



INSTITUTO SUPERIOR TÉCNICO  
Universidade Técnica de Lisboa

# **Validação dos fluxos atmosféricos de carbono por detecção remota**

**Hugo Sauto Quiroga**

Dissertação para a obtenção do Grau de Mestre em  
**Engenharia Ambiental**

## **Júri**

Presidente: Prof. Ramiro Joaquim de Jesus Neves

Orientador: Prof. Gabriel Paulo Alcântara Pita

Co-orientador: Eng. Abel M. Rodrigues

Vogal: Prof<sup>a</sup>. Tania Alexandra dos Santos Costa e Sousa

**Setembro 2009**

## Resumo

A presente tese tem como objetivo principal analisar os valores dos fluxos atmosféricos numa plantação de eucalipto portuguesa, proporcionados por um sistema de detecção remota chamado MODIS instalado em um satélite em órbita, e validá-los com os obtidos pelo método micrometeorológico da covariância turbulenta. Estes fluxos foram analisados tanto mensal como anualmente.

Calcularam-se os acumulados mensais do primeiro semestre de 2009 por meio de uns programas informáticos e, tendo dados dos fluxos de carbono desde 2002 e das suas partições em respiração (Reco) e produção primária (GPP), comparou-se esta GPP com a do sistema MODIS, que é disponibilizada na web. Para dar validade aos dados MODIS verificou-se que estes seguissem o mesmo padrão que os calculados e não que coincidissem exactamente porque era difícil que isso acontecesse.

Para fazer a análise ainda mais exaustiva estudaram-se os factores meteorológicos (radiação solar e precipitação) para dar explicação às variações dos fluxos ao longo do tempo.

O resultado foi que MODIS dá valores superiores aos calculados, mas variam do mesmo jeito que os fluxos calculados por covariância turbulenta. Portanto pode-se concluir que MODIS serve para conhecer o padrão que segue uma determinada área respectivamente do GPP mas não para saber o seu valor exacto.

Palavras Chave: Carbono, fluxos, GPP, MODIS, LAI , mensal, inter-relações

## **Abstract**

The principal objective of this thesis is to analyze atmospheric fluxes in an *Eucalyptus globulus* plantation in Portugal, obtained by the eddy covariance method and compare them with the same data provided by a remote detection system called MODIS. This system is installed in a NASA satellite.

Monthly accumulated data of first semester of 2009 were calculated by software and, having carbon fluxes data from 2002 and from its partition in respiration and gross primary production, it was made a comparison between this GPP and MODIS GPP which is displayed in its website.

To make the analysis even more completed, meteorological factors (solar radiation and rainfall) were studied to explain variation of fluxes over last few years.

Result was MODIS gives upper values to calculated, but they vary like fluxes calculated by eddy covariance. Therefore we can conclude that MODIS is good to understand how a determined area is, concerning the GPP, but not to know its exact value.

Keywords: Carbon, fluxes, GPP, MODIS, LAI, monthly, inter-relations

## **Agradecimentos**

Em primeiro lugar quero agradecer ao IST que me acolheu este ano de Erasmus que me enriqueceu muito como pessoa.

Ao Professor Gabriel Pita por ter proporcionado a oportunidade de desenvolver este tema e pelo apoio dispensado, orientação e supervisão ao longo deste trabalho. Quero também agradecer esa última revisão necessária para uma melhor compreensão do projecto.

Ao Dr. Eng. Abel Rodrigues do Instituto Nacional de Investigação Agrária, Estação Florestal Nacional, por todos os seus conselhos e tanta informação e documentos aportados para fazer possível a realização desta tese.

A toda a família e amigos que sempre me apoiaram e motivaram com as suas palavras.

# Índice

<b>1. INTRODUÇÃO</b>	<b>10</b>
1.1. Objectivos	10
1.2. Contexto	10
1.2.1. Carboeurope	11
1.2.2. O Papel das massas florestais como sumidouros de carbono	11
1.2.3. MODIS	12
1.3. Balanços de carbono dos ecossistemas	13
1.4. Localização	14
1.5. Equipamento para a obtenção de fluxos atmosféricos	14
<b>2. PROCESSAMENTO DOS DADOS</b>	<b>15</b>
2.1. Método da covariância turbulenta	15
2.2. MODIS	16
<b>3. RESULTADOS</b>	<b>17</b>
3.1. Dados 2009	17
3.2. Evolução dos balanços de carbono 2002-2009	21
3.2.1. Evolução do balanço de carbono (NEE)	21
3.2.2. GPP vs Dados meteorológicos	23
3.2.3. GPP antes da corta e depois	26
3.3. GPP por covariância turbulenta Vs. GPP MODIS	29
3.3.1. Análise dos dados anuais	29
3.3.2. Análise dos dados mensais	30
3.4. GPP Vs LAI	33
<b>4. CONCLUSÕES E CONSIDERAÇÕES FINAIS</b>	<b>35</b>
<b>REFERENCIAS</b>	<b>37</b>
<b>ANEXOS</b>	<b>39</b>

## Índice de figuras

Figura 1. – GPP diária estimada pelo MODIS desde o dia 26 de Junho ao 3 de Julho de 2002

Figura 2. – Malha reticulada de diferentes tipos de vegetação do site de Espirra proporcionada por MODIS

Figura 3. – Interface do programa de tratamento de dados Eddyflux. As opções seleccionadas são as que se utilizaram para tratar os dados de 2009

Figura 4. – Interface do programa que antecede ao Gap Filling (Pré-Gapfilling). Utilizou-se para juntar os dados meteorológicos com os fluxos

Figura 5. – Interface do programa Fluxtreat. Serve para realizar uma filtragem e qualidade das covariâncias antes de realizar o Gap Filling

Figura 6. – Interface do programa Gap Filling disponibilizado na Internet. Só funciona com o explorador NetEscape

Figura 7. – Apresentação gráfica dos dados do NEE pelo programa Gap Filling. Note-se a grande quantidade de espaços vazios que são preenchidos

Figura 8. – Sites de observação ao nível do ecossistema do CarboEurope-IP, onde são visíveis os três sites portugueses, incluindo o de Espirra (<http://www.carboeurope.org/>)

Figura 9. – Localização do site de Espirra

Figura 10. – Localização da torre de medição dentro do eucaliptal

Figura 11. – Torre treliçada de 33 metros de altura. Note-se que na fotografia as árvores não tinham sido cortadas

Figura 12. Data logger CR10x da Campbell Scientific para a aquisição de dados meteorológicos

Figura 13. – Analisador das concentrações de CO<sub>2</sub> e H<sub>2</sub>O “open path” IRGA Li-7500 e anemómetro ultra-sónico Gill R2, respectivamente à esquerda e direita na fotografia

## **Índice de tabelas**

Tabela 1. – Dados meteorológicos de balanços de carbono do primeiro semestre de 2009

Tabela 2- Valores anuais da radiação solar global(Rg), Precipitação(P), balanço de carbono do ecossistema(NEEt), respiração total do ecossistema, assimilação total de carbono(GPP) e evapotranspiração(E)

Tabela 3. – Valores do GPP, radiação e precipitação para 2004

Tabela 4. – Valores do GPP, radiação e precipitação para 2005

Tabela 5. – Valores do GPP, radiação e precipitação para 2008

## **Índice de gráficos**

- Gráfico 1. – Valores de radiação solar do período que vai de Janeiro 2008 a Junho 2009
- Gráfico 2. – Valores de precipitação do período que vai de Janeiro 2008 a Junho 2009
- Gráfico 3. – Partição do fluxo de carbono para o período Janeiro 2009-Junho 2009
- Gráfico 4. – Partição do fluxo de carbono para o ano 2008
- Gráfico 5. – Representação do NEE mensal para os anos 2005, 2006, 2007, 2008 e 2009
- Gráfico 6. – Acumulados anuais de NEE para os anos 2002-2009
- Gráfico 7 – Comparação da GPP com Radiação solar e Precipitação para o ano 2004
- Gráfico 8 – Comparação da GPP com Radiação solar e Precipitação para o ano 2005
- Gráfico 9 – Comparação da GPP com Radiação solar e Precipitação para o ano 2008
- Gráfico 10. – GPP mensal dos anos 2002, 2003, 2004, 2005 e 2006 anteriores ao corte raso
- Gráfico 11. – GPP mensal dos anos 2007, 2008 e 2009 posteriores ao corte raso
- Gráfico 12. – Comparação da GPP mensal entre dois anos representativos de antes e depois do corte raso
- Gráfico 13. – Valores totais anuais da Produção Primária Bruta (GPP) obtidos pelo método da covariância turbulenta e o sistema MODIS
- Gráfico 14. – Valores mensais da GPP da covariância turbulenta e MODIS para o ano 2004
- Gráfico 15. - Valores mensais da GPP da covariância turbulenta e MODIS para o ano 2008
- Gráfico 16. - Valores mensais da GPP da covariância turbulenta e MODIS para o ano 2005
- Gráfico 17. – Evolução mensal da GPP da covariância turbulenta e do LAI de Janeiro 2005 a Maio 2009
- Gráfico 18 . – LAI acumulado para os anos 2004-2008

## Lista de abreviações

E	Evapotranspiração
GPP	Gross Primary Production
LAI	Leaf Area Index
MODIS	Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer
NEE	Net ecosystem exchange
P	Precipitação
$R_a$	Respiração autotrófica
$R_{eco}$	Respiração do ecossistema
$R_g$	Radiação solar
$R_h$	Respiração heterotrófica

# 1. INTRODUÇÃO

## 1.1. OBJECTIVOS

O objectivo principal deste trabalho é comparar os dados da produção primária bruta (GPP) de uma plantação de eucalipto em Portugal, calculados pelo método micrometeorológico da covariância turbulenta com os proporcionados por um instrumento incorporado em 2 satélites da NASA chamado MODIS.

Serão também comparados o GPP e o Índice de área foliar além do GPP com os dados meteorológicos, nomeadamente a radiação solar e a precipitação.

Outro dos objectivos é o tratamento dos dados da primeira metade do ano 2009 pelo método da covariância turbulenta para obter o NEE, o GPP e a RECO do eucalipto neste período.

## 1.2. CONTEXTO

O ciclo do carbono constitui uma das chaves do funcionamento dos ecossistemas terrestres, além de estar fortemente acoplado ao sistema climático, ao ciclo da água e aos ciclos de outros nutrientes nos ecossistemas terrestres. Conhece-lo, supõe melhorar notavelmente as nossas previsões sobre a evolução dos ecossistemas terrestres em futuros cenários climáticos, o que constitui um dos maiores desafios que enfrentamos na actualidade. A incerteza associada ao actual conhecimento do ciclo do carbono é um dos factores que estão determinando a inexactidão das previsões climáticas nos actuais modelos globais, em grande medida devido ao facto de terem as retroalimentações uma grande importância ou do acoplamento entre os ecossistemas terrestres e os sistemas climáticos, que são ainda pouco conhecidos mas potencialmente de grande importância. Uma das razões pelas quais não se avançou mais neste entendimento é a falta de observações sistemáticas, isto é mais problemático em certas regiões, entre elas o Sul de Europa. Portanto, é vital que se incrementem os sistemas de observação global nestas zonas, e que as medidas tenham a qualidade suficiente.

### 1.2.1. CARBOEUROPE

Para isso nasceu o projecto europeu de investigação CarboEurope-IP, que tem o objectivo de melhorar o conhecimento e a quantificação do balanço de carbono na Europa. CarboEurope-IP fornecerá à Comunidade Europeia um sistema de observação que permitirá detectar trocas regionais nas reservas e fluxos de carbono biosférico. Além disso, CarboEurope-IP assentará as bases científicas para um preciso sistema de monitorização das reservas e fluxos de carbono em todos os estados europeus. O projecto apareceu no ano 2002, num momento crítico quando era provável que se impusessem as resoluções do Protocolo de Kyoto, quando os países estavam a considerar reduzir emissões futuras, e quando as múltiplas funções da biosfera revalidavam-se considerando a mitigação e adaptação às mudanças climáticas.

Está baseado numa rede de 28 estações europeias, que reúne 160 centros de investigação pertencentes a 20 países, para a medição “in situ” do nível de carbono e dos fluxos de energia nas florestas.

### 1.2.2. O PAPEL DAS MASSAS FLORESTAIS COMO SUMIDOUROS DE CARBONO

É neste contexto que os eucaliptais, constituindo cerca de 21% da área florestal nacional, para além de se revelarem ecossistemas da maior importância económica mostram também elevado potencial enquanto sumidouros de carbono. A vegetação, a través dos ciclos elementares da fotossíntese, transforma energia solar em química absorvendo CO<sub>2</sub> do ar, para fixa-lo em forma de biomassa, e libera para a atmosfera oxigénio (O<sub>2</sub>). A floresta, em particular, seguindo esse ciclo bioquímico, joga um papel preponderante no ciclo global do carbono por diferentes razões:

- Trocam carbono com a atmosfera a través da fotossíntese e a respiração.
- São fontes de emissão de carbono quando são perturbados por causas naturais ou antropogicas (por exemplo fogos).
- Armazenam grandes quantidades de carbono na sua biomassa (tronco, ramos, casca, folhas e raízes) e no solo (mediante o seu aporte orgânico), e portanto são sumidouros (transferência neta de CO<sub>2</sub> do ar à vegetação e ao solo, onde são armazenados), quando se favorece o seu crescimento e desenvolvimento.
- Oferecem produtos que, além de fixar carbono durante a sua vida, poupam a energia que demanda a fabricação de produtos substitutivos, que competem com a madeira nas aplicações de consumo, como metais, plásticos, cimento, etc.

- Supõem uma fonte de combustível, com carbono previamente extraído da atmosfera e que, portanto, não altera o balanço do mesmo, e sim evita o emprego de carbono fóssil, em forma de hidrocarbonetos.

A presente tese funcionou em termos de metodologias e objectivos com o projecto europeu CARBOEUROPE

### 1.2.3. MODIS

O sensor MODIS (Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer) é um instrumento que viaja a bordo dos satélites *Terra* (EOS a.m.) e *Aqua* (EOS p.m.). Estes dois satélites formam parte da missão EOS (Earth Observing System) da NASA. A órbita de *Terra* em redor da Terra viaja de norte a sul cruzando o Equador de manhã, enquanto o *Aqua* viaja de sul a norte cruzando o Equador de tarde.

Terra-MODIS e Aqua-MODIS cobrem a superfície da Terra cada 1-2 dias, adquirindo dados em 36 bandas espectrais. Estes dados ajudam-nos a compreender a dinâmica global da Terra; o comportamento na superfície terrestre, nos oceanos e na atmosfera. MODIS está desempenhando um papel vital no desenvolvimento de modelos validados e globais capazes de prever a mudança global que está a sofrer o planeta Terra e assim tomar decisões responsáveis referentes à protecção do nosso ambiente.

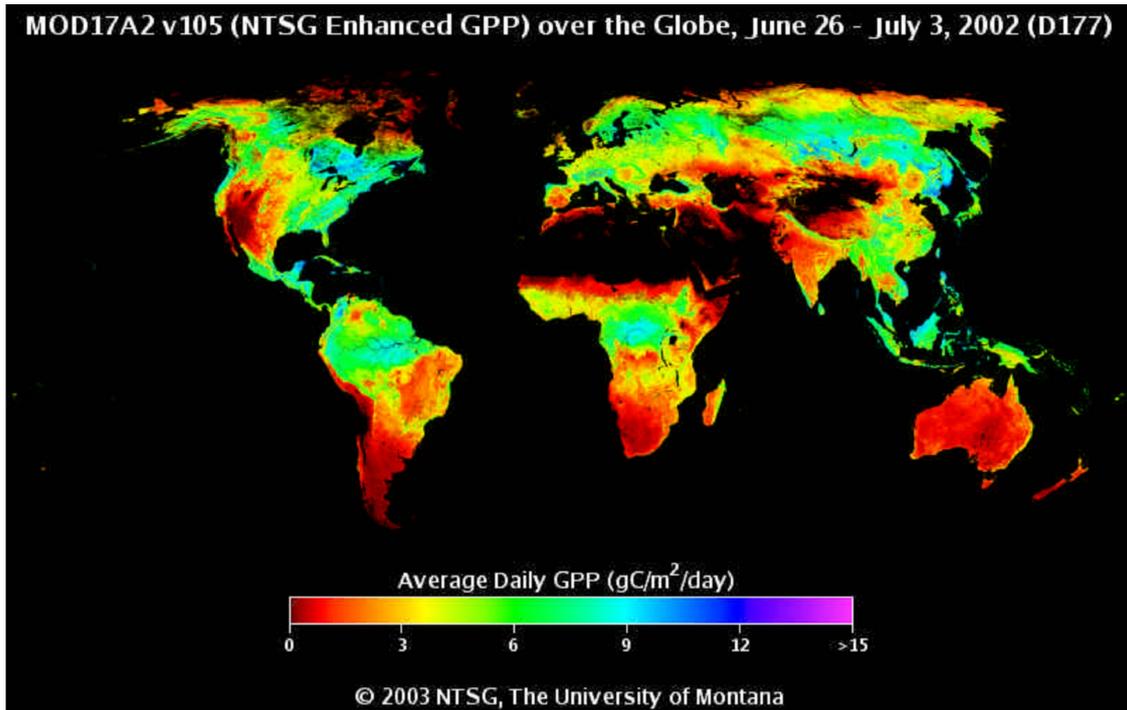


Figura 1. – GPP diária estimada pelo MODIS desde o dia 26 de Junho ao 3 de Julho de 2002

Os dados MODIS jogam um papel importante no desenvolvimento de modelos terrestres e de previsão de mudanças globais, sendo muito útil para a tomada de decisões sobre a protecção do meio ambiente. A sua grande resolução espectral estende o seu uso a diversas aplicações, quer relacionadas com usos do solo, quer incêndios florestais, inundações, clima, cobertas de neve ou gelo, dados de temperatura e vapor de água, etc.

### 1.3. BALANÇOS DE CARBONO DOS ECOSISTEMAS

O balanço de carbono das florestas é importante no equilíbrio mundial do carbono. Representa-se pela sigla *NEE*, de “Net Ecosystem Exchange” e representa a diferença entre o total de carbono que as plantas fixam na fotossíntese (*GPP* – “Gross Primary Production”) e a respiração global do ecossistema (*Reco*), incluindo a autotrófica (*Ra*) e heterotrófica (*Rh*). As suas unidades são massa de carbono por unidade de superfície, geralmente g<sub>Carbono</sub>/m<sup>2</sup>.

O *NEE* obtém-se pela medição directa dos fluxos pelo método da covariância turbulenta, enquanto o valor de *Reco* pode ser obtido (e conseqüentemente o da *GPP* também, visto medir-se o *NEE*) através de uma regressão não linear do *NEE* nocturno em função da temperatura de acordo com a metodologia utilizada por Reichstein M. Obtida esta função é possível aplicá-la aos

períodos diurnos e nocturnos ficando assim, por extrapolação, a conhecer-se a respiração nestas alturas, o que permite fazer o que se denomina de partição do fluxo, dividi-lo em *GPP* e *Reco*.

## 1.4. LOCALIZAÇÃO

O alvo de este estudo é um eucaliptal (*Eucalyptus globulus*) localizado na Herdade da Espirra (38° 32' N, 8° 00' W), em Pegões. A plantação de eucalipto foi estabelecida em 1986 com uma malha de 3x3 metros numa área de 300ha, com regime climático de tipo mediterrânico.

## 1.5. EQUIPAMENTO PARA A OBTENÇÃO DE FLUXOS ATMOSFÉRICOS

A medição dos fluxos de carbono e vapor de água, bem como dos diversos parâmetros meteorológicos, foi efectuada numa torre treliçada de 33 metros de altura, localizada sensivelmente no centro do eucaliptal. O equipamento foi baixado para os 12 metros em Fevereiro de 2009 devido a um corte raso que ocorreu entre Novembro e Dezembro de 2006 a que foram sujeitos os eucaliptos.

O equipamento de medição está integrado por:

- Um “data logger” CR10 da Campbell Scientific para a aquisição de dados meteorológicos. Cria um ficheiro a cada meia hora, com os valores médios para o período de tempo de cada variável (excepção feita para a precipitação, para a qual interessa o valor do somatório).
- Um anemómetro sónico (Solent Research) e um analisador de gases a radiação infravermelha (Open path, LICOR Li-7500) para a medição dos fluxos

Estes sensores permitem a medição dos fluxos pelo método da covariância turbulenta, que é um método micrometeorológico de medição directa dos fluxos de massa e energia que conduz a resultados mais precisos, pelo que é o escolhido pela comunidade científica que integra o CarboEurope-IP para medir os fluxos dos escalares carbono e vapor de água.

Os ficheiros de dados adquiridos são correspondentes a períodos de meia hora, logo compreendem um total de 48 ficheiros por cada período de 24 horas.

As variáveis micrometeorológicas e do solo de que se realizaram medições foram: o balanço de radiação, a radiação solar global, a precipitação, a temperatura e humidade relativa do ar, a direcção e velocidade do vento, pressão atmosférica respiração do solo e a temperatura e humidade do solo a seis níveis até um metro de profundidade. A aplicação do método de covariância turbulenta permite a obtenção das três componentes atmosféricas do ciclo de carbono na floresta, expressas em  $\text{gCm}^{-2}$  a saber, o balanço de carbono (NEE) a respiração total do ecossistema (Reco) e a produções primária bruta (GPP).

## 2. PROCESSAMENTO DOS DADOS

### 2.1. MÉTODO DA COVARIÂNCIA TURBULENTA

Os dados obtidos foram processados num conjunto de programas informáticos:

- Pacote *EDDYSOFT* para aquisição de dados.
- Programa “*Pre-gapfilling*” para fazer uma junção entre os dados meteorológicos e os dados dos fluxos.
- Programa “*Fluxtreat*” para filtragem e qualificação adicionais das covariâncias.
- Programa “*Gap-Filling*”, de preenchimento de lacunas de dados ou para substituição de dados pior classificados, baseado na variação conjunta dos fluxos com as variáveis meteorológicas radiação solar global, temperatura do ar e défice de pressão de vapor.

O programa “*Gap-Filling*” é disponibilizado on-line pelo grupo de investigação do Projecto europeu CarboEurope e permite também, por recurso ao modelo de regressão não linear de Lloyd-and-Taylor, a partição do fluxo atmosférico de carbono, correspondente ao balanço de carbono, nas componentes de respiração total do ecossistema (Reco) e de produção primária bruta (GPP). Apresenta os dados tanto graficamente, para ter uma rápida compreensão, como numericamente, para o seu tratamento posterior.

## 2.2. MODIS

Os dados facilitados pelo MODIS do nosso interesse são o Índice de área foliar ou LAI (*Leaf Area Index*), a produção primária bruta ou GPP (*Gross Primary Production*) e o NPP (*Net Production Productivity*, próximo do NEE ou *Net Ecosystem Exchange*). Os dois primeiros são disponibilizados cada 8 dias e o NEE cada ano, portanto este último não é muito relevante para o nosso estudo. Estes dados são obtidos a partir da detecção remota da fracção (FPAR) de radiação fotossinteticamente activa (PAR) absorvida pela superfície terrestre e da reflectância superficial, com a utilização de um complexo algoritmo de cálculo. O princípio base é o de que, em determinadas condições padrão, a GPP está linearmente associado à radiação fotossinteticamente activa absorvida AFAR ( $AFAR = FPAR * PAR$ ).

O site de Espirra, como as demais estações da Carboeurope, está ligado ao DAAC (Distributed Active Archive Center) onde se encontram os dados obtidos pelo MODIS de mais de 1000 sites de todo o mundo. O MODIS apresenta-nos o lugar como uma rede de 49 células de 1x1 km classificadas em distintas tipologias de vegetação (figura 2). A torre estaria no centro da célula central aproximadamente e a vegetação corresponderia-se com *Woody Savannas* (literalmente savanas lenhosas). Pode-se observar na figura 2 que a área em volta é da mesma tipologia e que ao norte da torre há zonas com culturas que se correspondem com vinhas para a elaboração do vinho tinto “Herdade de Espirra”.

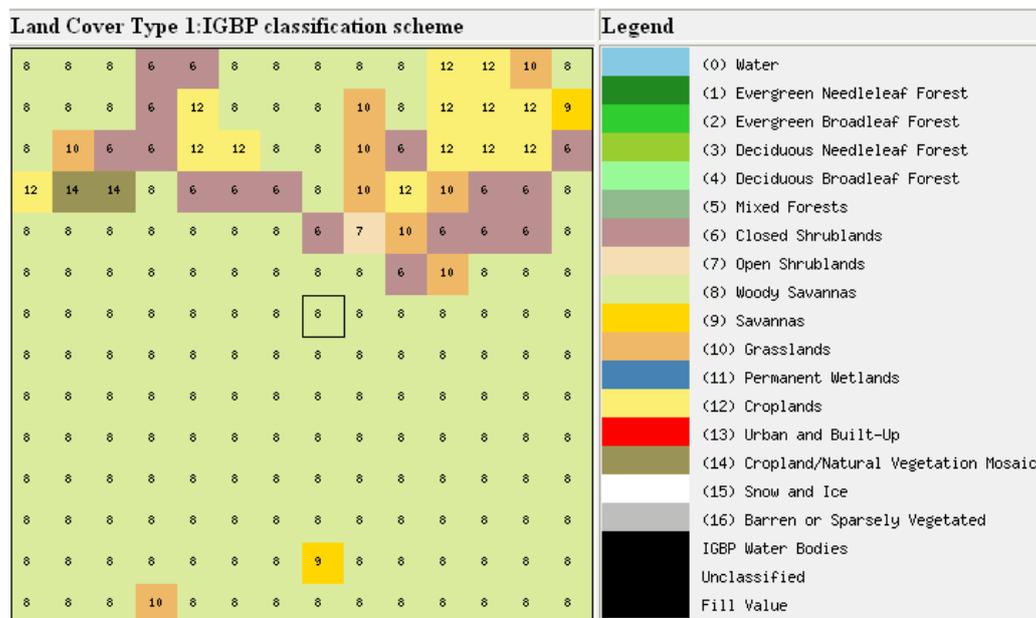


Figura 2. – Malha reticulada de diferentes tipos de vegetação do site de Espirra proporcionada por MODIS

Os dados dos dois sistemas MODIS instalados nos satélites *Aqua* e *Terra* são disponibilizados na web e têm diferentes algoritmos mas os resultados são muito semelhantes e apenas diferem entre eles

Para o desenvolvimento do trabalho escolheu-se o satélite *Terra* porque a qualidade dos dados era melhor e também porque considerou-se que não seria interessante fazer o mesmo estudo duas vezes para chegar a resultados quase idênticos. Por tanto, de aqui em diante os dados apresentados serão obtidos do satélite *Terra*.

MODIS oferece dados de toda a área representada na figura 2 mas para o nosso estudo só são interessantes a célula central e as células que estão imediatamente à sua volta contornando-a porque têm a mesma vegetação.

Acontece uma coisa especial nos dados disponibilizados pelo MODIS no site de Espirra que não acontece em outro site Português como o de Mitra. O dado da célula central é sempre muito superior aos das adjacentes, mesmo às vezes quase o dobro, seja qual for o parâmetro a medir. A razão de esta anomalia não é conhecida pois em restantes sites do MODIS as células centrais têm dados parecidos aos circundantes, e na Espirra estas células adjacentes são das mesmas características que a central pelo que difícil saber qual pode ser a explicação a este fenómeno.

## 3. RESULTADOS

### 3.1. DADOS 2009

Nesta parte do trabalho foram analisados os dados do primeiro semestre de 2009 mas para estabelecer alguma relação ou para “validar” os dados obtidos compararam-se com os dados de 2008 que já existiam. Isto permite conhecer as características do ecossistema, no que respeita ao seu comportamento ao longo do ano, com respectivos padrões de evolução mensal.

O processamento dos dados com os programas informáticos nomeados no anterior ponto deu como resultado esta tabela de dados:

Mês	Rg	P	NEE	Reco	GPP
	MJ/m-2	mm	gC/m-2	gC/m-2	gC/m-2
Jan	235.59	90.8	36.70	62.25	25.35
Fev	348.20	86.1	10.13	57.76	47.63
Mar	554.20	13.0	-4.41	77.70	82.12
Abr	577.58	31.1	-20.01	60.73	80.73
Maio	736.34	11.6	-49.53	80.55	130.08
Junho	702.86	28.1	-71.28	92.45	163.74

Tabela 1. – Dados meteorológicos de balanços de carbono do primeiro semestre de 2009

Os dados de precipitação foram obtidos do Sistema Nacional de Informação de Recursos Hídricos (SNIRH) da estação de Moinhola coordenadas 38.584088N e 8.616445W, muito perto do site de estudo. A manutenção das estações de monitorização do SNIRH esteve suspensa de Agosto de 2008 a Janeiro de 2009, pelo que o dado de Janeiro foi obtido duma estação meteorológica situada perto da anterior.

A continuação se apresentam os dados meteorológicos com maior correlação com os fluxos do carbono que são a radiação solar e a precipitação.

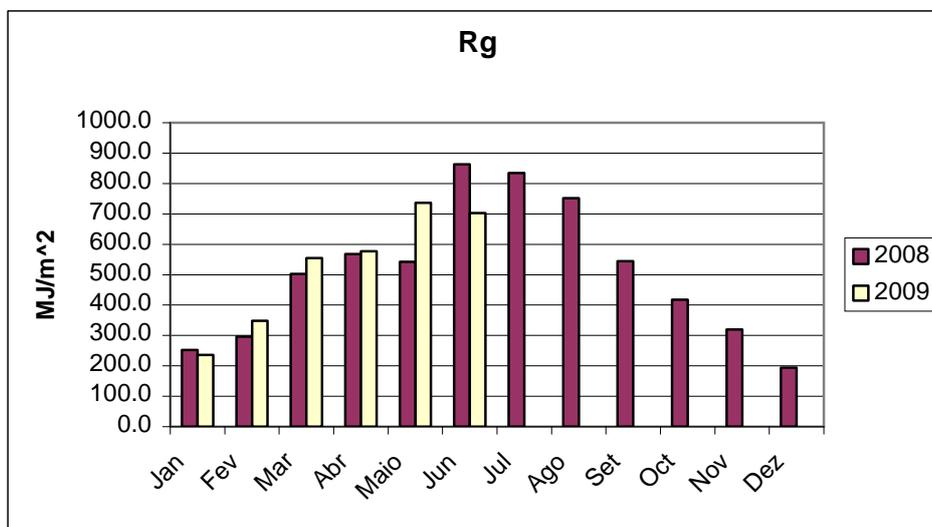


Gráfico 1. – Valores de radiação solar do período que vai de Janeiro 2008 a Junho 2009

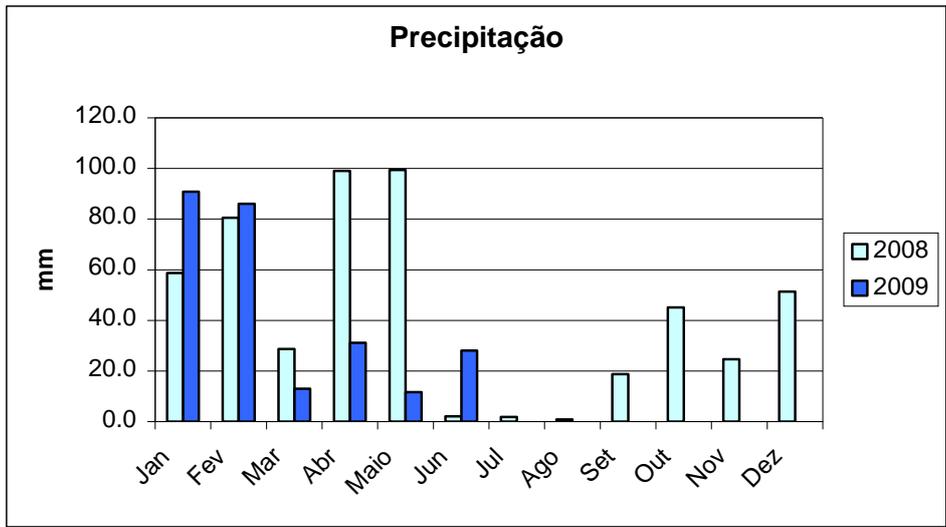


Gráfico 2. – Valores de precipitação do período que vai de Janeiro 2008 a Junho 2009

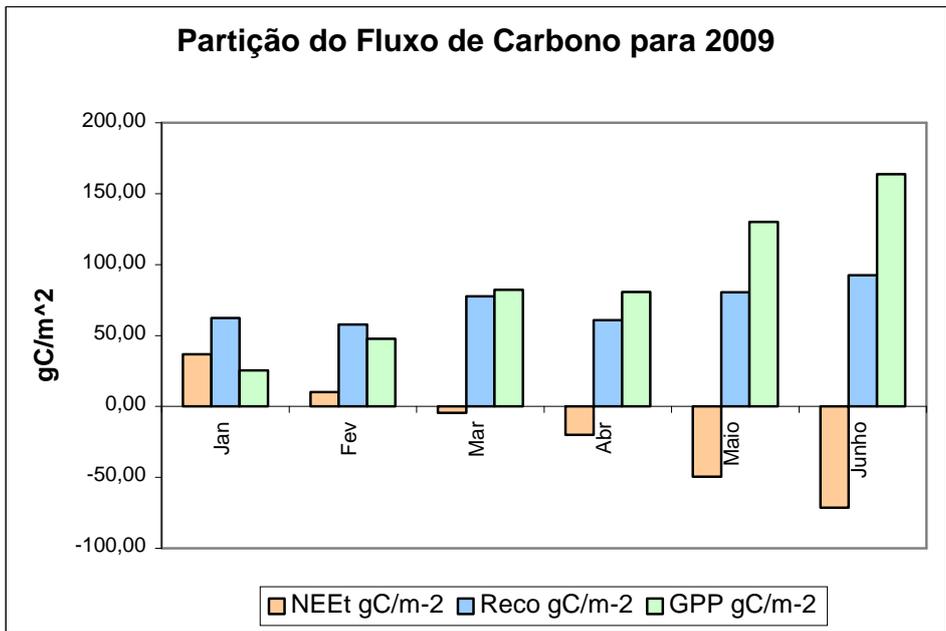
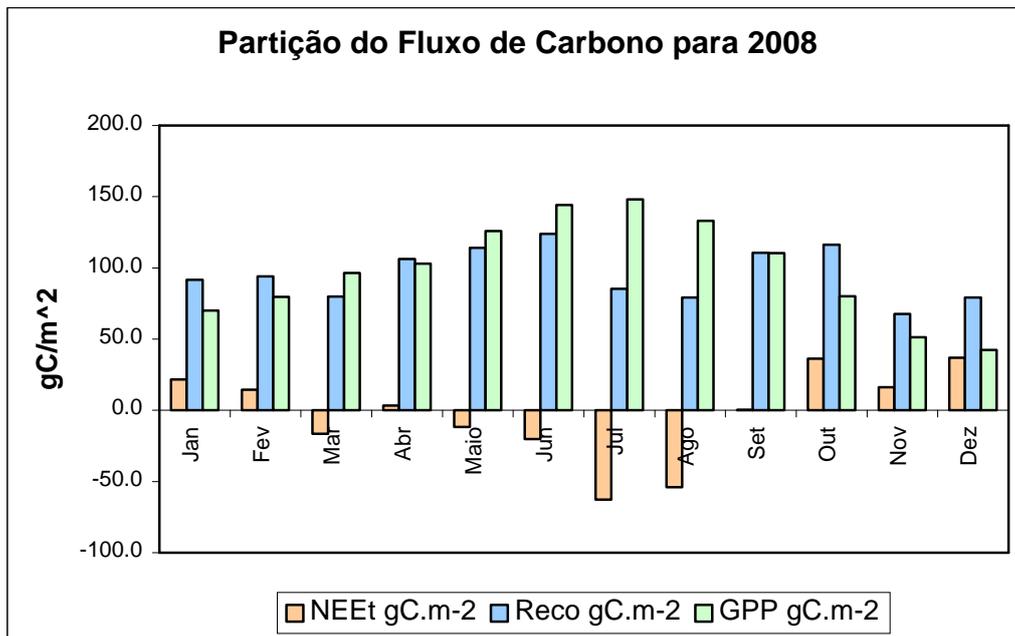


Gráfico 3. – Partição do fluxo de carbono para o período Janeiro 2009-Junho 2009



*Gráfico 4. – Partição do fluxo de carbono para o ano 2008*

Na análise dos gráficos anteriores pode-se verificar que:

- Nos dados meteorológicos a diferença principal é que no ano 2008 choveu mais na primavera do que no 2009 o que se traduz em menor radiação solar por haver mais nuvens, enquanto em Junho aconteceu o contrario, choveu mais no ano 2009 do que no 2008 e a radiação de este ano para esse mês foi menor.
- O padrão dos fluxos de carbono do primeiro semestre de 2009 é semelhante ao do ano anterior. O NEE começa sendo positivo mas vai decrescendo, faz-se negativo na primavera e máximo ao começo do verão. A GPP de 2009 também evoluciona como a do 2008. É mínima no Inverno e vai crescendo ao longo do semestre para ser máxima no verão devido ao aumento da radiação solar.

## 3.2. EVOLUÇÃO DOS BALANÇOS DE CARBONO 2002-2009

Acumulados anuais	Rg	P	NEEt	Reco	GPP	E
Ano	MJ.m <sup>-2</sup>	mm	gC.m <sup>-2</sup>	gC.m <sup>-2</sup>	gC.m <sup>-2</sup>	mm
2002	6008.13	747.80	-638.05	1297.65	1935.70	518.39
2003	6079.74	706.40	-745.23	1309.67	2054.89	616.24
2004	6226.28	379.14	-689.62	1146.19	1835.80	766.15
2005	6377.79	396.25	-348.58	821.55	1170.13	434.06
2006	6068.65	805.93	-477.03	1259.32	1736.35	785.42
2007	6373.57	442.80	105.79	1059.03	953.24	699.76
2008	6084.35	510.90	-35.88	1148.40	1184.21	763.78
2009	2451.91	141.80	-27.12	338.99	365.91	183.85

Tabela 2- Valores anuais da radiação solar global(Rg), Precipitação(P), balanço de carbono do ecossistema(NEEt), respiração total do ecossistema, assimilação total de carbono(GPP) e evapotranspiração(E)

### 3.2.1. Evolução do balanço de carbono (NEE)

Por estudos anteriores de temática semelhante na mesma localização de Espirra (Mateus, J. 2004) sabe-se que a plantação de eucalipto comporta-se como forte sumidouro de CO<sub>2</sub> durante quase todo o ano (pontualmente ao final do verão a respiração pode ser superior à fotossíntese e haver liberação de CO<sub>2</sub>). Mas isso acontecia quando as árvores eram adultas e mediam mais de 20 metros. Cabe pensar que depois do corte o sistema comportará-se de modo diferente.

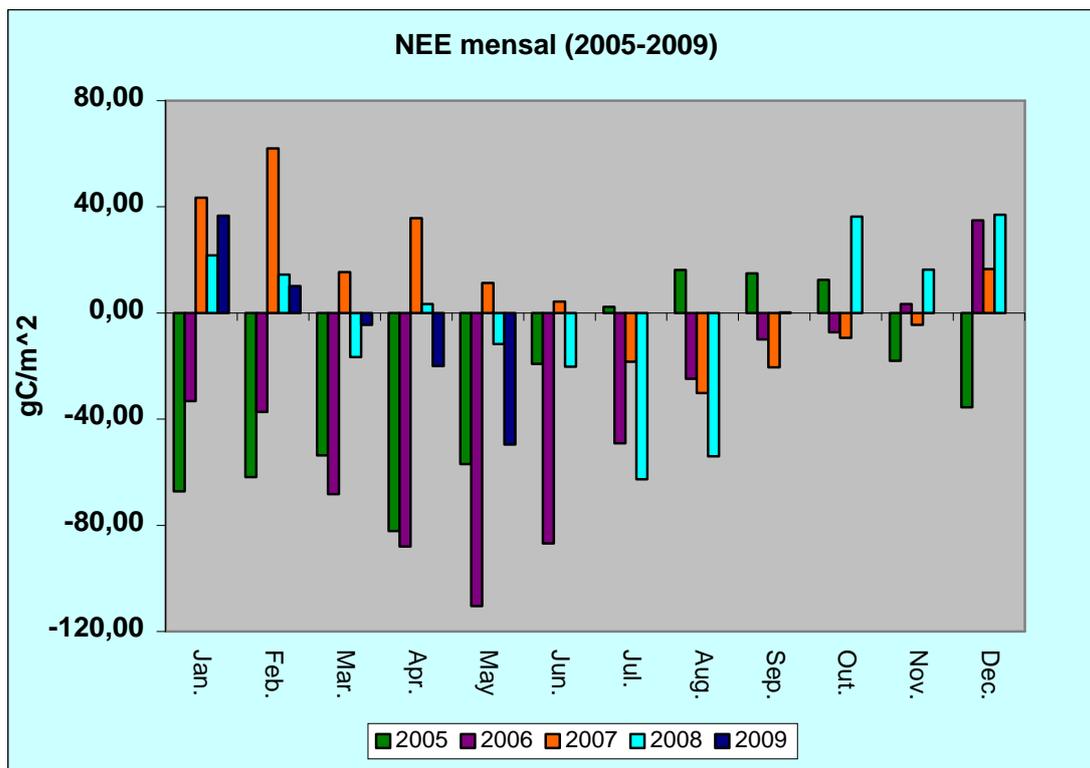


Gráfico 5. – Representação do NEE mensal para os anos 2005, 2006, 2007, 2008 e 2009.

No gráfico 5 apresentam-se os dados do NEE mensal dos últimos 5 anos. Nele pode-se ver os diferentes padrões de antes do corte raso e depois. Como já se disse antes do corte a plantação comporta-se como um sumidouro mas depois, em 2007 ou já em Dezembro de 2006, a tendência inverte-se e passa a ser um sistema emissor de carbono. Isto pode ser devido a que a respiração heterotrófica (Rh) do solo mantém-se e a produção primária desce consideravelmente ao serem as árvores muito mais pequenas. No ano 2009 o NEE começa sendo positivo (emite CO<sub>2</sub>) como nos 2 anos anteriores, mas em Março já é negativo (absorve CO<sub>2</sub>) e segue a aumentar a absorção. Pode-se concluir que este ano 2009 é um ano de transição entre anos com o sistema comportando-se como emissor de carbono e com indivíduos jovens e anos com o sistema comportando-se como sumidouro de carbono e com exemplares adultos.

Além disso, também é fácil ver o efeito da seca de 2005 no balanço de carbono pois nesse verão, quando havia um grande déficit hídrico, o sistema era emissor de carbono.

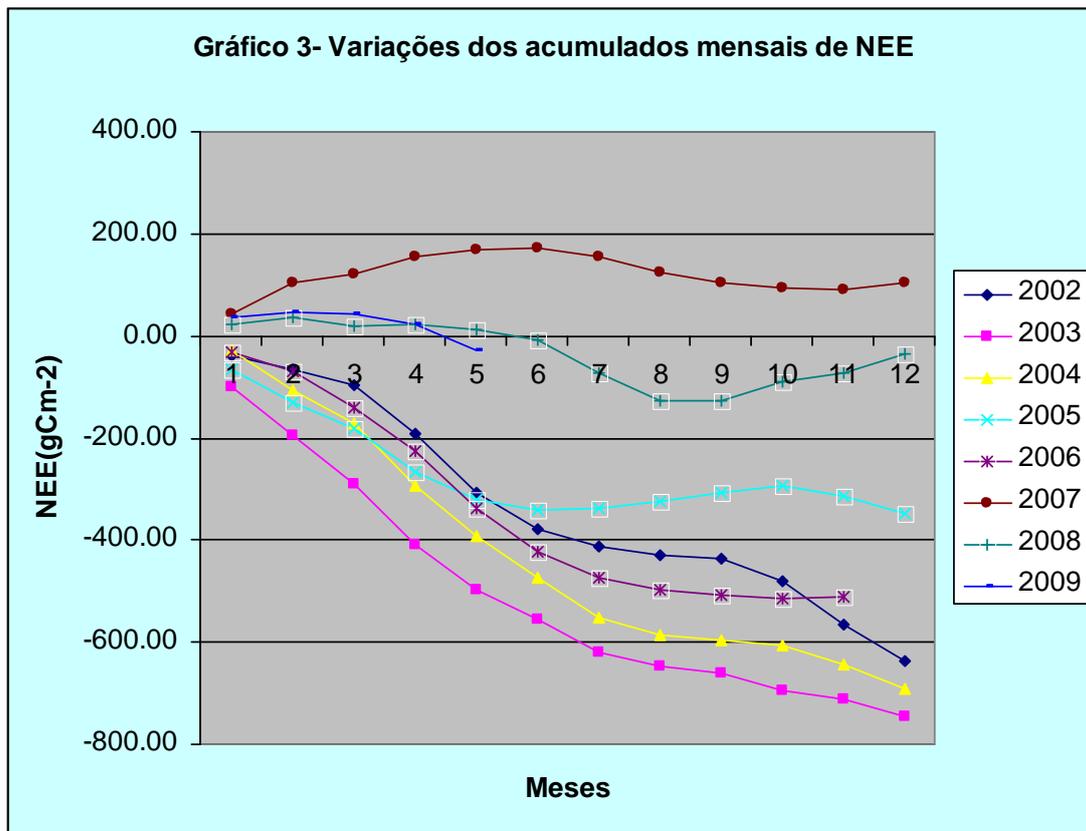


Gráfico 6. – Acumulados anuais de NEE para os anos 2002-2009

Este gráfico de acumulados mensais de NEE evidencia ainda mais como existem dois comportamentos (fonte ou sumidouro) do ecossistema dependendo do seu estado de evolução de produção. Se bem no ano 2007 o balanço foi positivo, já no 2008 foi algo negativo e cabe pensar que ao final de este ano 2009 seja ainda mais negativo se não acontecem coisas estranhas como uma seca, por exemplo. Em conclusão o eucaliptal volta a ser absorvente de CO<sub>2</sub> em relativamente muito pouco tempo depois da corta (um ano), sempre referindo-nos ao total acumulado anual.

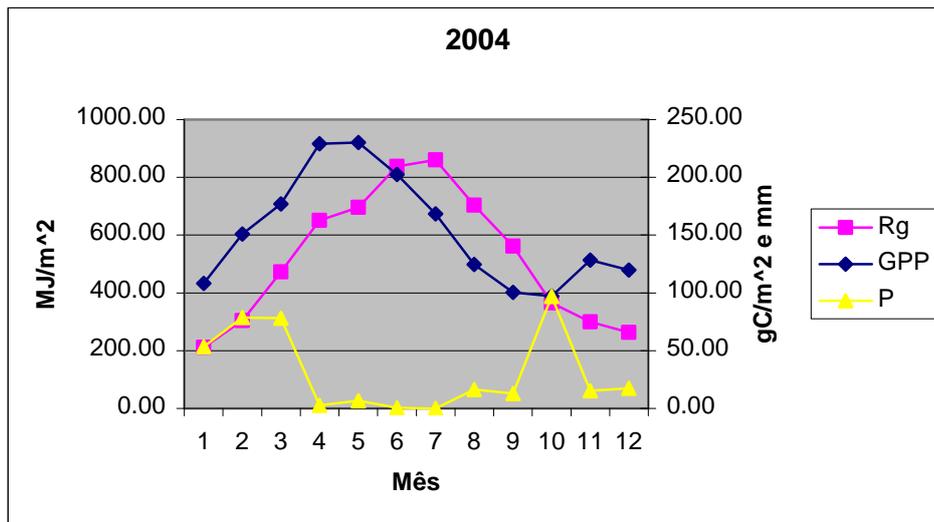
### 3.2.2. GPP vs Dados meteorológicos

O interesse de esta análise fundamenta-se na relação que pode ter a produção primária bruta (GPP) com a radiação solar e a quantidade de água disponível para a sua utilização, que neste caso será a precipitação. Para isso vão-se considerar três tipos de ano: antes do corte raso, depois do corte raso e o ano da seca de 2005:

**Ano tipo antes do corte: 2004**

	<b>GPP</b>	<b>Rg</b>	<b>P</b>
	<b>gC/m<sup>2</sup></b>	<b>MJ/m<sup>2</sup></b>	<b>mm</b>
<b>Janeiro</b>	108.10	211.23	53.40
<b>Fevereiro</b>	150.80	303.62	78.60
<b>Março</b>	176.83	473.11	78.20
<b>Abril</b>	229.03	651.34	2.80
<b>Mai</b>	230.09	695.99	6.80
<b>Junho</b>	202.39	837.87	0.40
<b>Julho</b>	168.39	860.48	0.00
<b>Agosto</b>	124.50	703.21	16.44
<b>Setembro</b>	100.52	561.59	12.99
<b>Outubro</b>	97.14	365.07	96.83
<b>Novembro</b>	128.36	299.16	15.23
<b>Dezembro</b>	119.65	263.60	17.46

*Tabela 3. – Valores do GPP, radiação e precipitação para 2004*



*Gráfico 7 – Comparação da GPP com Radiação solar e Precipitação para o ano 2004*

A GPP aumenta com a radiação porque existe suficiente água no solo e as árvores não têm limitação para o crescimento. Mas quando a precipitação baixa e a radiação continua a aumentar, o GPP chega ao máximo e começa a descer porque a água do solo se vai esgotando. Esta descida mantém-se até a precipitação aumentar de novo e voltar-se a recarregar o solo de humidade. Mas o facto de haver menos radiação solar em Outono faz com que, embora haja suficiente água no solo, a GPP não alcança valores tão altos como a finais da primavera.

**Ano seca: 2005**

	<b>GPP</b>	<b>Rg</b>	<b>P</b>
	<b>gC/m<sup>2</sup></b>	<b>MJ/m<sup>2</sup></b>	<b>Mm</b>
<b>Janeiro</b>	129.04	312.02	0.81
<b>Fevereiro</b>	112.09	372.66	6.70
<b>Março</b>	128.83	469.46	42.22
<b>Abril</b>	171.37	620.09	18.47
<b>Mai</b>	148.46	750.92	34.11
<b>Junho</b>	93.72	767.26	0.00
<b>Julho</b>	64.21	852.92	8.73
<b>Agosto</b>	54.17	746.92	1.62
<b>Setembro</b>	42.75	596.64	5.28
<b>Outubro</b>	50.98	359.54	154.07
<b>Novembro</b>	77.99	286.32	89.32
<b>Dezembro</b>	96.53	243.05	34.92

Tabela 4. – Valores do GPP, radiação e precipitação para 2005

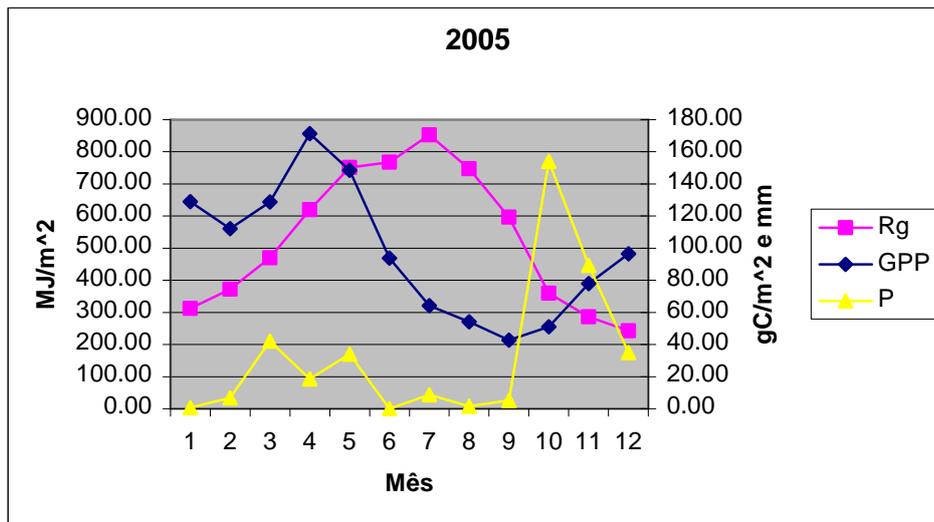


Gráfico 8 – Comparação da GPP com Radiação solar e Precipitação para o ano 2005

No ano da seca observa-se ao princípio do ano um padrão similar ao do ano anterior mas o facto de não ter chovido praticamente no Inverno fez que a GPP começara a descer já na primavera. A seca continuou até Outubro, mês no que a choveu imenso e que carregou a reserva de água do solo, e consequentemente a GPP começou a aumentar. Como se pode ver a precipitação e directamente relacionada, humidade do solo, são factores que claramente limitam o crescimento das plantas neste caso.

**Ano tipo depois do corte: 2008**

	<b>GPP</b>	<b>Rg</b>	<b>P</b>
	<b>gC/m<sup>2</sup></b>	<b>MJ/m<sup>2</sup></b>	<b>Mm</b>
<b>Janeiro</b>	70.0	252.2	58.7
<b>Fevereiro</b>	79.6	296.7	80.5
<b>Março</b>	96.5	502.0	28.7
<b>Abril</b>	102.9	567.7	99.0
<b>Mai</b>	125.9	542.4	99.4
<b>Junho</b>	144.2	862.7	2.1
<b>Julho</b>	148.0	834.4	1.8
<b>Agosto</b>	133.1	751.3	0.8
<b>Setembro</b>	110.47	544.0	18.8
<b>Outubro</b>	80.00	417.8	45.1
<b>Novembro</b>	51.30	319.3	24.6
<b>Dezembro</b>	42.30	193.8	51.4

Tabela 5. – Valores do GPP, radiação e precipitação para 2008

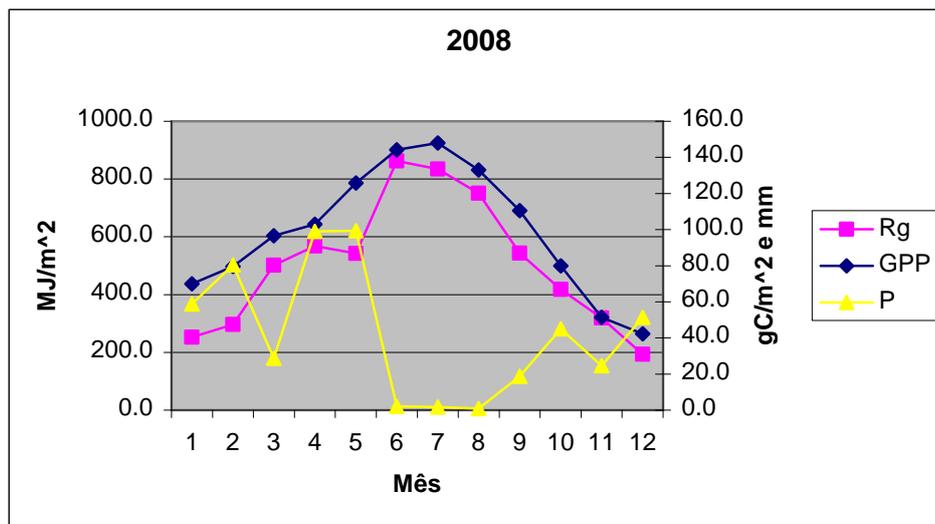


Gráfico 9 – Comparação da GPP com Radiação solar e Precipitação para o ano 2008

Neste ano as árvores eram de pouca altura, entre 4-6 metros aproximadamente. Vemos como a produção primária bruta aumenta e desce consoante a radiação. Isto é devido a que no Inverno e na primavera houveram abundantes precipitações e a reserva de água no solo estava completa. Embora não choveu apenas no verão, o facto de as plantas serem jovens e com pouca envergadura, a seca estival não afectou ao crescimento das plantas porque estas não precisaram de muita água, e as raízes já estavam completamente desenvolvidas, chegando às camadas mais profundas do solo.

### 3.2.3. GPP antes do corte e depois

A evolução da GPP da plantação de eucalipto ao longo do ano não se comportou de igual forma antes do corte e depois deste, portanto é interessante a sua análise:

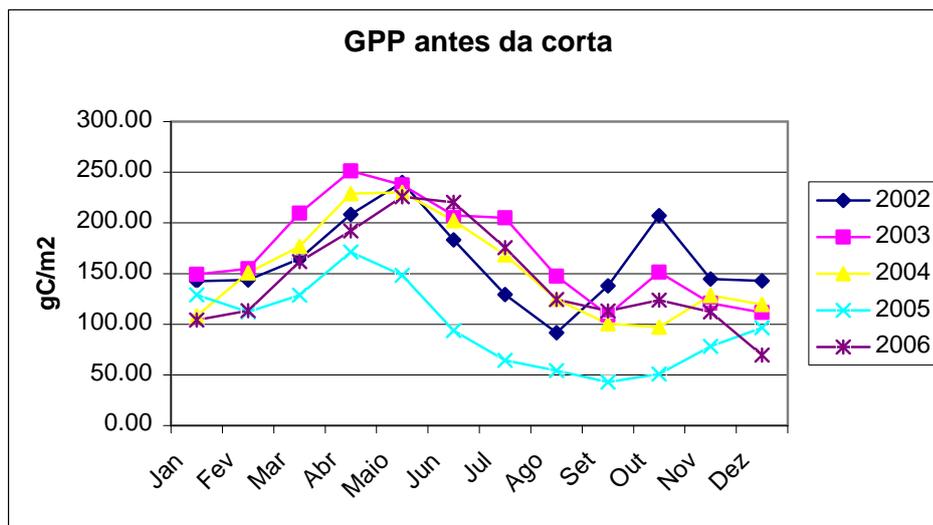


Gráfico 10. – GPP mensal dos anos 2002, 2003, 2004, 2005 e 2006 anteriores ao corte raso

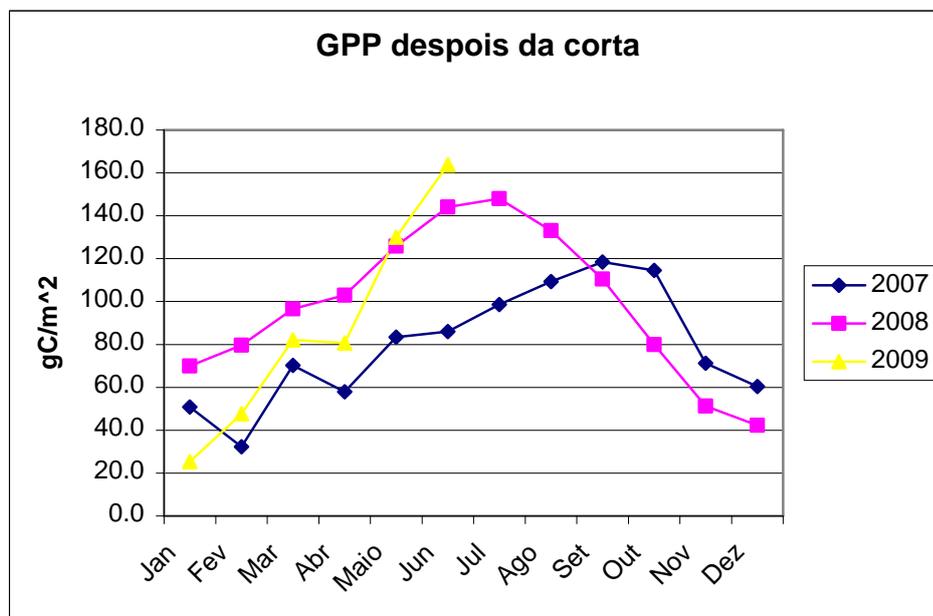


Gráfico 11. – GPP mensal dos anos 2007, 2008 e 2009 posteriores ao corte raso

Nos gráficos 10 e 11 observa-se que antes do corte o GPP era máximo na primavera (Abril - Maio), logo descia no Verão por causa da falta de água e consequente fecho dos estomas e voltava-se a recuperar com as chuvas de Outono. Depois do corte o máximo não se observa na primavera mas sim no meio do verão. Esta discrepância vê-se melhor no gráfico 12. No ano 2007, este máximo foi ainda mais tarde, em Setembro, porque anteriormente os eucaliptos eram tão pequenos que não podiam produzir tanto como o normal.

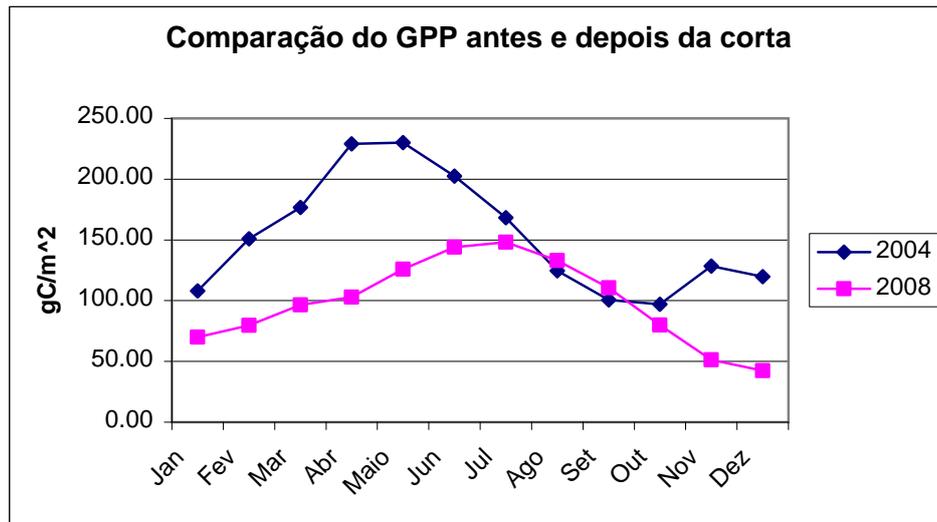


Gráfico 12. – Comparação da GPP mensal entre dois anos representativos de antes e depois do corte raso

Já dissemos que antes da corte os eucaliptos fechavam os estomas para não perderem água durante os períodos de seca estivais e que por isso a produção primária baixava no verão. Mas isso não acontece depois do corte com os indivíduos jovens que atingem o seu máximo GPP precisamente nesses meses mais calorosos e com menos água no solo. Isto pode ter uma explicação: quando os eucaliptos são cortados por atingirem a sua idade de corta, deixam-se os tocos ou cepas no solo para que voltem nascer novos brotos. Estes brotos crescem ao princípio com muito vigor porque aproveitam as substâncias de reserva acumuladas nas raízes que a árvore vai usar para recuperar o antes possível a parte aérea perdida. Além disso, estas raízes são muito profundas, razão pela qual podem chegar até água inacessível para plantas de pouco porte. Ou seja, os eucaliptos têm uma parte subterrânea muito desenvolvida e com muitas reservas de água e nutrientes que sustenta uma parte aérea mais pequena que cresce muito rápido. É por isso que os eucaliptos jovens não são afectados por períodos de seca estivais.

### 3.3. GPP POR COVARIÂNCIA TURBULENTA Vs. GPP MODIS

#### 3.3.1. ANÁLISE DOS DADOS ANUAIS

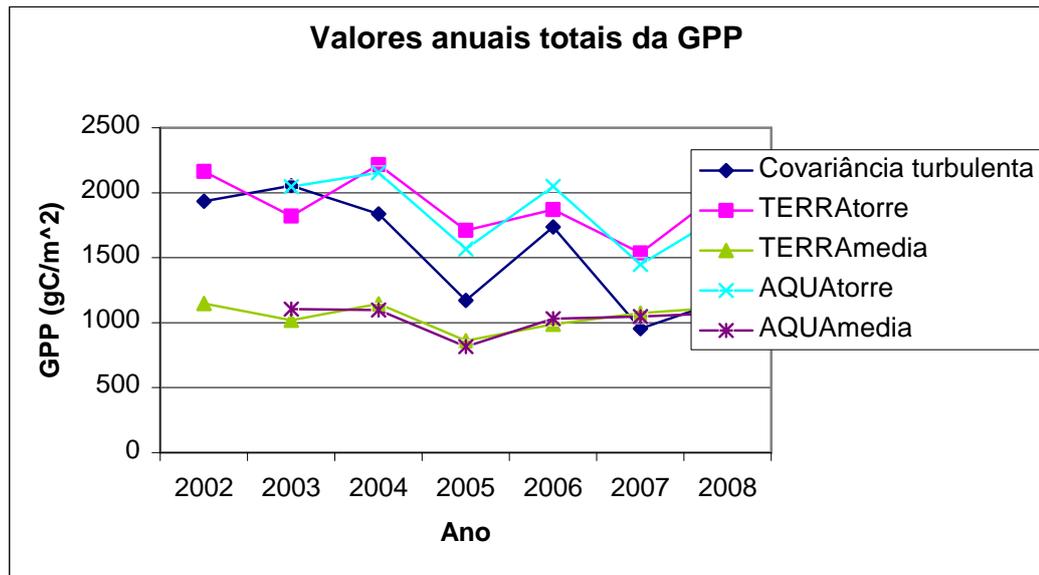


Gráfico 13. – Valores totais anuais da Produção Primária Bruta (GPP) obtidos pelo método da covariância turbulenta e o sistema MODIS

No Gráfico 13, podem ser notadas três discrepâncias relativas aos dados de GPP obtidos por medição directa e detecção remota:

- Nos cinco primeiros anos há uma concordância razoável entre os valores medidos por covariância turbulência e os medidos por detecção remota na célula central. Isso é devido ao facto de que nesses anos, em que o eucaliptal é composto por árvores de 20m de altura, a área abrangida pelas medidas de covariância turbulenta ou “*fetch*”, é aproximadamente restrita à superfície de 1Km<sup>2</sup> correspondente à célula central. Dito de outro modo nos primeiros cinco anos a área de 1Km<sup>2</sup> relativa à célula central é representativa da área de abrangência das medições do escoamento realizadas a partir da torre.
- Nos anos após o corte o efeito é oposto, ou seja não tendo sido alterada a localização do equipamento de medida o fetch será bem maior pois a cobertura vegetal de lançamentos caulinares é bem mais baixa. Neste segundo caso a área correspondente à média das células circundantes da torre já será representativa dos valores de fluxos de carbono obtidos por medição directa.

- A terceira discrepância acontece nos resultados dos anos 2004 e sobre tudo 2005, em que se verifica que a avaliação da produção primária bruta por detecção remota é muito superior à medida pelo método da covariância turbulenta. De acordo com os autores *Coops et al. 2007* o algoritmo MODIS induzirá estimativas de GPP por excesso em locais onde a limitação ao crescimento induzida por um baixo teor em água do solo não seja suficientemente detectada pela redução de condutância estomática associada a défices de pressão de vapor atmosféricos. Neste caso nos anos 2004 e 2005 principalmente, a precipitação foi muito escassa, razão pela qual aconteceu isso.

Em Fevereiro de 2009 a estação meteorológica baixou-se a 12 metros, pelo qual os dados obtidos por covariância turbulenta devem começar a serem mais parecidos aos obtidos da célula da central do sistema MODIS onde está situada a torre.

### 3.3.2. ANÁLISE DOS DADOS MENSAIS

Como já se disse no parágrafo anterior os dados calculados pelo método da covariância turbulenta são semelhantes até o ano 2006 aos proporcionados pela célula da torre e depois do 2007 à média das células circundantes. É por isso que se vai analisar um ano representativo de antes do corte, outro depois e finalmente o ano da seca de 2005 independentemente:

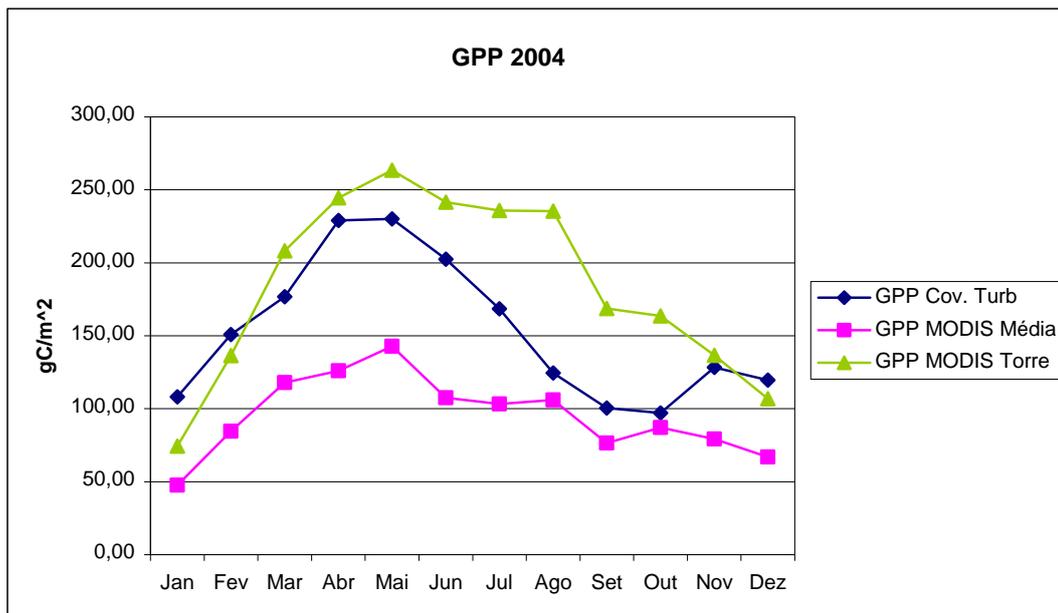


Gráfico 14. – Valores mensais da GPP da covariância turbulenta e MODIS para o ano 2004

Em geral a GPP dos fluxos medidos aproxima-se durante quase todo o ano, mais à GPP da célula central onde está situada a torre.

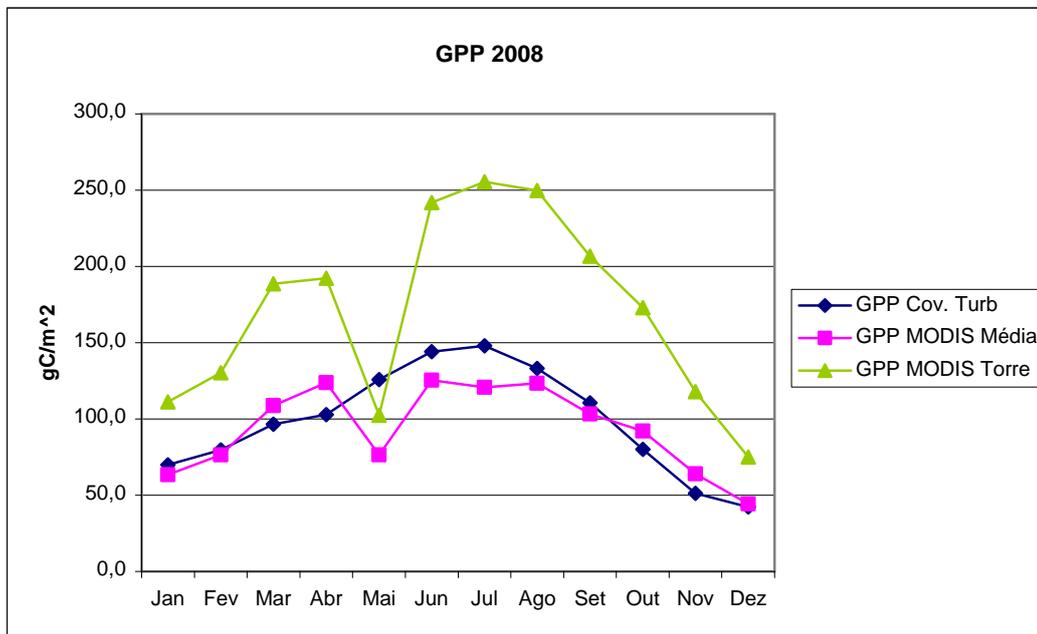


Gráfico 15. - Valores mensais da GPP da covariância turbulenta e MODIS para o ano 2008

Depois do corte de finais de 2006 o padrão da GPP medido por covariância turbulenta é mais parecido ao proporcionado pela média das células devido ao efeito explicado no parágrafo anterior. Neste gráfico observa-se um decaimento da GPP do MODIS (quer célula central quer média) algo anormal no mês de Maio. Às vezes MODIS rejeita os dados medidos em algumas semanas (8 dias) por serem de pouca confiança e nem os estima, simplesmente não os disponibiliza pelo que o decaimento não é real. Neste caso não mediu duas semanas pois a descida é muito brusca.

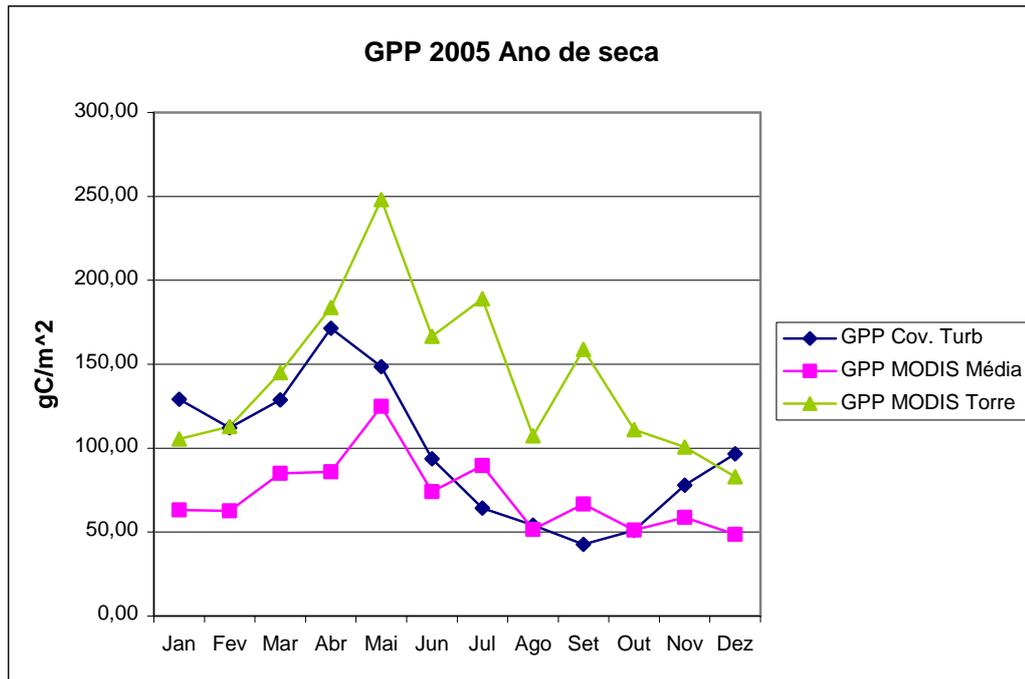


Gráfico 16. - Valores mensais da GPP da covariância turbulenta e MODIS para o ano 2005

Este ano de seca vê-se como até ao mês de Abril o GPP dos fluxos evoluciona como o GPP da célula central, mas quando o efeito da seca começa a notar-se, vai-se aproximando ao padrão da média das células. Isto é devido a que como já foi dito antes, de acordo com os autores *Coops et al. 2007* o algoritmo MODIS induzirá estimativas de GPP por excesso em locais onde a haja limitação ao crescimento como consequência da falta de água. Observa-se também como ao final do ano o GPP da covariância turbulenta volta a ser como a da célula da torre,

### 3.4. GPP vs LAI

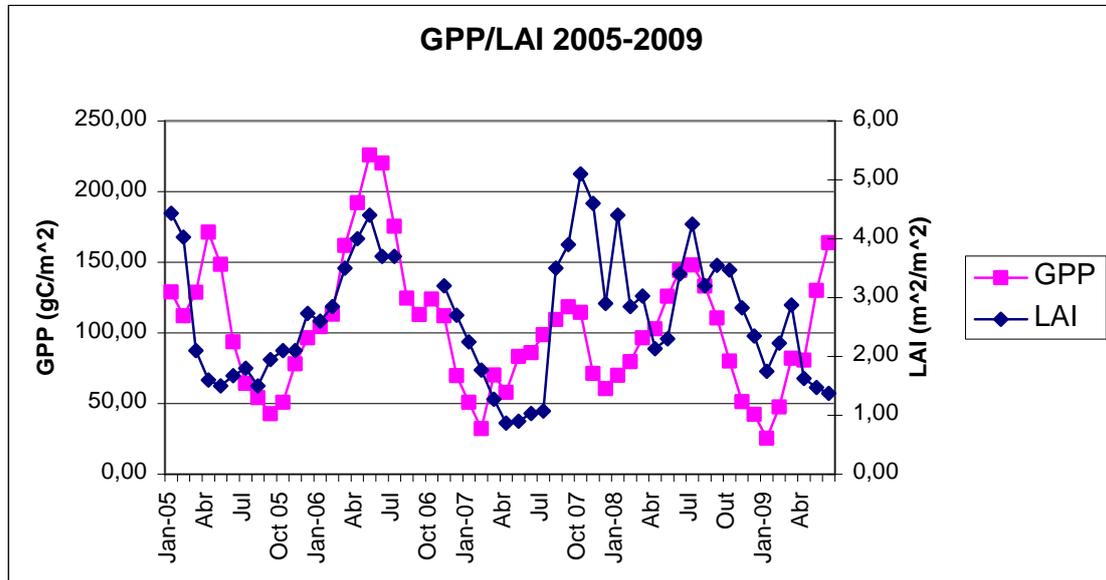


Gráfico 17. – Evolução mensal da GPP da covariância turbulenta e do LAI de Janeiro 2005 a Maio 2009

Este gráfico amostra a GPP mensal e o Índice de área foliar e nele podem-se observar vários efeitos:

- O efeito da seca de 2005: tanto o LAI como a GPP reduzem-se muito devido à falta de água
- No fim de 2006 verifica-se o corte raso com a redução dos dois parâmetros. Com a eliminação de vegetação diminuem muito os metros quadrados de área foliar, e consequentemente a capacidade fotossintética.
- A partir do Outono de 2007 o LAI volta a aumentar porque as folhas do eucalipto, ao ser este jovem e ter uma densidade foliar maior, são de tamanho maior que as do eucalipto adulto. Depois o índice vai baixando paulatinamente a medida que as folhas jovens vão-se tornando adultas.

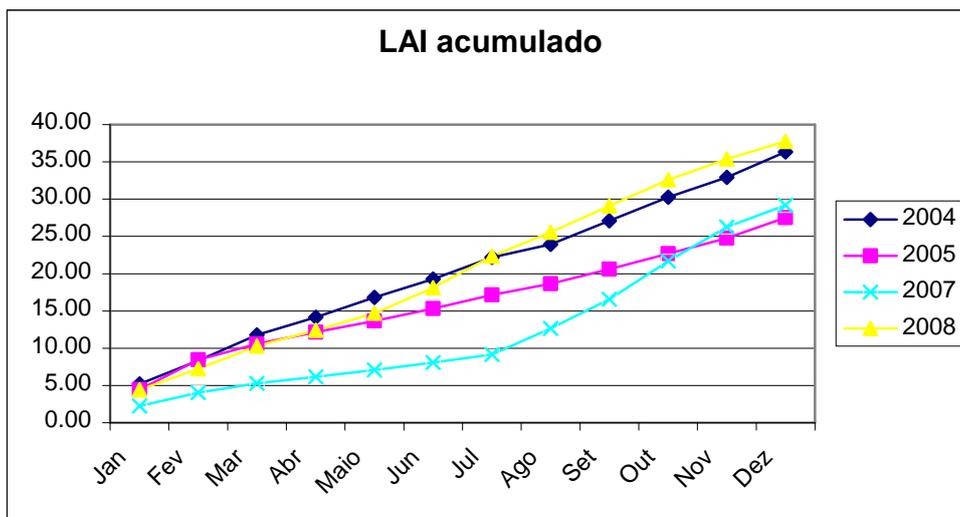


Gráfico 18 . – LAI acumulado para os anos 2004-2008

Este gráfico apresenta os valores acumulados do LAI nos anos 2004, 2005, 2007 e 2008. Podemos observar como este índice apenas varia entre antes do corte (2004) e depois dele (2008). Isto pode ser devido a que embora a biomassa de eucalipto seja menor no 2008, a forma das folhas dos eucaliptos jovens, que são mais arredondadas e têm mais superfície que as folhas de exemplares adultos, faz com que a área abrangida pelas folhas dum exemplar jovem e um adulto seja a mesma, além de que no eucalipto jovem as folhas estão na posição quase horizontal e no eucalipto adulto estão quase na vertical.

Nos anos 2005 e 2007 o LAI total acumulado é menor por diferentes motivos. O ano 2005 foi ano de seca pelo que a densidade de folhas foi menor ao morrerem muitas delas e consequentemente o LAI acumulado não atingiu os valores de um ano normal. O facto de ter 2007 valores também em baixo do normal foi devido ao corte raso que sofreu a plantação a finais de 2006. Mas no gráfico pode-se observar a rápida recuperação do LAI a partir de Setembro devido a que os novos brotos começaram a encher-se de novas folhas jovens.

## 4. CONCLUSÕES E CONSIDERAÇÕES FINAIS

Durante quase todo o tempo o eucaliptal é um grande sumidoiro de carbono, mas neste trabalho verificou-se que quando os eucaliptos são jovens, o sistema comporta-se como fonte e como se vai transformando rapidamente, em apenas dois anos, em sumidoiro outra vez.

Actualmente, no que respeita aos fluxos de carbono, o sistema comportasse de maneira semelhante ao ano anterior. O NEE começa sendo positivo mas vai decrescendo, torna-se negativo na Primavera e máximo ao começo do Verão. O GPP de 2009 também evoluciona como o do 2008. É mínimo no Inverno e vai crescendo ao longo do semestre para ser máximo no início do Verão devido ao aumento da radiação solar e à disponibilidade de água armazenada no solo.

Nos últimos anos, a variação anual destes fluxos foi diferente em alguns anos por duas causas principais: no ano 2004/2005 houve uma seca importante e no final de 2006 a floresta foi submetida a um corte raso.

O efeito da seca notou-se no balanço de carbono já que foi absorvido menos  $\text{CO}_2$  passando-se de  $650\text{-}750 \text{ g/m}^2$  de  $\text{CO}_2$  anuais a uns  $350 \text{ g/m}^2$  e mesmo sendo o sistema emissor de carbono nos meses de verão; e com respeito ao GPP aconteceu o mesmo: passou-se de  $1800\text{-}2000 \text{ g/m}^2$  de  $\text{CO}_2$  a menos de  $1200 \text{ g/m}^2$  devido à falta de água no solo.

O corte raso influenciou também, evidentemente, os fluxos, trocando o comportamento como sumidoiro de carbono do eucaliptal e transformando-o num sistema emissor. Isto foi assim porque no entanto a respiração do solo (  $R_h$ ) se manteve, e o GPP diminuiu muito por serem as árvores pequenas. Passados dois anos depois do corte o sistema volta a ser sumidoiro de  $\text{CO}_2$ , mas sem alcançar os níveis de captação de carbono de antes do corte. Tudo leva a crer que o sistema comportar-se-á como sumidoiro e num futuro próximo com níveis cada vez mais altos à medida que os eucaliptos crescerem até estabilizar em valores semelhantes aos anteriores ao corte.

Em relação ao outro objectivo principal do trabalho: comparação do método de medida do GPP: detecção remota ou método micro- meteorológico. Sempre que existirem outros métodos mais exactos, MODIS não pode ser considerado como instrumento de medição exacta de fluxos à escala local, ainda que os dados tenham um comportamento similar aos do método da covariância turbulenta, ou seja, seguem o mesmo padrão, os números são bem diferentes. Portanto deve ser considerada como uma ferramenta para conhecer a evolução do GPP ao longo do ano mas não para conhecer o seu valor. O Modis necessita ainda de uma melhor calibração.

Mas não deve ser esquecido que MODIS é uma ferramenta para ser utilizada a escala global e que seria impossível ter uma rede de estações locais que cobrisse toda a superfície terrestre, portanto deve-se lembrar a sua grande utilidade.

# Referências

- Arain M. e Restrepo-Coupe N., 2004. *Net ecosystem production in a temperate pine plantation in southeastern Canada*. Aceite para publicação em *Agricultural and Forest Meteorology*
- Correia, A., Evangelista, M., Ochoa, P., Santos Pereira, J.(2008) *O sequestro de carbono em ecossistemas de pinhal manso no sul de Portugal*. Obtido de: [www.apea.pt/xFiles/scContentDeployer\\_pt/docs/Doc141.pdf](http://www.apea.pt/xFiles/scContentDeployer_pt/docs/Doc141.pdf)
- Heinsch, F., Reeves, M., Votava, P., Kang, S., Milesi, C., Zhao, M., Glassy, J., Jolly, W., Loehman, R., Bowker, C., Kimball, J., Nemani, R., Running, S.(2003). *User's Guide: GPP and NPP (MOD17A2/A3) Products. NASA MODIS Land Algorithm*. <http://www.ntsug.umt.edu/modis/MOD17UsersGuide.pdf>
- <http://gaia.agraria.unitus.it/database/eddyproc/>
- <http://daac.ornl.gov/modisfixedsite/>
- <http://www.carboeurope.org>
- Mateus, J.(2005). *Balanços de Carbono e Vapor de Água numa Plantação de Eucalipto em Portugal*. Projecto Final da Licenciatura em Engenharia do ambiente, Universidade Técnica de Lisboa, Instituto Superior Técnico, Lisboa
- Myneni, R., Knyazikhin, Y., Glassy, J., Votava, P., Shabanov, N. (2003). *User's Guide: FPAR, LAI (ESDT: MOD15A2) 8-day Composite. NASA MODIS Land Algorithm*. <http://cybele.bu.edu/modismisr/products/modis/userguide.pdf>
- Nicholas C. Coops , Rachhpal S. Jassal , Ray Leuning , Andy T. Black , Kai Morgenstern., (2007). *Incorporation of a soil water modifier into MODIS predictions of temperate Douglas-fir gross primary productivity: Initial model development*. *Agricultural and Forest Meteorology*

- Valero Gutiérrez del Olmo, E., (2004) *El ciclo del carbono en el sector forestal*. E.U. Ingeniería Técnica Forestal de Pontevedra, Universidade de Vigo.

# **ANEXOS**

**Anexo I**

**Anexo II**

# **ANEXO I**

***Interfaces dos programas utilizados para calcular os fluxos pelo método da covariância turbulenta***

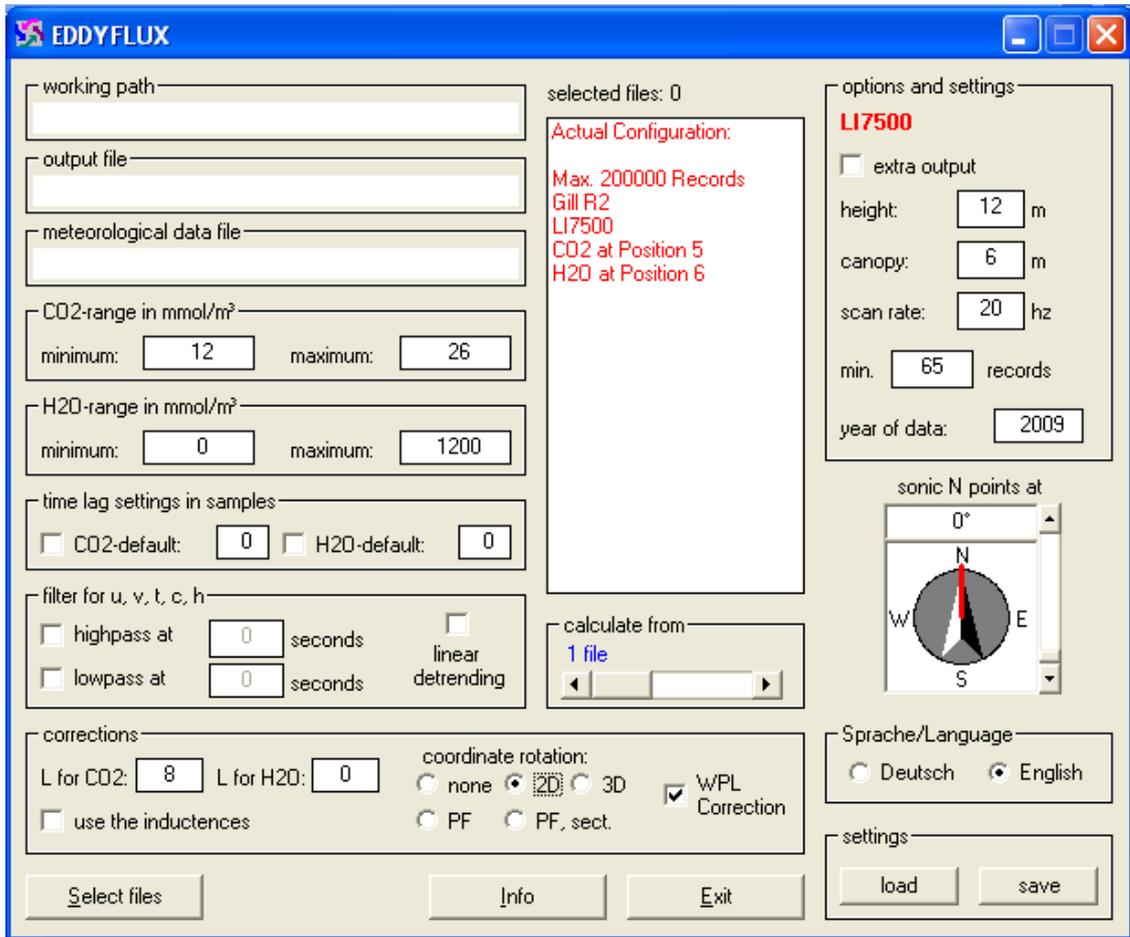


Figura 3. – Interface do programa de tratamento de dados Eddyflux. As opções seleccionadas são as que se utilizaram para tratar os dados de 2009.

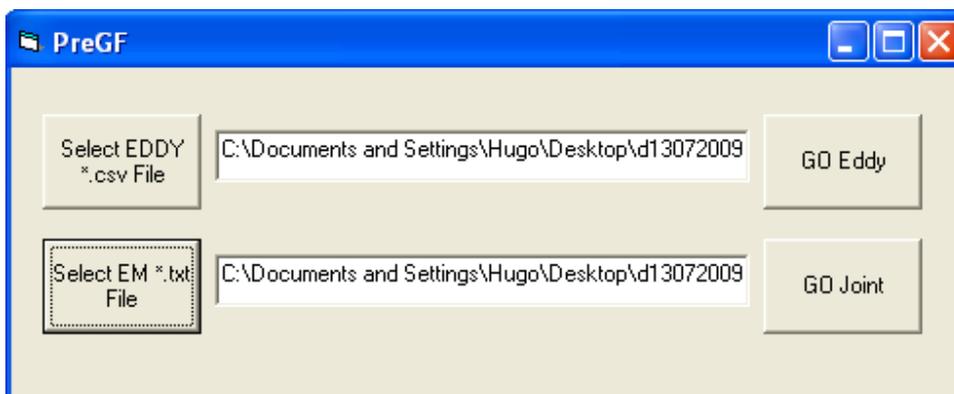


Figura 4. – Interface do programa que antecede ao Gap Filling (Pré-Gapfilling). Utilizou-se para juntar os dados meteorológicos com os fluxos.

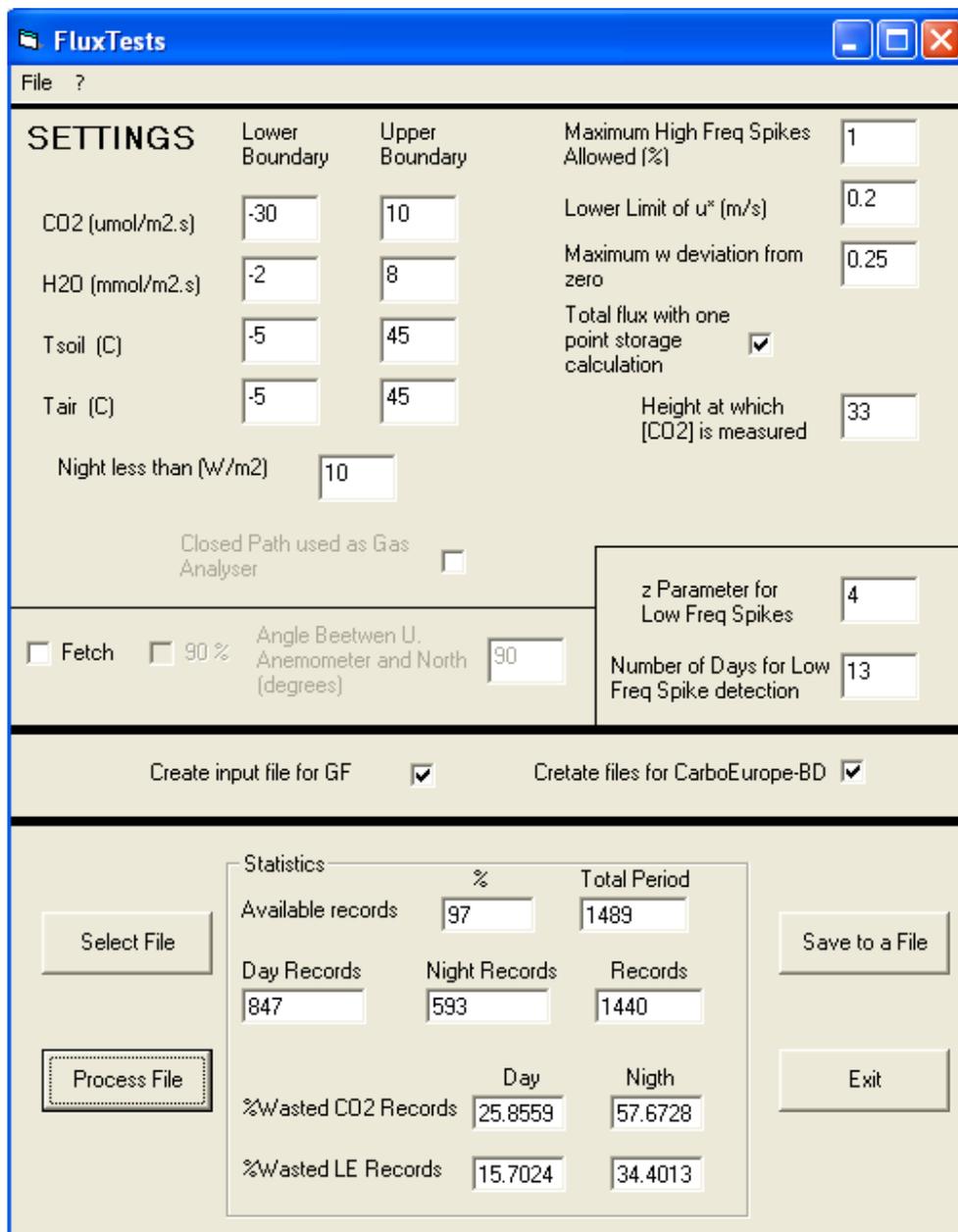


Figura 5. – Interface do programa Fluxtreat. Serve para realizar uma filtragem e qualidade das covariâncias antes de realizar o Gap Filling.

### Input form for online-processing of eddy data (gap-filling/flux-partitioning)

Please specify the file you want to gap-fill, provide the time format you are using, the year of the data set (if not included in the time format), the delimiter you are using for separating the columns and if you want to perform a  $u^*$ -filtering before gap-filling!

Data file:	C:\Documents and Settings\Hugo\Desktop\jun\junFinal_inputGF <input style="font-size: small;" type="button" value="Browse..."/>
Year:	2010 <input type="button" value="v"/>
Time format:	Day, month, year, hour, minute <input type="button" value="v"/>
Delimiter:	. <input type="button" value="v"/>
$u^*$ -filtering? :	NO <input type="button" value="v"/>
Your e-mail address:	<input style="width: 90%;" type="text"/>

**PLEASE REMEMBER:** This tool does not work with Internet Explorer and older versions of Netscape.

Please report problems to [mreichstein@bgc-jena.mpg.de](mailto:mreichstein@bgc-jena.mpg.de).

Figura 6. – Interface do programa Gap Filling disponibilizado na Internet. Só funciona com o explorador NetEscape

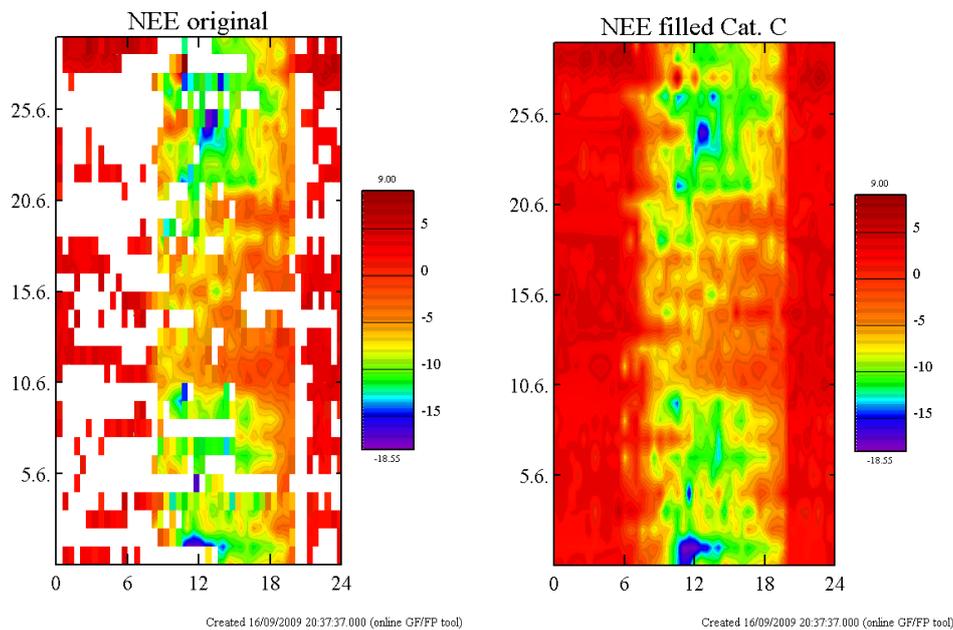


Figura 7. – Apresentação gráfica dos dados do NEE pelo programa Gap Filling. Note-se a grande quantidade de espaços vazios que são preenchidos.

## **Anexo 2**

### ***Localização do site de estudo e instrumentação***





Figura 9. – Localização do site de Espirra

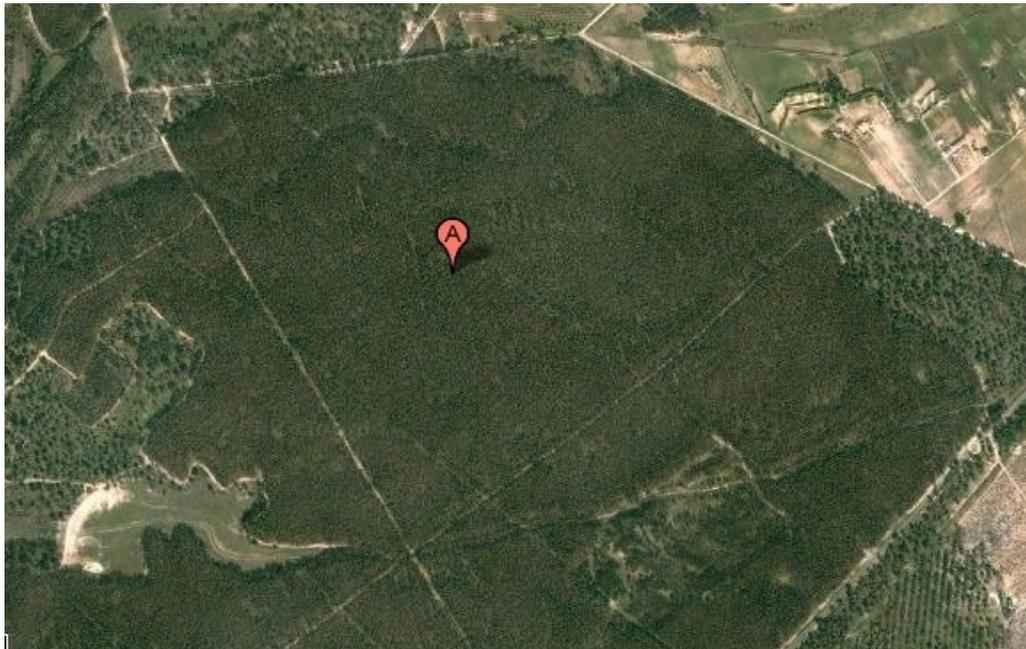
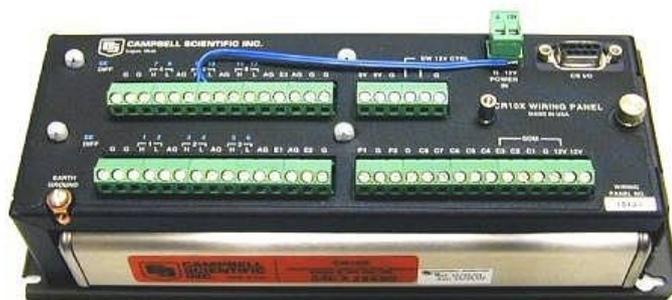


Figura 10. – Localização da torre de medição dentro do eucaliptal



Figura 11. – Torre treliçada de 33 metros de altura. Note-se que na fotografia as árvores não tinham sido cortadas.



Model CR10X (c) 2001 Campbell Scientific (Canada) Corp.

Figura 12. Data logger CR10x da Campbell Scientific para a aquisição de dados meteorológicos



*Figura 13. – Analisador das concentrações de CO<sub>2</sub> e H<sub>2</sub>O “open path” IRGA Li-7500 e anemómetro ultra-sónico Gill R2, respectivamente à esquerda e direita na fotografia*