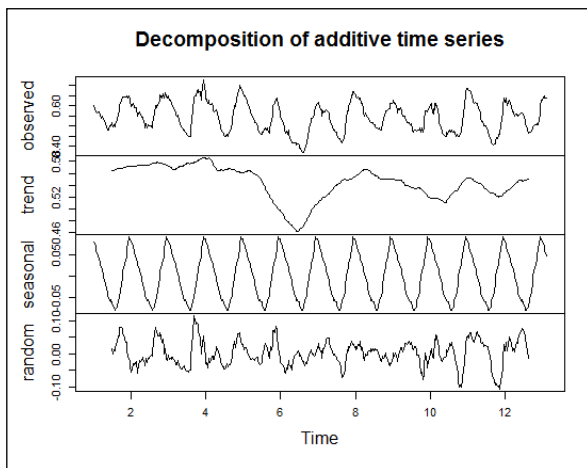


Figura 7. Decompose para serie temporal do NDVI

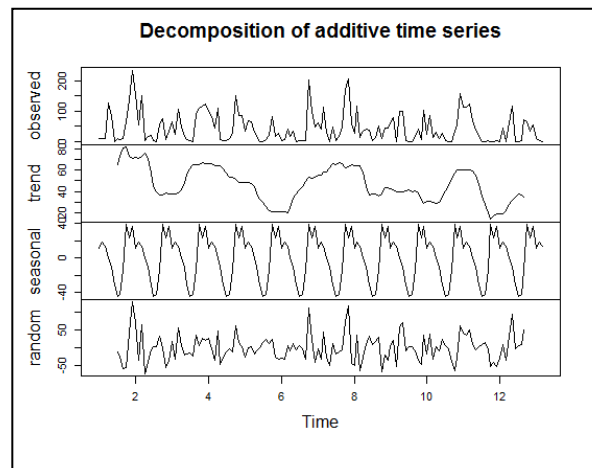


Figura 8. Decompose para serie tempora de Precipitações

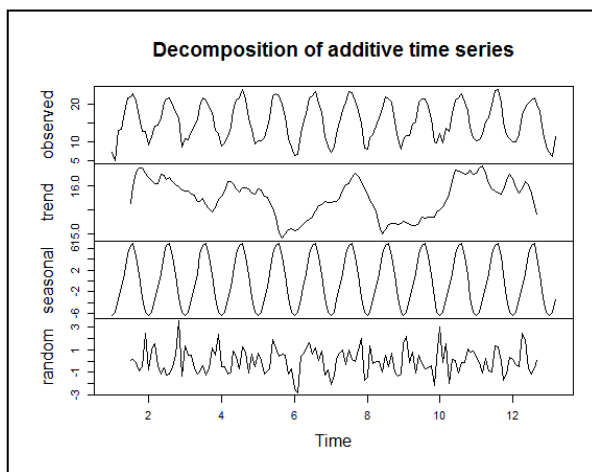


Figura 9. Decompose para serie temporal da Temperatura

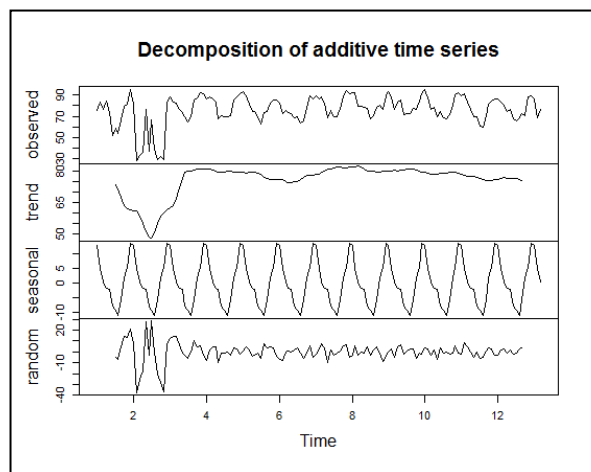


Figura 10. Decompose para serie tempora da Humidade

Por tanto, ainda que os graficos foram uteis e podiam ser interessantes, a tendência ficava pouco clara, por isso foi realizado um segundo analise com outra ferramenta do R, mais precisa que o Decompose, chamada STL (Seasonal Decomposition of Time Series by Loess).

3. MATERIAL E MÉTODOS

A STL, faz a decomposição das series temporales na estacional, tendência e componendes irregulares e usa a *loess function*. Esta função funciona a suavizar as sub-series estacionais, para procurar a tendência, e além disso incorpora o componente “remainder”, equivalente à componente irregular, que corresponde aos residuos dos valores estacionais tirados durante o proceso para tirar a tendência junto com um ajuste para ela.

O analise com a ferramenta STL ficou como se presenta nas Figura 11, Figura 12, Figura 13 e Figura 14.

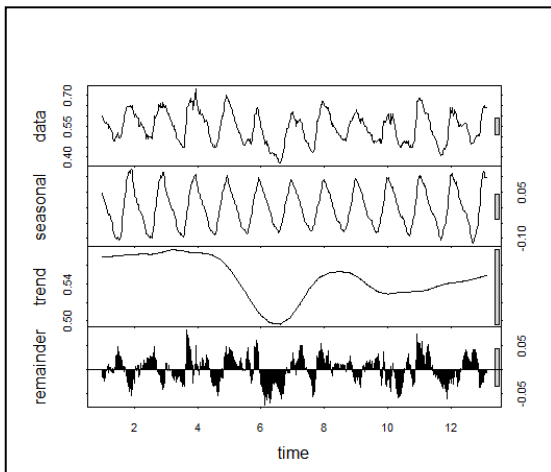


Figura 11. STL para serie temporal NDVI

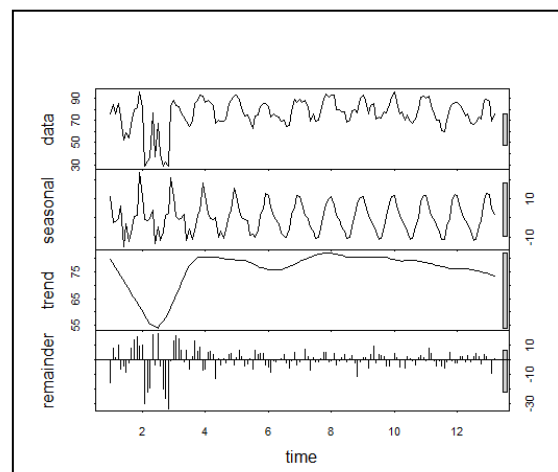


Figura 12. STL para serie temporal da Precipitação

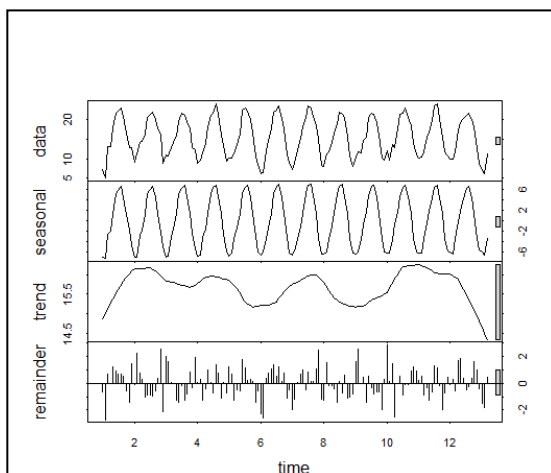


Figura 13. STL para serie temporal Temperatura

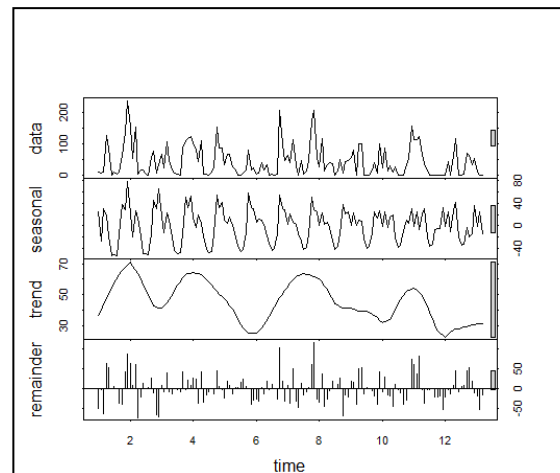


Figura 14. STL para serie temporal da Humidade

O STL apresenta uma melhor tendência em comparação com o Decompose, além disso, ficando uma linha muito mais clara. Também a utilizar esta ferramenta temos um gráfico de estacionalidade diferente, ou seja, para os gráficos do decompose a estacionalidade ficaba como uma frequência regular, com o mesmo

3. MATERIAL E MÉTODOS

cumprimento para cada ano, mas nos graficos do STL om um desenho desigual ao longo do tempo, a diferença do Decompose, isto será analisado no apartado de Resultados.

A informação mais relevante para a descrição das series temporales estava na estacionalidade, e a tendência. Além disso, a escala na que estão representados é diferente e cada uma das janelas. Por tanto, foram tirados os dados numéricos de cada um dos graficos correspondentes a cada uma das STL para cada uma das variáveis, e para uma melhor interpretação os graficos foram revisados e construidos de novo em excel e são mostrados n aparte dos Resultados. Os graficos novos contêm as mesmas cuatro componendes que apresentaba o STL mas ficam todas dentro da mesma escala do eixo Y.

Foi planteado fazer também um analise de regressão, que pudera explicar a relação entre eles. Nos resultados, faze-se o analise estadístico para tentar responder esta questão.

4. RESULTADOS

4.1. Estudio da serie de dados MODIS e da serie temporal

Como se tinha referido no apartado de Material e Métodos, a serie de dados MODIS para o periodo de estudo depois do tratamento com o filtro para tira o ruído fica como se mostra na figura seguir:

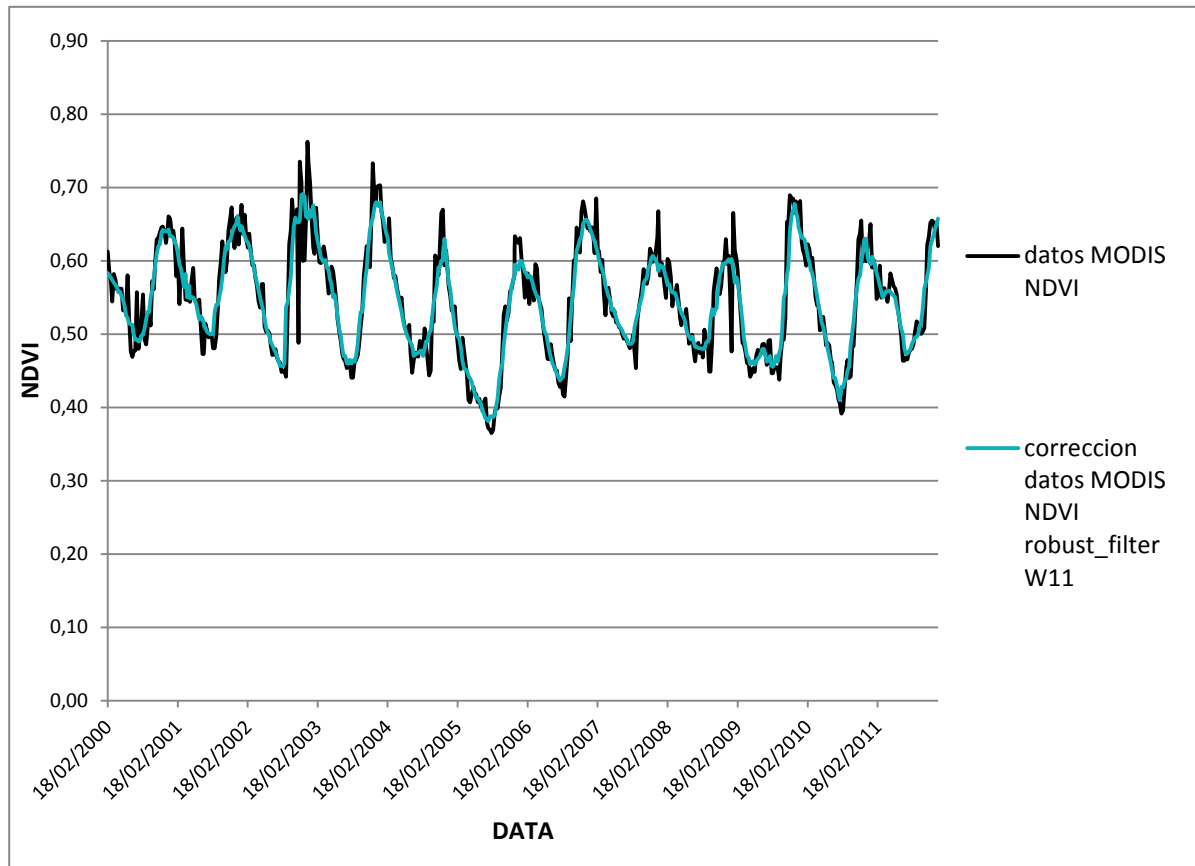


Figura 15. Comparação entre os dados NDVI originais e os dados filtrados pelo Rob Filter.

Depois da obtenção de todos os dados, tanto a partir do MODIS, como meteorológicos, foi feita uma gráfica na que foram representadas todas as variáveis, as meteorológicas e o NDVI (Figura 19).

Aqui se podia ver o comportamento das variáveis sem decompor, em relação umas com outras.

4. RESULTADOS

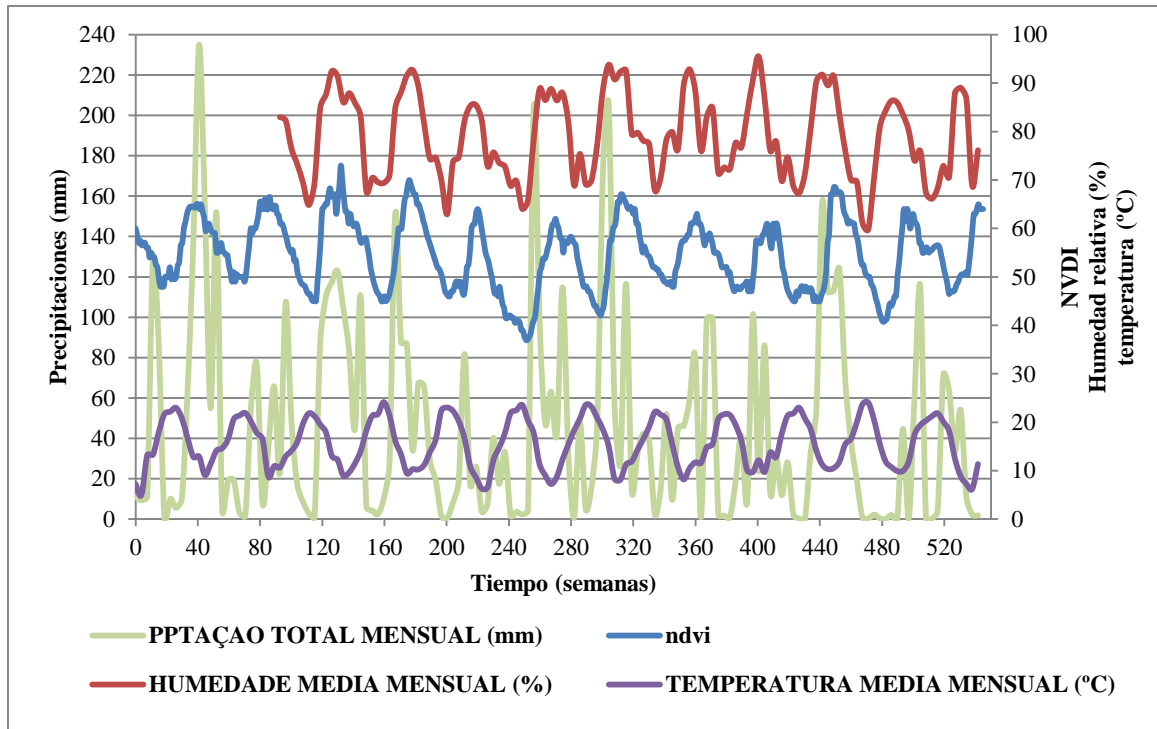


Figura 16. Serie temporal com as variaveis originais.

Já se pode apreciar neste grafico como para a seca de 2004 a 2005, (semanas 180 a 250) o NDVI sofre uma baixada imediata com uma forte penente descendente, de forma paralela.

A continuação do tratamento com a STL, fizo-se uma composição de forma que para cada variavel meterologica e o NDVI, as quatro componendes da serie temporal ficabam juntas na mesma escala, o qual resultaba util para apreciar melhor as dimenssões das funções (Figura 20).

4. RESULTADOS

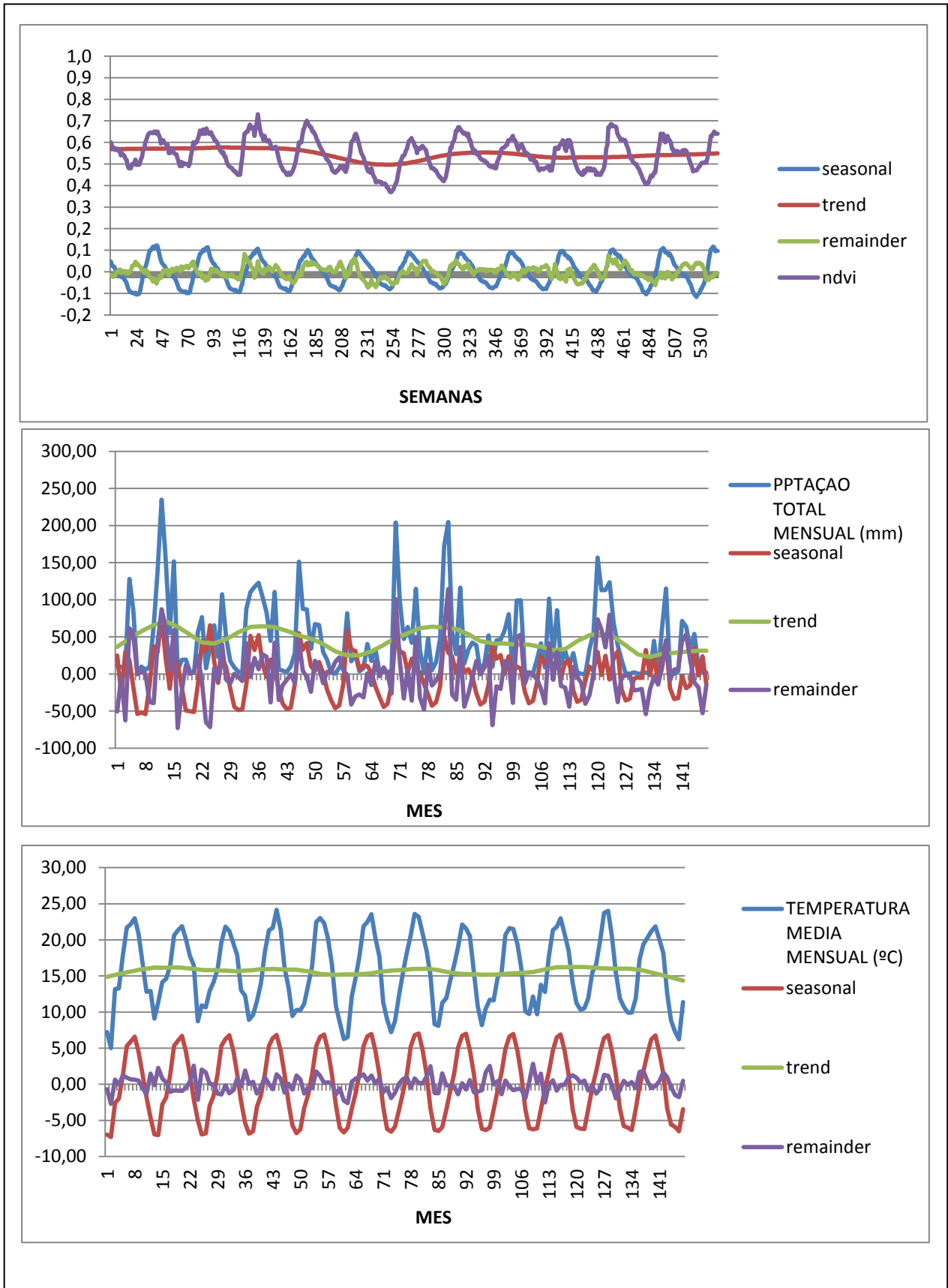


Figura 17. Graficos do STL processados com o Excel

4. RESULTADOS

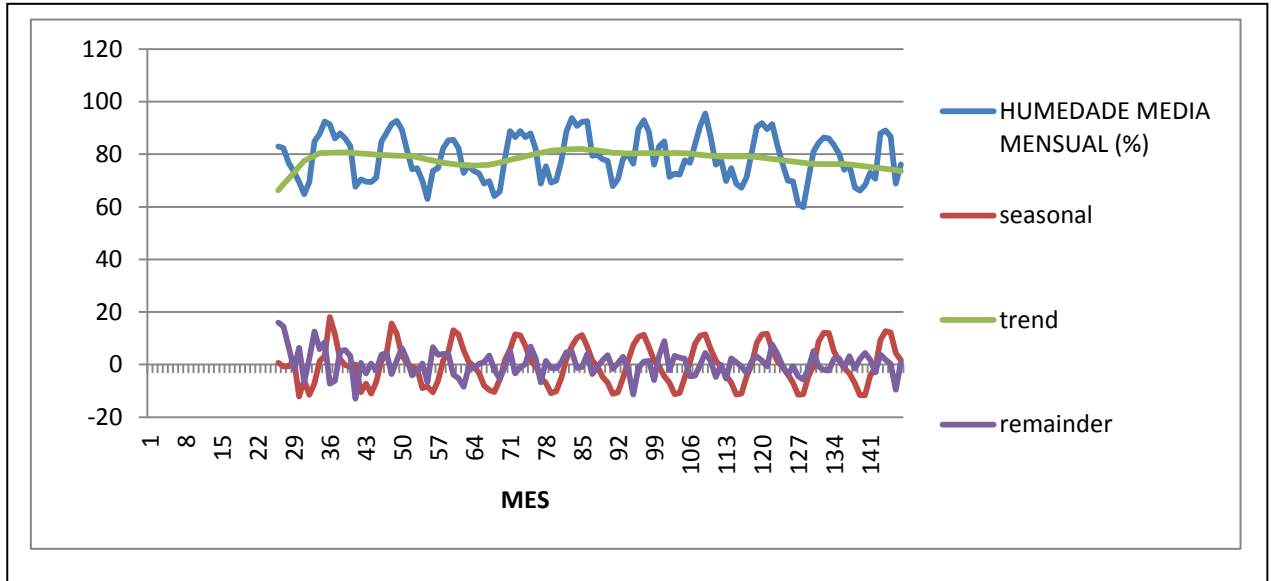


Figura 17 (Continuação). Graficos do STL processados com o Excel. .

Os primeiros dados registrados para a variável da humedade resultan pouco fiaveis e fazem que a tendência geral fique alterada. Como já tínhamos referido, quase não se tinha registros de dados de humedade para os anos 2000 a 2001, por tanto, a serie começa no 2002.

Para apreciar melhor as relações entre umas variaveis e outras, e fazer uma melhor interpretação da tendência, fizeram se a partir destes gráficos, novos graficos comparativos, nos que se relacionava sempre uma variável meteorologica primaria com a variavel secundaria, o NDVI.

Por tanto, na Figura 21, pode-se comparar a variavel primaria temperatura, com a sua tendência (*trend*), e a variavel resposta, o indice de vegetação NDVI, com a tendencia correspondente.

4. RESULTADOS

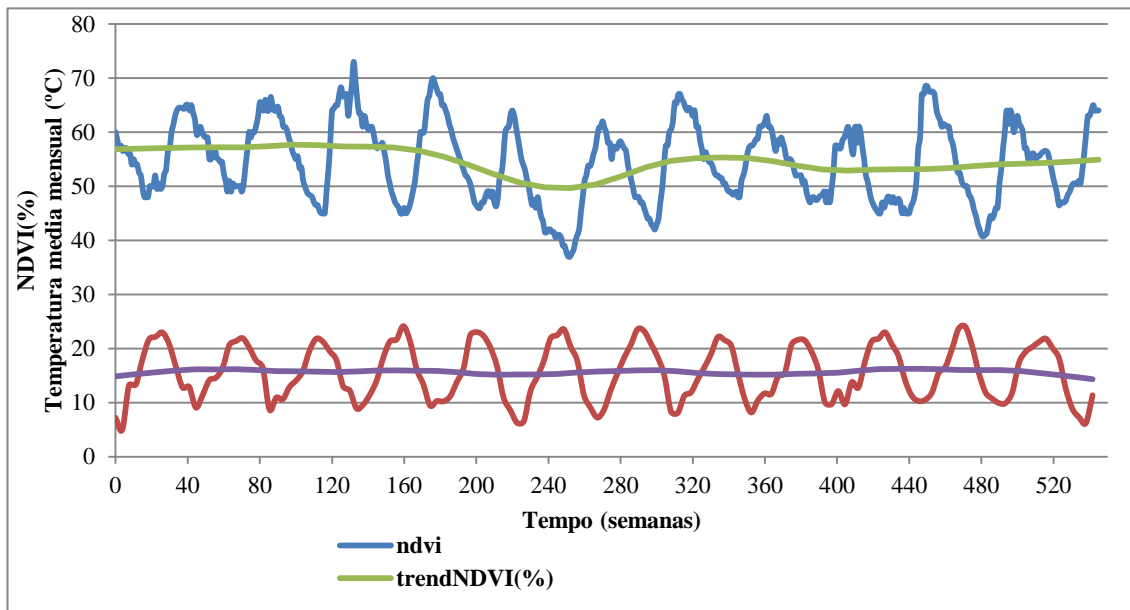


Figura 18. Comparação da variável temperatura e a sua tendência com a variável NDVI e a sua tendência correspondente.

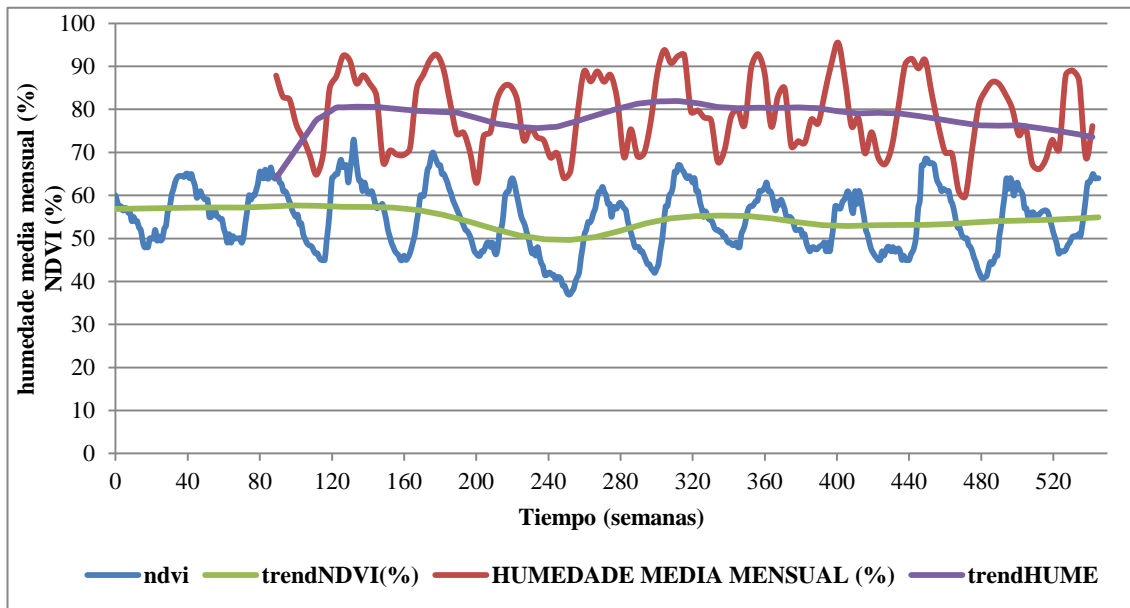


Figura 19. Comparação da variável humidade e a sua tendência com a variável NDVI e a sua tendência correspondente.

4. RESULTADOS

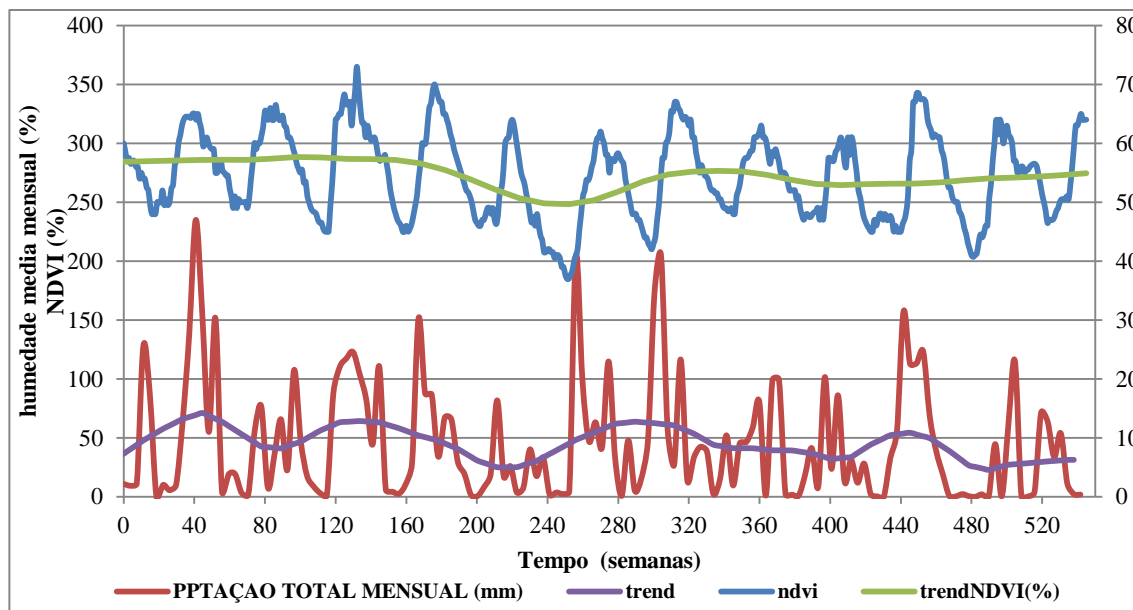


Figura 20. Comparação da variável precipitação a sua tendência com a variável NDVI e a sua tendência correspondente.

Nas Figuras 21, 22 e 23, podemos ver diretamente o comportamento do NDVI e da variável primária correspondente.

Na Figura 21 vemos que uma estacionalidade muito constante e muito uniforme para as temperaturas. Nos anos de seca as temperaturas não foram especialmente altas, mas ainda assim vemos o descenso do NDVI. A tendência do NDVI sofre uma flutuação que supõe-se responde à seca, mas a tendência das temperaturas fica direita. Não se aprecia uma aumento geral das temperaturas em toda a serie de anos.

Na Figura 22 Pode-se ver como a tendência da humidade relativa desce no periodo da seca, e imediatamente depois a tendência do NDVI também desce. As duas tendências mostram um comportamento quase paralelo durante esa época, com uma baixada e uma subida de recuperação praticamente igual, e só com um pequeno intervalo de diferença.

Na Figura 23 vemos que as precipitações têm tres bicos maximos, um ao inicio da serie, no ano 2001, e dois depois da seca. Entre o 2001 e o 2006 a pluviometria foi muito baixa mas ainda assim o NDVI mantém uma tendência constante. Durante todo o periodo a tendência da variavel meteorologica mostra flutuações relacionadas com a estacionalidade, mas a unica alteração significativa da tendência do NDVI esta relacioanda com os anos de seca.

4. RESULTADOS

4.2. Análise estatístico

As correlações iniciais para as variáveis meteorológicas com o índice de vegetação NDVI ficam da forma a seguir (Figura 16, Figura 17, Figura 18).

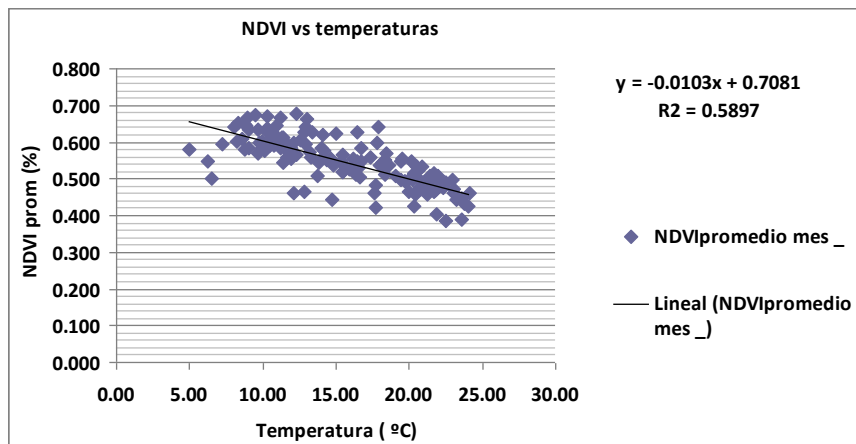


Figura 21. NDVI medio frente às temperaturas medias mensuais.

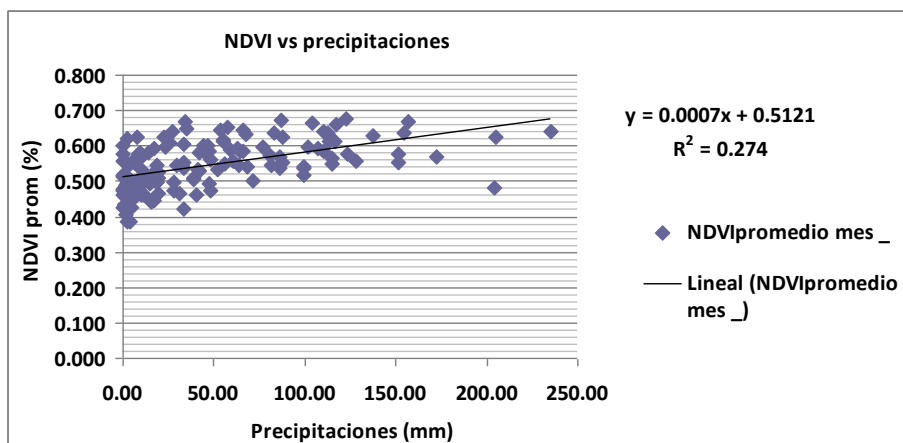


Figura 22. NDVI medio frente às precipitaciones medias mensuais.

4. RESULTADOS

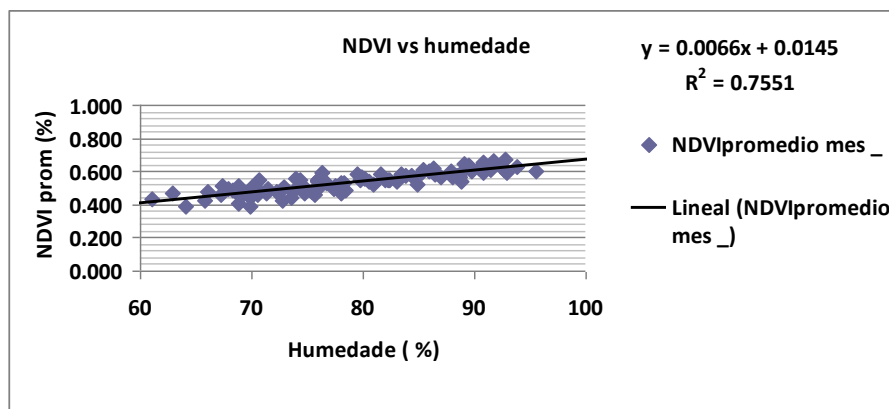


Figura 23. NDVI medio frente a humedade media mensual.

Para o caso da correlação do NDVI com a temperatura temos um modelo linear ajustado significativo e a qualidade do ajustamento é razoável ($R^2=0.5897$). Neste caso observa-se que com o incremento da temperatura media produce-se uma diminuição no valor do NDVI, por tanto, nos meses de temperaturas mais altas o valor do NDVI é menos, isto pode corresponderia com os meses de verão, onde as altas temperaturas fazem diminuir a actividade vegetativa, especialmente nos estartos herbaceo e arbustivo.

Para o caso da correlação do NDVI com as precipitações medias mensuais temos que embora que o modelo seja significativo, a qualidade do ajustamento não é muito boa, com um $R^2=0.2736$. Mas o valor do NDVI incrementa-se com o aumento das precipitações medias.

De todos os R^2 dos gráficos anteriores o que tem uma melhor correlação entre o NDVI e a variavel meteorológica é o que se observa para a humedade reltiva.

Estes graficos foram considerados significativos mas não concludentes. Por isso foi realizada uma pesquisa para obter mais informação relativa à relação entre as variaveis meteorologicas e os indices de vegetação.

Existe um acordo generalizado sobre a existência de uma forte dependencia entre o NDVI e as precipitações, que implica por uma parte o retraso na resposta de vegetação ao recurso hidrico (Kerr *et al.* 1989, Grist *et al.* 1997), e por outra parte o

4. RESULTADOS

incremento da correlação quando os registros encontram-se acumulados de alguma forma (Bonifacio *et al.* 1993, Foody, 2003). Mas esta correlação tem sido provada mais forte em sistemas herbáceos em que a precipitação e a temperatura determinam a sazonalidade, mas não assim nas árvores.

Segundo este enfoque, e com a ajuda da bibliografia tentou-se fazer a acumulação da variável precipitação. Os resultados obtidos são analisados no capítulo a seguir.

Por tanto, pode-se calcular o $\Delta NDVI$ (%) segundo com a fórmula a seguir:

$$\Delta NDVI(\%) = \left[\left(\frac{NDVI_{\text{año}}}{NDVI_{2005}} \right) \cdot 100 \right] - 100 \quad (3)$$

Quadro 2. Valores de $\Delta NDVI$ (%) para cada uno de los años estudiados

Año	$\Delta NDVI$ (%)
2000	8.51
2001	21.28
2002	23.40
2003	21.28
2004	17.02
2005	0.00
2006	14.89
2007	19.15
2008	14.89
2009	10.64
2010	12.77
2011	17.02

No Quadro 2 observa-se que o impacto da seca no valor do NDVI é muito importante, porque a variação dos valores médios do NDVI nos demais anos com respeito ao ano de referência é, como mínimo de um 8% maior (2000%). Por tanto, a seca tem um efeito muito grande no desenvolvimento da vegetação.

Por outra parte, apesar de que o ano 2006 é o ano com mais precipitações da série, os incrementos no NDVI alcançam valores inferiores aos observados prévios à seca (anos 2001, 2002 e 2003). Nos anos posteriores ao 2006, apesar de que os valores das precipitações são inferiores aos observados ao início da década, os

4. RESULTADOS

calores não estão a sofrer uma grande caída. Em tudo caso como consequência da menos quantidade de precipitações o NDVI é inferior ao observado ao início da serie.

A literatura que se encontra disponível faz referência a valores acumulados de NDVI para obter uma melhor relação com o valor da precipitação, de forma que ficara mais claro o papel desta e a influência das secas na produtividade do montado.

Segundo Fabricante *et al.* (2009), a forma de calcular NDVI acumulados seria:

$$\text{NDVI}_{\text{acumulado}} = a + b(\text{Precipitações acumuladas})^{0.5} \quad (4)$$

O NDVI interanual calcula-se a fazer o promédio dos valores entre os meses de Fevereiro e Novembro correspondentes a uma temperatura de crescimento da vegetação. Por outra aprte, o NDVI estacional é calculado mediante o promedio dos NDVI entre os meses de Março a Maio (primaveira), Junho a Agosto (verão), Setembro e Novembro (outono) e Dezembro a Fevereiro (inverno). Por tanto, se são calculados os distintos NDVI podem ser correlacionados com as distintas acumulações de precipitações.

4. RESULTADOS

Quadro 3. Valores de los NDVI estacionales y de los NDVI interanuales para la etapa de crecimiento

Anos	NDVI _{Interanual}	NDVI _{Primaveira}	NDVI _{Verão}	NDVI _{Outono}	NDVI _{Inverno}
2001	0.55	0.56	0.50	0.58	0.63
2002	0.56	0.56	0.51	0.59	0.64
2003	0.56	0.56	0.47	0.62	0.66
2004	0.55	0.58	0.48	0.56	0.66
2005	0.53	0.55	0.48	0.55	0.55
2006	0.53	0.44	0.39	0.48	0.59
2007	0.53	0.54	0.46	0.56	0.64
2008	0.55	0.56	0.50	0.56	0.59
2009	0.53	0.54	0.49	0.54	0.59
2010	0.50	0.48	0.47	0.54	0.64
2011	0.51	0.54	0.44	0.52	0.60

Na Quadro 3 observa-se que os NDVIs estacionais mais baixos são os calculados no verão, por tanto isto coincide com o facto de que o indice de vegetação diminui com o incremento da temperatura. Por outra parte temos que os NDVIs estacionais mais altos observam-se no inverno, e isto pode ser devido à que os sobreiros têm atividade durante todo o periodo invernal porque não perdem as folhas segun as estações, se não que tem esta fenologia particular que já foi referida. Como consequência do descenso na cantidad de precipitações nos anos 2004 e 2005, anos de uma grande seca registrada, observa-se uma clara redução dos valores de NDVI no verão e na primavera do ano 2006. E só pode-se apreciar uma ligeira recuperação no ano 2007.

No artigo de referência ([Fabricante et al., 2009](#)) são propostas as correlações dos distintos NDVI com a soma das precipitações dos 12 meses previos ou dos 24 meses previos, isto se faz com o objetivo de avaliar a correlação das acumulações de precipitação com os NDVIs estacionais e o NDVI interanual.

Por tanto, os graficos de correlação baseados neste artigo são mostrados no capitulo dos Resultados.

Com os graficos de correlação iniciais mostrados no capitulo de Material e Métodos, tinhamos visto que a dependência da precipitação, ainda que existia não era muito grande, mas depois de feita uma pesquisa nesta area, encontrou-se que muitos autores há uma dependencia importante entre as precipitações e o NDVI, especialmente em ecossistemas com estrato herbáceo. Esta correlação aumenta

4. RESULTADOS

quando os registros encontram-se acumulados para a sua análise (Kerr *et al.* 1989, Grist *et al.* 1997; Bonifacio *et al.* 1993, Foody, 2003).

Segundo este enfoque, e com a ajuda da bibliografia tentou-se fazer a acumulação da variável precipitação com o objetivo de confirmar a influência real da precipitação no NDVI do montado.

Quadro 4. Precipitaciones anuales para el periodo estudiado

Año	Precipitaciones anuales (mm)	NDVI medio (%)
2000	707.60	0.51
2001	583.60	0.57
2002	712.80	0.58
2003	719.00	0.57
2004	369.60	0.55
2005	464.60	0.47
2006	803.90	0.54
2007	441.40	0.56
2008	513.65	0.54
2009	441.30	0.52
2010	481.30	0.53
2011	447.50	0.55

4. RESULTADOS

No Quadro 4 observa-se uma clara influência do regime de precipitações no índice de vegetação medio.

Como já se tinha referido, segundo Fabricante *et al.* (2009), para a melhora da correlação pode-se acumular o índice de forma estacional. A forma de calcular NDVI acumulados seria com a ecução 4, mostrada no capitulo anterior, de forma que os resultados ficariam da forma a seguir.

No Quadro 3 observa-se que os NDVIs estacionais mais baixos são os calculados no verão, por tanto isto coincide com o facto de que o índice de vegetação diminui com o incremento da temperatura.

No artigo de referência (Fabricante *et al.*, 2009) são propostas a correlações dos distintos NDVI com a suma das precipitações dos 12 meses previos ou dos 24 meses previos, esto se faz com o objetivo de avaliar a correlação das acumulações de precipitação com os NDVIs estacionais e o NDVI interanual.

Na Figura 24 está representado o grafico para o NDVI interanual frete as precipitações acumuladas durante o ano anterior (12 meses previos), e os dois anos anteriores (24 meses previos).

4. RESULTADOS

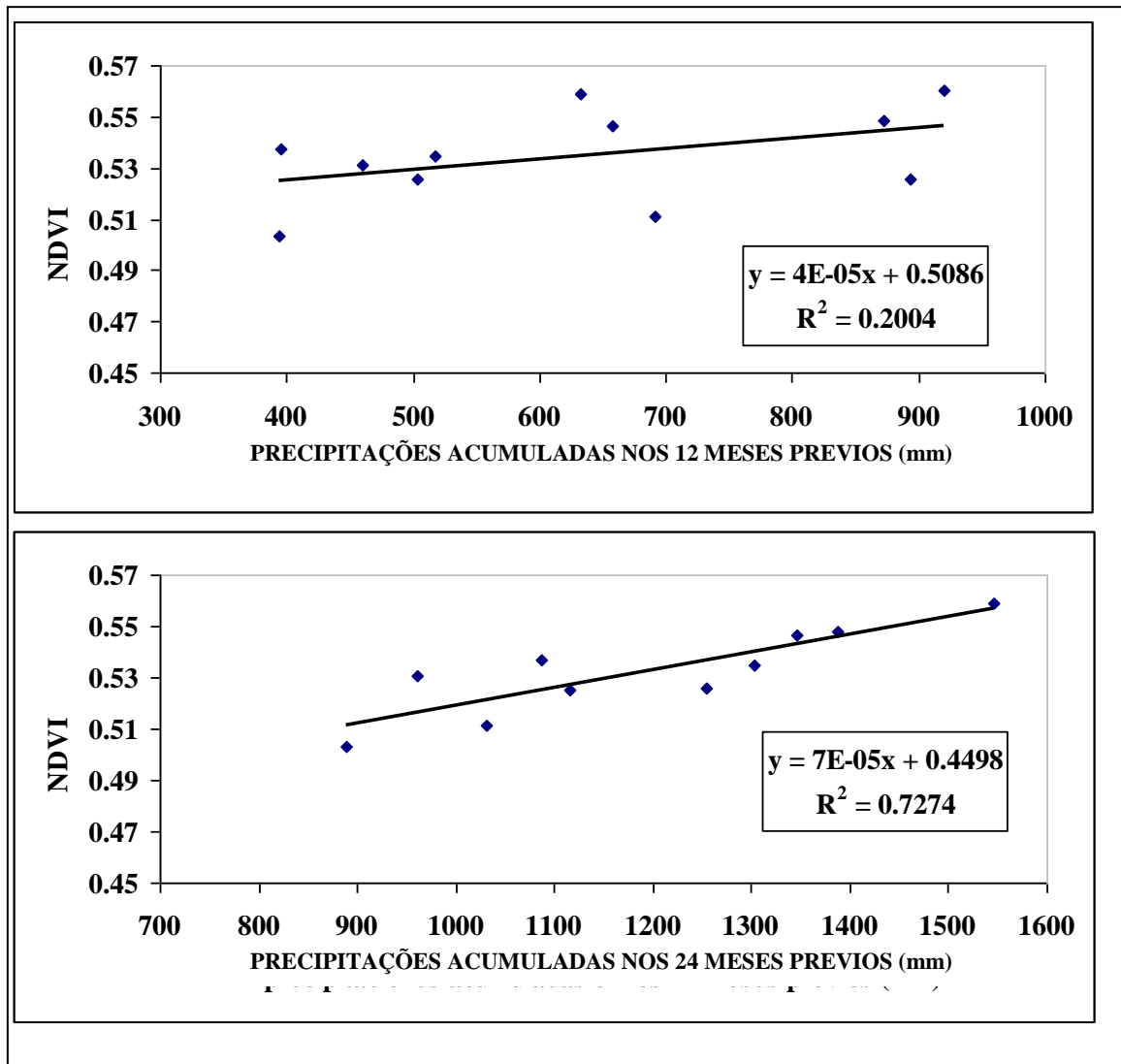


Figura 24. Representação do valor do NDVI interanual frente às precipitações acumuladas nos meses prévios.

Na figura 24 podemos observar que quando se incrementa o número de meses prévios para o cálculo das precipitações acumuladas, o valor do R^2 fica melhorado. Por tanto, as precipitações acumuladas durante 24 meses têm uma melhor correlação com o NDVI interanual, observando-se uma maior influência das mesmas que se sofram utilizadas as precipitações acumuladas durante 12 meses.

4. RESULTADOS

Foram feitas também as correlações para o índice de vegetação estacional, frente as precipitações acumuladas (Figura 25)

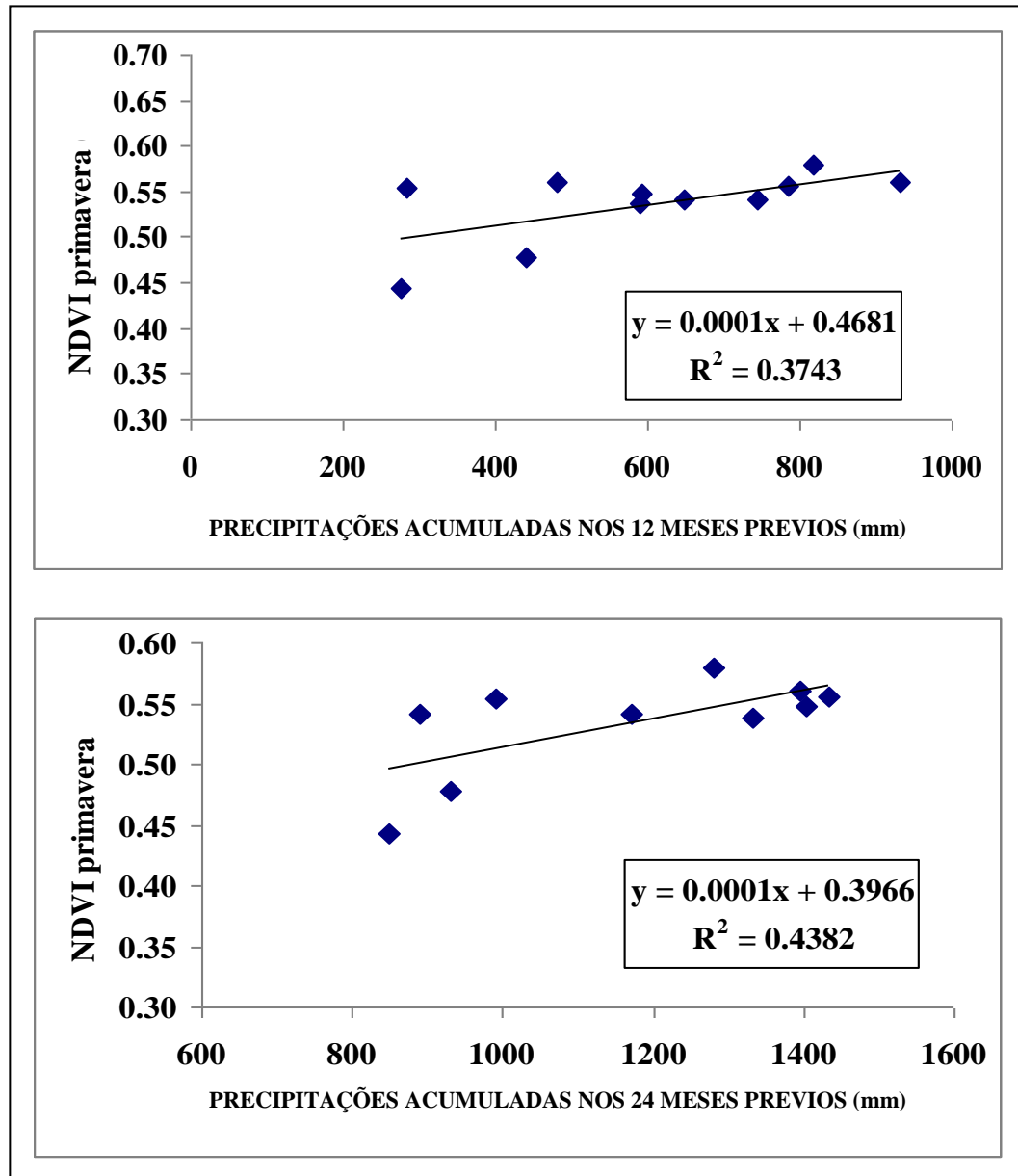


Figura 25. Representación del valor del NDVI estacional (para cada uma das estações) frente a las precipitaciones acumuladas en los meses previos.

4. RESULTADOS

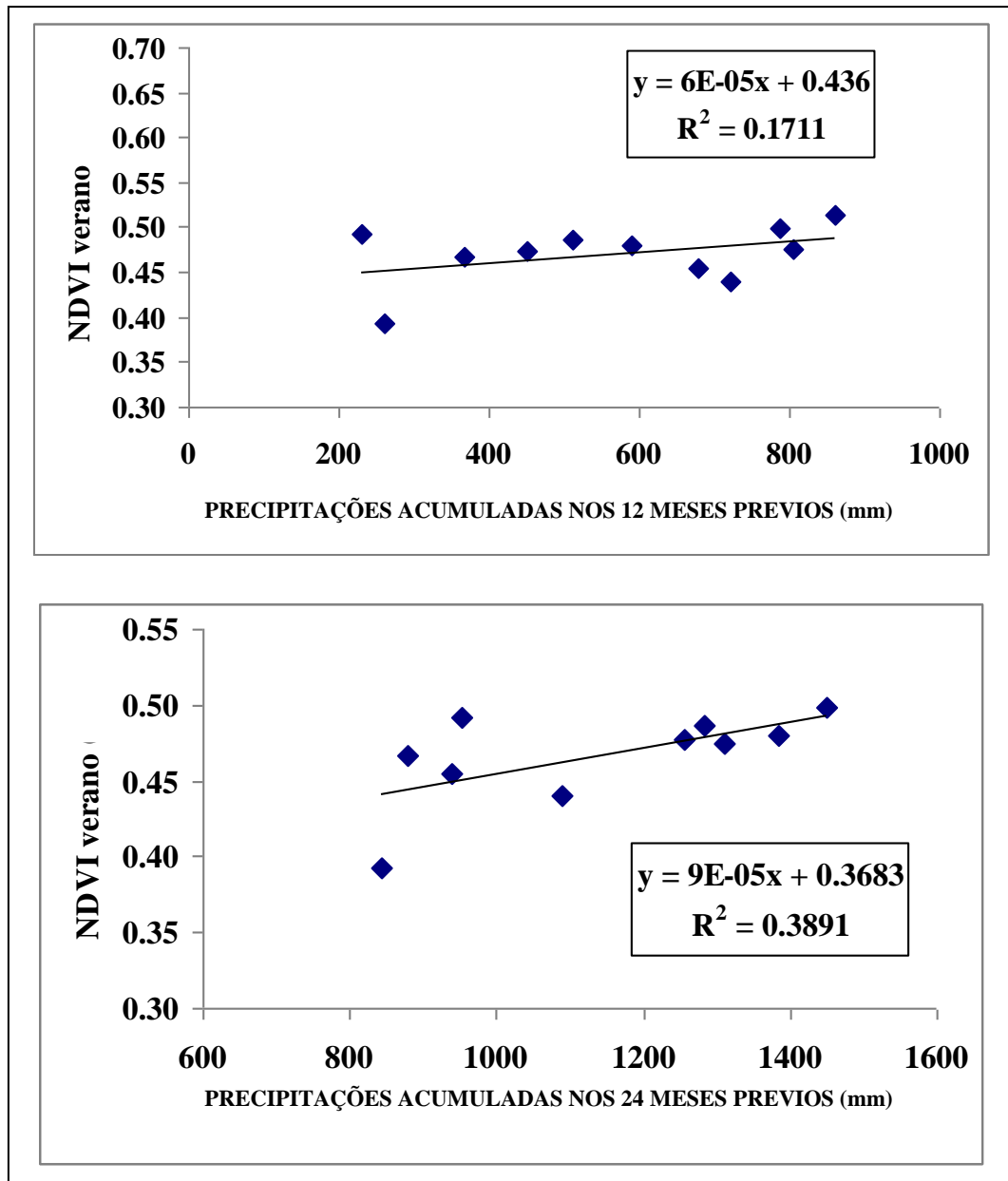


Figura 25 (continuação). Representação do valor do NDVI sazonal (para cada uma das estações) frente a as precipitações acumuladas em os meses anteriores.

4. RESULTADOS

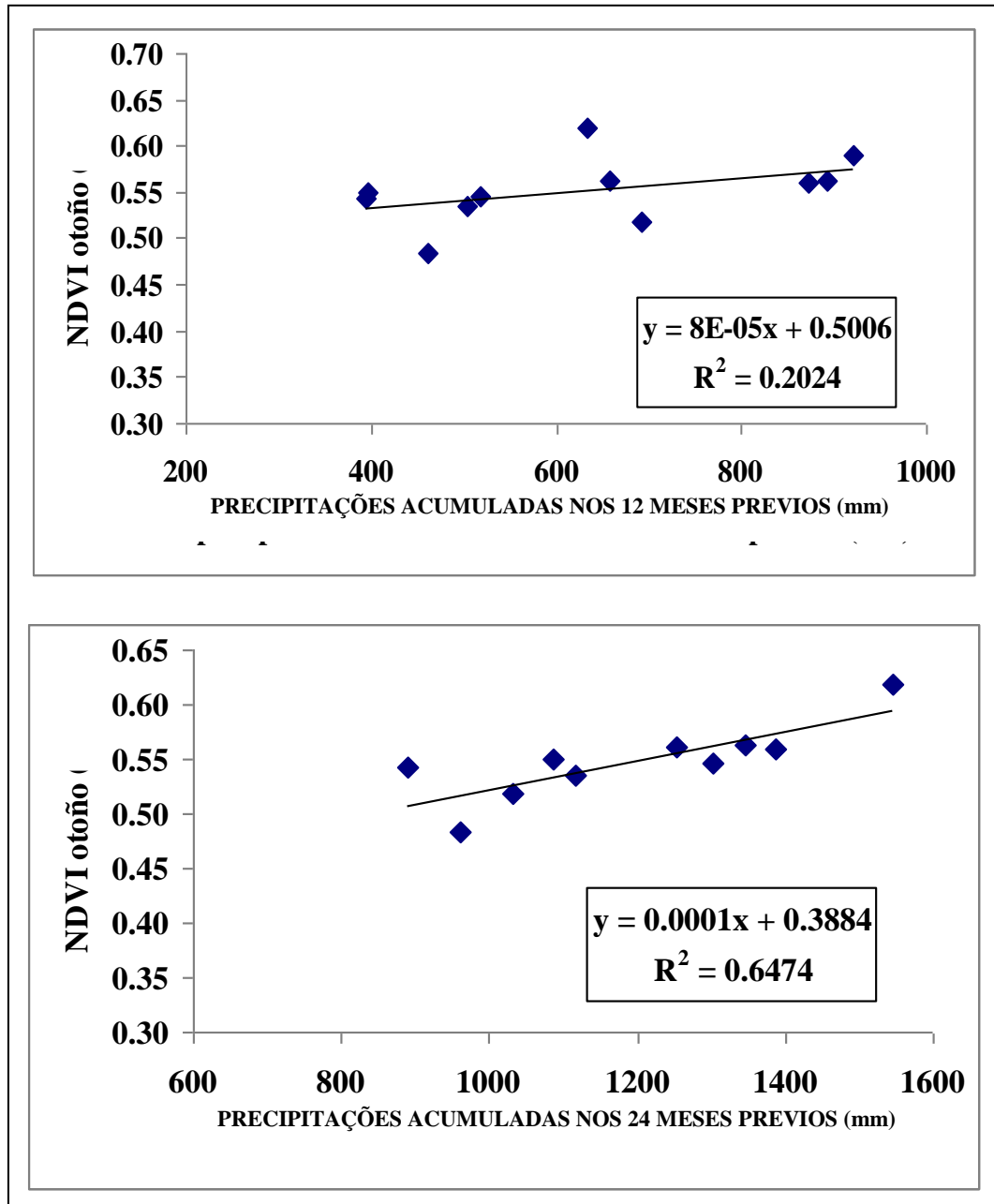


Figura 25 (continuação). Representación del valor del NDVI estacional (para cada uma das estações) frente a las precipitaciones acumuladas en los meses previos.

4. RESULTADOS

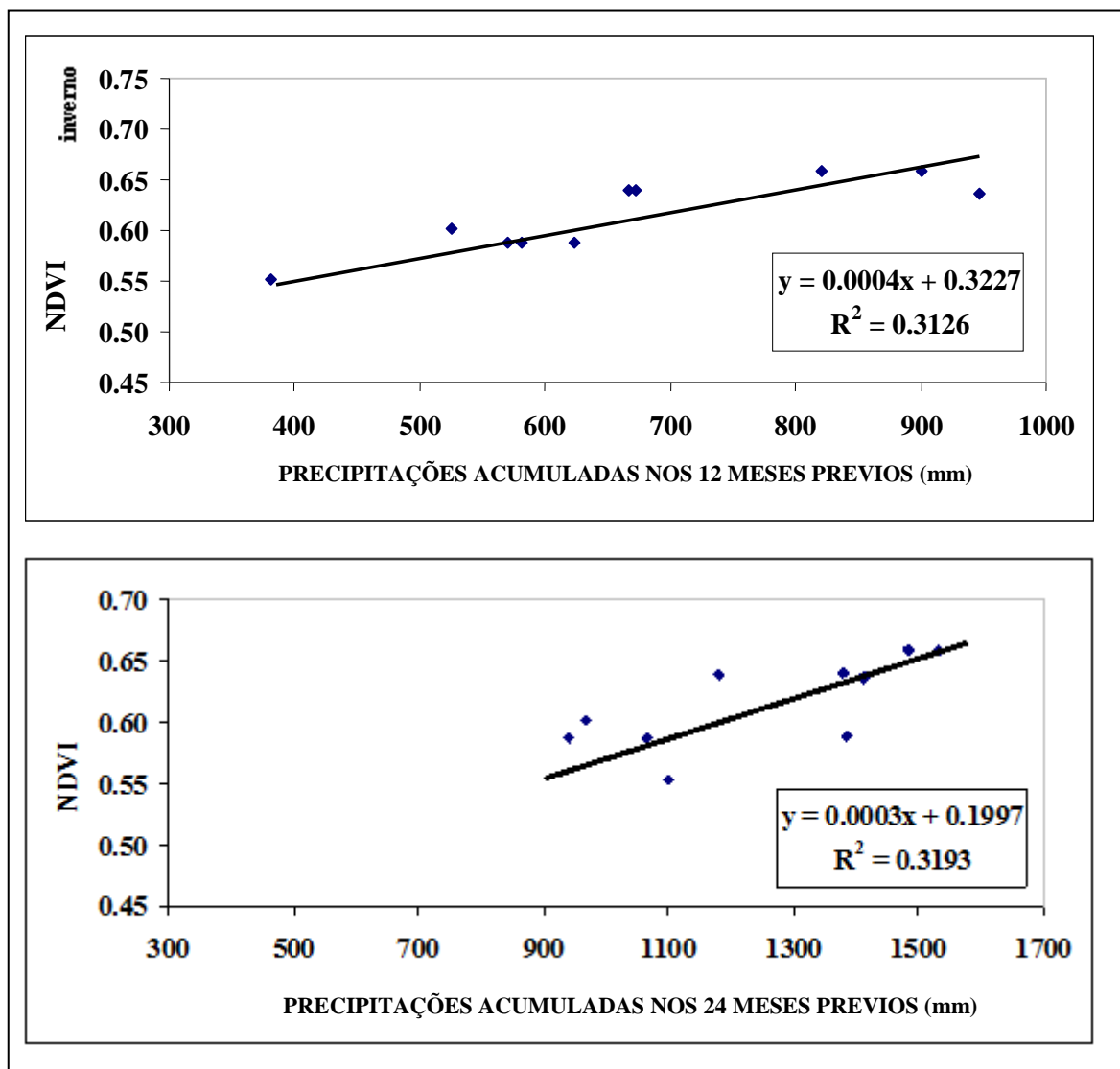


Figura 25 (continuação). Representación del valor del NDVI estacional (para cada uma das estações) frente a las precipitaciones acumuladas en los meses previos.

Quadro 5. Valores das rectas de regressão das correlações representadas na Figura 22 e Figura 23

Tipo de NDVI	12 meses			24 meses		
	R^2	a	b	R^2	a	b
<i>Interanual</i>	0.200	0.5006	$4 \cdot 10^{-5}$	0.7274	0.0004	$7 \cdot 10^{-5}$
<i>Primavera</i>	0.3743	0.4681	$1 \cdot 10^{-4}$	0.4382	0.3966	$1 \cdot 10^{-4}$
<i>Verão</i>	0.1711	0.436	$6 \cdot 10^{-5}$	0.3891	0.3688	$9 \cdot 10^{-5}$
<i>Outono</i>	0.2024	0.5006	$8 \cdot 10^{-5}$	0.647	0.8884	$1 \cdot 10^{-4}$
<i>Inverno</i>	0.3216	0.323	$4 \cdot 10^{-4}$	0.3193	0.1997	$3 \cdot 10^{-4}$

4. RESULTADOS

Na Figura 25 podemos ver claramente que quando estão a ser considerados mais meses à hora de fazer o calculo das correlações, estas melhora significativamente. Além este efeito é mais notável ainda nas estações de primavera e outono. A estação em que menos influência das precipitações é observada é o verão.

Também para o NDVI interanual pode ser comprobar que a melhora na correlação é muito grande, por tanto isso pode se considerar um resultado interessante.

Pode-se dezir que a influência da chuva acumulada é muito importante, como um parametro com que se pode correlacionar, tal y como tem feito Fabricante (*et al.*, 2009).

5. DISCUSSÃO

No análise descritivo, podemos resaltar duas ideias importantes.

A primeira é que existe para todas as variáveis uma estacionalidade muito marcada. A estacionalidade ambiental afecta a estrutura das comunidades ecológicas, vegetales e animales, a través das mudanças temporales na disponibilidade de recursos, en especial o recurso hidrico, como temos estudado neste trabalho. Por tanto, as espécies tem que adaptarse sincronizando a sua biologia e a sua ecologia (reprodução, crescimento, produtividade, distribuição espacial, etc.). com uma estacionalidade marcada é de esperar uma fenologia associada a ela, como ocorre com as especies do montado.

Em segundo lugar, a tendência marca claramente como a influência da seca é muito grande, mas aparentemente é só temporal. Na Figura 20 pode-se apreciar a grande baixada da linha de tendência durante o periodo de seca, mas imediatamente depois do aumento das precipitações há uma recuperação até a mesma altura que presentaba inicialmente. É fácil ver que a linha continua alrededor dos mesmos valores de NDVI depois dos anos da seca, que aqueles valores que tinha antes dela.

Por tanto, como não aparece uma baixada nem uma subida, continua e geral, na tendência, durante o periodo dos dez anos, pode-se pensar que esta peculiaridade na tendência é só debida a uma particularidade climática. E que depois de este tipo de condições adversas, o ecossistema á capaz de encontrar a forma de recuperarse até chegar ao ponto de produtividade que tinha antes de sofrer estres.

Esta interpretação concorda com a ideia que se tem do montado e da capacidade de adaptação de todas a suas espécies, especialmente à seca. (Aronson *et al.*, 2009).

Também resulta interessante ver como na Figura 18 a tendência do NDVI sofre um descenso importante e não entanto a tendência das temperaturas fica continua. Neste ponto pode-se pensar que estamos a ver a influência clara das precipitações, e só delas. O valor da temperatura não foi maior durante a seca que durante o resto de anos a seguir, por tanto, o descenso do NDVI pode ser devido só a falta de agua. Seria interesante também ver cómo isto se poderia quantificar de alguma forma.

Além disto, parece ser que ainda que a seca tivo uma grande intensidade e foi de longa duração (aproximadamente dois anos), a resposta da vegetação é quase inmediata no momento que aparecem de novo as precipitações (semana 260), sem demora na recuperação da atividade. Por tanto ainda que os periodos de estres hidrico sejam longos, pode-se interpretar que a vegetação não demora um tempo equivalente

5. DISCUSSÃO

na recuperação, e mesmo no momento de dispor de recursos reacciona para recuperar-se da época de carência.

Neste estudo não se pudo ter em conta a parte dos recursos hídricos subterrâneos. Por isso, seria interessante ampliar este trabalho com um balanço hídrico, ou alguma outra ferramenta de cálculo que dera uma ideia da quantidade de água da que dispõem a vegetação.

À vista dos resultados do NDVI médio calculado para cada tipo de vegetação (Figura 3), acha-se importante continuar a ampliar os dados em trabalhos posteriores. A forma das gráficas já está a mostrar a atividade anual, por tanto com um conjunto de dados maior poderá estudar-se facilmente a fenologia e relacioná-la com os índices de vegetação, seja o NDVI ou os novos como o PRI ou o EVI, que já foram referidos ao início deste trabalho. Também pode-se ver que o erro padrão é muito pequeno, por tanto são dados de muito boa qualidade.

Também com informação de campo mais precisa que a escala do satélite, poderá ser comparada a qualidade dos dados, e se realmente a diferença de escala supõe uma grande diferença, em que casos é melhor usar detecção remota e quando é melhor usar ferramentas de campo, e se ambas ferramentas podem ajudar a configurar um modelo para estudar a dinâmica e a fenologia de ecossistemas como este do montado. Inclusive seria importante para ajudar a conhecer de forma mais precisa qual das variáveis climáticas está a contribuir mais nos valores obtidos do NDVI.

Nossos resultados depois da análise estatística estão a mostrar que as correlações feitas com dados acumulados melhoram significativamente a análise, e que tal e como era esperado são as precipitações as que tem uma maior influência no índice de vegetação.

No ano 2004 observa-se uma forte queda das precipitações, o que faz que o NDVI tenha um forte descenso no ano a seguir. As análises de correlações pouco significativas podem-se atribuir à perda de capacidade fotosintética devido à seca e a posterior recuperação.

Como consequência do descenso na quantidade de precipitações nos anos 2004 e 2005, anos de uma grande seca registrada, observa-se uma clara redução dos valores de NDVI no verão e na primavera do ano 2006. E só pode-se apreciar uma ligeira recuperação no ano 2007.

5. DISCUSSÃO

A resposta frente ao estresse hídrico varia em função do tipo de plantas. Para o montado, com espécies de plantas adaptadas a este tipo de condições é de esperar que a resposta não seja imediata, por poder por em funcionamento mecanismos para contrarrestar as condições adversas, e também se espera que sejam capazes de recuperar-se no momento que as condições melhorem (Aronson *et al.*, 2009). Por tanto, como se pode ver também nas séries temporais, é de esperar uma resiliência. Ainda que a seca seja um acontecimento puntual, ou seja, uma singularidade, e que por esta razão seja mais difícil encontrar uma tendência sem influência, pode ser interessante para perceber o efeito da mesma e da variável precipitação no índice de vegetação NDVI.

Por outra parte temos que os NDVIs estacionais mais altos observam-se no inverno, e isto pode ser devido à que os sobreiros têm atividade durante todo o período invernal porque não perdem as folhas segun as estações, se não que tem esta fenologia particular que já foi referida.

Temos visto que a análise estatística é muito mais significativa com dados acumulados em períodos estacionais, anuais ou bi-anuais. Uma possibilidade que foi planteada seria fazer as correlações com os dados da tendência e não só com os dados originais. Estes resultados poderiam dar inclusive melhores correlações que clarificaram a relação entre o NDVI e as variáveis meteorológicas.

Por tanto, pode-se concluir com que temos uma marcada estacionalidade, onde para o nosso período de estudo a seca dos anos 2004 a 2005 tem uma importância fundamental. As precipitações parecem a variável com maior influência, mas deveria ser estudado tudo o computo dos recursos hídricos para conhecer melhor a forma em que a vegetação do montado reage frente às épocas de estresse hídrico. Para ter ainda um melhor conhecimento, o estudo por estratos vegetais é parece o melhor método, e as ferramentas de campo e a deteção remota tem sido provadas como muito úteis neste objetivo.

6. CONCLUSÕES

Este trabalho pretendiu estudar a estacionalidade e a fenologia dentro do ecossistema do montado, para toda a vegetação e para os diferentes estratos em particular. Também se pretendia relacionar estas respostas às variáveis meteorológicas. Ainda que estes objetivos fossem alcançados, durante a elaboração de este estudo surgiram novas perguntas e novas direcções para trabalhar, pesquisar, avançar.

Uma das metas era conseguir decompor a senhal do satélite em diferentes senalis que puderam ser identificadas com o NDVI dos dados de campo para cada um dos estratos vegetais. Esta hipótese que foi inicialmente um dos mais importantes objetivos do trabalho ficou atrás por não encontrar software que pudera resolver a nossa hipótese. Contudo, a hipótese ainda continua a ser estudada, e pode ser uma linha de investigação mais ao frente.

A detecção remota resultou uma ferramenta muito útil e também muito versátil. Para este estudo, estávamos a utilizar os dados do sensor MODIS para o cálculo de índices de vegetação, mas ao mesmo tempo, estávamos a perceber que as possibilidades são enormes. Resultou muito fácil aceder aos dados, no site da NASA, uma vez que se sabe o que se procura. A quantidade de informação era imensa. Além disso, os cálculos para o nosso índice de vegetação foram simples, e os resultados foram fiáveis e de rápida aplicação, por tanto, a detecção remota demonstrou ser uma ferramenta muito potente e indispensável para a investigação no futuro, que pode ajudar em caso de ecossistemas complexos como este do montado, e também porque os problemas relacionados com a escala serão seguramente minimizados.

Com os dados obtidos em campo e com a análise das séries temporais pode-se concluir que temos um ecossistema com uma marcada estacionalidade, com uma estrutura heterogênea que o faz complexo à hora do seu estudo, e que tem uma grande dependência das precipitações, o qual responde a hipótese inicial.

Depois de obter estes resultados, ficou-se com a sensação de que no fim de todas as leituras e as interpretações, é só apenas que começamos a descobrir as possibilidades nas relações entre a ecofisiologia dos ecossistemas e uma ferramenta como são os sensores de satélite.

7. BIBLIOGRAFIA

- Aronson, J.; Pereira, J. S.; Pausas, J. G., 2009. *Cork oak woodlands on the edge*. Island Press. Society for Ecological Restion International. Washington
- Asrar, G.; Myneni, R. B.; Choudhury, B. J., 1992. *Spatial heterogeneity in vegetation canopies and remote sensing of absorbed photosynthetically active radiation: A modeling study*. Remote Sensing of Environment. Vol. 41:85-103.
- Baldocchi. D. D.; Xu, L.; Kiang, N., 2004. *How plant functional type, weather, seasonal drought, and soil physical properties alter water and energy fluxes of an oak-grass savanna and an annual grassland*. Agric. For. Meteorol. 123, 13–39.
- Barros, V., 2006. *Cambio climático global*. Buenos Aires. Libros de La Zorzal, 174
- Blakely, C. D., 2005. *A Fast Empirical Mode Decomposition Technique for Nonstationary Nonlinear Time Series*. Center for Scientific Computation and Mathematical Modeling. University of Maryland.
- Bockel, L.; Smith, G.; Bromhead, M.; Bernoux, M.; Tinlot, M.; Matieu, H.; Branca, G., 2011. *Generalizando la evaluación del balance de carbono en Agricultura-EXACT. Una herramienta para medir el balance de Carbono*. FAO.
- Bonifacio, R.; Dugdale, G. y Milford, J. R., 1993. *Sahelian rangeland production in relation to rainfall estimates from Meteosat*. International Journal of Remote Sensing, V. 14 (14): 2695-2711.
- Bravo, F., 2007. *El papel de los bosques españoles en la mitigación del cambio climático*. Barcelona Fundación Gas Natural.
- Buermann, W.; Wang, Y.; Dong, J.; Zhou, L.; Zeng, X.; Dickinson, R. E.; Potter, C. S. y Myneni, R. B., 2002. *Analysis of a multiyear global vegetation leaf area index data set*. Journal of Geophysical Research, V. 107 (D22): 4646.
- Campos Palacín, P., 1992. *Reunión Internacional sobre sistemas agroforestales de dehesas y montados*. Agricultura y Sociedad, 62, pp. 197-202.
- Carreiras, J. M. B.; Pereira, J. M. C.; Pereira, J. S., 2006. *Estimation of tree canopy cover in evergreen oak woodland using remote sensing*. Forest Ecology and Management, 223, 45-53.
- De la Mora González, G., 2007. *La dehesa desaparecida: un sistema de aprovechamiento sostenible y eficiente de los recursos naturales*. Del libro "Uso eficiente y sostenible de los recursos naturales". Páginas 229 a 259. Ediciones Universidad de Salamanca.
- David, T.S.; Ferreira, M.I.; Cohen, S.; Pereira, J.S.; David, J.S., 2004. *Constraints on transpiration from an evergreen oak tree in southern Portugal*. Agricultural and Forest Meteorology 122, pp. 193–205.
- Donghoh, Kim and Hee-Seok Oh, 2009. *EMD: A Package for Empirical Mode Decomposition and Hilbert Spectrum*. Contributed Research Articles, VI/ 1, PP. 40-46.
- Fabricante, I.; Oesterheld, M.; Paruelo, J. M., 2009. *Annual and seasonal variation of NDVI explained by current and previous precipitation across Northern Patagonia*. Journal of Arid Environments. Volume 73, Issue 8, pp. 745–753. Facultad de Agronomía, Universidad de Buenos Aires.

7. BIBLIOGRAFIA

Foody, G. M., 2003. *Geographical weighting as a further refinement to regression modelling: An example focused on the NDVI–rainfall relationship*. School of Geography, University of Southampton. V 88. 3, pp. 283-293.

Falk, M.; Berkeley, C. A.; Meyers, T.; Black, A.; Barr, A.; Yamamoto, G. S.; Verma, S. B y Baldocchi, D, 2004. *26th Conference on Agricultural and Forest Meteorology*.

Garbulsky, M. F.; Peñuelas, J.; Ourcival, J. M.; Filella, I., 2008. *Estimación de la eficiencia del uso de la radiación en bosques mediterráneos a partir de datos MODIS. Uso del Índice de Reflectancia Fotoquímica (PRI)*. Ecosistemas 17 (3) pp. 89-97.

Gilabert, M. A.; González-Piqueras, J.; García Haro, J., 1997. *Acerca de los índices de vegetación*. Revista de Teledetección.

González-Alonso, F.; Calle Montes, A.; Merino de Miguel, S.; Cuevas Gozalo, J. M.; García Gigorro, S.; Roldán Zamarrón, A., 2005. *Teledetección y sumideros de carbono*. Cuadernos Sociedad Española de Ciencias Forestales nº 19, pp. 117-121. Actas de la I Reunión de Inventario y Teledetección Forestal.

Grist, J.; Nicholson, S. E.; Mpolokang, A., 1997. *On the use of NDVI for estimating rainfall fields in the Kalahari of Botswana*. Journal of Arid Environments. V. 35. Issue 2, pp. 195-214 Florida State University, Department of Meteorology y, Botswana Meteorological Services.

Guijarro Millán, R.; Cantero Calero, B.; Muñoz Rodríguez, M.; Cantero Calero, F., 2004. *El Medio Ambiente en la Constitución Española y El Estatuto de Autonomía. Distribución de competencias en materia medioambiental entre el Estado y la Comunidad Autónoma de Andalucía. Organización de la Junta de Andalucía*. Consejería de Medio Ambiente de la Junta de Andalucía. Editorial Mad, S.L.

Hidalgo, M. I.; Cabezudo, B., 1994. *Fenología y volumen de floración del matorral de la Sierra de Mijas (Málaga, S. España)*. Acta Botánica Malacitana, 19: 123-136.

Huiqing, Z.; Qijing, L.; Zongwei, F.; Xiaoke, W.; Zeqing, M., 2008. *Modeling the interannual variation and response to climate change scenarios in gross and net primary productivity of Pinus elliotii forest in Subtropical China*. Acta Ecológica Sinica. Vol. 28, Issue 11, pp. 5314-5321.

INMG, 1991. *O Clima de Portugal*. Vol. 4-4a região: *Normais climatológicas da região de Alentejo e Algarve, correspondentes a 1951–1980*. Fascículo XLIX. Instituto Nacional de Meteorologia e Geofísica, Lisboa, Portugal.

IPCC, 2007. *Cambio Climático 2007: Informe de síntesis*. Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el cambio climático. Editado por el GIECC, OMM y PNUMA, Suecia, 2008.

Jiang, Z.; Huete, A. R.; Chen, J.; Chen, Y. Li, J.; Yan, G.; Zhang, X., 2006. *Analysis of NDVI and scaled difference vegetation index retrievals of vegetation fraction*. Remote Sensing of Environment, V. 101, Issue 3, pp. 366–378.

Kerr, Y. H.; Imbernon, J.; Dedieu, G.; Hautecoeur, O.; Lagouarde, J. P.; Seguin, B., 1989. *NOAA AVHRR and its uses for rainfall and evapotranspiration monitoring*. Int. J. Remote Sensing, V. 10, Issue 4-5, pp. 847-854.

7. BIBLIOGRAFIA

- Lhermitte, S.; Verbesselt, J.; Verstraeten, W. W.; Coppin, P., 2011. *A comparison of time series similarity measures for classification and change detection of ecosystem dynamics*. Remote Sensing of Environment. V. 115, pp. 3129–3152.
- Liang, H.; Bressler, S. L.; Desimone, R.; Fries, P., 2005. *Empirical mode decomposition: a method for analyzing neural data*. Neurocomputing 65–66: pp. 801–807.
- Lin, Z. S. and Wang, S.G., 2006. *EMD analysis of solar insolation*. Meteorology and Atmospheric Physics: V. 93, pp. 123-128.
- Loehle, C.; Scafetta, N. 2011. *Climate Change Attribution Using Empirical Decomposition of Climatic Data*. The Open Atmospheric Science Journal 5, pp. 74-86.
- Lu, H.; Raupach, M. R.; McVicar, T. R.; Barrett, D. J., 2003. *Decomposition of vegetation cover into woody and herbaceous components using AVHRR NDVI time series*. Remote Sensing of Environment. V. 86. Issue, pp. 1 –18.
- Manevski, K.; Manakos, I.; Petropoulos, G. P.; Kalaitzidis, C., 2011. *Discrimination of common Mediterranean plant species using field spectroradiometry*. International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation, nº 1; 13: pp. 922-933.
- Myneni, R. B.; Hall, F. G.; Sellers, P. J. y Marshak, A. L. 1995. *The interpretation of spectral vegetation indexes*. IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing. V. 33, nº 2, pp. 481–486.
- Myneni, R. B.; Nemani, R. R.; Runnig, S. W. 1997. *Estimation of global Leaf Area Index and FPAR from radiative transfer models*. IEEE Trans. Geosci. Remote Sens. V 35, pp: 1380-1393.
- Ollinger, S. V. 2010. *Sources of variability in canopy reflectance and the convergent properties of plants*. Tansley Reviews 189, pp. 375-394.
- Olea, L.; Paredes, J.; Verdasco, M. P. 1990-1991. *Características y producción de los pastos de las dehesas del S.O. de la Península Ibérica*. PASTOS. 20-21 (1-2), pp: 131-156
- Pérez Quezada, J. 2006. *Metodologías para medir el balance de gases invernadero*. Ecoamerica Año 7 (63): 40-41.
- Potes, J. M. 2011. *O Montado no Portugal Mediterrânico*. Lisboa. Edições Colibri.
- Pulido, F.; Picardo, A. 2010. *Libro Verde de la Dehesa. Documento para el debate hacia una estrategia Ibérica de gestión*. Junta de Castilla y León, Sociedad española de ciencias forestales, SEEP, AEET, SEO.
- Quintas, A. et al. 2005. *The influence of climate and soil type on the “montado” production system*, pp: 46-47. In Silvopastoralism and Sustainable Land Management. Ed. Cambridge, USA. Cabi Publishing.
- Ricotta, C.; Avena, G.; De Palma, A., 1999. *Mapping and monitoring net primary productivity with AVHRR NDVI time-series: statistical equivalence of cumulative vegetation indices*. Journal of Photogrammetry and Remote Sensing. 54, pp. 325-331.

7. BIBLIOGRAFIA

Rigueiro-Rodriguez, A.; Mc Adam, J.; Mosquera-Losada, M. R., 2009. *Agroforestry in Europe: Current Status and Future Prospects*. Capítulo 7: *The functioning, management and persistence of dehesas*, de Moreno, G. y Pulido, F. J., paginas 126 a 160.

Rodríguez-Iturbe, I.; Porporato, A.; Laio, F. y Ridolfi, L., 2001. *Plants in watercontrolled ecosystems: active role in hydrologic processes and response to water stress: I. Scope and general outline*. *Advances in Water Resources* 24, pp.: 695–705.

Running, S. W.; Thornton, P. E.; Nemani, R. R.; Glassy, J. M., 2000. *Global Terrestrial Gross and Net Primary Productivity from the Earth Observing System*, pp. 44-57.

Sande Silva, J., 2007. *Os Montados. Muito para além das árvores*. Col. Árvores e Florestas de Portugal 03. *Jornal Público/Fundação Luso-Americana para o Desenvolvimento*.

Sellers, P. J., 1987. *Canopy reflectance, photosynthesis and transpiration. II. The role of biophysics in the linearity of their interdependence*. *Remote Sens. Environ.* V. 21, pp. 143-183.

Swain, P. H.; Davis, S. M. 1978. *Remote Sensing: The quantitative approach*. McGraw-Hill, New York, 405 p.

Van Leeuwen, W. J. D.; Orr, B. J.; Marsh, S. E.; Herrmann, S. M., 2006. *Multi-sensor NDVI data continuity: Uncertainties and implications for vegetation monitoring applications*. *Remote Sensing of Environment* 100, pp. 67 – 81.

Verstraete, M. M. y Pinty, B. 1991. *The potential contribution of satellite remote sensing to the understanding of arid lands processes*. *Vegetatio*, V. 91, pp. 59–72.

Wang, J.; Rich, P. M.; Price, K. P., 2003. *Temporal responses of NDVI to precipitation and temperature in the central Great Plains, USA*. *INT. J. REMOTE SENSING*. V. 24, nº 11, pp. 2345-2364.

Yue-Lin, Li; Tenhunen, J.; Mirzaei, H.; Hussain, M. Z.; Siebicke, L.; Foken, T.; Otieno, D.; Schmidt, M.; Ribeiro, N.; Aires, L.; Pio C.; Banza, J. y Pereira, J. 2008. *Assessment and up-scaling of CO₂ exchange by patches of the herbaceous vegetation mosaic in a Portuguese cork oak woodland*. *Agricultural and forest meteorology*, V. 148, pp. 1318–1331.

Bibliografía web

Weier, J., y Herring, D. 2000. *Measuring Vegetation (NDVI & EVI)*. NASA's Earth Observatory <http://earthobservatory.nasa.gov>.

http://earthobservatory.nasa.gov/Features/MeasuringVegetation/measuring_vegetation_2.php.

<http://snirh.pt/>

http://ams.confex.com/ams/AFAPURBBIO/techprogram/paper_79720.htm.

<http://www.apambiente.pt/>

<http://www.ga.gov.au/earth-observation.html>.