UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO RIO DE JANEIRO
INSTITUTO DE FLORESTAS
CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA FLORESTAL

VICTOR RODRIGUES RIBEIRO

RELAÇÃO DA PRODUTIVIDADE PRIMÁRIA LIQUIDA EM ÁREAS DE PASTAGEM, REMANESCENTES FLORESTAIS E PLANTAÇÕES DE EUCALIPTOS NA REGIÃO A MONTANTE DO RESERVATÓRIO FUNIL, SÃO PAULO, BRASIL

Prof. Dr. RAFAEL COLL DELGADO
Orientador

SEROPÉDICA, RJ
JUNHO – 2015

UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO RIO DE JANEIRO
INSTITUTO DE FLORESTAS
CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA FLORESTAL

VICTOR RODRIGUES RIBEIRO

RELAÇÃO DA PRODUTIVIDADE PRIMÁRIA LIQUIDA EM ÁREAS DE PASTAGEM, REMANESCENTES FLORESTAIS E PLANTAÇÕES DE EUCALIPTOS NA REGIÃO A MONTANTE DO RESERVATÓRIO FUNIL, SÃO PAULO, BRASIL

Monografia apresentada ao Curso de Engenharia Florestal, como requisito parcial para a obtenção do Título de Engenheiro Florestal, Instituto de Florestas da Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro.

Prof. Dr. RAFAEL COLL DELGADO
Orientador

SEROPÉDICA, RJ
JUNHO – 2015

RELAÇÃO DA PRODUTIVIDADE PRIMÁRIA LIQUIDA EM ÁREAS DE PASTAGEM, REMANESCENTES FLORESTAIS E PLANTAÇÕES DE EUCALIPTOS NA REGIÃO A MONTANTE DO RESERVATÓRIO FUNIL, SÃO PAULO, BRASIL

VICTOR RODRIGUES RIBEIRO

Monografia aprovada em 18 de junho de 2015.

Banca Examinadora:

_____

Prof. Dr. Rafael Coll Delgado – UFRRJ
Orientador

_____

Msc. Kaio Allan Cruz Gasparini – INPE
Membro

_____

Mestranda Catherine Torres Almeida – UFRRJ/PPGCAF
Membro

DEDICATÓRIA

.

Dedico este trabalho a Deus
e ao meus pais e avós.

AGRADECIMENTOS

A Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro pela experiência fantástica que tive durante esses anos de graduação, a todos professores e funcionários.

Ao professor Rafael Coll Delgado, por ter sido o idealizador da monografia, pela orientação, paciência e pela amizade que foi construída ao longo desses anos.

Ao professor Alexandre Monteiro, pela oportunidade de trabalhar no programa de educação tutorial (PET- FLORESTA) e sua amizade.

Aos membros da banca, Catherine Torres Almeida e Kaio Allan Cruz Gasparini, pela contribuição valiosa nesse trabalho.

Aos meus pais pelo esforço, amor e carinho. Sem eles nunca teria conseguido alcançar mais essa etapa da minha vida.

A Marina de Carvalho Magalhães pelos momentos incríveis que passamos durante toda a graduação.

Aos grandes amigos que construí na Engenharia Florestal, pela ajuda.

A da Famílias M3 327, pelos bons anos vividos no alojamento.

RESUMO

Produção Primária Liquida (PPL) é a quantidade de carbono acumulado na biomassa da planta por unidade de espaço e tempo. A dinâmica temporal e espacial da PPL tem significantes impactos para os ecossistemas. O Vale do Paraíba é uma importante região do Brasil entre as duas áreas mais populosa do país, a vegetação natural foi a muito tempo transformada primeiro em plantações de café e após empobrecimento do solo em pastagens. O objetivo desse trabalho é estudar a taxa de PPL dos três principais tipos de uso e cobertura do solo no último setor paulista do Rio Paraíba do Sul durante 2000 a 2010. Os dados PPL foram obtidos do *Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer* (MODIS) foram usados os produtos anuais MOD17A3, um segundo produto usado foi MOD44B denominado *Vegetation Continuous Field* (VCF) que estima a porcentagem de cobertura vegetal, foi utilizado para as variáveis climáticas dados do satélite *Tropical Rainfall Measuring Mission* (TRMM) para precipitação e dados de temperatura proveniente de estação meteorológica. Os polígonos de florestas Mata Atlântica foram obtidos do site do INPE, os outros tipos foram gerados a partir de imagens com alta resolução espacial escolhendo áreas mais homogêneas de Eucaliptos e Pastagem. Na avalição dos dados de PPL foi utilizado analise de variância (ANOVA) e teste Tukey para encontrar diferenças entre a tipos de cobertura do solo. Para a VCF foi utilizado estatística não paramétrico, o teste e pós teste de Kruskal-Wallis afim de encontrar diferenças entre os tipos de cobertura. Por fim foi observado correlação de Spearman entre a PPL e o VCF de 0,816 e dados de precipitação do TRMM. A maior média de PPL foi de 1,70 kg C m^{-2} ano^{-1} e 71,96 % de cobertura vegetal enquanto que a uso e cobertura com menor média possui PPL de 0,95 kg C m^{-2} ano^{-1} e com 8,02 % de cobertura vegetal, não foi possível observar correlação entre os dados de PPL e de precipitação. Os resultados são de fundamental importância para os estudos relacionados as mudanças climáticas, observados a reações por identificar o incremento da PPL com o aumento da biomassa.

Palavras-chave: Geotecnologias, Carbono e Clima.

ABSTRACT

Net Primary Productivity (NPP) is the amount of net carbon accumulated in plant biomass per unit space and time. Temporal and spatial dynamics of NPP have significant impacts for ecosystems. The Vale do Paraiba is an important region of Brazil between the two most populated urban zones, the area of natural vegetation have long been converted into coffee plantation and after an exhausted soil fertility it was converted in a pasture. This research aimed to study the rate of NPP in the three mains type of land cover over the sector of Vale do Paraiba during 2000-2010. The NPP data was obtain from Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer (MODIS) annual NPP product named MOD17A3, and was used a second product MOD44B named Vegetation Continuous Field (VCF) that measure the percent of land cover, for the climate was used the satellite Tropical Rainfall Measuring Mission TRMM and date from meteorology station for the temperature. The polygons of land cover type Mata Atlântica was obtain from INPE and the other types were make from a high spatial resolution image for Eucaliptus plantation and for pasture. It was used analysis of variance (ANOVA) and Tukey test to find a difference between the land cover types in NPP images, For the VCF date was used a non-parametric statistic test and pos test of Kruskal-Wallis. Lastly was used a Spearman's correlation test, the correlation is 0,816. The high had an average of 1,70 kg C m^{-2} yr^{-1} with 71,96 % of land cover and the lower had 0,95 kg C m^{-2} yr^{-1} with 8,02 % of land cover, there is no correlation between NPP and the date of rain fall. The results are of fundamental importance for studies related to climate change, since it was possible to identify increased NPP and consequently increase of biomass in this region.

Keywords: Geotechnology, Carbon and Climate.

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO 1
2 OBJETIVO GERAL 2
3 OBJETIVO ESPECÍFICOS 2
4 REVISÃO DE LITERATURA 3
4.1 Produtividade primária 3
4.2 Produtividade primária em Eucaliptos 4
4.3 Mudanças Climáticas 5
4.4 Sensoriamento Remoto da vegetação 6
4.4.1 MODIS (*Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer*) 7
4.4.2 Produtos MOD17 (*Vegetative productivity from absorbed radiation*) 7
4.4.3 Produto MOD44B (*Vegetation Continuous Field*) 8
4.4.4 TRMM (*Tropical Rainfall Measuring Mission*) 8
5 MATERIAL E MÉTODOS 9
5.1 Área de estudo 9
5.2 Obtenção dos Polígonos 9
5.3 Processamento dos dados 10
5.4 Análise estatística 11
6 RESULTADOS E DISCUSSÃO 13
6.1 Produtividade Primária Líquida: 13
6.2 Porcentagem de cobertura florestal: 17
6.3 Dados climáticos 21
6.4 Utilização dos produtos MOD17A3 e MOD44B 22
7 CONCLUSÃO 24
8 REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA 25

LISTA DE TABELAS

		Pag.
Tabela 1.	PPL média para cada tipo de uso do solo no período 2000-2010.....	16
Tabela 2.	Classificação da VCF média para cada tipo de uso do solo no período 2000 a 2010.....	19

LISTA DE FIGURAS

		Pag.
Figura 1:	Área de estudo, ultimo setor paulista da bacia hidrográfica do Rio Paraíba do Sul.....	9
Figura 2:	Diagrama do pré-processamento, obtenção da imagem e dos polígonos e extração dos dados.....	11
Figura 3:	Localização da estação meteorológica de Taubaté-SP (OMM: 83784) para a série histórica de 2000 a 2012.....	12
Figura 4:	Distribuição espacial da PPL no ano na série histórica de 2000 a 2010 para a área de estudo e localização dos polígonos de Mata Atlântica (f), reflorestamento de eucalipto (e) e pastagem (p).....	13
Figura 5:	Variabilidade da PPL para os polígonos de Mata Atlântica (f), reflorestamento de eucalipto (e) e pastagem (p).....	15
Figura 6:	Produtividade Primária Líquida média dos polígonos de remanescente de Mata Atlântica (f), reflorestamento de eucalipto (e) e pastagem (p).....	16
Figura 7:	Dinâmica da porcentagem de vegetação nos anos da série histórica de 2000 a 2010 para a área de estudo, localização dos polígonos de Mata Atlântica (f), reflorestamento de eucalipto (e) e pastagem (p).....	17
Figura 8:	Média da VCF dos polígonos de remanescente de Mata Atlântica (f), reflorestamento de eucalipto (e) e pastagem (p).....	19
Figura 9:	Variabilidade da VCF para os polígonos de Mata Atlântica (f), reflorestamento de eucalipto (e) e pastagem (p).....	20
Figura 10:	Média da VCF dos polígonos de remanescente de Mata Atlântica (f), reflorestamento de eucalipto (e), reflorestamento de eucalipto modificado (e') e pastagem (p).....	21
Figura 11:	Dados de precipitação e temperatura, mensais do ano de 2009.....	22
Figura 12:	Média da PPL e VCF dos polígonos de remanescente de Mata Atlântica (f), reflorestamento de eucalipto (e) e pastagem (p).....	23
Figura 13:	Relação da PPL com VCF nos anos da série histórica de 2000 a 2010 para a área de estudo, para os polígonos de Mata Atlântica (f), reflorestamento de eucalipto (e) e pastagem (p).....	24

LISTA DE SÍMBOLOS

(PPB) Produtividade Primária Bruta;

(GPP) *Gross Primary Production*;

(PPL) Produtividade Primária Líquida;

(NPP) *Net Primary Production*;

(GEE) Gases de Efeito Estufa;

(SR) Sensoriamento Remoto;

(INPE) Instituto de Pesquisas Espaciais;

(MODIS) *Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer*;

(NASA) *National Aeronautics and Space Administration*;

(EOS) *Earth Observing*;

(MOD17A3) produto MODIS estima a produtividade primária liquida;

(MOD44B) produto MODIS estima a porcentagem de cobertura vegetal;

(IPCC) *International Panel on Climate Change*;

(RSFAA) Radiação Solar Fotossintéticamente Ativa Absorvida;

(MOD17) *Vegetative productivity from absorbed radiation*;

(IAF) índice de área foliar;

(VCF) *Vegetation Continuous Field*;

(TRMM) *Tropical Rainfall Measuring Mission*;

(JAXA) *Japan Aerospace Exploration Agency*;

(LSRACA) Laboratório de Sensoriamento Remoto Ambiental e Climatologia Aplicada;

(ANOVA) análise de variância;

(q) amplitude total;

(QMRes) é o quadrado médio do resíduo;

(r) o número de repetição, (f) remanescente de Mata Atlântica;

(e) reflorestamento de eucalipto;

(p) pastagem;

(FAL) Fazenda Água Limpa;

(e’) reflorestamento de eucalipto modificado;

(CP3_PS03) nome do setor da área de estudo.

1 INTRODUÇÃO

O Vale do Paraíba é uma região que abrange o Leste do Estado de São Paulo e Oeste do Estado do Rio de Janeiro e está localizada em área de Mata Atlântica. Devido à intensa ocupação da região do Vale do Paraíba, o bioma da Mata Atlântica apresenta-se bastante fragmentado. A região possui grande importância socioeconômica, pois o recurso hídrico decorre de um contexto onde coexistem, muito uso da água, muitos usuários, demanda crescente e qualidade degradada da água (ALBUQUERQUE FILHO et al., 2012). A história do Vale do Paraíba está intimamente ligada aos ciclos econômicos do café, quando a produção era feita através do uso extensivo do solo com grandes propriedades e cultivo para exportação. Quando o solo empobrecido apresentava deficiência nutricional os cafeicultores migravam de região. A produção de leite foi introduzida com a decadência do café, ocorrida a partir da crise econômica mundial de 1929. Ainda hoje a pecuária leiteira tem grande importância para vários municípios dessa região. Outra atividade de destaque é a silvicultura, sobretudo voltada para a indústria de papel e celulose. No Vale do Paraíba paulista uma série de condições essenciais para a inserção e desenvolvimento da silvicultura de eucaliptos foram: a) infraestrutura viária e industrial instalada adequada à produção e comercialização da matéria-prima e dos derivados de eucaliptos; b) amplo espaço territorial ocupado com formações vegetais abertas, como as pastagens antrópicas, possibilitando a substituição por plantios de eucaliptos; c) extensas áreas rurais subaproveitadas e desvalorizadas; d) proximidade com grandes centros econômicos, possibilitando a rápida ligação entre as áreas de cultivo e os locais de consumo (FREITAS JUNIOR et al., 2012). Em um sistema unilateral de mudança do uso e cobertura do solo houve a substituição da mata atlântica pelas lavouras de café que foram substituídas por pecuária extensiva e as florestas de Eucaliptos que são implantadas em pastagem degradadas.

A produção vegetal é a fonte de todos os alimentos, fibras e combustíveis disponíveis para consumo humano. A taxa em que a energia luminosa é convertida em fitomassa é denominada produtividade primária (CAMPBELL, 1990). O total de carbono fixado por um ecossistema é chamado de Produtividade Primária Bruta (PPB) (GPP - do inglês *Gross Primary Production*). A Produtividade Primária Líquida (PPL) (NPP - do inglês *Net Primary Production*) é a diferença entre a produtividade bruta e o carbono consumido durante a respiração da planta (CHAPIN III et al., 2002).

No contexto das mudanças climáticas, o enfoque para a fixação de carbono pelos ecossistemas florestais é fundamental para mitigar os danos e consequências dos seus efeitos em nível regional e global (GRACE, 2004). A quantidade de carbono nos ecossistemas terrestres é diretamente influenciada pelo uso da terra e mudanças em sua paisagem, principalmente em decorrência de atividades humanas, como a conversão da vegetação natural em áreas agrícolas ou pastagens. Assim, mudanças no armazenamento de carbono na vegetação e/ou no solo podem ter implicações significativas na concentração atmosférica de dióxido de carbono (CO_2) e outros Gases de Efeito Estufa (GEE) na atmosfera, em função da queima e/ou decomposição oriunda da retirada da floresta (SCHUMAN et al., 2002) e, dessa forma, contribuem para as mudanças do clima regional e global.

As florestas tropicais representam grande parte do carbono na forma de biomassa, sendo caracterizadas por uma alta taxa de produtividade primária, podendo-se consequentemente atribuir a estas florestas uma grande fração da produtividade global (GRACE et al., 2001). Porém, as florestas tropicais estão submetidas a grande pressão antrópica. A Mata Atlântica é um Hotspot mundial, ou seja, uma das áreas mais ricas em biodiversidade e mais ameaçadas do

planeta e também decretada reserva da biosfera pela Unesco e Patrimônio Nacional, na Constituição Federal de 1988. A composição original da Mata Atlântica é um mosaico de vegetações definidas como florestas ombrófilas densa, aberta e mista; florestas estacionais decidual e semidecidual; campos de altitude, mangues e restingas (SOS MATA ATLÂNTICA, 2014), sofreu e tem sofrido uma enorme perda florestal, com a maior parte de seus remanescentes ocorrendo na forma de pequenos fragmentos (RANTA et al., 1998), isolados e compostos por matas secundárias em estágios sucessionais de inicial a médio (METZGER et al., 2009).

O Sensoriamento Remoto (SR) é classicamente definido como a ciência que visa o desenvolvimento da obtenção de imagens da superfície terrestre por meio da detecção e medição quantitativa das respostas das interações da radiação eletromagnética com os materiais terrestres (INPE, 2015). Segundo o Instituto de Pesquisas Espaciais (INPE) o Brasil, devido às suas dimensões continentais e ao escasso conhecimento de seu território, é um dos países que mais pode se beneficiar com o uso do Sensoriamento Remoto na pesquisa e no monitoramento de seus recursos naturais renováveis e não renováveis.

Com o desenvolvimento de geotecnologias, mais campos do conhecimento começam a utilizar o SR e o desenvolvimento destas geotecnologias tem estimulado os estudos da biomassa e das produtividades primárias (ZHAO et al., 2014), no estudo da produtividade primária o sensor MODIS (*Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer*) a bordo das plataformas AQUA e TERRA representam um avanço, a U.S. *National Aeronautics and Space Administration* (NASA) *Earth Observing* (EOS) produzem regularmente uma estimativa global com resolução espacial de 1 km da PPB e uma estimativa anual da PPL (HEINSCH et al., 2003).

Diante do exposto, pela importância da área de estudo e da ausência de dados o estudo através do sensoriamento remoto apresenta grande importância no estuda da PPL e da vegetação.

2 OBJETIVO GERAL

O presente estudo, tem por objetivo produzir dados que possam servir de base para o planejamento que leve em consideração os serviços ambientais.

3 OBJETIVO ESPECÍFICOS

I. Estimar a PPL para as principais classes de uso e cobertura do solo.

II. Verificar a correlação entre a PPL e as variáveis climáticas precipitação e temperatura.

III. Verificar a correlação entre a PPL e a porcentagem de cobertura vegetal das principais classes de uso e cobertura do solo na região a montante do reservatório Funil através dos produtos MODIS (MOD17A3) e (MOD44B).

.

4 REVISÃO DE LITERATURA

4.1 Produtividade primária

A produtividade primaria é a taxa de energia solar que é convertida em biomassa através do processo de fotossíntese. O total de energia convertida é denominado Produtividade Primaria Bruta (PPB), deste total de energia se descontar a energia que é perdida durante a respiração, tense então a Produtividade Primária Liquida (PPL) (Campbell, 1990). No sistema solo-planta-atmosfera, o CO_2 entra no sistema planta através da fotossíntese, a captação do carbono atmosférico está ligada a processos onde a capacidade bioquímica fotossintética, temperatura, concentração de CO_2, radiação solar absorvida e água determinam a quantidade de fotossíntese (PURY e FARQUHAR, 1997).

A estimativa global da PPB e da PPL e suas variações é de grande importância no entendimento do funcionamento ecossistêmico e das relações entre a biosfera e a atmosfera (Hashimoto et al., 2012), É uma medida chave associada a ciclo do carbono que mede diretamente a biomassa incorporada pelos ecossistemas (ZHAO e RUNNING, 2008), A quantificação da PPL tem grande importância também uma vez estudando a energia nos ecossistemas podemos descrever e até prever a respostas desses ecossistemas a alterações e perturbações (WHITTEN et al., 1996). A relação da PPL com o ciclo do carbono não pode ser desvinculada das diferentes interações ecossistêmicas, o ciclo hidrológico, ciclo dos nutrientes, química atmosférica e até nos sistemas climáticos. O entendimento desse processo é crucial as previsões assim como para a mitigação dos impactos de mudanças ambientais (INDIARTO e SULISTYAWATI, 2014). Desse modo, a alteração da cobertura e uso do solo altera a fotossíntese e consequentemente a biomassa, mas também o ciclo de diversos nutrientes assim como o ciclo hidrológico de maneira análoga a mudança do ciclo hidrológico, disponibilidade de chuvas pode ter grande influência na PPL.

Na estação ecológica de Água Emendadas no estremo nordeste do Distrito Federal em uma área de Cerrado Denso e protegido do fogo, Miranda et al. (1997) indicou que o Cerrado se comporta como um dreno de carbono durante a estação chuvosa, porém durante a estação seca o Cerrado tem comportamento contrário sendo uma fonte de carbono para atmosfera, um padrão sazonal semelhante foi encontrado por outros pesquisadores como Santos (1998) e Silva (1999) para regiões que apresentavam clima com período chuvoso e secos bem definidos (EMBRAPA CERRADO, 2003). Observações provenientes de sítios na Amazônia como Reserva Cueiras, Reserva Jarú e Fazenda Maracai também foram encontrados valores mínimos da produtividade primaria no período seco (KELLER et al., 2004), no entanto em sítios onde o estresse hídrico é menos marcante outros fatores podem assumir papel preponderantes, de acordo com Goulden et al. (2004) e Hutyra et al. (2007) citados por Silva, F.B. (2013) observaram na Floresta Nacional do Tapajós-PA que as produtividades primárias tendem a se manter elevada também no período seco que no local coincide com o incremento da radiação solar incidente, indicando que nos sítios de estudo a radiação solar tende a ser o fator relacionado a PPB e PPL. Além das diferenças geográficas outro fator que pode ser apresentado como de grande importância está relacionado com as características de formação geomorfológicas e características do solo (HODNETT et al., 1995; JIPP et al., 1998), assim como adaptações ecológicas das próprias plantas (NEPSTAD et al., 1994), a soma desses fatores proporcionam um suporte hídrico durante o período seco (SILVA et al., 2013).

A estimativa de produtividade primária pode ser obtida por diferentes métodos. A mais antiga é por medidas destrutivas da biomassa da planta tanto acima quanto abaixo da superfície

do solo (ROY e SAUGIER, 2001), na verificação da PPL em diferentes biomas foi observado valores 12,5 t $C.ha^{-1}.ano^{-1}$ para florestas tropical, 7,7 t C/ha/ano para floresta temperadas e 5,4 t $C.ha^{-1}.ano^{-1}$ para savanas e pastagens (SAUGIER et al., 2001). Estudos realizados por Grace et al. (2001) que utilizaram o mesmo método obtiveram resultados estimados médio de PPL com 18,1 t $C.ha^{-1}.ano^{-1}$.

Outra maneira de mensurar a produtividade envolve medidas de fluxo de carbono no sistema planta-atmosfera outras técnicas utilizam modelos fisiológicos que simulam os fluxos no ecossistema originários de variáveis ambientais, modelos baseados em sensoriamento remoto, deduzindo fluxos originários do CO_2 atmosférico e o processamento destes modelos, permite a simulação da PPL de acordo com as mudanças ambientais (ROY; SAUGIER, 2001). No estudo da produtividade primária o sensor MODIS (*Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer*) representam um avanço, a *U.S. National Aeronautics and Space Administration* (NASA) *Earth Observing* (EOS) produzem regularmente uma estimativa global com resolução espacial de 1 km da PPB de oito em oito dias e uma estimativa anual da PPL (HEINSCH et al., 2003).

4.2 Produtividade primária em Eucaliptos

O cultivo de eucalipto ocupa extensas áreas com distintas características edafoclimáticas no Estado de São Paulo. A produção de biomassa de eucalipto varia entre diferentes ambientes, e as características físicas e químicas dos solos desempenham um importante papel na determinação de diferenças em produtividade (GONÇALVES et al., 1997; BARROS E NOVAIS, 1996; SANTANA et al., 1999), segundo Associadas individuais e coletivas da ABRAF (2013) a área total plantada com espécies do gênero *Eucalyptus* no estado de São Paulo é de 1.041.695 ha e no Brasil chega a 5.102.030 ha esse sucesso se dá elevada eficiência nutricional em razão de sua maior capacidade de translocação de nutrientes em relação a outras espécies florestais e capacidade de adaptação a situações de déficit hídrico apresentada por algumas espécies desse gênero (OLIVEIRA NETO et al., 2003). As principais caraterísticas do eucalipto são plasticidade, crescimento rápido, variações nas propriedades da madeira. Para a aquisição de celulose é a espécie mais usada devido a sua adaptabilidade a diferentes condições do clima e do solo. O tempo em idade de corte bem menor devido a seu rápido crescimento em comparação com outras culturas florestais (OLIVETTI NETO, 2007).

O Brasil na atualidade é detentor da melhor tecnologia em implantação, condução e colheita de florestas de eucalipto (COUTO et al., 2002), que estão entre os ecossistemas com maior produtividade do mundo (SILVA e MATOS, 2003). Deste modo espera-se que este setor contribua na absorção de gás carbônico da atmosfera. Essa biomassa possui diversos fins como a produção de papel e celulose como energia renovável sendo um dos mais importantes produtos usados para o uso das siderúrgicas de ferro-gusa no Brasil, trocando as energias de base fóssil, para plantações energéticas que absorvem grandes quantidades de gás carbônico durante seu crescimento (ECHEVERRI VERGARA, 2013). Diante da crise energética enfrentada pelo país os plantios de plantas do gênero *Eucalyptus* se apresentam como alternativa graças a alta produtividade primária alcançada. Echeverri Vergara (2013) em estudo realizado em um plantio de eucalipto localizado na Reserva Ecológica e Experimental da Universidade de Brasília, Fazenda Água Limpa (FAL), realizou a modelagem do sequestro de carbono em plantações de Eucalipto para fins energético, nas plantações de eucalipto ($m^3.ha^{-1}.ano^{-1}$ de madeira seca), utilizando como base o fator de conversão: 0,5 toneladas de carbono por tonelada de biomassa seca transformando assim para a unidade convencional de PPL de

grama de carbono por m² ano. Chegando a um valor que representa a fração média de carbono na biomassa lenhosa seca das florestas plantadas, tomando como base uma produtividade de 40 $m^3.ha^{-1}.ano^{-1}$ chegou a um valor de PPL por hectare por ano é de 10 t $C.ha^{-1}.ano^{-1}$. O fato das plantações de Eucaliptos serem implantadas em áreas predominantes ocupadas por pastagens degradas que são muito susceptíveis a queimadas aumenta a importância desta classe de uso e cobertura do solo no contexto do Vale do Paraíba.

4.3 Mudanças Climáticas

O aquecimento global é o aumento da temperatura do globo terrestre, que é causado principalmente pela intensificação do efeito estufa. A origem do aquecimento global de procedência antropogênica, está relacionada com o aumento da concentração dos Gases de Efeito Estufa (GEE) na atmosfera, dos quais o dióxido de carbono – CO_2 é o mais abundante (NOBRE et al., 2010). A quantidade de carbono atmosférico teve um considerado após a revolução industrial, o uso dos combustíveis fosseis tem contribuído para essa elevação da temperatura do planeta. A década passada foi a mais quente do último século e esse século foi o mais quente do último milênio (LIMA, L. S., 2009). O Painel Intergovernamental de Mudanças Climáticas (*International Panel on Climate Change* - IPCC) concluiu no seu Terceiro Relatório de Avaliação (IPCC, 2001), que a temperatura média da atmosfera tem aumentado em 0,6ºC + 0,2ºC durante o século XX mostrado que entre 1900 e 2100 a temperatura global pode aquecer entre 1,4 e 5,8ºC, o que representa um aquecimento mais rápido do que aquele detectado no século XX. Os modelos globais do IPCC têm apresentado uma tendência que aparentemente, não possui precedentes durante, pelo menos, os últimos 10.000 anos (MARENGO, 2006; ASSIS et al., 2012).

Fatores como o desmatamento e o mau uso dos ecossistemas, potencializam os efeitos no sistema climático global. Em áreas vulneráveis com ecossistemas frágeis, os impactos devem ser mais intensos, devido a soma das ações antrópicas tais como desmatamento do bioma e sobretudo o mau uso do solo nos ecossistemas locais (SANTOS e BRITO, 2007). Neste contexto o balanço de carbono merece atenção devido ao papel que alguns gases que contêm esse elemento desempenham no processo de mudanças ambientais, principalmente no aquecimento global da atmosfera. O conhecimento da quantidade de carbono armazenado nos diferentes reservatórios é fundamental para o estudo e a compreensão de outros processos envolvidos nos fluxos de energia e da água (FEARNSIDE, 1996; KUNTSCHICK, 2004; NASCIMENTO, 2009). Neste cenário uma alternativa vem sendo discutida como uma opção viável para solucionar, em parte, a emissão de carbono na atmosfera: o sequestro de carbono atmosférico. Essa retirada do gás carbônico da atmosfera que ocorre no processo de fotossíntese da vegetação, alternativa essa que tem recebido apoio. O método alternativo baseado no sequestro e armazenamento de carbono é conhecido como Produção Primária Líquida (PPL). A PPL corresponde à produção de substâncias que entra na constituição do organismo, ou seja, é toda a energia que os produtores armazenam a partir da fotossíntese menos o que eles gastam na respiração (NASCIMENTO et al., 2009).

No processo de mudança do uso e cobertura do solo estão associados com a mudança das emissões de carbono (WEST et al., 2008). O sistema floresta-clima é complexo e interligado, exigindo melhor compreensão de como funciona e de como pode mudar no futuro devido aos impactos da ação do homem, inclusive mudanças climáticas e no uso da terra (MARENGO et al., 2011). As florestas têm papéis importantes na mudança do clima pois constituem importantes drenos de carbono da atmosfera, em estudo realizado na ilha de Java

Indiarto e Sulistyawati (2014) encontraram os valores mais altos de PPL para as florestas ombrófilas densas com PPL de 1,22 kg.C.m^{-2}.ano^{-1} enquanto que as classes de culturas agrícolas obtiveram uma PPL de 0,836 kg.C.m^{-2}.ano^{-1}. A alta produtividade das florestas quando gerenciada de uma forma sustentável apresentam-se como alternativa a utilização dos combustíveis fósseis, já que contribuem com absorção das emissões de gás carbônico em sua biomassa, nos solos e nos produtos delas derivadas (ECHEVERRI VERGARA, J. D. 2013). De maneira análoga uma vez que as florestas tropicais representam grande parte do carbono na forma de biomassa, sendo caracterizadas por uma alta taxa de produtividade primária, podendo-se consequentemente atribuir a estas florestas uma grande fração da produtividade global (Grace et al., 2001), a emissão de CO_2 pela mudança no uso da terra nos trópicos contribui de 1,6 a 2,4 Gt de carbono que são transferido da vegetação para atmosfera em cada ano (SCHIMEL, 1995; HOUGHTON, 1999; FEARNSIDE, 200; GRACE et al.,2001; FELSEMBURGH, 2009). No contexto das mudanças climáticas a PPL relacionada com as classes de cobertura do solo e com o clima possui um papel chave para estimativa dos estoques de carbono, e predição para planejamento do uso e cobertura do solo que leva em consideração os GEE em especial o CO_2. A fragmentação expõe a floresta a pontos de ignição de incêndios que são gerados principalmente pela ação do homem. Por certo, incêndios naturais também ocorrem e influenciam a transição de floresta para savana em um modelo simplificado de clima-vegetação-incêndio a floresta natural penetraria na savana (MARENGO et al., 2011), no contexto do Vale do Paraíba as queimadas são problemas recorrentes, fator que que dificulta muito a regeneração das florestas naturais e liberam para atmosfera o carbono que estava na forma de biomassa.

4.4 Sensoriamento Remoto da vegetação

Historicamente, reconhece-se que o termo Sensoriamento Remoto (SR) foi criado para designar o desenvolvimento da tecnologia de instrumentos capaz de obterem imagens da superfície terrestre a distâncias remotas. Sendo classicamente definida como: A ciência que visa o desenvolvimento da obtenção de imagens da superfície terrestre por meio da detecção e medição quantitativa das respostas das interações da radiação eletromagnética com os materiais terrestres (MENEZES e ALMEIDA, 2012). Os dados de SR são capazes de capturar as mudanças da cobertura vegetal através monitoramento de serie temporal, sendo confiável e possuindo grande capacidade para pesquisa a respeito de diferentes campos do conhecimento (ZAKARIA, 2010).

O Brasil, devido às suas dimensões continentais e ao escasso conhecimento de seu território, é um dos países que mais pode se beneficiar com o uso do SR na pesquisa e no monitoramento de seus recursos naturais renováveis e não renováveis (INPE, 2015). No Brasil, a aplicação das técnicas de SR no estudo da vegetação teve início com os primeiros mapeamentos temáticos realizados na década de 1940, feitos a partir de fotografias aéreas, período marcado pelo projeto Radambrasil. No campo do sensoriamento orbital, as análises foram realizadas com imagens obtidas por sensores colocados abordo dos satélites da série Landsat, que operavam em outras regiões espectral (PONZONI et al., 2012).

Em meados da década de 1980 surgiram as primeiras iniciativas de mapeamento extensivo da cobertura vegetal, as imagens florestais serviram para identificação de áreas a serem amostradas em campo e quantificação da superfície ocupadas por cobertura florestal plantada; mapeamento os remanescentes florestais da mata atlântica e estimativa do desflorestamento bruto na Amazônia além dos usos agrícolas de grande importância econômica

como cana-de-açúcar e feijão (PONZONI et al., 2012). Segundo mesmo autor na década de 1990 as pesquisas com SR da vegetação passaram de ênfase mais qualitativo de identificação e diferenciação para um caráter mais qualitativo, enfatizando as correlações entre parâmetros geofísicos do meio ambiente e/ou biofísico da vegetação como o índice foliar e a biomassa. Atualmente as imagens de SR obtidas por satélite de observação da Terra são ferramentas eficazes para monitorar a superfície terrestre e têm permitido avaliar o processo de mudança de uso e cobertura da terra ao longo das últimas quatro décadas em escalas nunca antes observadas na história (http://world.time.com/timelapse/). O caráter sinóptico e repetitivo de aquisição destas imagens, aliado a indicadores ecológicos e a parâmetros biofísicos da vegetação, permite realizar análises integradas de dados e desenvolver modelos explicativos e preditivos úteis aos tomadores de decisão (HAGEN et al., 2012; WASHINGTON-ALLEN et al., 2008; AGUIAR, 2013).

4.4.1 **MODIS (*Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer*)**

O MODIS é um sensor que está a bordo das plataformas orbitais Terra (EOS AM) que foi lançado com sucesso em 18 de dezembro de 1999, o segundo sensor foi lançado a bordo da plataforma Aqua (EOS PM) no dia 4 de maio de 2002. Estes satélites pertencentes a EOS (*Earth Observing*) e foram lançados com a missão de coletar dados inéditos dos fenômenos terrestre, atmosféricos e oceânicos (NASA, 2015).

O satélite TERRA possui uma orbita de norte a sul e cruza a linha do equador de manhã, o satélite AQUA possui orbita de sul a norte e cruza a linha do equador de tarde. Os sensores MODIS cobre toda a superfície da terra de cada um ou dois dias, adquirindo dados alta resolução radiométrica de 12 bits com 36 bandas espectrais que varia de 0,4 µm a 14,4 µm, a resolução espacial varia sendo nas bandas 1-2 de 250 metros nas bandas 3-7 de 500 metros e de 8-36 de 1000 metros. A varredura é feita a mais ou menos 55 graus com orbita a 705 km com faixa imaginada de 2.330 km (NASA, 2015).

Os dados oriundos têm como missão melhorar o entendimento da dinâmica global dos processos que ocorrem na terra, no oceano e na baixa atmosfera, o MODIS vem assumindo um papel muito importante em escala global (NASA, 2015). No estudo da produtividade primária o sensor MODIS representam um avanço, a *U.S. National Aeronautics and Space Administration* (NASA) *Earth Observing* (EOS) produzem regularmente uma estimativa global com resolução espacial de 1 km da PPB e uma estimativa anual da PPL. O algoritmo é baseado na ideia da relação da conservação entre a Radiação Solar Fotossintéticamente Ativa Absorvida (RSFAA) e a Produtividade Primária Líquida (PPL) proposta por Monteith em 1972 e ficou conhecida como a lógica da "eficiência do uso da radiação" que combina as restrições meteorológicas com radiação solar local e as restrições ecológicas que relaciona a quantidade de área foliar capaz de absorver energia solar (HEINSCH et al., 2003).

4.4.2 **Produtos MOD17 (*Vegetative productivity from absorbed radiation*)**

Estudos recentes com produto MOD17 tem sido utilizado para comparar os valores de PPB e PPL com outros métodos, Wang et al., 2014 que comparou a estimativa da PPB de três diferentes métodos no sudeste asiático encontrando uma maior acurácia para o PPB do NDVI3G do que a PPB do NDVI1G que foi comparável ao PPB do MOD15 que diz respeito ao índice de área foliar, Os resultados foram validados usando PPB dados no terreno a partir de torres de fluxo de carbono, situados em diferentes biomas florestais bem como os produtos MOD17A2. Os produtos MOD17 foi utilizado também associados a outros produtos do MODIS como MOD11A2 produto do sensor MODIS que mede a temperatura na superfície terrestre e

MOD15A2 produto do sensor MODIS que mede a fração de radiação fotossintéticamente ativa e índice de área foliar (IAF) no monitoramento da dinâmica da produtividade primária liquida na ilha de Java. O MOD17A3 foi utilizado recentemente para a mensuração da PPL para as principais classes de uso e cobertura do solo para região montante ao reservatório funil (RIBEIRO et al., 2015)

4.4.3 **Produto MOD44B (*Vegetation Continuous Field*)**

MOD44B é denominado de *Vegetation Continuous Field* (VCF), é destinado ao estudo da dinâmica da vegetação. O produto tem a finalidade de estimar o percentual da cobertura florestal com resolução espacial de 250 m a nível global. Os dados do VCF são utilizados para inúmeros estudos, tais como, biogeoquímicos, manejo de ecossistemas, análise ambiental, entre outros (TOWNSHEND et al., 2001). Recentemente tem sido utilizado para estudos de dinâmica de vegetação, Morton et, al. 2005 utilizaram o produto MOD44b com finalidade de observar o desmatamento na região amazônica, em um estudo recente em Plácido de Castro, AC a análise do produto MOD44B ao longo de 11 anos para a espécie Tectona grandis L. f. apresentou consistência quanto ao crescimento da cobertura da vegetação nesta área de estudo (VILA NOVA et al. 2013). O Produto foi também utilizado para estudo da dinâmica da vegetação no município de Piquete-SP (RIBEIRO et al., 2014) e para avaliação da recuperação em áreas nativas desmatadas (SANTOS, 2014). O produto estima a porcentagem de vegetação, esses resultados podem ser relacionados com altura do estrato arbóreo como nos estudos citados.

4.4.4 **TRMM (*Tropical Rainfall Measuring Mission*)**

Um avanço na área de SR em nível orbital é o satélite Tropical Rainfall Measuring Mission (TRMM), destacando-se no fornecimento de dados da precipitação nas regiões intertropicais do planeta (HUFFMAN et al., 2007). O TRMM é uma missão conjunta entre a NASA (*U.S. National Aeronautics and Space Administration)* e a JAXA (*Japan Aerospace Exploration Agency*) com o intuito de medir a distribuição e variabilidade da precipitação possibilitando um melhor entendimento do ciclo da água no nosso sistema climático atual. O TRMM foi lançado em 1997 e fornece desde então muitas informações sobre precipitação para regiões tropical e subtropical que associadas com temperatura ajuda a entender a circulação atmosférica que molda tanto o clima quanto o tempo (NASA, 2015).

O TRMM tem sido utilizado em diversos estudo, por vezes foi utilizado na estimativa da precipitação com em um estudo feito por Nóbrega et al., 2008 onde o autor analisou a estimativa da precipitação comparando com os dados de seis estações meteorológicas em uma sub-bacia da Amazônia ocidental encontrando uma correlação satisfatória. No entanto os dados têm maior importância para regiões onde não existem estações meteorológica, em estudo da ilha de Java os dados de precipitação do TRMM foram utilizados juntamente com dados do sensor MODIS o MOD11A2 de temperatura da superfície terrestre e MOD16A3 produto que gera estimativa de evapotranspiração (INDIARTO e SULISTYAWATI, 2014). Os dados provenientes do TRMM segundo Oliveira-Júnior et al., 2014 são uma boa alternativa para o preenchimento de falhas e homogeneidade dos dados de precipitação tanto em estações meteorológicas automáticas quanto em estações convencionais, auxiliando na avaliação espacial e temporal de dados em regiões desprovidas de dados consistentes.

5 MATERIAL E MÉTODOS

5.1 Área de estudo

A área de estudo possui 2.294 km² e está localizada a montante do reservatório Funil no último trecho paulista do Rio Paraíba do Sul, com latitude variando de 22° 48’ 24,44” S a 22° 28’ 24,90” S e longitude variando de 45° 16’ 32,26” O a 44° 42’ 59,05” O. O uso e cobertura do solo, segundo o Plano da Bacia Hidrográfica do Rio Paraíba do Sul (Figura 1), O relevo da região tem influência no clima podendo ser dividido em dois tipos de acordo com a metodologia de Köppen, no vale há predomina o clima cwa, que é caracterizado por verões quentes e tem como traço essencial a presença de estação seca no inverno, clima que predomina na região do reservatório de Funil, nas encostas da Serra da Mantiqueira é predominante o tipo cbf que é caracterizado por verões brandos e pluviosidade intensa inclusive no inverno, com redução progressiva da temperatura e aumento da altitude (RIO DE JANEIRO, 1997).

Figura 1: Área de estudo, ultimo setor paulista da bacia hidrográfica do Rio Paraíba do Sul.

O uso e cobertura do solo na região de acordo com o Plano da Bacia Hidrográfica do Rio Paraíba do Sul existe na região predomínio de campos antrópicos (57,6%) áreas caracterizadas por pastagem usadas para pecuária, floresta (36,2%) remanescentes de mata atlântica em diferentes estágios de renegação e associados a regiões de relevo acidentado e reflorestamento (2%) sendo predominante a cultura do Eucalipto sobretudo para fins de produção de papel e celulose.

5.2 Obtenção dos Polígonos

Para cada uma dessas classes foram delimitados polígonos representativos do tipo de uso e cobertura do solo. Os polígonos referentes aos remanescentes de Mata Atlântica foram

adquiridos em formato *shape file* do Instituto de Pesquisas Espaciais (INPE), no endereço mapas.sosma.org.br. Já os polígonos de plantações de eucalipto e de pastagem foram gerados a partir de imagens de alta resolução espacial através do software Google Earth em um processo manual levando em conta as maiores áreas continuas com maior homogeneidade aparente, foram feitos então dois polígonos de pastagem P1 com 28,82 km^2 e P2 com 11,21 km^2, e cinco polígonos com florestas plantadas de eucaliptos E1 com 5,93 km², E2 com 3,39 km², E3 com 5,74 km², E4 com 13 km² e E5 com 13,81 km², optou se por um número maior de polígonos para Eucaliptos pois esse tipo de classe de cobertura do solo possui as menores área continua. Todos os polígonos foram extraídos em formato KML e, posteriormente, observados em campo, esses polígonos foram então convertidos do formato KML para *shapefile* no ArcGIS 10.2.1 através da ferramenta *Arctoolbox*, *conversion Tools*, *KML to Layer*.

5.3 Processamento dos dados

Para a determinação da PPL e do VCF no período de 2000 a 2010, utilizou-se o produto MOD17A3 e MOD44b respectivamente, oriundo do sensor MODIS. Estes produtos fornecem uma composição anual da PPL e do VCF sendo que a resolução espacial da PPL é de 1 km, enquanto que do VCF é de 250 m, ambos os produtos foram obtidos no endereço www.glovis.usgs.gov/. Os dados do MODIS foram pré-processados com o algoritmo MODIS *Reprojection Tool* (MRT), a fim de transformar o formato de HDF para GEOTIFF e a projeção Sinusoidal para UTM WGS 84. As imagens são então processadas, pois para a correta visualização e interpretação do produto é necessário a conversão da escala digital da imagem para valor biofísica que é a quantidade de carbono absorvido (kg C m^{-2}) o fator de escala é o ganho do produto do MODIS e o valor digital é o valor numérico do pixel.

$$\text{Valor Biofísico do Pixel} = \text{Fator de escala} \times \text{Valor digital} \qquad \text{(Equação 1)}$$

O processo que é realizado através da ferramenta *Arctoolbox*, *Map Algebra*, *Raster Calculator*. O fator de escala segundo o manual do usuário (MOD17A2/A3) é de 0,0001. Essa operação foi realizada para todos os anos da série histórica de 2000 a 2010.

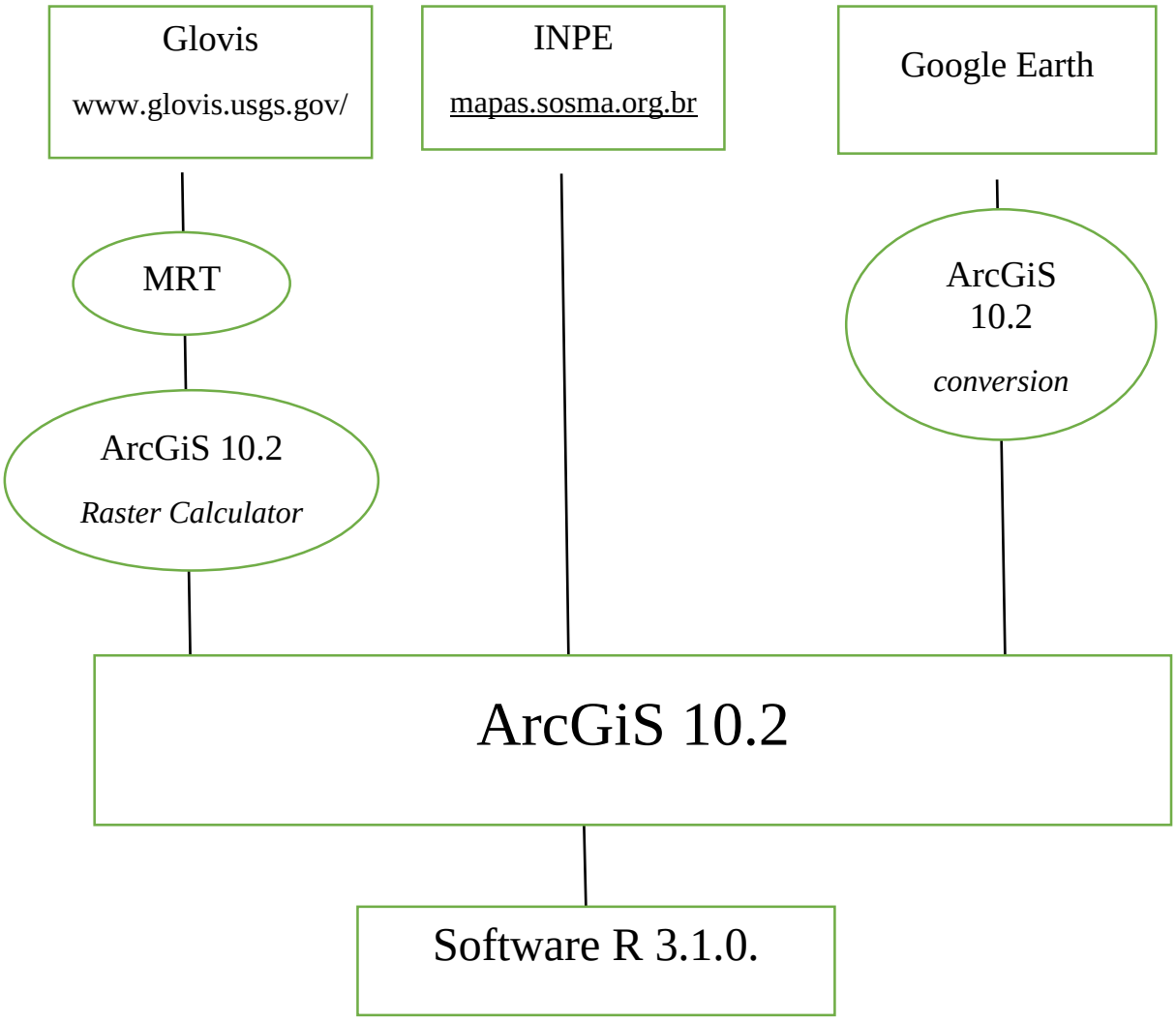


Figura 2: Diagrama do pré-processamento, obtenção da imagem e dos polígonos e extração dos dados.

Para todos os polígonos, as imagens dos produtos MOD17A3 e MOD44b de cada um dos anos de estudo, foram extraídos em forma de máscara através da ferramenta *Arctool box, spatial analyst tools, Extract by mask.* A partir das máscaras pode-se extrair as estatísticas descritivas: média, valor máximo e mínimo e desvio padrão da PPL em *Layer Properties, Source*. Todos os dados foram processados no Laboratório de Sensoriamento Remoto Ambiental e Climatologia Aplicada (LSRACA) da Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, através do software ArcGIS 10.2.1.

5.4 Análise estatística

A fim de constatar se existia diferença significativa entre as médias da série histórica de 2000 a 2010 para os polígonos dos diferentes tipos de cobertura do solo, procedeu-se com a análise de variância (ANOVA) e teste de Tukey tanto para PPL. Foram verificados os pressupostos de normalidade (teste de Shapiro-Wilk) e homocedasticidade dos dados (teste de Bartlett). Considerou-se para todas as análises o nível de significância de 5%. Para realizar as análises estatísticas, utilizou-se o software estatístico R, versão 3.1.0.

$$\Delta = q\sqrt{\frac{QMRes}{r}} \qquad \text{(Equação 2)}$$

Em que, q é a amplitude total, QMRes é o quadrado médio do resíduo e r o número de repetição.

Para os dados VCF foi realizado o teste de Kruskal-Wallis, pois os dados não apresentaram homocedasticidade pelo teste de Bartlett, após o teste foi aplicado o teste de pós Kruskal-Wallis do pacote *Agricolae* do software estatístico R, versão 3.1.0.

Os dados de porcentagem de cobertura vegetal VCF foram classificados de acordo com a metodologia proposta por Vilanova et al. (2013), como: Extremamente Baixo (0% a 5%), Muito Baixo (5% a 17%), Moderadamente Baixo (17% a 35%), Moderadamente Alto (35% a 54%), Muito Alto (54% a 71%) e Extremamente Alto (71% a 89%).

Foi realizada um teste de correlação entre as variáveis PPL e VCF, como a série de dados é relativamente pequena foi utilizado o teste de correlação de Spearman no software estatístico R, versão 3.1.0.

Os dados do satélite TRMM de precipitação do produto 3B43 (http://mirador.gsfc.nasa.gov/cgibin/mirador/presentNavigation.pl?), com resolução espacial de aproximadamente 30 km e resolução temporal mensal, foram convertidos para valores mensais e anuais de 2000 a 2012, sendo obtidos no seguinte endereço eletrônico: http.www.mirador.gsfc.nasa.gov/collections/TRMM_3B43_007.shtml (TRMM, 2014). O processamento do produto foi semelhante, foi extraído mascarar para cada ano da série histórica, porém dada a resolução espacial as máscaras foram extraídas para o polígono da região montante ao reservatório Funil. Foi seguida metodologia proposta por Oliveira-Junior (2014).

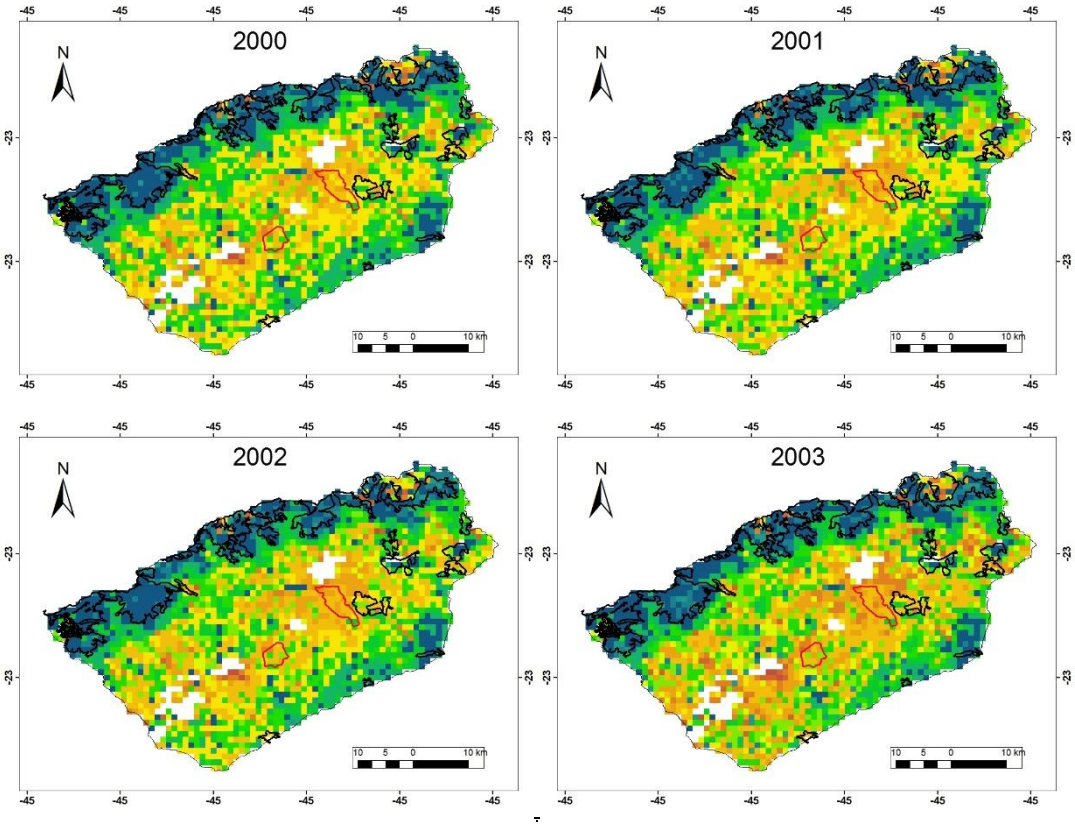
Os dados de temperatura e pluviosidade foram adquiridos no da estação meteorológica de Taubaté-SP (OMM: 83784) localizada na latitude -23,03°, longitude -45,55 e altitude 577,00 metros no endereço eletrônico: http://www.inmet.gov.br/portal/index.php?r=bdmep/bdmep para a série histórica de 2000 a 2012.

Figura 3: Localização da estação meteorológica.

6 RESULTADOS E DISCUSSÃO

6.1 Produtividade Primária Líquida:

A distribuição espacial da Produtividade Primária Líquida na região do reservatório Funil, para todo o período avaliado, mostrou que as regiões de maior produtividade estão localizadas em área de Mata Atlântica, enquanto que as de menores produtividades coincidem com regiões de pastagem (Figura 4). A PPL apresentou baixa variabilidade durante o período de estudo para todos os polígonos avaliados, demonstrando não ocorrer um aumento da produtividade entre 2000 e 2010 (Figura 5).



... continua

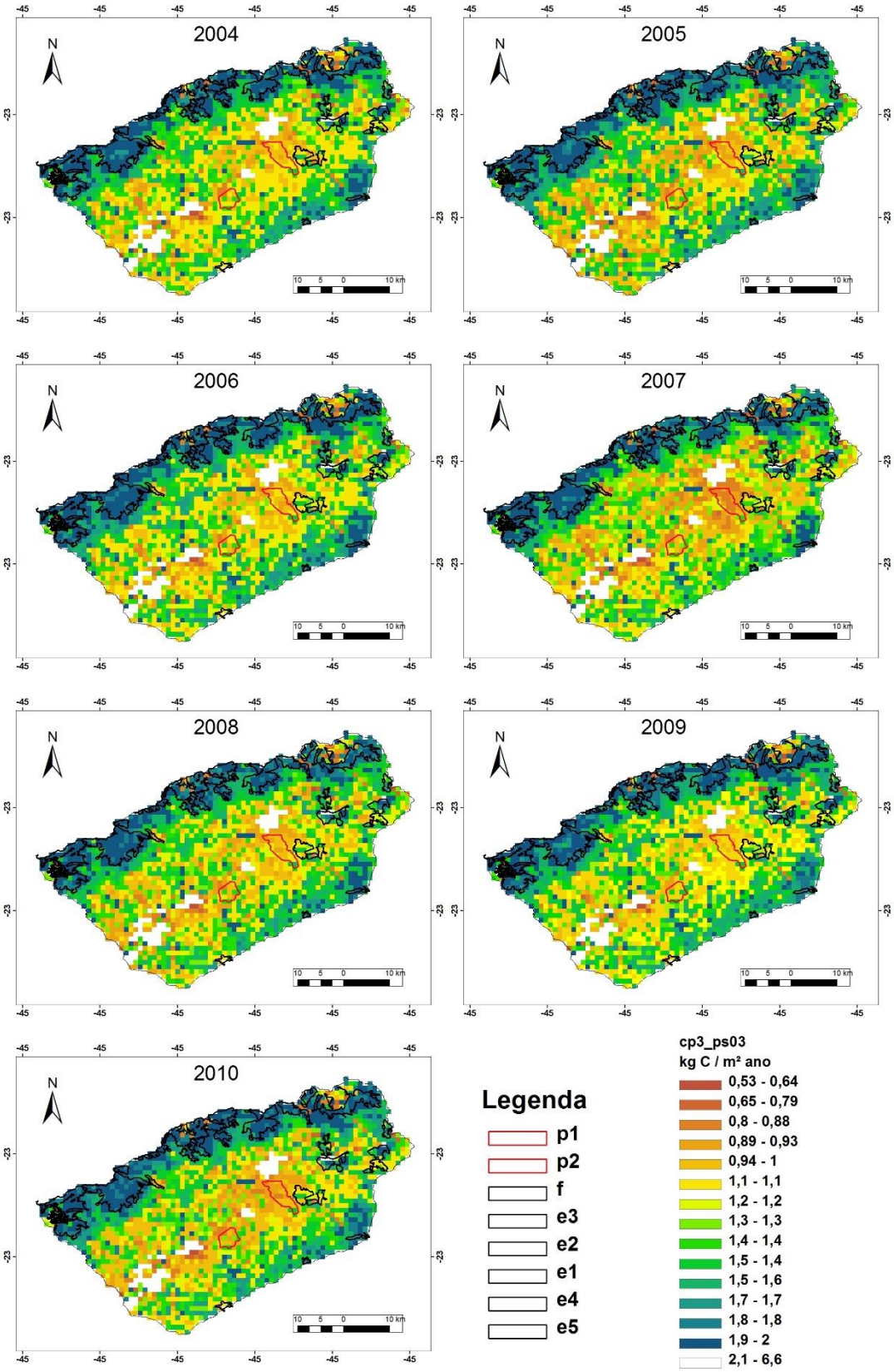


Figura 4. Distribuição espacial da PPL no ano na série histórica de 2000 a 2010 para a área de estudo e localização dos polígonos de Mata Atlântica (f), reflorestamento de eucalipto (e) e pastagem (p).

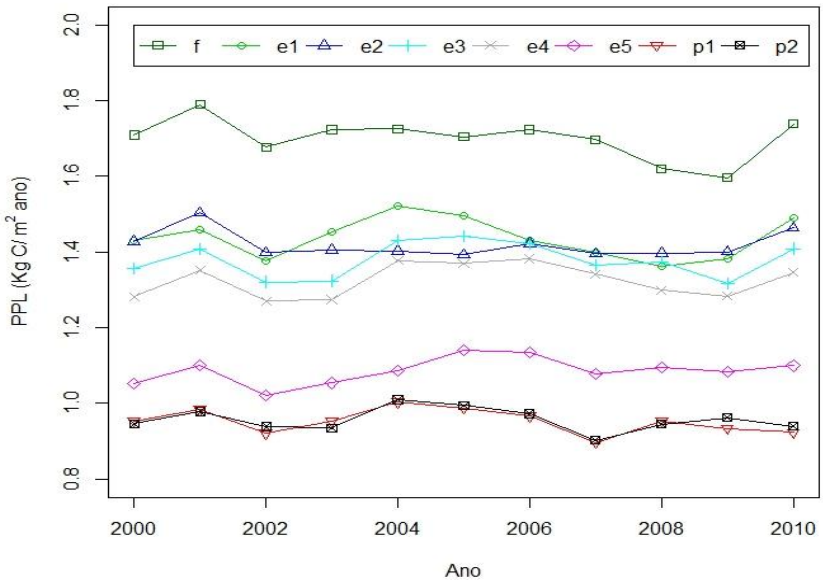


Figura 5. Variabilidade da PPL para os polígonos de Mata Atlântica (f), reflorestamento de eucalipto (e) e pastagem (p).

Os valores médios de PPL do período de 2000 a 2010 foram maiores para os remanescentes florestais (1,70 kg C m^{-2} ano^{-1}), intermediários para os cinco polígonos de eucalipto (de 1,44 a 1,09 kg C m^{-2} ano^{-1}) e os menores valores observados foram os de pastagem (0,95 e 0,96 kg C m^{-2} ano^{-1}) (Figura 6). A análise de variância para as médias da PPL nas diferentes classes de cobertura do solo demonstrou existir diferença significativa entre ao menos duas classes de uso do solo (p-valor = 2,2 e^{-16}). Os resultados do teste de Tukey mostraram que o polígono referente à Mata Atlântica apresentou PPL média superior e significativamente diferente de todos os outros tipos de uso do solo (Tabela 1).

Os polígonos de pastagem se diferenciaram estaticamente dos demais polígonos (p-valor < 0,05), porém não se diferenciaram entre si. Estes resultados confirmam que a utilização do solo para produção de pastagem produz baixa PPL, de forma que o reflorestamento destas áreas com eucalipto ou espécies nativas contribui para o aumento da PPL e, consequentemente, para a mitigação do efeito estufa e ciclagem de nutrientes.

A PPL média dos reflorestamentos de Eucalipto apresentou variação entre os diferentes polígonos, sendo que o polígono denominado Eucalipto 5 foi o que apresentou menor PPL 1,09 kg C m^{-2} ano^{-1}, com diferença significativa dentre os demais para esta classe (Figura 6 e Tabela 1). O polígono denominado Eucalipto 1 com PPL de 1,44 kg C m^{-2} ano^{-1} não apresenta diferença estatística do polígono Eucalipto 2 que possui PPL de 1,42 kg C m^{-2} ano^{-1} e possuindo uma PPL estatisticamente maior dos demais polígonos de Eucalipto. O polígono Eucalipto 2 também não apresentou diferença do polígono Eucalipto 3 que possui PPL de 1,38 kg C m^{-2} ano^{-1} possuindo PPL estatisticamente maior as dos polígonos Eucalipto 4 que possui PPL de 1,33 kg C m^{-2} ano^{-1} e não é diferente do polígono Eucalipto 3. Estas diferenças entre as plantações de eucalipto podem estar relacionadas com a época de implantação e idade dos povoamentos e, sobretudo, com as condições de sítio.

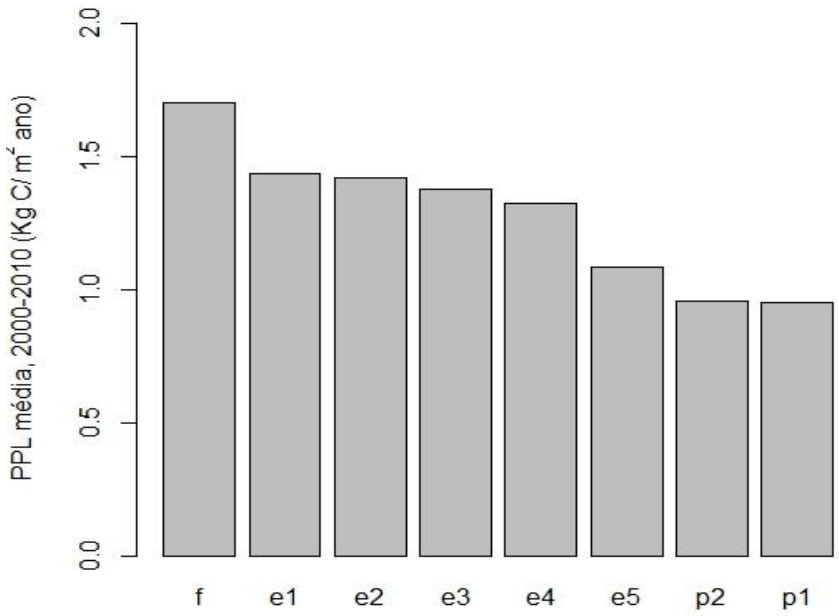


Figura 6. Produtividade Primária Líquida média dos polígonos de remanescente de Mata Atlântica (f), reflorestamento de eucalipto (e) e pastagem (p).

Tabela 1. PPL média para cada tipo de uso do solo no período 2000-2010.

Cobertura	**Área (Km²)**	**PPL média (kg C m^{-2} ano^{-1}) 2000-2010**
Floresta	266,00	1,70 a
Eucalipto1	5,93	1,44 b
Eucalipto2	11,20	1,42 bc
Eucalipto3	5,73	1,38 cd
Eucalipto4	13,00	1,33 d
Eucalipto5	13,80	1,09 e
Pastagem1	20,80	0,95 f
Pastagem2	11,40	0,96 f

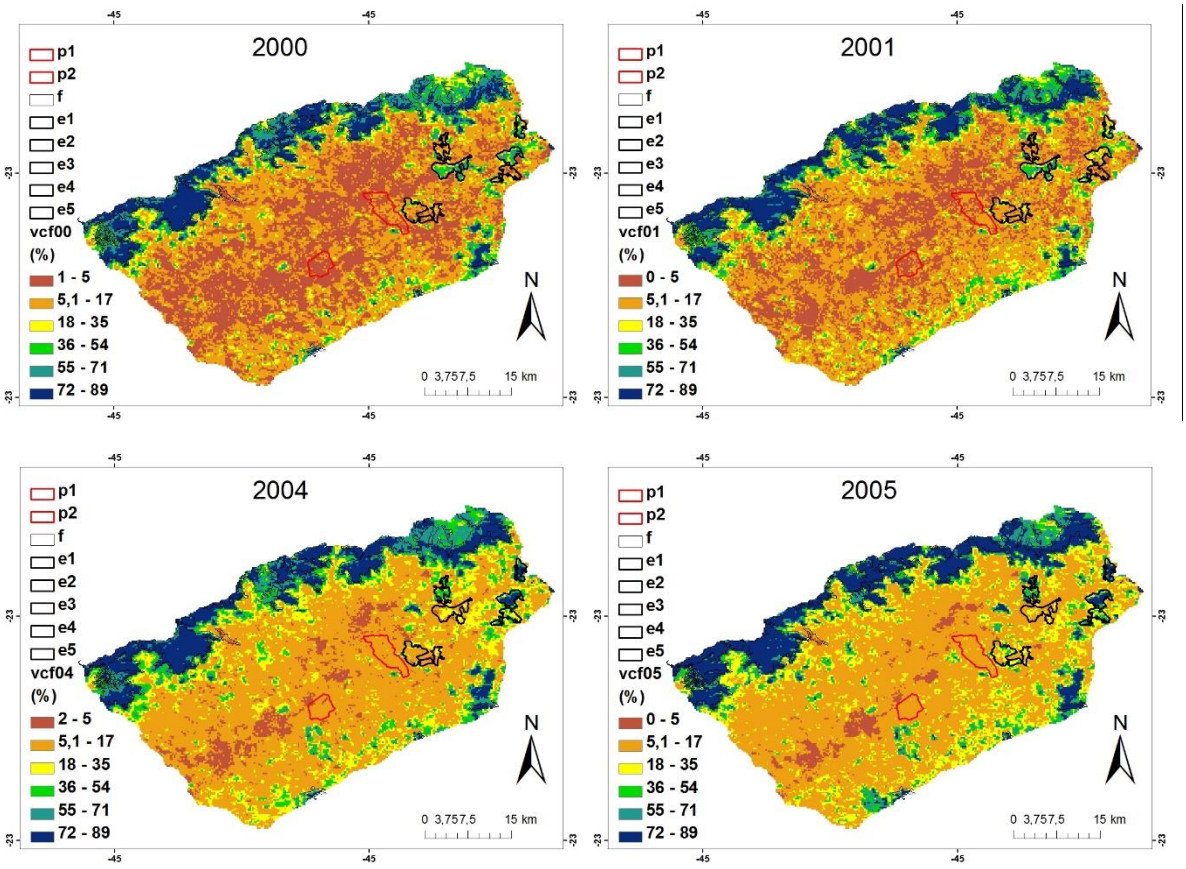
Os resultados corroboram com os obtidos por Indiarto & Sulistyawati (2014) na ilha de Java, onde a estimativa para a PPL do produto MOD17A3 foi maior para as florestas. A floresta ombrófila densa natural obteve valores estimados de 1,22 kg C m^{-2} ano^{-1}, enquanto que a classe de uso e cobertura do solo denominada *Woody* savana obteve 0,94 kg C m^{-2} ano^{-1} e as terras cultivadas obtiveram valor de 0,70 kg C m^{-2} ano^{-1}. Apesar dos valores da PPL obtidos na região

montante ao Reservatório Funil ser superior o que fica evidente é que a tendência da estimativa da PPL segue gradiente da quantidade de biomassa.

A variação da PPL dentre os polígonos de Eucaliptos de 1,44 a 1,09 kg C m^{-2} ano^{-1} são próximos dos valores obtidos por Echeverri Vergara (2013) em estudo realizado em plantio de eucalipto localizado na Reserva Ecológica e Experimental da Universidade de Brasília, Fazenda Água Limpa (FAL), realizou a modelagem do sequestro de carbono em plantações de Eucalipto para fins energético obtendo valores de produção a partir da quantidade de madeira seca de 1kg C m^{-2} ano^{-1}.

6.2 Porcentagem de cobertura florestal:

A distribuição espacial da porcentagem de cobertura vegetal média na região do reservatório Funil para todo o período avaliado (Figura 7).



... continua

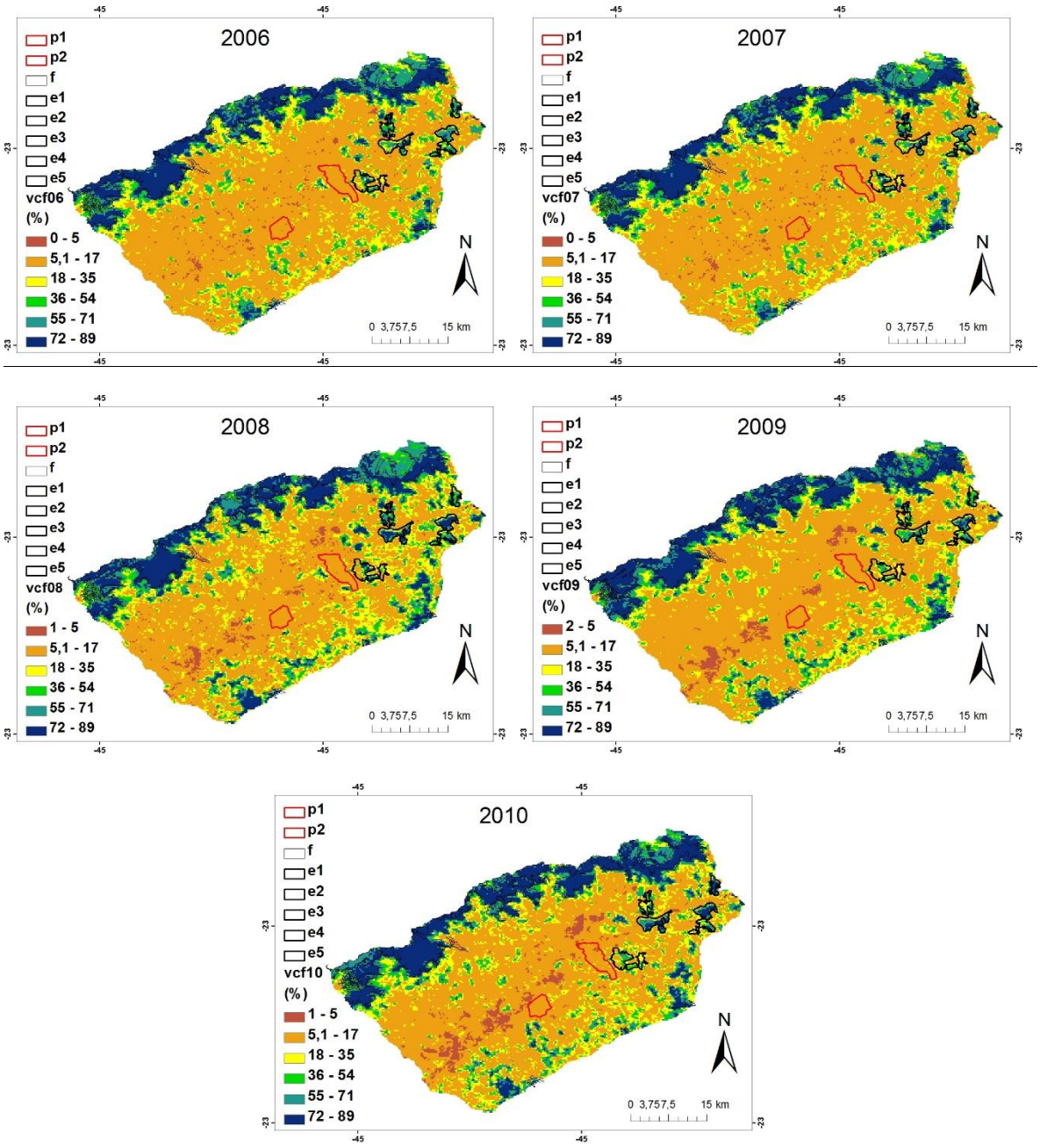


Figura 7. Dinâmica da porcentagem de vegetação nos anos da série histórica de 2000 a 2010 para a área de estudo, localização dos polígonos de Mata Atlântica (f), reflorestamento de eucalipto (e) e pastagem (p).

A partir da Figura 7 é possível observar que existe uma maior variação nas cores vermelho e laranja e amarelo que representam as menores porcentagens. É possível observar a dinâmica dos plantios de eucaliptos na série histórica.

Os resultados médios mostraram que dentre os polígonos o de maior porcentagem de cobertura florestal é que representa área de Mata Atlântica com 71,96%, seguido pelos polígonos de Eucalipto 1 com 46,40%, Eucalipto 4 com 42,08 %, Eucalipto 2 com 34,45%, Eucalipto 3 com 28,08% e Eucalipto 5 com 21,65%, as menores cobertura estão relacionadas aos polígonos de Pastagem 9,31 e 8,02 (Figura 8).

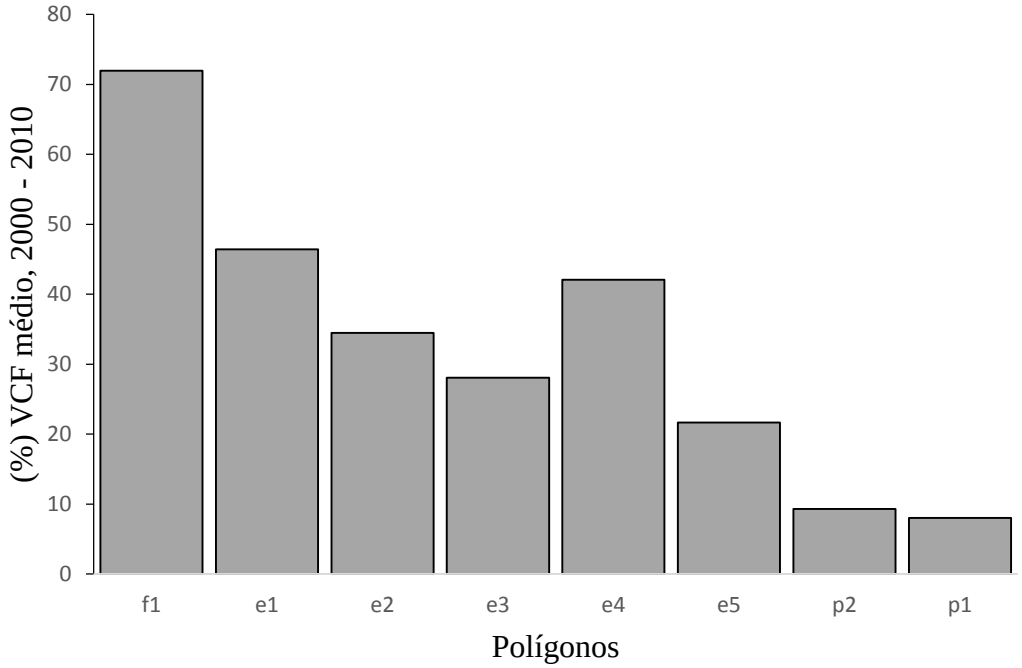


Figura 8. Média da VCF dos polígonos de remanescente de Mata Atlântica (f), reflorestamento de eucalipto (e) e pastagem (p).

Seguindo a classificação de Vilanova et al. (2013) os polígonos foram classificados associando a porcentagem de cobertura florestal e a altura da vegetação (Tabela 2), na média a classe de remanescente florestais foi extremamente alta, os polígonos de Eucalipto variaram de moderadamente Alto a moderadamente baixo, e as pastagens foram classificadas como muito baixas.

Tabela 2. Classificação da VCF média para cada tipo de uso do solo no período 2000 a 2010.

Cobertura	**Área (Km²)**	**VCF média 2000-2010**	**Classificação**
Floresta	266	71,96 a	Extremamente Alto
Eucalipto1	5,93	46,40 b	Moderadamente Alto
Eucalipto2	11,2	34,45 b	Moderadamente Baixo
Eucalipto3	5,73	28,08 c	Moderadamente Baixo
Eucalipto4	13	42,08 b	Moderadamente Alto
Eucalipto5	13,8	21,65 c	Moderadamente Baixo
Pastagem1	20,8	9,31 d	Muito Baixo
Pastagem2	11,4	8,02 d	Muito Baixo

Foi realizado teste de Kruskal-Wallis onde foi observado que existia diferença entre a porcentagem de cobertura vegetal da floresta e dos demais polígonos, foi realizado então um

teste pós Kruskal-Wallis, foi então observado que o polígono referente ao remanescente da mata atlântica possuí maior porcentagem de cobertura vegetal com 71,96% significativamente superior a todos os demais. Dentre os polígonos de Eucaliptos não foi observado diferença estatística entre os polígonos e1 46,40%, e2 34,45%, e4 42,08 porém esses polígonos foram significativamente maiores do que os valores apresentados pelos polígonos e3 28,08% e e5 21,65% que não apresentaram diferença significativa entre eles. Os polígonos de pastagem p1 9,31% e p2 8,02% foram os que apresentaram menor porcentagem de cobertura vegetal sendo significativamente menor do que todos os outros e não apresentando diferença entre si.

Na realização da análise da dinâmica da porcentagem de vegetação nos 11 anos da série histórica é possível observar que existe pequena variação no polígono de remanescente florestais, os polígonos de pastagem também apresentam uma variação pequena comparada a dos polígonos de Eucaliptos (Figura 9).

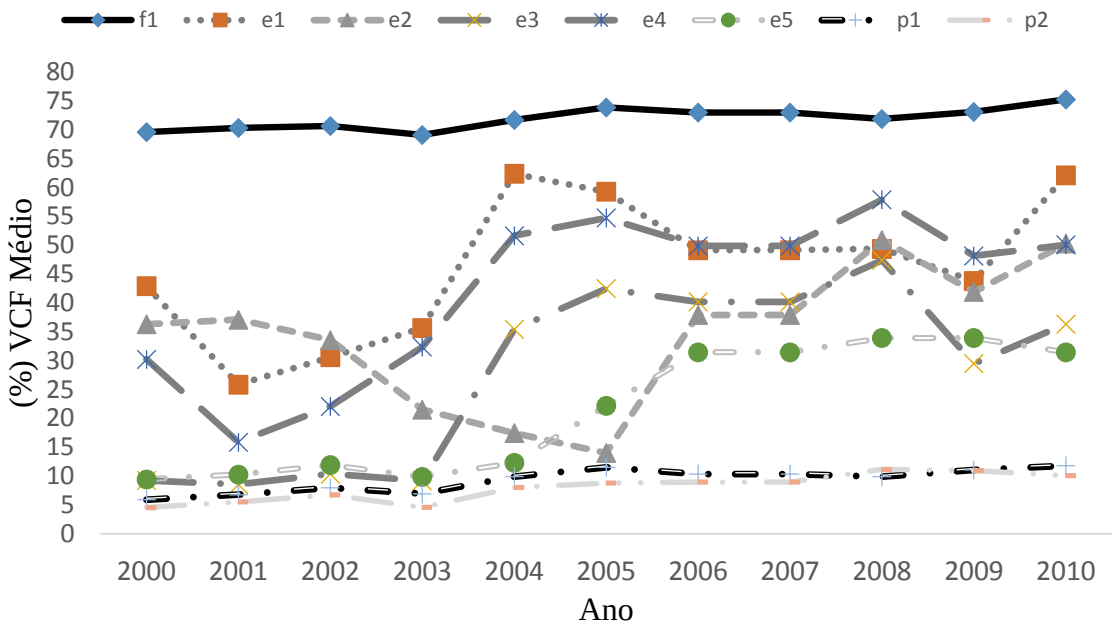


Figura 9. Variabilidade da VCF para os polígonos de Mata Atlântica (f), reflorestamento de eucalipto (e) e pastagem (p).

O polígono Eucalipto 1 possui grande variação possuindo valor de VCF de 42,92% em 2000 sendo classificado como moderadamente baixo, nos anos seguintes passa para a classe moderadamente baixa, posteriormente passa por um grande aumento na porcentagem chegando a 62,38% de cobertura vegetal classificado como muito alto, nos anos seguintes existe uma variação de moderadamente alto (43,15%) a muito alto (62,38 %), O polígono Eucalipto 4 segue uma do polígono Eucalipto 1. O polígono Eucalipto 2 possui valor de VCF de 36,32 % no ano de 2000 sendo classificado como moderadamente alto, no ano 2001 houve um ligeiro aumento, e nos anos seguintes uma diminuição chegando em 2005 ao valor de 13,33% sendo classificado como muito baixo, nos anos seguinte até 2008 apresentou um período de forte aumento da VCF chegando a 50,93% sendo classificada como moderadamente alta.

Em estudo recente de Vilanova et al. 2013 em Plácido de Castro, AC a análise do produto MOD44B ao longo de 11 anos para a espécie Tectona grandis L. f. apresentou consistência quanto ao crescimento da cobertura da vegetação nesta área de estudo. Para o

mesmo município um estudo recente mostrou que dentro da área de estudo da *Tectona grandis* L. f. e ao redor do polígono as classes que foram mais evidenciadas baseadas no produto MOD44B são Moderadamente Baixo e Moderadamente Alto em comparação com as demais categorias (SANTOS et al., 2014), resultado que corrobora com resultados obtidos nos polígonos de Eucalipto.

Os polígonos de Eucaliptos e3 e e5 seguem tendência semelhante à dos polígonos de pastagem, o polígono Eucalipto 3 tem em 2003 VCF de 9,18 % classificado como muito baixo no ano seguinte o VCF chega a 35,41 % sendo classificado com moderadamente alto, de 2005 a 2010 existe uma variação de entre as classes moderadamente baixa e moderadamente alta. O polígono Eucalipto 5 possui tendência semelhante à dos polígonos de pastagem até o ano de 2004 com VCF de 9,89% sendo classificado como muito baixo, nos anos seguinte passou para classe moderadamente baixo, e chega em 33,39% em 2008 e 2009.

Para os fins obtenção de média foram então excluídos os valores em que os polígonos de Eucalipto 3 e 5 apresentaram valores semelhantes aos dos polígonos de pastagem, foram retirados os dados dos anos de 2000 a 2003 para o polígono Eucalipto 3 e de 2000 a 2004 para o polígono Eucalipto 5 (Figura 10).

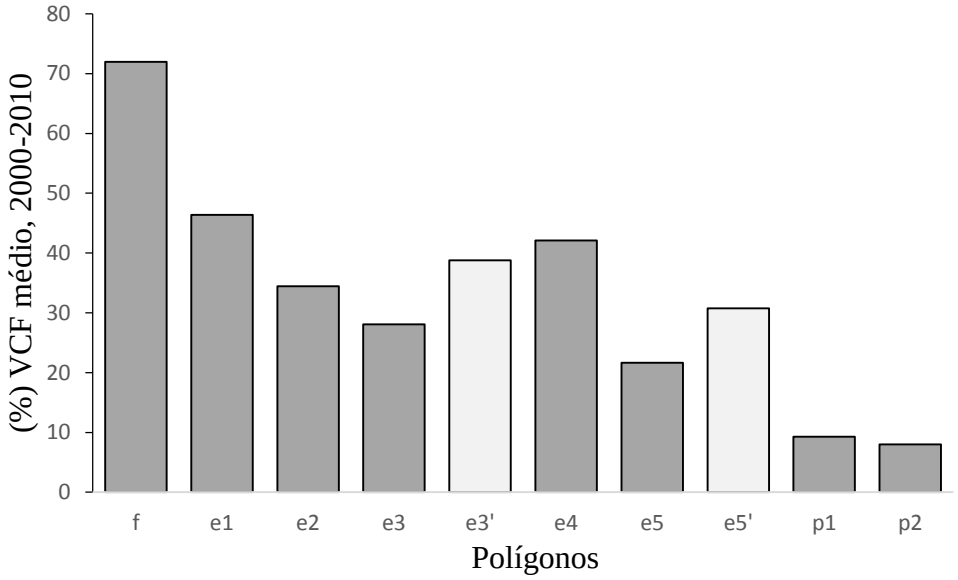


Figura 10. Média da VCF dos polígonos de remanescente de Mata Atlântica (f), reflorestamento de eucalipto (e), reflorestamento de eucalipto modificado (e') e pastagem (p).

O polígono Eucalipto 3' tem então média de VCF de 38,79% sendo classificado como moderadamente alto, existe uma diferença entre os polígonos e3 e e3' de 10,71%. O polígono Eucalipto 5' tem média de 30,73% sendo classificado como moderadamente baixo, existe entre os polígonos e5 e e5' uma diferença de 9,8%.

6.3 Dados climáticos

Para a análise dos dados climáticos foram utilizados e forma de gráficos anuais com precipitação TRMM, e da estação meteorológica foi utilizado os dados de temperatura (Figura11).

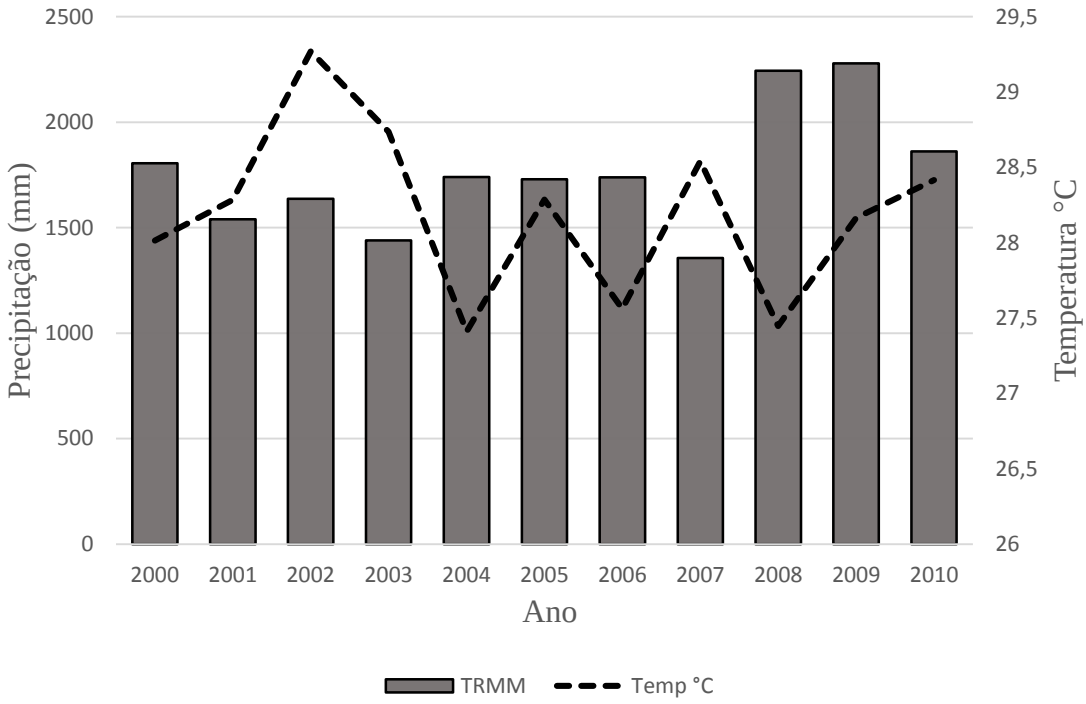


Figura 11. Dados de precipitação acumulada anual e temperatura média para os anos de 2000 a 2010.

A Figura 11 mostra a temperatura máxima média mensal e a precipitação mensal para o ano de 2009, caracterizando a região por verões quentes e húmidos e invernos secos.

Na área de estudo a relação anual entre precipitação acumulada assim como a precipitação para as estações verão, outono, inverno e primavera do 3B43 e o produto MOD44B e MOD17A3 e temperatura, não existe correlação entre as variáveis. Não houve também correlação com os dados de temperatura obtidos da estação meteorológica do INMET Taubaté-SP (OMM: 83784). Existe uma incompatibilidade de resolução espacial e temporal entre o 3B43 e os produtos MOD17A3 e MOD44B, apesar da importância do clima, em estudos realizados por com 3B43 com MOD44B não houve correlação (VILANOVA et al., 2013) e (SANTOS et al.,2014), com índices de vegetação o produto 3B43 também não apresentaram bons resultados (BECERRA et al., 2009).

6.4 Utilização dos produtos MOD17A3 e MOD44B

Quando comparados os resultados médios de PPL e VCF para cada polígono, com exceção do polígono Eucalipto 4 todos os outros seguiram a mesma tendência (Figura 12).

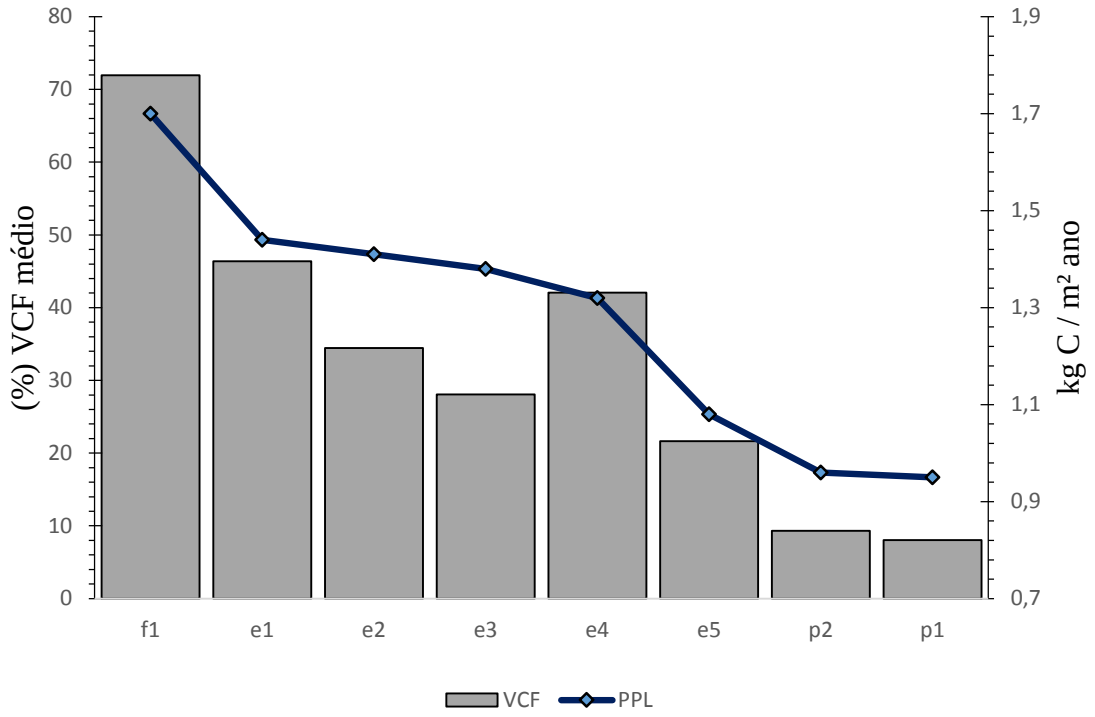
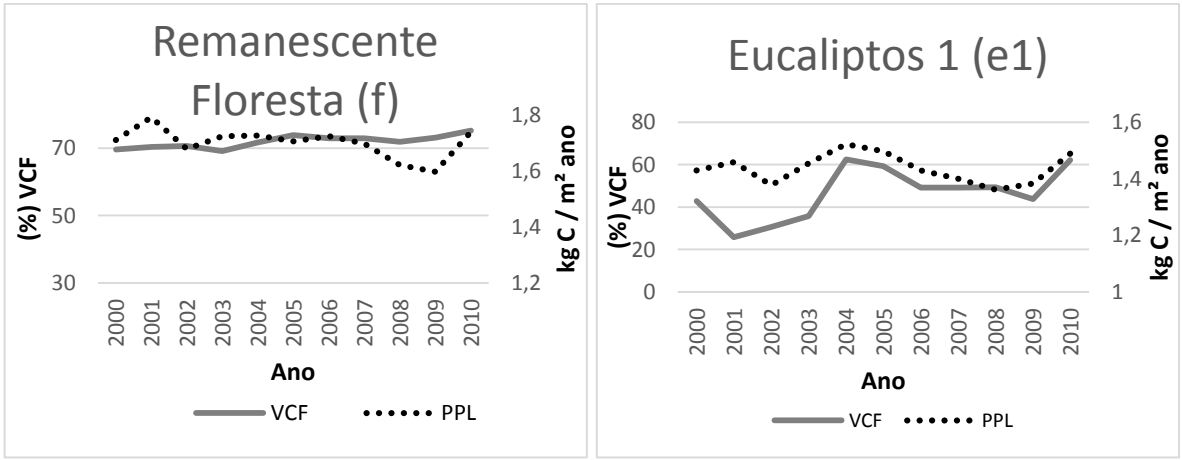


Figura 12. Média da PPL e VCF dos polígonos de remanescente de Mata Atlântica (f), reflorestamento de eucalipto (e) e pastagem (p).

Existe uma correlação entre os polígonos, os maiores valores de PPL estão associados aos maiores valores de VCF, foi aplicado o teste de correlação Spearman para as médias dos polígonos, foi obtido correlação de 0,905 com um p-valor de 0,004563.

Avaliando em relação a série histórica de cada polígono não é possível observar nenhuma correlação entre os dados de PPL e VCF dentro de nenhum dos polígonos, porém na avaliação de toda a série de é possível observar que houve correlação de Spearman de 0,816 com um p-valor de menor que $2{,}2e^{-16}$.

A PPL sofre maior influência de outras variáveis como por exemplo variáveis climáticas, já a porcentagem de vegetação tende não sofre reduções muito acentuadas, uma vez a a vegetação estabelecida não reduz tão perceptivelmente no período de um ano (Figura 13).



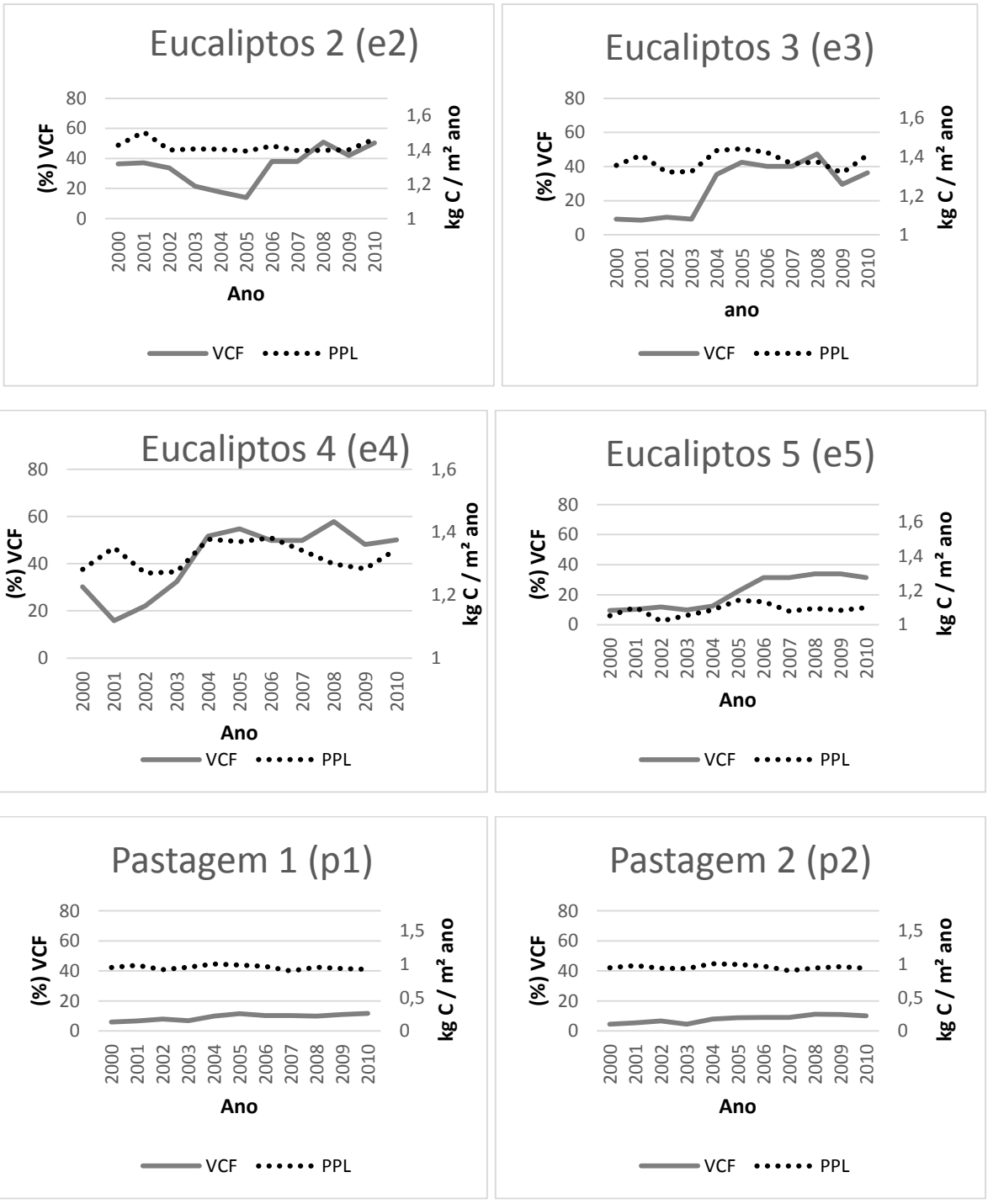


Figura 13. Relação da PPL com VCF nos anos da série histórica de 2000 a 2010 para a área de estudo, para os polígonos de Mata Atlântica (f), reflorestamento de eucalipto (e) e pastagem (p).

7 CONCLUSÃO

A análise da estimativa da PPL para os principais tipos de cobertura do solo da região do reservatório Funil-SP do período de 2000 a 2010 com base nos dados do produto MOD17A3

mostrou que as pastagens, classe de cobertura do solo predominante na região presente em 57,6% da área de estudo é a que possuíram os menores valores de PPL 0,95 e 0,96 kg C m^{-2} ano^{-1}. As floretas plantadas de Eucalipto que representam aproximadamente 2% da cobertura do solo possuem uma PPL intermediaria que variou nos cinco polígonos de 1,44 e 1,09 kg C m^{-2} ano^{-1}, apesar desta variação entre a PPL nos plantios de Eucaliptos estes foram sempre superiores aos da pastagem e sempre inferiores ao do remanescente de mata atlântica que possuíram PPL média de 1,70 kg C m^{-2} ano^{-1}.

É recomendado o uso de produto MOD44B para estudos de dinâmica da vegetação, pois na série temporal desse dado o aumento ou diminuição permite a observação de desmatamento ou regeneração florestal assim como a classificação da vegetação para área de estudo a floresta foi classificada como extremamente alto tendo pouca variação, os plantios de Eucaliptos foram classificados de moderadamente baixo a moderadamente alto com maior variação que mostra os períodos de maior incremento.

As variáveis climáticas que apresentam grande importância nos estudos relacionados a PPL e dinâmica da vegetação não apresentaram correlação com a variação da com as mesmas variáveis em uma escala tão pequena, estudos futuros são necessários em áreas diferentes para afirmações concretas sobre a relação da precipitação e temperatura com remanescentes florestais, florestas de Eucaliptos e pastagens. A utilização de dados do TRMM é uma alternativa viável para locais em que não existem dados disponíveis assim como uso dessa tecnologia para o preenchimento de falhas é uma boa alternativa.

O aumento da PPL está diretamente relacionado com o aumento da porcentagem de cobertura florestal para os diferentes tipos de uso e cobertura do solo, porém não existe correlação das variáveis na série dentro dos polígonos. Os resultados são de fundamental importância para estudos relacionados as mudanças climáticas, já que foi possível identificar aumento da PPL e consequentemente aumento de biomassa nessa região.

8 REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA

ABRAF ABRAF. Anuário estatístico ABRAF 2013 ano base 2012 / ABRAF. – Brasília: 2013.

ADUAN, R. E.; VILELA, M. F.; KLINK, C. A. **Ciclagem de Carbono em Ecossistemas terrestres – O caso do Cerrado Brasileiro**. 1. Ed. Planaltina, DF: Embrapa Cerrados, 2003. 30 p.

AGUIAR, D. A. **Séries Temporais de Imagens MODIS para Avaliação de Pastagens Tropicais**. 2013. Tese (Doutorado Sensoriamento Remoto) - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos.

ALBUQUERQUE FILHO, J. L.; MONTEIRO, A. C. M. C.; AZEVEDO, S. G.; BRAGA, T. O. **Plano da Bacia Hidrográfica do Rio Paraíba do Sul: trecho do Estado de São Paulo (UGRHI 02): 2011-2014**. Síntese, São Paulo: IPT, 2012.

ASSIS, J. M. O.; SOBRA, M. C. M.; SOUZA, W. M. Análise de Detecção de Variabilidades Climáticas com Base na Precipitação nas Bacias Hidrográficas do Sertão de Pernambuco. **Revista Brasileira de Geografia Física,** 03 p. 630-645, 2012.

BARROS, N.F.; NOVAIS, R.F. Eucalypt nutrition and fertilizer regimes in Brazil. In: ATTIWILL, P.M.; ADAMS, M.A., ed. **Nutrition of Eucalyptus**. Melbourne: CSIRO, p.335-356, 1996.

CAMPBELL, N. A. **Biology**. 9. Ed. Redwood City, CA, The Benjamin/Cummings Publishing Company, Inc, 1990. 1488p.

CHAPIN III, F. S.; MATSON, P. A.; MOONEY, H. A. **Principles of Terrestrial Ecosystem Ecology**. 1. Ed. Berlin, Germany: Springer-Verlag, 2002. 436 p.

COUTO, L. Cultivation and production of eucalypts in South América: with special reference to the leaf oils. In: COPPEN, J. J. W. **Eucalyptus – The Genus Eucalyptus**. Ed. Taylor & Francis. London, 2002. p.239-250.

ECHEVERRI V., J. D. **Modelagem do Sequestro de Carbono em Plantação de Eucalipto para Fins Energéticos no Cerrado**. 2013. 119 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Mecânicas) - Universidade de Brasília, Brasília.

FEARNSIDE, P. M. Amazonian deforestation and global warming: carbon stocks in vegetation replacing vegetation Brazil's Amazon forest. **Forest Ecology and Management**, v. 80, p. 21-34, 1996.

FREITAS JUNIOR, G. **O Eucalipto no vale do Paraíba paulista: Aspectos geográficos e históricos**. 2011. 142p, Dissertação (Mestrado em Geografia Física) – Universidade de São Paulo, São Paulo.

GONÇALVES, J.L.M.; BARROS, N.F.; NAMBIAR, E.K.S.; NOVAIS, R.F. Soil and stand management for short-rotation plantations. In: NAMBIAR, E.D.S.; BROWN, A.G. **Management of soil nutrientes and water in tropical plantations forest**. ed. Canberra: ACIAR, 1997. p.379-418.

GOULDEN, M. L., S. D. MILLER, H. R. DA ROCHA, M. C. MENTON, H. C. FREITAS, A. M. Diel and seasonal patterns of tropical forest CO_2 exchange. **Ecological Applications**, v. 14, n. sp4, p. 42-54, 2004.

GOVERNO DO ESTADO DO RIO DE JANEIRO. **Diagnóstico Ambiental do Reservatório de Funil PS-RE-024-R1**. Rio de Janeiro: Secretaria de Estado de Meio Ambiente Fundação Superintendência Estadual de Rios e Lagoas (SERLA) Plano de Recursos Hídricos da Bacia do Rio Paraíba do Sul, 1997. 101 p.

GRACE, J.; MALHI, Y.; HIGUCHI, N.; MEIR, P. Productivity of tropical rain forest. In: ROY, J.; SAUGIER, B.; MOONEY, H. A. **Terrestrial global productivity**. 2. ed. San Diego: Academic Press, 2001. Cap. 17, p.401-426.

GRACE, J. Understanding and managing the global carbon cycle. **Journal of Ecology**, v.92, n.2, p.189-202, 2004.

HAGEN, S. C.; HEILMAN, P.; MARSETT, R.; TORBICK, N.; SALAS, W.; VAN RAVENSWAY, J.; QI, J. Mapping total vegetation cover across western rangelands with moderate-resolution imaging spectroradiometer data. **Rangeland Ecology & Management**, LER para MODIS, v. 65, n. 5, p. 456–467, set. 2012. Disponível em: <http://www.bioone.org/doi/abs/10.2111/REM-D-11-00188.1>. Acesso em: 19 dez. 2012.

HASHIMOTO, H.; WANG, W.; MILESI, C.; WHITE, M.A.; GANGULY, S.; GAMO, M.; HIRATA, R.; MYNENI, R.B.; NEMANI, R.R. Exploring simple algorithms for estimating gross primary production in forested areas from satellite data. **Remote Sensing**, 4, p303–326. 2012.

HEINSCH, F. A.; REEVES, M.; VOTAVA, P.; KANG, S. Y.; MILESI, C.; ZHAO, M. S.; GLASSY, J.; JOLLY, W. M.; LOEHMAN, R.; BOWKER, C. F.; KIMBALL, J. S.; NEMANI, R. R.; RUNNING, S. W. User's guide, GPP and NPP (MOD17A2/A3) products, **NASA MODIS land algorithm** [online]. 2003. Disponível em: <http://www.ntsg.umt.edu/modis/MOD17UsersGuide.pdf>. Acesso em: 27.mar.2014.

HODNETT, M. G. et al. Seasonal soil water storage changes beneath central Amazonian rainforest and pasture. **Journal of Hidrology**, v. 170, p. 233-254, 1995.

HUFFMAN GJ, ADLER RF, BOLVIN DT, GU G, NELKIN EJ, BOWMAN KP, The TRMM Multi-satellite Precipitation Analysis (TMPA): Quasi-Global, Multiyear, Combined-Sensor Precipitation Estimates at Fine Scale. **Journal of Hydrometeorology** 2007; 8 (1): 38- 55. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1175/JHM560.1>. Acesso em: 21 jan. 2015

HUTYRA, L. **Carbon and water exchange in Amazonian rainforests**. 2007. Dissertação (Doctor of Philosophy in the subject of Earth and Planetary Sciences) Harvard University,

INDIARTO, D. E SULISTYAWATI, E. Monitoring Net Primary Productivity Dynamics in Java Island Using MODIS Satellite Imagery. **Asian Journal of Geoinformatics**, V.14, N.01, 2014.

JIPP, P. H.; NEPSTAD, D. C.; CASSEL, D. K. Deep soil moisture storage and transpiration in forests and pastures of seasonally-dry Amazonia. **Climatic Change**, v. 39, p. 395-412, 1998.

LIMA, L.S., **Contribuição Líquida da Matriz Elétrica Brasileira para o Aquecimento Global**. 2009, 149 f. Dissertação (Mestrado em Economia) – Universidade de Brasília, Brasília.

KELLER, M. et al. Ecological research in the large-scale biosphere – Atmosphere experiment in amazonia: early results. **Ecological Applications**, v. 14, n. sp4, p. 3-16, 2004.

KUNTSCHIK, G. **Estimativa de biomassa vegetal lenhosa em cerrado por meio de sensoriamento remoto óptico e de radar**. 2004. 165p. USP. Tese (Doutorado em Ciências) – Universidade de São Paulo, São Paulo.

MARENGO, J. A. **Mudanças Climáticas Globais e seus Efeitos sobre a Biodiversidade: Caracterização do Clima Atual e Definição das Alterações Climáticas para o Território Brasileiro ao Longo do Século XXI**. 2. Ed. Brasília: Ministério de Meio Ambiente, 2006. 82 p.

MARENGO, J. A. **Riscos das Mudanças Climáticas no Brasil**. do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE) do Brasil e o Met Office Hadley Centre (MOHC) do Reino Unido, 2011.

METZGER, J. P.; MARTENSEN, A. C.; DIXO, M.; BERNACCI, L. C.; RIBEIRO, M. C.; TEIXEIRA, A. M. G.; PARDINI, R. Time-lag in biological responses to landscape changes in a highly dynamic Atlantic forest region. **Biological Conservation**, v.142, n.6, p.1166-1177, 2009.

MIRANDA, A. C.; MIRANDA, H. S.; LLOYD, J.; GRACE, J.; FRANCEY, R. J.; MCINTYRE, J. A.; MEIR, P.; RIGGAN, P.; LOCKWOOD, R.; BRASS, J. Fluxes of carbono, water and energy over Brazilian cerrado: Na analysis using eddy covariance and stable isotopes. **Plant Cell and Environment**, v. 20, n. 3, p. 315-328, 1997.

MORTON, D. C.; DeFries, R. S.; Rapid Assessment of Annual Deforestation in the Brazilian Amazon Using MODIS Data. **Earth Interactions**, v. 9, n. 8, p. 1-22, 2005

Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer (MODIS) <http://modis.gsfc.nasa.gov/> Acesso em: 18 set. 2014.

NASCIMENTO, R. S.; BRITO, J. I. B.; BRAGA, C. C. Estimativa da Produção Primária Líquida Usando Dados de IVDN para o Estado da Paraíba. In: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, 14., Natal. **Anais XIV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto**, São José dos Campos: INPE, 2009, p.5321-5327.

NEPSTAD, D. C.; CARVALHO, C.R.; DAVIDSON, E.A.; JIPP, P.H.; LEFEBVRE, G.H.; NEGREIROS, E.D.; SILVA, T.A.; STONE, S.E.; TRUMBORE, S.E.; VIEIRA, S. The role of deep roots in the hydrological and carbono cycles of Amazonian forests and pastures. **Nature**, v. 372, n. 6507, p. 666-669, 1994.

NEPSTAD, D. C., LEFEBVRE, P.; SILVA, U. L.; TOMASELLA, J.; SCHLESINGER, P.; RZANO, L. S.; MOUTINHO, P.; RAY D.; BENITO J. G. Amazon drought and its implications for forest flammability and tree growth: a basin-wide analysis. **Global Change Biology**, v. 10, p. 704-717, 2004

NOBRE, C. A.; BORMA L. S. 'Tipping points' for the Amazon forest**. Current Opinion in Environmental Sustainability**, v. 1, p. 28-36. 2009.

OLIVEIRA-JÚNIOR, J.F.; DELGADO, R.C.; GOIS, G.; DIAS, F.O.; SOUZA, J.C.; SOUZA, M. Análise da Precipitação e sua Relação com Sistemas Meteorológicos em Seropédica, Rio de Janeiro. **Floresta e Ambiente**, v. 21, n. 2, p. 140-149, 2014

OLIVEIRA NETO, S.N., REIS, G.G., REIS, M.G.F., NEVES, J.C.L. Produção e distribuição de biomassa em Eucalyptus camaldulensis Dehn. em resposta à adubação e ao espaçamento. **Árvore**, v.27, n.1, p.15-23, 2003.

OLIVETTI NETO, A. Qualidade de cavacos de eucalipto para obtenção de celulose Kraft. In: Congresso Iberoamericano de Investigação em celulose e papel, Campinas, 2002.

PONZONI, F. J.; SHIMABUKURO, Y. E.; KUPLICH, T. M.; **Sensoriamento remoto da vegetação**. 2 ed. São Paulo: Oficina de Textos, 2012. 160p.

RIBEIRO, V. R.; PEREIRA, B. R.; OLIVEIRA JUNIOR, J. F.; DELGADO, R. C.. ESTUDO DA DINÂMICA DA VEGETAÇÃO UTILIZANDO O PRODUTO MOD44B NO MUNICÍPIO DE PIQUETE, SÃO PAULO. In: II Reunião Anual de Iniciação Científica da UFRRJ, 2014, Seropédica. XXIV Jornada de Iniciação Científica & II Semana de Pesquisa, Tecnologia e Inovação, 2014.

RIBEIRO, V. R.; Almeida, C. T.; Santana, M. F.; Delgado, R. C. Estimativa da produtividade primária líquida na região do reservatório Funil-SP por meio do produto MOD17A3. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 17., João Pessoa. **Anais XVII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto**. INPE, 2015. p. 721-726.

ROY, D.P.; LEWIS, P.E.; JUSTICE, C.O. Burned area mapping using multi-temporal moderate resolution data – a bi-direcional reflectance model-based expectation approach. **Remote Sensing of Environment**, v. 83, n. 1-2, p.263-286, 2002.

ROY, J.; SAUGIER, B.; MOONEY H.A., "Terrestrial global productivity." 1 ed. Academic Press, San Diego, CA. 2001. 557 p.

SANTANA, R. C.; BARROS N. F.; NEVES, J. C. L. Biomassa e conteúdo de nutrientes de procedências de Eucalyptus grandis e Eucalyptus saligna em alguns sítios florestais do Estado de São Paulo. **Scientia forestalis**, n. 56, p. 155-169, 1999.

SANTOS, A. J. B.; **Fluxo de carbono, energia e água em vegetação de Campo Sujo**. 1998. Tese (Mestrado) – Universidade de Brasília, Brasília.

SANTOS, C. A., BRITO, J. I. B. Análise dos índices de extremos para o semiárido do Brasil e suas relações com TSM e IVDN. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 22, n. 3, 2007.

SANTOS, R. D. B.; **Avaliação da recomposição da vegetação desmatada e comportamento da precipitação via sensoriamento remoto, utilizando os produtos mod44b e 3b43**. 2014. 56 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Ambientais e Florestais) – Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica.

SCHUMAN, G. E.; JANZEN, H. H.; HERRICK, J. E. Soil carbon dynamics and potential carbon sequestration by rangelands. **Environmental Pollution**, v.116, p.391-396, 2002.

SILVA, F.B. **Modelagem da produtividade primária bruta na Amazônia.** 2013. 153 f. Tese (Doutorado em Sensoriamento Remoto) – INPE, São José dos Campos

SILVA, G. T. **Fluxo de CO_2 em Campo Sujo submetido a queimada prescrita.** 1999. Dissertação (Mestrado) – Universidade de Brasília, Brasília.

SILVA, J. C.; MATOS, J. L. M. A madeira de eucalipto na indústria moveleira. **Revista da Madeira**, n. 70. p. 36-40. 2003.

TOWNSHEND, J. R. G., M. CARROLL, C., DIMICELI, R., SOHLBERG, M., & HANSEN, R. De F. **Vegetation Continuous Fields MOD44B, 2001 Percent Tree Cover**, Collection 5, University of Maryland, College Park, Maryland, 2001. <http://www.landcover.org/library/guide/VCF_C5_UserGuide_Dec2011.pdf> Acesso em: 10 fev. 2014.

Tropical Rainfall Mapping Mission (TRMM). <www.mirador.gsfc.nasa.gov/collections/TRMM_3B43_007.shtml>. Acesso em: 10 dez. 2014.

VILANOVA, R. S., ANDRADE, M. S. S., DELGADO, R. C., OLIVEIRA JÚNIOR, J. F., SANTOS, R. D. B. Cobertura florestal da Tectona grandis L. f. Baseado nos produtos MOD44B e 3B43 em Plácido de Castro, AC. **Revista Enciclopédia Biosfera**, v. 9, n. 17, p. 681-695, 2013.

WASHINGTON-ALLEN, R. A.; WEST, N. E.; RAMSEY, R. D.; EFROYMSON, R. A. A. Protocol for retrospective remote sensing: based ecological monitoring of rangelands. **Rangeland Ecology & Management**, v. 59, n. August 2004, p. 19–29, 2008.

WANG, Q.; ZHANG L.; WU, T.; CEN, Y.; HUANG, C.; TONG, Q. Evaluation of Multiple Spring Phenological Indicators of Yearly GPP and NEP at Three Canadian Forest Sites. **Remote Sensing**, v. 6, p. 1991-2007, 2014

WEST, T. O., BRANDT, C. C., WILSON, B. S., HELL WINCKEL, C. M., TYLER, D. D., MARLAN D, G., DE LA TORREUGARTE, D. G., LARSON, J. A., NELSON, R.,. Estimating regional changes in soil carbono with high spatial resolution. Soil **Science Society of America Journal,** v.72, n.2, p. 285–294, 2008.

WHITTEN, T., WHITTEN. A., SOERIAATMADJA, R., AFIFF, S., The ecology of Java and Bali. Oxford University Press, Oxford 1996. In: INDIARTO, D.; SULISTYAWATI, E. Monitoring Net Primary Productivity Dynamics in Java Island Using MODIS Satellite Imagery. **Asian Journal of Geoinformatics**, V.14, N.01, 2014.

ZHAO f. XU, B.; YANG X.; JIN, Y.; LI, J.; XIA, L.; CHEN, S.; MA; H. Remote Sensing Estimates of Grassland Aboveground Biomass Based on MODIS Net Primary Productivity (NPP): A Case Study in the Xilingol Grassland of Northern China. **Remote Sensing**. v 6, p. 5368-5386, 2014.

ZHAO, M., E RUNNING, S. W. Remote sensing of terrestrial primary production and carbon cycle. In: Advances in Land Remote Sensing. **Springer Netherlands**, 2008. p. 423-444.

ZAKARIA H. E. A. **Integration of Remote Sensing and GIS in Studying Vegetation Trends and Conditions in the Gum Arabic Belt in North Kordofan, Sudan.** 2010. Dissertação (Doutorado em Natural Science) Technical University of Dresden, Desden.