

Análise espaço-temporal dos plantios de *Eucalyptus* spp. no Estado de São Paulo

Vanessa Canavesi¹
Regina Célia dos Santos Alvalá¹
Ana Paula Martins do Amaral Cunha¹

¹ Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais - INPE
Caixa Postal 515 - 12227-010 - São José dos Campos - SP, Brasil
{vanessa.canavesi, regina.alvala}@inpe.br
ana.paula@cptec.inpe.br

Abstract. Brazil has nearly 5 million hectares of forest planted with species of the genus *Eucalyptus* and *Pinnus* and nearly 70% of these forests are for the manufacture of cellulose pulp. *Eucalyptus* planted forests are being implemented in different regions of the country, developing at sites with different topographies and rainfall patterns. But then some factors limit the geographic distribution of plantations. Remote sensing has surged ahead in the forest sector, and with the use of techniques of image interpretation, we can identify and map the *Eucalyptus* and differentiate them from other vegetation types, and quantify them. The aim of this study was to map the *Eucalyptus* spp. using satellite images and to evaluate the geographic distribution, including soil types and slope of the land where these plantations are being developed. Images from the Landsat / TM for the year 2008 and the plantings were mapped by visual interpretation of images. The areas of plantations were compared with those found in the work areas of Kronka et al. (2002), which showed an increase of 75,123 ha in the entire state. The species of this genus have some limitations of climate, soil and topography. Understanding these factors and the choice of sites that meet the minimum requirements of *Eucalyptus* facilitates their growth, thus ensuring its productivity.

Palavras-chave: remote sensing, geographic distribution, GIS, sensoriamento remoto, distribuição geográfica, SIG.

1. Introdução

O Brasil conta com quase 5 milhões de hectares de florestas plantadas com espécies dos gêneros *Pinnus* e *Eucalyptus* (SBS, 2001), e quase 70% destas florestas são para a fabricação da polpa de celulose. As empresas atuantes no Brasil exportam a maioria da produção, cujo preço da tonelada de celulose foi cotado em US\$ 958,37 (fibra longa) no dia 10/11/10 (www.celuloseonline.com.br). Estima-se que um hectare plantado com *Eucalyptus* produza 11 toneladas de celulose, valores estes alcançados depois de muita pesquisa e melhoramento genético, resultando em espécies mais produtivas e adaptadas a cada região.

As florestas do gênero *Eucalyptus* vêm sendo implantadas em diferentes regiões do país, se desenvolvendo em locais com diferentes topografias e regimes de chuvas. As plantas deste gênero necessitam de solos com profundidade superior a 1 m, não se desenvolvem em solos encharcados e são sensíveis à geada (Kissmann e Groth, 1999). Estes dois fatores limitam então a distribuição geográfica dos plantios, merecendo atenção as áreas localizadas na região centro-sul do país, bem como o pantanal e áreas de várzeas.

No estudo de grandes áreas, o sensoriamento remoto surgiu como uma ferramenta que apresenta muitas vantagens. Entre elas está o baixo custo por área específica, revisita da área imageada, aspecto multiespectral das imagens, dados no formato digital, além da facilidade de integração das imagens com outros dados de diversas fontes dentro de um Sistema de Informações Geográficas (Azevedo e Mangabeira, 2001).

O sensoriamento remoto trouxe avanços no setor florestal e, com a utilização de técnicas de interpretação de imagens, é possível identificar e mapear os plantios de *Eucalyptus* e diferenciá-los dos demais tipos de vegetação (como *Pinnus* e floresta nativa, por exemplo).

O levantamento das áreas ocupadas por plantios de *Eucalyptus* no Estado de São Paulo foi feito por Kronka et al. (2002), que utilizaram imagens orbitais referentes os anos de 1999 e 2000 e técnicas de interpretação visual de imagens. O mapeamento resultante apresentou as

regiões em que tais plantios se concentram no Estado, o qual serve de base para estudos futuros visando quantificação dos incrementos/decrementos das áreas plantadas.

Conforme ressaltado por Paludzyszyn Filho (2003), as espécies do gênero *Eucalyptus* possuem algumas limitações climáticas, edáficas e topográficas. A escolha de locais que atendam as exigências mínimas deste gênero favorece o seu crescimento, garantindo assim sua produtividade. Portanto, considerando tais exigências e a importância econômica do *Eucalyptus*, o presente estudo tem como objetivo atualizar o mapeamento das áreas com plantios de *Eucalyptus* spp. no Estado de São Paulo realizado por Kronka et al. (2002), a partir de imagens de satélite, bem como avaliar a distribuição geográfica associada aos tipos de solos, geologia, declividade dos terrenos e clima regional em que os plantios estão se desenvolvendo.

2. Metodologia

Inicialmente foi montado um banco de dados georreferenciado no software SPRING 4.2, uma vez que além da opção do banco de dados, este aplicativo fornece uma série de funções de processamento de imagens, manipulação de dados temáticos, armazenagem e consultas de dados cadastrais, modelagem numérica do terreno e análises espaciais (Câmara e Medeiros, 1996).

A área de estudo compreendeu o Estado de São Paulo, para a qual foram levantadas informações sobre geologia, pedologia, topografia e clima. Estas informações foram inseridas num banco de dados.

Imagens de satélite do sensor TM (Thematic Mapper) a bordo do satélite Landsat 5, do ano de 2008, foram selecionadas. O sensor possui seis bandas multiespectrais e uma banda no termal, com resolução espacial de 30 e 120 m, respectivamente. As imagens estão disponíveis no site www.dgi.inpe.br/CDSR/. As órbitas/ponto e as datas das imagens selecionadas (INPE, 2009) estão sumarizadas na Tabela 1 e apresentadas na Figura 1. Para serem inseridas no banco de dados, as imagens foram georreferenciadas utilizando como base as imagens do Geocover, disponível no site da Divisão de Processamento de Imagens (www.dpi.inpe.br/geocover/2000/). O erro médio para o registro das imagens foi menor que 1 pixel, ou seja, menor que 30 m.

Tabela 1 – Órbitas/pontos selecionadas para o mapeamento dos plantios de *Eucalyptus* para o Estado de SP em 2008.

Órbita/Ponto	Data	Órbita/Ponto	Data
218/76	12/09/08	221/75	15/07/08
219/75	17/07/08	221/76	15/07/08
219/76	18/08/08	221/77	28/05/08
219/77	17/07/08	222/74	22/07/08
220/74	24/07/08	222/75	22/07/08
220/75	08/07/08	222/76	22/07/08
220/76	10/09/08	223/76	30/08/08
220/77	25/08/08	223/75	13/07/08
221/74	15/07/08		

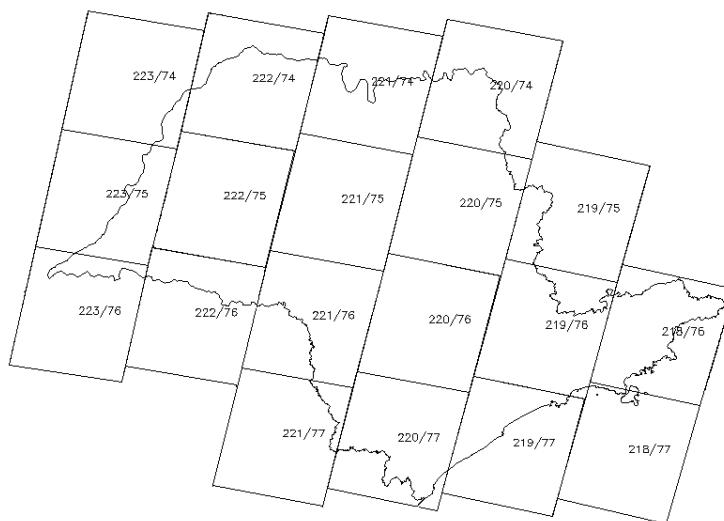


Figura 1 – Órbitas/Ponto do sensor TM para o Estado de São Paulo

Para o mapeamento das áreas contendo plantios homogêneos do gênero *Eucalyptus* considerou-se interpretação visual na composição colorida RGB 453 e, utilizando a edição vetorial, foram gerados diversos polígonos. Como resultado gerou-se um mapa temático com a classe “Reflorestamentos”, cujas áreas foram quantificadas para cada região administrativa do Estado.

O mapa geológico do Estado de São Paulo foi obtido junto ao site do Serviço Geológico do Brasil, disponível no site do CPRM - Companhia de Pesquisa e Recursos Minerais (www.cprm.gov.br), no link do Geobank, opção download de arquivos vetoriais, escala de 1:750.000. Os dados estavam no formato shape, na projeção Latlon e datum WGS84, os quais foram inseridos no banco de dados e convertidos para a projeção e datum do projeto. Os dados foram transformados de cadastral para temático, em que cada atributo da tabela, que neste caso foi a unidade geológica, foi escolhido e todos os polígonos pertencentes a mesma classe foram agrupados, gerando assim um mapa contendo as unidades geológicas (INPE, 2006).

O mapa de solos, escala 1:500.000, foi obtido do IAC (Instituto Agrônomo de Campinas) (Oliveira et al., 1999) também no formato shape (polígonos com tabela associada). Os dados originais estavam na projeção Latlon, datum WGS84, unidade graus, os quais foram convertidos para a projeção e datum do projeto criado. Assim como adotado para o mapa geológico, o mapa cadastral de solos foi transformado em mapa temático, cujas classes são aquelas do Sistema Brasileiro de Classificação de Solos (SBCS).

Os dados topográficos para o Estado foram obtidos na página do Topodata (<http://www.dsr.inpe.br/topodata/>), os quais foram derivados do SRTM (Shuttle Radar Topography Mission) por Valeriano, (2008) que considerou, para a derivação de variáveis geomorfométricas, a declividade do terreno (ângulo zenital), a orientação das vertentes (ângulo azimutal) e curvaturas vertical e horizontal. Para o presente trabalho utilizou-se somente a declividade, tendo sido necessárias 24 imagens (quadrículas) para cobrir todo o Estado. Os valores de declividade adotados foram aqueles agrupados Binda e Bertotti, (2007) em 5 classes: “Plano” (declividade de 0 e 3°), “Suave Ondulado” (declividade de 3 a 8°), “Ondulado” (declividade de 8 a 20°), “Forte Ondulado” (declividade de 20 a 45°) e “Montanhoso” (declividade maior que 45°)..

Os dados climáticos (precipitação pluviométrica média mensal de 97 estações) foram obtidos na página do IAC CIIAGRO (<http://www.ciiagro.sp.gov.br/ciiagroonline/>). Foram utilizados também dados de precipitação acumulada mensal, do período de 1961 a 1990 de

algumas estações do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET, 2009), totalizando 103 estações no Estado, conforme ilustradas na Figura 2.

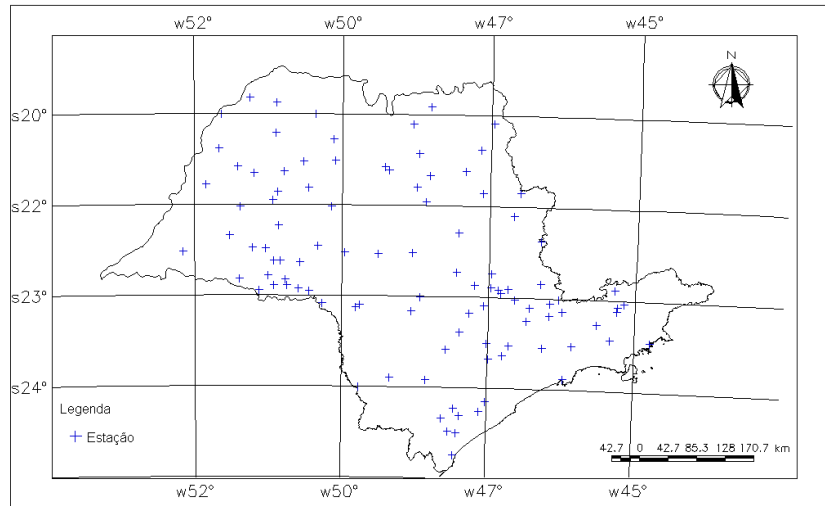


Figura 2 – Localização das estações meteorológicas selecionadas.

Os dados cadastrais de precipitação média mensal de todas as estações pluviométricas, inseridos num banco de dados georreferenciado foram separados em dois períodos distintos, ou seja, um período chuvoso (dezembro, janeiro e fevereiro) e outro seco (junho, julho e agosto). Com estes dados foram gerados dois mapas com pontos amostrais, um para cada estação do ano. Os dados pontuais foram espacializados para todo o Estado de São Paulo por meio de interpolação (média ponderada) e, em seguida, foi feito um fatiamento em classes (de 50 em 50 mm), gerando assim dois mapas temáticos.

3. Resultados e Discussão

O mapeamento dos plantios de *Eucalyptus* de todo o Estado é apresentado na Figura 3, enquanto as áreas de reflorestamentos quantificadas por região administrativa estão na Tabela 2. Esta tabela inclui também as áreas quantificadas por Kronka et al. (2002) para fins de comparação.

Os resultados indicam que há ausência de áreas de reflorestamento em alguns locais antes reflorestados, o que pode ter sido ocasionado pela mudança do uso do solo ou devido ao processo de exploração. Neste caso, o solo fica exposto, ou contém plantios muito jovens (2 anos ou menos), com este último podendo ocorrer em virtude de não ter sido considerado no presente trabalho uma série temporal de imagens.

As regiões administrativas que apresentaram um acréscimo das áreas reflorestadas com *Eucalyptus* foram Bauru, Sorocaba e Vale do Paraíba. De modo geral, as áreas das regiões administrativas cultivadas com *Eucalyptus* aumentaram em 75.123 ha.

Tabela 2 – Quantificação das áreas ocupadas por plantios de *Eucalyptus* no Estado de SP.

Região Administrativa	<i>Eucalyptus</i> (área em ha)		
	2002 (Kronka et al., 2002)	2008	Diferença (2002 a 2008)
1- Araçatuba	892	0	- 892
2- Bauru	47.087	82.082	34.995
3- Campinas	100.906	95.578	- 5.328
4- Litoral	4.122	0	- 4.122
5- Marília	5.186	476	- 4.710
6- Presidente Prudente	2.131	1.207	- 924
7- Ribeirão Preto	91.501	58.831	- 32.670
8- São José do Rio Preto	2.315	0	- 2.315
9- São Paulo	57.307	34.053	- 23.254
10- Sorocaba	233.406	323.478	90.072
11- Vale do Paraíba	66.663	90.934	24.271
TOTAL	611.516	686.639	75.123

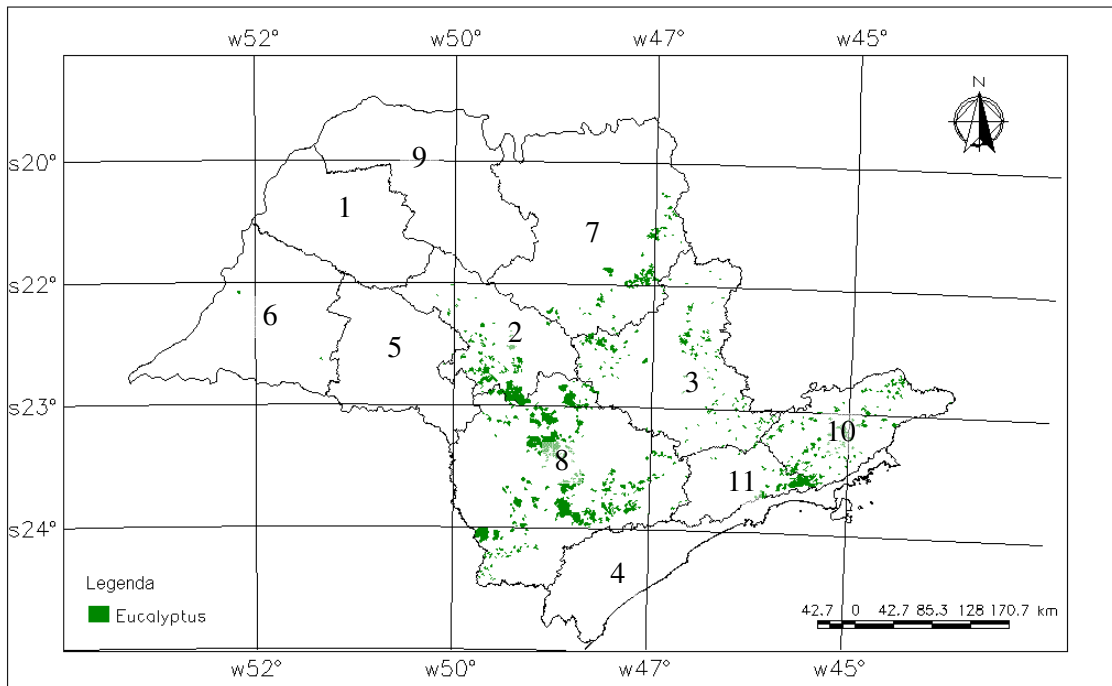


Figura 3 – Áreas reflorestadas com *Eucalyptus* spp. no Estado de São Paulo.

A Figura 4 apresenta os mapas de geologia, pedologia, declividade e precipitação nos períodos chuvoso e seco no Estado de São Paulo. As áreas cultivadas com *Eucalyptus* localizam-se predominantemente em áreas de arenito (61% da área total dos plantios). Esta litologia está presente em diversas formações no Estado de São Paulo, incluindo a Pirambóia (17%), Itararé (16%), Vale do Rio do Peixe (9%), Marília (8%), Botucatu (5%) entre outras. O arenito é uma rocha sedimentar resultante da litificação de material granular. Nestas rochas há muito quartzo, podendo haver também feldspatos e micas.

Os solos predominantes nos locais de plantios são os Argissolos Vermelho-Amarelos (PVA) que correspondem a 29%, seguidos dos Latossolos Vermelhos (LV) com 28%, Latossolos Vermelho-Amarelos (LVA) com 27%, Neossolo Quartzênico (RQ) com 7% e Cambissolo Háplico (CX) com 5%, o que totaliza 97% da área de plantios.

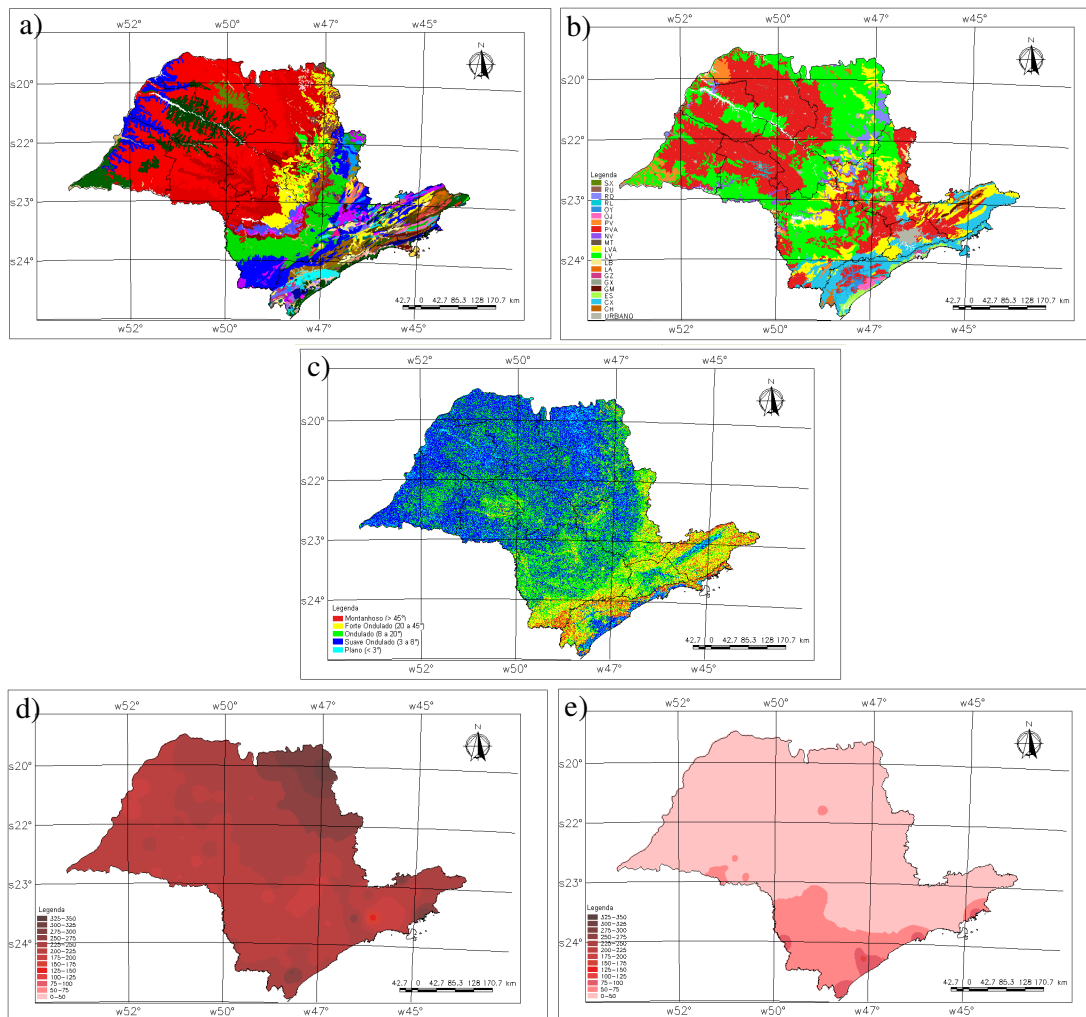


Figura 4 – Dados Geológicos (a), Pedológicos (b), Topográficos - Declividade (c), Climáticos - Período Chuvoso(d) e Seco(e) para o Estado de São Paulo.

Os Argissolos apresentam um acréscimo de argila com a profundidade do solo e, na maioria das vezes, tem caráter eutrófico, indicando boa fertilidade. São susceptíveis à erosão quando apresentam um gradiente textural elevado. Os Latossolos constituem a classe mais extensa do Estado de São Paulo e, geralmente, encontra-se em locais com relevo menos acidentado, o que favorece o uso de máquinas agrícolas. Sua principal limitação é a baixa disponibilidade de nutrientes nos solos distróficos. Quando somados, os dois tipos de Latossolos presentes nas áreas de plantios de *Eucalyptus* (Vermelho e Vermelho-Amarelo), totalizam 55% da área ocupada.

Os Neossolos Quartzênicos são areno-quartzosos, com baixa capacidade de retenção de nutrientes e de água, havendo necessidade de aplicação de insumos agrícolas. Devido à baixa adesão e coesão, apresentam elevada erodibilidade. Já os Cambissolos apresentam restrições ao uso agrícola, pois possuem elevada erodibilidade, forte risco de degradação e forte limitação ao tráfego de maquinários. São solos pobres em nutrientes e ácidos, conforme destacado em Oliveira (1999) e em Oliveira et al. (1999).

Portanto, grande parte dos plantios de *Eucalyptus* situa-se em locais com solos mais férteis (Argissolos e Latossolos), enquanto a minoria está situada em locais com solos pouco

férteis ou com algum tipo de restrição (Neossolo e Cambissolo). Os primeiros possuem propriedades que facilitam o manejo agrícola, favorecendo a aplicação de corretivos e fertilizantes que garantem elevadas produtividades.

Analisando o relevo nas diferentes áreas, observa-se que 42% dos plantios estão se desenvolvendo em locais com relevos ondulado (declividade entre 8 a 20°), 26% suave ondulado (declividade entre 3 a 8°), 24% em forte ondulado (declividade entre 20 e 45°), 3% em montanhoso (> 45°) e 2% em plano (0 a 3° de declividade). Em relevos acima de 45°, os ambientes são protegidos por lei (Código Florestal), estando portanto as áreas de plantios nestes locais em desconformidade legal. O *Eucalyptus* não tolera locais alagados, o que pode explicar a pequena área de 2% cultivada em locais planos, os mais susceptíveis à inundação.

Os dados climáticos do Estado de São Paulo associados à localização dos plantios de *Eucalyptus*, mostram que, para o período chuvoso, 90% da área estão localizadas em locais que chovem em média de 175 a 225 mm por mês. Já para o período seco, 97% da área estão em locais que apresentam, em média, de 0 a 75 mm de chuva por mês. O *Eucalyptus* não é muito exigente em água e é eficiente no seu uso. A Tabela 3 mostra, para fins de comparação, a eficiência do *Eucalyptus* e de outras monoculturas, o qual produz mais biomassa por unidade de água consumida.

Tabela 3 – Consumo de água e a produção de biomassa.

Cultura	Eficiência
Batata	1 Kg batata / 2.000 l
Milho	1 Kg Milho / 1.000 l
Cana-de-açúcar	1 Kg açúcar / 500 l
<i>Eucalyptus</i>	1 Kg de madeira / 350 l

Fonte: Calder et al. (1992) e Lima (1993)

4. Conclusões

O mapeamento das áreas de *Eucalyptus* no Estado de São Paulo apresentado mostrou que o no ano de 2008 houve um acréscimo de 12% em relação ao ano de 2002. De modo geral, os plantios estão se desenvolvendo em solos com boa fertilidade ou sem muitas restrições, como os Argissolos e Latossolos. Estão presentes em locais com relevos mais ondulados e quase inexistem em locais planos, o que pode ser devido à propensão a alagamentos nestes locais e a intolerância das espécies deste gênero a solos pouco drenados.

Climatologicamente, os plantios se concentram em locais com pouca deficiência hídrica, a qual não pode ser superior a 200 mm por ano, segundo o Zoneamento Agrícola para a cultura do *Eucalyptus* no Estado de São Paulo (Brasil, 2010).

O Estado de São Paulo, em sua maior parte, possui condições favoráveis à expansão dos plantios de *Eucalyptus*; porém, as restrições referentes à legislação ambiental, topográficas, pedológicas e climáticas precisam ser consideradas.

Referências Bibliográficas

Azevedo, E.C.; Mangabeira, J.A.C. **Mapeamento de uso das terras utilizando processamento digital de imagem de Sensoriamento Remoto**. Campinas, SP: MAPA, 2001. 12p. (Comunicado Técnico, ISSN 1415-2118).

Binda, A.L.; Bertotti, L.G. Geoprocessamento aplicado à análise da bacia hidrográfica do Rio Cachoeirinha, Guarapuava-PR. In: Simpósio Brasileiro de Geografia Física Aplicada, 12. 2007, Natal. **Anais...** Natal: UFRN, 2007.

Brasil. Portaria nº 198, de 08.07.2010. Aprova o Zoneamento Agrícola para a cultura de eucalipto no Estado de São Paulo. Disponível em: <http://www.in.gov.br/visualiza/index.jsp?data=08/07/2010&jornal=1&pagina=4&totalArquivos=96>. Acesso em: 19.11.2010.

Calder, I.R., Hall, R.L., Adlard, P.G. **Growth and Water Use of Forest Plantations**. John-Wiley, Chichester. 1992. 381p.

Câmara, G.; Medeiros, J.S. **Geoprocessamento para projetos ambientais**: tutorial. São José dos Campos: INPE, 1996. 139p. Disponível em: www.dpi.inpe.br/gilberto/tutoriais/gis_ambiente/. Acesso em: 12.mar.2010.

Paludzyszyn Filho, E. **Cultivo do Eucalipto**. Empresa Brasileira de Agropecuária. 2003. (Sistemas de Produção 4, ISSN 1678-8281).

INMET – Instituto Nacional de Meteorologia. **Normais Climatológicas do Brasil 1961 – 1990**. Ramos, A.M.; Santos, L.A.R; Fortes, L.T.G. (Org.). Brasília, DF: INMET, 2009. 465 p.

INPE – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. **Introdução ao SPRING**: prática. 2006. 121 p.

INPE - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. Divisão de Geração de Imagens (INPE. DGI). Imagens do Estado de São Paulo. São José dos Campos, 2009. 19 imagens de satélite. Landsat 5 / Sensor CCD – Composição RGB, bandas 4, 5, 3, Órbitas/Ponto: 218/76, 218/77, 219/75, 219/76, 219/77, 220/74, 220/75, 220/76, 220/77, 221/74, 221/75, 221/76, 221/77, 222/74, 222/75, 222/76, 223/74, 223/75, 223/76. Disponível em: <http://www.dgi.inpe.br/CDSR/> . Acesso em: 23.jun.2009.

Kissmann, K. G.; Groth, D. **Plantas infestantes e nocivas**. 2.ed. São Paulo: BASF, 1999. 978 p.

Kronka, F.J.N.; Nalon, M. A.; Matsukuma, C.K. **Inventário florestal das áreas reflorestadas do Estado de São Paulo**. Secretaria de Estado de Meio Ambiente. Instituto Florestal. 2002, 184 p.

Lima, W.P. **Impacto Ambiental do Eucalipto**. Universidade de São Paulo: EDUSP. 1993. 301p.

Oliveira, J. B.; Camargo, M. N.; Rossi, M.; Calderano Filho, B. **Mapa pedológico do Estado de São Paulo**: legenda expandida. Escala 1:500.000. Campinas: Instituto Agrônomo/EMBRAPA- Solos. Campinas. 1999. 64p.

Oliveira, J.B. **Solos do Estado de São Paulo**: descrição das classes registradas no mapa pedológico. Campinas: Instituto Agrônomo de Campinas, 1999. 112p. (Boletim Científico, 45).

SBS – Sociedade Brasileira de Silvicultura. Estatísticas. Área plantada com Pinus e Eucaliptos no Brasil. 2001. <http://www.sbs.org.br>. Acesso em: 10.nov. 2010.

Valeriano, M.M. **TOPODATA**: guia de utilização de dados geomorfométricos locais. São José dos Campos: Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, 2008.44 p. (INPE-0000 -TDI/00).