

## Estimativa da produtividade primária líquida na região do reservatório Funil-SP por meio do produto MOD17A3

Victor Rodrigues Ribeiro<sup>1</sup>  
Catherine Torres de Almeida<sup>1</sup>  
Marianna Fernandes Santana<sup>1</sup>  
Rafael Coll Delgado<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro  
Caixa Postal - 23890-000 - Seropédica - RJ, Brasil  
ribeiro.r.victor@gmail.com; cathe.torres@gmail.com; marianajoi@hotmail.com;  
rafaelcolldelgado32@gmail.com

**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 Paraíba 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 Paraíba during 2000-2010. The NPP data was obtained from Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer (MODIS) annual NPP product named MOD17A3. The polygons of land cover type Mata Atlântica was obtained from INPE and the other types were made 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 type. The high had an average of 1,70 kg C m<sup>-2</sup> yr<sup>-1</sup> and the lower had 0,95 kg C m<sup>-2</sup> yr<sup>-1</sup>. 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.

**Palavras-chave:** remote sensing, climate change, statistical.

### 1. Introdução

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 cobertura, 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<sub>2</sub>) 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 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 (Plano da Bacia Hidrográfica do Rio Paraíba do Sul, 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.

No Vale do Paraíba, 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).

Neste sentido, o monitoramento da PPL da Mata Atlântica fornece um conhecimento primordial para o estabelecimento de ações pertinentes de conservação, manejo e recuperação dessas formações.

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).

Assim, o presente estudo tem por finalidade a utilização do produto MOD17A3 na região a montante do reservatório Funil-SP, para a obtenção da PPL em três tipos diferentes de cobertura do solo: floresta, plantio de eucalipto e pastagem, no período de 2000 a 2010.

## 2. Metodologia de Trabalho

A área de estudo possui 2.294 km<sup>2</sup> e está localizada a montante do reservatório Funil no último trecho paulista do Rio Paraíba do Sul. O uso e cobertura do solo, segundo o Plano da Bacia Hidrográfica do Rio Paraíba do Sul, é predominado por campos antrópicos (57,6%), floresta (36,2%) e reflorestamento (2%). Foram delimitados polígonos representativos para cada tipo de uso e cobertura do solo. Os polígonos referentes aos remanescentes de Mata Atlântica foram adquiridos do Instituto de Pesquisas Espaciais (INPE), no endereço [mapas.sosma.org.br](http://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 e, posteriormente, observados em campo (Figura 1).

Para a determinação da PPL destes polígonos, no período de 2000 a 2010, utilizou-se o produto MOD17A3 oriundo do sensor MODIS. Este produto fornece uma composição anual da PPL com resolução espacial de 1 km e foi obtido no endereço [www.glovis.usgs.gov/](http://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. Para cada polígono e cada ano considerado, foram extraídas as estatísticas descritivas: média, valor máximo e mínimo e desvio padrão da PPL. 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.

A fim de constatar se a PPL média entre 2000 e 2010 dos polígonos dos diferentes tipos de cobertura do solo possuíam diferença significativa, procedeu-se com a análise de variância (ANOVA) e teste de Tukey. 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.

### 3. Resultados e Discussão

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 1). 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 2).

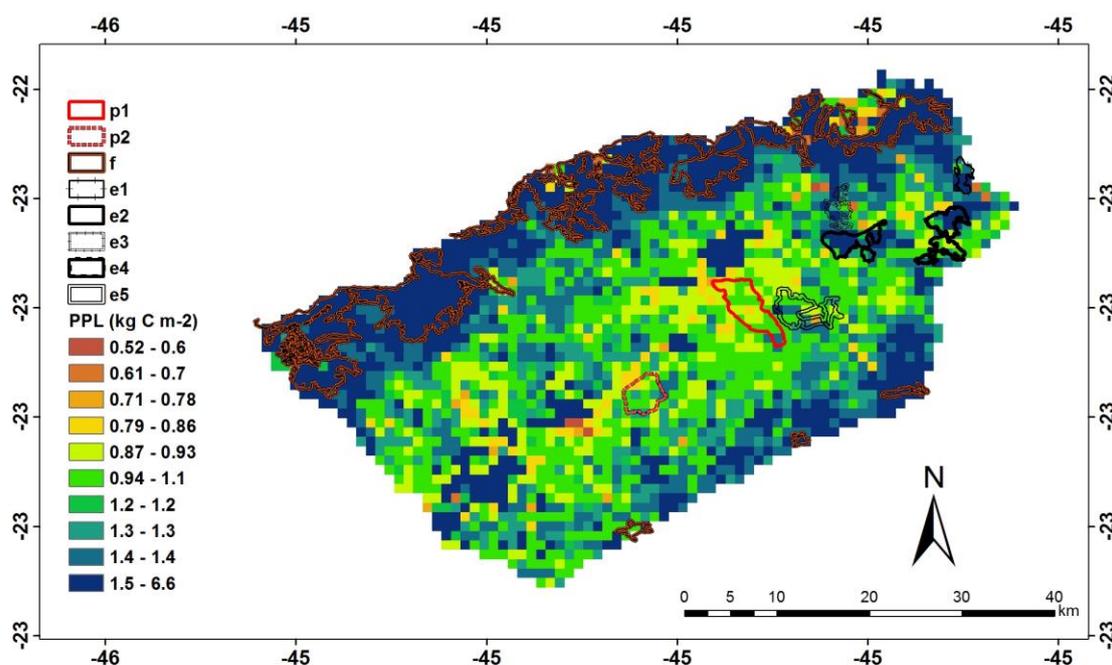


Figura 1. Distribuição espacial da PPL no ano de 2010 para a área de estudo e localização dos polígonos de Mata Atlântica (f), reflorestamento de eucalipto (e) e pastagem (p).

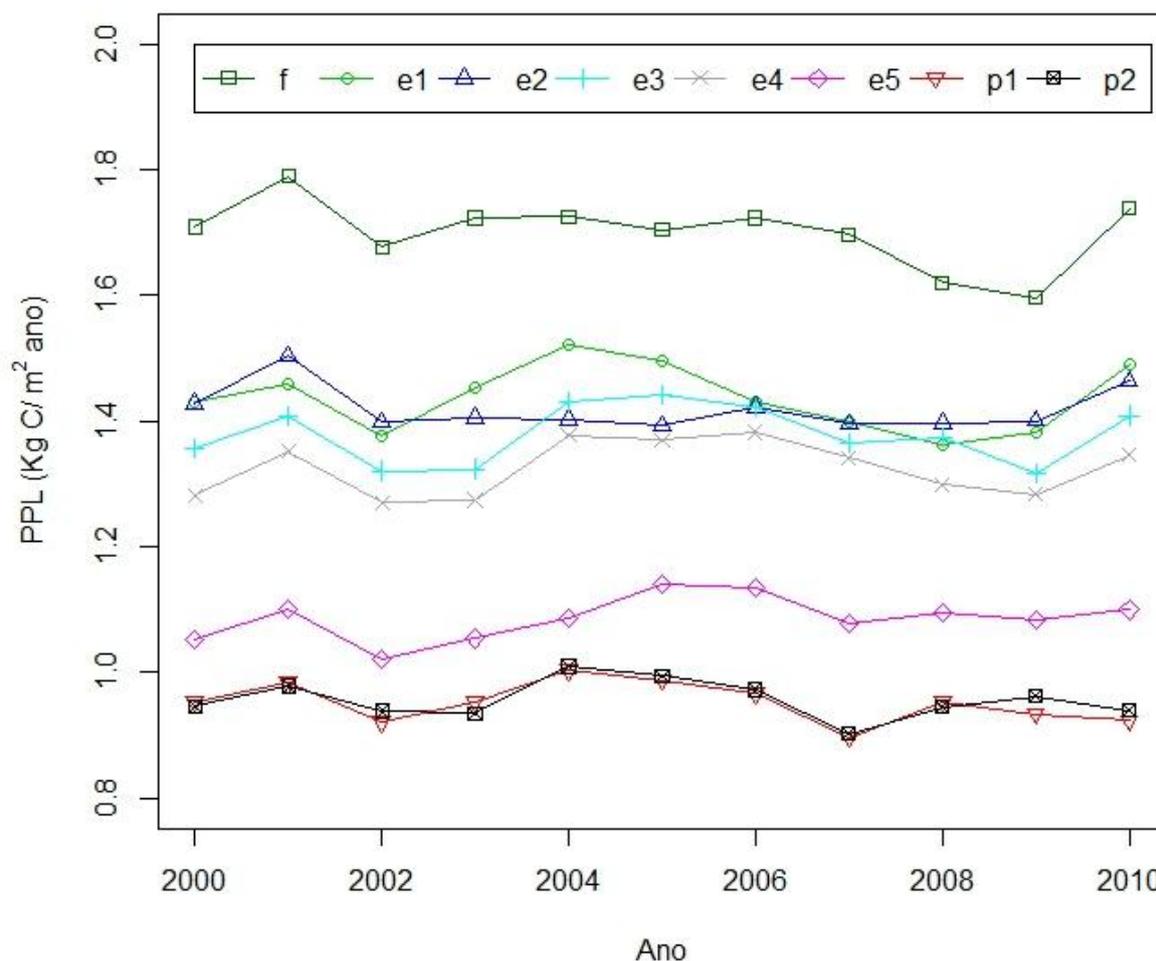


Figura 2. Variabilidade da PPL para os polígonos de Mata Atlântica (f), reflorestamento de eucalipto (e) e pastagem (p).

Os valores médios de PPL do período de 2000 a 2010 foram maiores para os remanescentes florestais ( $1,70 \text{ kg C m}^{-2} \text{ ano}^{-1}$ ), intermediários para os cinco polígonos de eucalipto (de  $1,44$  a  $1,09 \text{ kg C m}^{-2} \text{ ano}^{-1}$ ) e os menores valores observados foram os de pastagem ( $0,95$  e  $0,96 \text{ kg C m}^{-2} \text{ ano}^{-1}$ ) (Figura 3). 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 ( $p\text{-valor} = 2,2 \times 10^{-16}$ ). 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 ( $p\text{-valor} < 0,05$ ), 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.

A PPL dos reflorestamentos de Eucalipto apresentou variação entre os diferentes polígonos desta classe de uso do solo, sendo que o polígono denominado Eucalipto 5 foi o que apresentou menor produtividade, com diferença significativa dentre os demais para esta classe (Figura 3 e Tabela 1). 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.

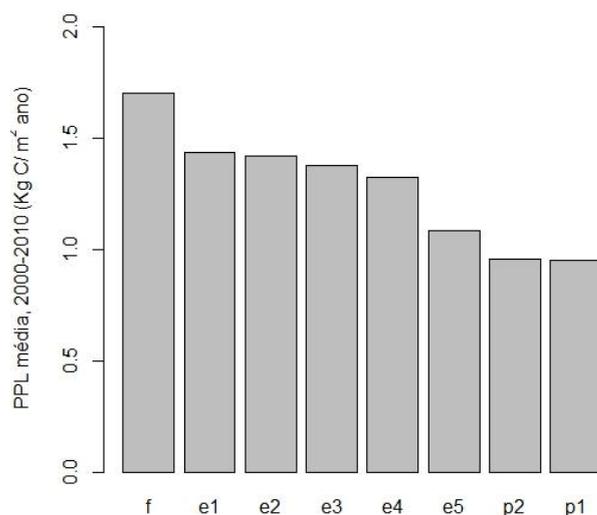


Figura 3. Produtividade Primária Líquida média dos polígonos de remanescente de Mata Atlântica (f), reflorestamento de eucalipto (e) e pastagem (p).

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

Cobertura	Área (Km <sup>2</sup> )	PPL média (kg C m <sup>-2</sup> ano <sup>-1</sup> ) 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 Indiartho & 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<sup>-2</sup> ano<sup>-1</sup>, enquanto que a classe de uso e cobertura do solo denominada *Woody savana* obteve 0,94 kg C m<sup>-2</sup> ano<sup>-1</sup> e as terras cultivadas obtiveram valor de 0,70 kg C m<sup>-2</sup> ano<sup>-1</sup>, evidenciando um gradiente que segue a quantidade de biomassa.

#### 4. Conclusões

A estimativa da PPL foi analisada para os principais tipos de cobertura do solo da região do reservatório Funil-SP no período de 2000 a 2010 com base nos dados do produto MOD17A3. A análise 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<sup>-2</sup> ano<sup>-1</sup>. As floretas plantadas de Eucalipto que representam aproximadamente 2% da cobertura do solo possuem uma PPL intermediária entre 1,44 e 1,09 kg C m<sup>-2</sup> ano<sup>-1</sup>, apesar desta variação entre a PPL nos plantios de Eucaliptos estes foram sempre superiores aos da pastagem e sempre inferiores aos dos remanescentes de mata atlântica que possuíram PPL média de 1,70 kg C m<sup>-2</sup> ano<sup>-1</sup>. Os resultados são importantes para estudos de mudança climática, pois saber sua variabilidade espacial e temporal, dá subsídios a

estudos mais aprofundados do sequestro ou emissão de carbono em diferentes classes de usos do solo.

## 5. Referências Bibliográficas

- Campbell, N. A. (1990), *Biology*, 2<sup>nd</sup> Ed. Redwood City, CA: Benjamin/Cummings Publishing Company, Inc.
- Chapin III, F. S.; Matson, P. A.; Mooney, H. A. **Principles of Terrestrial Ecosystem Ecology**. Berlin, Germany: Springer-Verlag, 2002. 436 p.
- Indiarto, D., & Sulistyawati, E. Monitoring Net Primary Productivity Dynamics in Java Island Using MODIS Satellite Imagery. **Asian Journal of Geoinformatics**, v.14, n.1, p.8-14, 2014.
- 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. 2011.
- Grace, J.; Malhi, Y.; Higuchi, N.; Meir, P. **Productivity of tropical rain forest**. In: Roy, J.; Saugier, B.; Mooney, H. A. (ed.). *Terrestrial global productivity*. San Diego: Academic Press, 2001. Chap. 17, p.401-426.
- Grace, J. Understanding and managing the global carbon cycle. *Journal of Ecology*, Oxford, v.92, n.2, p.189-202, 2004.
- 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.nts.gov/umt.edu/modis/MOD17UsersGuide.pdf>>. Acesso em: 27.mar.2014.
- 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.
- Plano da Bacia Hidrográfica do Rio Paraíba do Sul: trecho do Estado de São Paulo (UGRHI 02): 2011-2014, 2012.
- 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.
- SOS Mata Atlântica, Disponível em: < <http://www.sosma.org.br/nossa-causa/a-mata-atlantica/>>. Acesso em: 28.set.2014.
- Ranta, P.; Blom, T. O. M.; Niemela, J.; Joensuu, E.; Siitonen, M. The fragmented Atlantic rain forest of Brazil: size, shape and distribution of forest fragments. **Biodiversity & Conservation**, v.7, n.3, p.385-403, 1998.