



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

**MODELO EDAFOCLIMÁTICO PARA A ESPACIALIZAÇÃO DA**  
**PRODUTIVIDADE DO EUCALIPTO NO ESTADO DO RIO DE JANEIRO**

**ALLANA OLIVEIRA LIMA**

*Sob a orientação do professor*

**GUSTAVO BASTOS LYRA**

Seropédica - RJ  
Janeiro – 2014



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

**MODELO EDAFOCLIMÁTICO PARA A ESPACIALIZAÇÃO DA  
PRODUTIVIDADE DO EUCALIPTO NO ESTADO DO RIO DE JANEIRO**

**Allana Oliveira Lima**

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

*Sob a orientação do professor*

**Gustavo Bastos Lyra**

Seropédica  
Janeiro - 2014



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

**MODELO EDAFOCLIMÁTICO PARA ESPACIALIZAÇÃO DA PRODUTIVIDADE**  
**DO EUCALIPTO NO ESTADO DO RIO DE JANEIRO**

Allana Oliveira Lima

Monografia aprovada em 30 de Janeiro de 2014

Banca Examinadora:

---

Prof. Gustavo Bastos Lyra – UFRRJ  
Professor Adjunto II do Departamento de Ciências Ambientais/IF/UFRRJ  
(Orientador)

---

Prof. Ednaldo Oliveira dos Santos – UFRRJ  
Professor Adjunto II do Departamento de Ciências Ambientais/IF/UFRRJ  
(Membro Titular)

---

Emanuel José Gomes de Araújo – UFRRJ  
Professor Assistente I do Departamento de Silvicultura/IF/UFRRJ  
(Membro Titular)

## DEDICATÓRIA

Aos meus pais,  
Rosane Peixoto de Oliveira e Evandro Lima,  
e ao meu irmão Brenno Oliveira Lima,  
que foram fundamentais em todas as etapas da minha vida.

"Sonhe com o que você quiser. Vá para onde você queira ir. Seja o que você quer ser, porque você possui apenas uma vida e nela só temos uma chance de fazer aquilo que queremos. Tenha felicidade bastante para fazê-la doce. Dificuldades para fazê-la forte. Tristeza para fazê-la humana. E esperança suficiente para fazê-la feliz."

Clarice Lispector

## AGRADECIMENTOS

Primeiramente, agradeço a Deus por esta conquista.

A todos os meus familiares, pelo apoio, paciência e amor, especialmente para a minha mãe e minha avó Einadir que são grandes exemplos para mim, ao meu pai por sua sabedoria e honestidade em todos os momentos, ao meu irmão por ter tornado a minha vida mais feliz e as minhas tias que acreditaram no meu sucesso.

Ao Jorge Augusto Espíndola Ferreira, pelo amor, suporte e companheirismo durante a minha graduação.

Ao professor e orientador Gustavo Bastos Lyra, pela paciência e atenção, pelos ensinamentos científicos e principalmente pela confiança, possibilitando assim o desenvolvimento e conclusão da minha monografia.

A todos os professores do curso, que foram essenciais na minha vida acadêmica, principalmente aos professores Hugo Amorim Barbosa e Emanuel José Gomes de Araújo que tornaram possível a realização desta monografia e ao professor Heber Santos de Abreu que concedeu o meu primeiro estágio.

Aos meus dois maiores amigos Murillo Cassiano e Raysa Ferreira, por todos os momentos inesquecíveis que passamos juntos, as minhas amigas Amanda, Larissa, Rhavine e Thaís que me acompanham há mais de dez anos.

A todos da Turma 2009-I por todos os risos e alegria proporcionados, em especial a Camila Caetano por compartilharmos não só a casa durante os cinco anos de graduação, mas também felicidade e aprendizado, a Tamires Partelli por ser uma pessoa paciente e fundamental em todas as etapas desta monografia e de muitos outros trabalhos que surgiram na graduação, a Carla Moretti, Maria Vanessa, Danielle Freitas e Raíza Salomão por terem possibilitado bons momentos de descontração.

À Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro por proporcionar uma excelente formação e a FAPERJ pelos dois anos de bolsa de iniciação científica.

À Banca examinadora pelo privilégio de suas críticas e orientações que enriqueceram este trabalho.

Por fim, obrigada a todos que contribuíram direta ou indiretamente para que este momento se concretizasse!

## RESUMO

A modelagem da produtividade de espécies florestais tem sido amplamente utilizada com o finalidade de facilitar o planejamento da implantação de um povoamento e otimizar o uso de recursos. Este trabalho foi conduzido com o objetivo de propor um modelo para espacializar a produtividade do eucalipto no estado do Rio de Janeiro em função das variáveis climáticas (precipitação, temperatura do ar, déficit hídrico e excedente hídrico), relevo (elevação, orientação e declividade) e solos (características físico-hídricas). Foi realizado o ajuste e teste do modelo a fim de avaliar e quantificar a produtividade das regiões: Baixadas Litorâneas, Metropolitana, Norte Fluminense, Noroeste Fluminense, Centro-Sul Fluminense e Serrana. Para realizar as análises foram elaborados mapas que permitiram a espacialização da produtividade do Estado. A região Serrana foi a que obteve os maiores valores de produtividade do Estado (entre 100 e 200 m<sup>3</sup>/ha), enquanto que a região Metropolitana apresentou grande amplitude de produtividade, com valores baixos (entre 0 e 25 m<sup>3</sup>/ha) e elevados (entre 200 e 225 m<sup>3</sup>/ha).

**Palavras chaves:** Geoprocessamento, modelagem, interpolação espacial

## ABSTRACT

The modeling of forest productivity specimens has been widely used with the aim to facilitate the deployment planning of a eucalyptus' population and optimize the use of resources. This work was conducted in order to propose a model for spatialize productivity of eucalyptus in the state of Rio de Janeiro according to climatic variables (precipitation , air temperature , deficit and excess water) , relief (elevation , slope and aspect) and soils . Adjustment and testing of the model was performed to evaluate and quantify the productivity of regions : Baixadas Litorâneas , Metropolitana , Norte Fluminense , Noroeste Fluminense , Centro-Sul Fluminense and Serrana . To perform the analyzes were developed maps that allowed the productivity's spacialization of the state. The Serrana region was the one with the higher values productivity of the state (between 100 and 200 m<sup>3</sup> / ha) , while the Metropolitana area had a wide range of productivity , showed low values (between 0 and 25 m<sup>3</sup> / ha ) and high ( between 200 and 225 m<sup>3</sup> / ha).

**Kew words:** Geoproceesing, modeling, spatial interpolation



## SUMÁRIO

<b>LISTA DE FIGURAS.....</b>	<b>xi</b>
<b>LISTA DE TABELAS .....</b>	<b>xii</b>
<b>3. INTRODUÇÃO .....</b>	<b>1</b>
<b>4. OBJETIVOS .....</b>	<b>2</b>
2.1 Geral.....	2
2.2 Específicos .....	2
<b>5. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....</b>	<b>3</b>
3.1.Setor Florestal .....	3
3.2. O estado do Rio de Janeiro no cenário florestal .....	4
3.3. Eucalipto .....	6
3.4. Produtividade do eucalipto .....	7
3.5. Características fisiográficas do estado do Rio de Janeiro.....	8
3.5.1. Relevo.....	8
3.5.2. Clima .....	8
3.6. Modelos de crescimento e produção.....	9
3.7. Geoprocessamento para espacialização da produção .....	10
3.8. Fatores ambientais .....	11
<b>6. MATERIAL E MÉTODOS.....</b>	<b>12</b>
4.1. Área de estudo .....	12
4.2. Produção do eucalipto.....	12
4.3. Séries climáticas .....	13
4.3.1. Precipitação pluvial .....	13
4.3.2. Temperatura do ar .....	14
4.3.3. Déficit e Excesso hídrico.....	16
4.4. Solos.....	16
4.5. Elevação, declividade e orientação .....	16
4.6. Ajuste e teste do modelo de produtividade .....	17
<b>7. RESULTADOS E DISCUSSÃO .....</b>	<b>18</b>
5.1. Ajuste do modelo .....	18

5.2. Espacialização da produtividade.....	20
5.2.1. Distribuição espacial da produtividade .....	20
5.3. Teste do modelo.....	25
<b>8. CONCLUSÕES .....</b>	<b>26</b>
<b>9. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....</b>	<b>26</b>

## LISTA DE FIGURAS

<b>Figura 1.</b> Área e distribuição do total de plantios de Eucalyptus e Pinus nos estados do Brasil. Fonte: Adaptado das Associadas individuais e coletivas da ABRAF (2013) e Pöyry Silviconsult (2013).....	3
<b>Figura 2.</b> Distribuição Relativa do Número de Empresas Fluminenses Consumidoras de Produtos Semiacabados de Base Florestal por Elo da Cadeia Produtiva. Adaptada da FIRJAN (2012).....	5
<b>Figura 3.</b> Regiões de governo do estado do Rio de Janeiro. Adaptado da Fundação CEPERJ (1991) .....	12
<b>Figura 4.</b> Distribuição das estações meteorológicas utilizadas para obter o mapa de precipitação média anual .....	14
<b>Figura 5.</b> Distribuição das estações meteorológicas utilizadas para obter o mapa de precipitação média anual.....	15
<b>Figura 6.</b> Produtividade média do eucalipto da Região Metropolitana .....	20
<b>Figura 7.</b> Produtividade média do eucalipto da Região Centro-Sul Fluminense.....	21
<b>Figura 8.</b> Produtividade média do eucalipto da Região Baixadas Litorâneas.....	22
<b>Figura 9.</b> Produtividade média do eucalipto da Região Noroeste Fluminense .....	22
<b>Figura 10.</b> Produtividade média do eucalipto da Região Norte Fluminense.....	23
<b>Figura 11.</b> Produtividade média do eucalipto da Região Médio Paraíba .....	24
<b>Figura 12.</b> Produtividade média do eucalipto da Região Serrana .....	25

## LISTA DE TABELAS

<b>Tabela 1.</b> Classificação do solo em relação a água disponível no solo.....	16
<b>Tabela 2.</b> Coeficiente de determinação e erro padrão.....	18
<b>Tabela 3.</b> Coeficientes ajustado aos modelos para o estado do Rio de Janeiro e suas regiões de governo.....	19
<b>Tabela 4.</b> Coeficiente de determinação obtido após teste do modelo.....	26

## 1. INTRODUÇÃO

O setor florestal brasileiro é caracterizado pela diversidade de produtos e tem representatividade socioeconômica significativa para o País, com cerca de 4,4 milhões de postos de empregos, que incluem empregos diretos, indiretos e empregos resultantes do efeito-renda. Além disso, o Valor Bruto da Produção Florestal, que é um indicador econômico usual do setor de florestas plantadas, correspondeu a BRL (código ISO-4217- padrão internacional da moeda brasileira) de 56,3 bilhões no ano de 2012 (ABRAF, 2013).

Atualmente, o Brasil tem cerca de 6,7 milhões de hectares de florestas plantadas, sendo que 76,6% desta área é ocupada pelo gênero *Eucalyptus*. O Eucalipto abrange grande variedade de espécies, apresenta rápido crescimento e suas espécies se adaptam a grande diversidade de solos e climas.

O estado do Rio de Janeiro tem pouca relevância no contexto nacional, quando se trata da área de plantio de eucalipto e produção florestal. Essa condição faz com que o Estado se caracterize como grande importador de matéria-prima madeireira para diversos setores da sua economia (MOTTA, 2004). Apesar desse cenário, o Estado apresenta potencial produtor, visto que possui grande mercado consumidor e condições ambientais propícias para tal finalidade.

O estabelecimento de florestas produtivas gera uma série de vantagens que vão além dos benefícios financeiros diretos da exploração da matéria prima. Embora a plantação monoespécífica da floresta comercial não possa ser comparada a floresta natural em todas suas múltiplas funções ambientais, por imitá-la, assegura algumas delas. Entre essas funções, destacam-se as relacionadas aos recursos hídricos e climáticos, que criam um modelo ambientalmente interessante de atividade econômica que pode servir para melhorar a capitalização do agricultor além de promover a valorização imobiliária da propriedade. Contudo, é necessário identificar as áreas com potencial produtivo para a implantação de um povoamento, visando otimizar o uso de recursos.

O crescimento e o desenvolvimento vegetal são fortemente influenciados por fatores ambientais como: a radiação solar, disponibilidade de água, temperatura e umidade do ar, tipos e fertilidades do solo, os quais variam de acordo com cada região e época do ano (PEREIRA et al., 2002; CHAVES et al., 2004; TOLEDO, 2012).

No setor florestal, ainda não é comum realizar levantamentos para obter informações disponíveis a respeito das condições ambientais, antes de definir uma área de interesse para o plantio de determinada espécie. O geoprocessamento permite identificar áreas com maior potencial para o cultivo do eucalipto, através de simulações com os mais variados enfoques (BATISTA; MAFIA, 2009). Os sistemas de informações geográficas (SIG) são ferramentas que possibilitam integração de informações de diferentes fontes e formatos, gerando um conjunto de operações e análises altamente eficientes para auxiliar na tomada de decisão e nos processos administrativos das empresas (SPONHOLZ et al., 2013).

De maneira geral, a modelagem pode ser definida como a construção de uma representação matemática de sistemas biológicos, que introduzem conhecimentos sobre mecanismos fisiológicos e ecológicos por meio de algoritmos preditivos (JOHNSEN et al., 2001; GOMES; VARRIALE, 2004). O desenvolvimento de modelos capazes de prever o potencial produtivo é fundamental para definir o grau de intervenção por meio de práticas de manejo silvicultural, na otimização do uso de recursos visando produção florestal e a proteção do meio ambiente (SANTANA et al., 2008).

## **2. OBJETIVOS**

### **2.1 Geral**

Propor um modelo para espacializar a produtividade do eucalipto no estado do Rio de Janeiro em função das variáveis climáticas, relevo e solos.

### **2.2 Específicos**

- ✓ Elaborar mapas anuais de temperatura do ar, precipitação, déficit hídrico e excedente hídrico;
- ✓ Obter os mapas pedológico e do relevo do estado do Rio de Janeiro;
- ✓ Ajustar e testar um modelo de produtividade em função das variáveis climáticas, solo e relevo.

### 3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

#### 3.1. Setor Florestal

O Brasil apresenta um desenvolvido e competitivo setor florestal, sendo detentor da segunda maior cobertura vegetal do mundo, e estima-se que 69% dessa cobertura tenha potencial produtivo. Em virtude disso, o País criou uma estrutura produtiva complexa no setor florestal, que inclui as florestas plantadas, de pinus e eucaliptos, e suas relações com produtores de equipamentos, insumos, projetos de engenharia e empresa de produtos florestais (SFB, 2013). A representatividade econômica do setor florestal brasileiro é destacada pela contribuição anual em torno de R\$ 26 bilhões cerca de 5% do PIB nacional (SBS, 2005), e em 2012, as exportações totalizaram mais de US\$ 7,5 bilhões.

Segundo a Associação Brasileira de Produtores de Florestas Plantadas (ABRAF), em 2012, a área brasileira de plantios de *Eucalyptus* e *Pinus* atingiu 6,66 milhões de hectares (Figura 1). Desse total 76,6% é de plantios de *Eucalyptus* e 23,4% é destinada aos plantios de *Pinus*. Cerca de um terço dessa área – 2,2 milhões de hectares – corresponde às florestas para celulose e papel, que é o segmento de maior destaque para a economia florestal.



**Figura 1:** Área e distribuição do total de plantios de *Eucalyptus* e *Pinus* nos estados do Brasil. Fonte: Adaptado da Associadas individuais e coletivas da ABRAF (2013) e Pöyry Silviconsult (2013).

As florestas plantadas são responsáveis por grande parte da geração de produtos, tributos, empregos e bem-estar. Estas florestas fornecem uma variedade de produtos madeireiros e não madeireiros, tanto para o mercado interno, como para exportação, em forma de matéria-prima ou produto final. Além disso, contribuem com uma série de serviços sociais e ambientais, sua utilização para fins industriais é muito importante para a conservação do

meio ambiente, pois as árvores produzem a matéria-prima que supre a necessidade da população por papel, madeira, lenha, carvão para uso energético e outros produtos de amplo consumo, sem esgotar os recursos naturais (BRACELPA, 2013).

Do ponto de vista ambiental, a gestão sustentável das florestas plantadas diminui as pressões sobre as florestas nativas para produtos florestais. Isso possibilita que estas estejam mais protegidas e conservadas, visto que as florestas plantadas representam uma alternativa economicamente viável e sustentável. No âmbito social, as atividades da cadeia produtiva do setor promovem a geração de emprego e renda. Segundo dados da ABRAF, estima-se que o setor florestal manteve 4,4 milhões de postos de empregos, distribuídos em empregos diretos (0,6 milhão), empregos indiretos (1,3 milhão) e empregos resultantes do efeito-renda (2,4 milhões).

Apesar das vantagens das florestas plantadas, a atual área ocupada por estas florestas ainda não atendem a demanda atual de madeira do Brasil, tendo como consequência a diminuição gradativa de áreas ocupadas por florestas naturais (EMBRAPA, 2004; FRANCELINO, et al., 2011). Portanto, ainda são necessárias mais áreas destinadas ao plantio de espécies florestais para que o Brasil se torne menos dependente de suas florestas nativas, e consequentemente mais conservacionistas com suas florestas naturais.

### **3.2. O estado do Rio de Janeiro no cenário florestal**

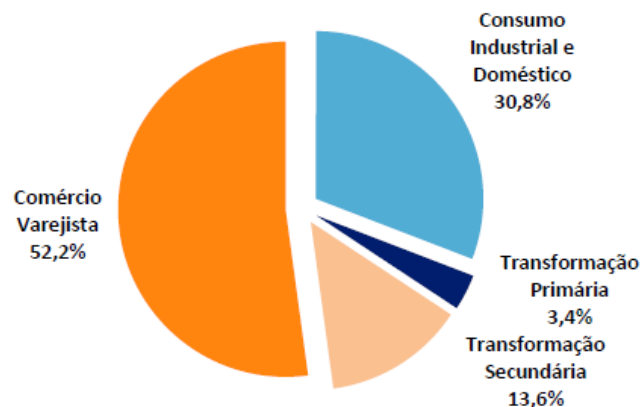
O estado do Rio de Janeiro ainda apresenta baixa participação econômica e representativa em termo de área plantada no setor florestal brasileiro. De acordo com a FIRJAN (2012) o Estado tem cerca de 18 mil hectares de plantios florestais, ou seja, somente 0,28% da área total de plantios florestais existente no Brasil.

Tal cenário evidencia que o Estado não se destaca na produção florestal, porém representa importante mercado consumidor. O mercado consumidor de produtos de base florestal no Rio de Janeiro está organizado em quatro elos: transformação primária, transformação secundária, comércio varejista e consumo final, sendo que a relação entre esses elos ocorre muitas vezes de maneira não linear (FIRJAN, 2012).

O elo de transformação primária é assinalado por ramos industriais que processam madeira in natura. Os ramos de serrarias, usinas de tratamento de madeira e usinas de carbonização de madeira são os representantes localizadas no estado do Rio de Janeiro. No elo de transformação secundária, produtos da primeira transformação, oriundos tanto do Rio de Janeiro, como principalmente de outros Estados, são reprocessados para pallets, caixarias, móveis, PMVA (produtos de maior valor agregado), formas para concreto, ferro gusa e papel. O elo de comércio varejista é responsável por abastecer o consumo industrial e doméstico de produtos semiacabados de base florestal no Rio de Janeiro, com produtos, principalmente, de outros Estados da Federação. Nesse elo, destaca-se o ramo de construção civil, que utiliza madeira em larga escala, tanto em sua fase estrutural, com formas para concreto, como no acabamento de obras, com portas, janelas, pisos; e a indústria em geral que consome madeira principalmente para fins de geração de vapor e energético.

A população base do estudo realizado pela FIRJAN foi formada por 899 empresas consumidoras de produtos de base florestal. Estima-se que esse número de empresas representem aproximadamente 80% do volume anual consumido de produtos de base florestal no Estado.





**Figura 2:** Distribuição Relativa do Número de Empresas Fluminenses Consumidoras de Produtos Semiacabados de Base Florestal por Elo da Cadeia Produtiva. Adaptada da FIRJAN (2012)

A PSC estima que em 2012 a cadeia produtiva de base florestal movimentou mais de R\$ 502 milhões (equivalente a 60% do valor bruto da produção agrícola do Estado), empregue diretamente cerca de 30 mil pessoas nas diretamente ligadas ao setor e arrecadem para o Estado um montante próximo a R\$ 132 milhões no estado do Rio de Janeiro (FIRJAN, 2012).

O estado do Rio de Janeiro importa cerca de 90% da madeira consumida pelas indústrias. Do total consumido, 29% é lenha queimada para geração de energia nas indústrias, e 23% são empregados na construção civil. A produção local de madeira tem forte dependência de produtos florestais provenientes da Bahia, Espírito Santo, São Paulo e Minas Gerais. Em relação aos principais gêneros florestais cuja madeira é consumida no Rio de Janeiro, estima-se que a madeira de espécies nativas represente 13,1% do montante consumido. A madeira provinda de plantios florestais, principalmente dos gêneros *Pinus* e *Eucalyptus*, o que totaliza 86,9% do consumo Estadual (FIRJAN, 2012).

A baixa representatividade do Rio de Janeiro no setor florestal, pode ser explicada pelo caráter conservacionista do Estado que cria barreiras ambientais. O problema não é apenas a política de proteção de áreas de florestas naturais, mas sim à burocracia com a qual ela é implementada. São necessárias licenças, autorizações, laudos, análises de processos para que as empresas respeitem a legislação ambiental. No entanto, o poder público, segundo o mercado, não teria a estrutura suficiente para fornecer uma resposta ágil, de acordo com as necessidades do setor produtivo (FIRJAN, 2012).

Com relação a legislação, foram feitos regulamentos e leis que impediam ou dificultavam o plantio de *Eucalyptus* e *Pinus* em grande escala, como é o caso da Lei 4063/2003. A referida lei determinava a realização de zoneamento ecológico-econômico, e exigia que os empreendimentos de monoculturas em escala deveriam obrigatoriamente plantar essências nativas equivalente a 30% (trinta por cento) de área plantada. O plantio de essências nativas deveria ser conduzido durante o ciclo de exploração, exceto quando, na propriedade objeto do plantio, as áreas de reserva legal – 20% (vinte por cento) da área total, estivessem devidamente averbadas no registro de imóveis e cobertas com vegetação nativa. Nestes casos os empreendimentos de monocultura deveriam plantar essências nativas equivalentes a 10% (dez por cento) da área plantada, devendo o plantio de essências nativas ser conduzido durante o ciclo de exploração comercial.

No entanto em julho de 2009, foi regulamentada a lei 5.067/2007 que se refere a empreendimentos de silvicultura econômica, definidos como pequena e média escala, no estado do Rio de Janeiro. Esta lei eliminou somente para a silvicultura a contrapartida prevista

na lei de 2003, que obrigava empreendimentos de monocultura a plantar ou manter o equivalente a 30% da área cultivada com mata nativa. Apesar da flexibilização, a legislação estadual que regulamenta a silvicultura econômica ainda é considerada complexa por alguns representantes do setor, pois exige a regularização dos plantios junto ao Instituto Estadual do Ambiente.

### 3.3. Eucalipto

No Brasil, até o início do século XX, o eucalipto era utilizado apenas como árvore decorativa devido ao seu bom desenvolvimento como quebra-vento e por supostas propriedades sanitárias. O uso do eucalipto com objetivos econômicos iniciou-se em 1903, com a premissa do desenvolvimento das estradas de ferro através da Companhia Paulista de Estradas de Ferro. Além disso, a sua introdução em escala comercial visava a produção de lenha e carvão, para posteriormente ser utilizado como postes, mourões para cerca e matéria prima para celulose, papel, chapas de fibra e móveis (ANDRADE, 1961).

Segundo Pereira et al. (2000), de 1909 a 1966, quando vigorava a Lei 5.106 dos incentivos fiscais ao reflorestamento, haviam sido plantados 470.000 hectares de eucalipto em todo o Brasil, 80% do plantio se encontrava em São Paulo, porém em 1987, foram abolidos tais incentivos. Após o estabelecimento da cultura do eucalipto no País, tal gênero tornou-se referência nos estudos e nos programas de melhoramento genético, devido ao seu rápido crescimento e os múltiplos usos da madeira (CARVALHO, 2006).

*Eucalyptus* é um gênero com representantes arbóreos da família *Myrtaceae* e nativa, principalmente, da Austrália. Há mais de 670 espécies de eucalipto, as quais cada uma possui uma finalidade mais apropriada de aplicação da madeira. Muitas crescem até 70 metros, como *Eucalyptus grandis*, uma das mais plantadas. Outras têm porte arbustivo, de 1,5 a 3 metros. Porém, maioria das espécies, contudo, tem 10 a 50 metros (FLORES et al., 2009).

A madeira de eucalipto tem sido utilizada em uma série de objetivos como: produção de lenha, estacas, mourões, dormentes, carvão vegetal, celulose e papel, chapas de fibras e de partículas, existe forte tendência em utilizá-la, também para fins mais nobres, como fabricação de casas, móveis e estruturas, principalmente nas regiões Sudeste e Sul, carentes de florestas naturais (PEREIRA et al., 2000).

O eucalipto é uma opção potencial para a substituição do uso de madeiras nativas e para o suprimento da demanda do mercado, visto que possui capacidade produtiva e adaptabilidade a diversos ambientes, mas, principalmente, pela ampla diversidade de espécies. A cultura atende aos requisitos tecnológicos dos mais diversos segmentos da produção industrial madeireira (SANTOS, 2010).

Como a espécie apresenta necessidades climáticas diversificadas, ela se adapta a condições bastante diferentes das observadas na sua região de ocorrência natural (BOOTH; PRYOR, 1991). Porém, grande parte deste gênero é sensível a geadas, considerado fator limitante do desenvolvimento das espécies nas regiões de clima temperado. As melhores produtividades são atingidas nos climas subtropicais e temperado quente, onde a temperatura do ar máxima média do mês mais quente fica entre 24 e 32°C; temperatura mínima do mês mais frio entre 3 e 17°C e temperatura média anual entre 14 a 22 °C (BOOTH; PRYOR, 1991; POYTON, 1979).

O estado do Rio de Janeiro já foi inventariado a fim de obter a área de reflorestamento de *Eucalyptus* e *Pinus* existente no Estado. Conforme Mendonça Filho (1984), no estado do Rio de Janeiro, ao final de 1977, existiam 10.598 ha de povoamentos plantados, deste total o

eucalipto correspondia por 89%. A Microrregião 217 (Barra do Pirai, Barra Mansa, Resende, Rio das Flores, Valença e Volta Redonda) abrigava 75% da área plantada com eucalipto.

A espécie mais abrangente desse gênero foi o *Eucalyptus saligna*, apresentando 41% da área plantada. A produtividade média do eucalipto (139 m<sup>3</sup>/ha) pode ser considerada apenas como regular, entretanto o eucalipto apresentou alta mortalidade (38%).

Segundo este inventário as espécies de Eucalipto encontrados no estado foram: *E. salignia*, *E. grandis*, *E. alba* e *E. citriodora*. O *Eucalyptus salignia* varia entre 30 a 55 m de altura, com mais 2 m de DAP. O melhor desenvolvimento é atingido em solos de aluvião, franco-arenoso de boa qualidade. Cresce satisfatoriamente também em podzólicos profundos de origem vulcânica (Latosolos e Terra Roxa Estruturada), mas com boa drenagem. A madeira é indicada para: laminação, móveis, estruturas, caixotaria, postes, escoras, mourões, celulose e carvão. O *Eucalyptus grandis* é considerado uma espécie muito alta, com tamanho variando de 45 a 55m e DAP entre 1,2 a 2 m, é a principal fonte de matéria prima para celulose e papel do Brasil (IPEF, 2014). O *Eucalyptus alba* é uma árvore de tamanho médio, cuja altura atinge de 7 a 20 m, a copa geralmente tem mais da metade da altura total da árvore, além disso essa espécie é decídua na estação seca, alcança melhor desenvolvimento na planícies onduladas próximo aos cursos d'água, em solos derivados de granito e arenito. O *Eucalyptus citriodora*, atualmente, pertence ao gênero *Corymbia*, a espécie é nomeada de *Corymbia citriodora*. É uma árvore média a grande, ocasionalmente atinge 50 m de altura e 1,2 m de DAP, com excelente forma do tronco e folhagem rala. A madeira é bastante empregada nas: construções, estruturas, caixotaria, postes, dormentes, mourões, lenha e carvão (IPEF, 2014).

### 3.4. Produtividade do eucalipto

Quando objetiva-se o planejamento e manejo florestal, é pertinente fazer a classificação e o mapeamento de sítios, visto que são ferramentas essenciais as quais fornecem informações sobre: o prognóstico da produtividade, a alocação de talhões, definição da densidade de plantio, do ciclo de corte e da rotação, planejamento de colheitas, plano de investimentos e de fluxo de caixa (GREY, 1985), além de permitir o uso racional do solo, evitando a exaustão de sua fertilidade e a degradação de suas propriedades físicas (CARMO et al., 1990).

Segundo Gholz e Boring (1991) o sítio pode ser definido como a totalidade dos fatores ambientais que direta ou indiretamente influenciam a sobrevivência e crescimento dos povoamentos. Pode-se dizer que a qualidade do sítio é a soma total dos fatores edáficos, biológicos e climáticos que afetam a planta ou as plantas. A classificação de sítios é uma atividade básica e de grande importância que permite avaliar a capacidade produtiva de uma determinada área, correlacionando-a com a espécie ou espécies que nela se deseja produzir.

Prodan (1997) afirma que a qualidade do sítio define a capacidade de uma espécie se desenvolver em um determinado local, levando em consideração as totais condições ambientais do determinado lugar. A determinação da produtividade dos sítios florestais é fundamental para o sucesso da produção madeireira de uma empresa florestal.

A produtividade florestal está relacionada à disponibilidade hídrica e aos efeitos consequentes da falta de água na planta como diminuição da taxa fotossintética (VOSE; SMANK, 1994 apud SOUZA et al., 2006) e diminuição do aporte nutricional das árvores (SANDS; MULLIGAN apud SOUZA et al., 2006).

A produtividade média de madeira oriunda de florestas plantadas de eucalipto no Brasil é de 35 m<sup>3</sup>/ha/ano, superior inclusive à produção Neozelandesa (um dos países de origem do eucalipto) (ABRAF, 2007).

### **3.5. Características fisiográficas do estado do Rio de Janeiro**

#### **3.5.1. Relevo**

A paisagem do estado do Rio de Janeiro apresenta fortes contrastes, tais como, escarpas elevadas, tanto próximas ao ambiente costeiro, como no interior; mares de morros; colinas e vales; rochas variadas em baías recortadas pelo litoral, com diferentes formas de encontro entre o mar e a costa; dunas, restingas e praias planas; lagos, florestas tropicais naturais; e ainda uma área de planalto, que se estende a oeste do Estado. O relevo do Estado é diversificado com a presença de baixadas e planaltos, sendo o ponto mais elevado o Pico das Agulhas Negras (2.791,55 m), localizado na Serra da Mantiqueira, região sudoeste do Estado. A Serra da Mantiqueira é uma escarpa (zona de transição entre diferentes províncias fisiogeográficas, que envolve uma elevação aguda - superior a 45°, caracterizada pela formação de um penhasco ou uma encosta íngreme) voltada para o vale do rio Paraíba do Sul, que atravessa os estados de São Paulo, Rio de Janeiro e Minas Gerais (IBGE,2012).

A formação litorânea do estado do Rio de Janeiro é composta por três trechos distintos. O primeiro é caracterizado pela presença de tabuleiros, baixadas e restingas e corresponde à área que se inicia no delta do rio Paraíba do Sul, na região nordeste do Estado, até a cidade de Arraial do Cabo, 180 km ao norte da cidade do Rio de Janeiro. O segundo trecho, caracteriza-se pela presença de restingas, lagunas e baixadas, estendendo-se desde Arraial do Cabo até a ilha de Itacuruçá, 82 km ao sul da cidade do Rio de Janeiro. O terceiro tipo de litoral, observado no Estado estende-se da ilha de Itacuruçá até a região de Parati, ao sul, e se caracteriza pela extensão da Serra do Mar próxima ao ambiente costeiro. Essa região é também conhecida como Costa Verde e apresenta praias e cordões arenosos estreitos, situados na base de escarpas ou acompanhando as pequenas planícies.

O relevo complexo do estado do Rio de Janeiro, conduz a sistemas de escoamento atmosférico característicos em determinadas regiões, particularmente os sistemas de brisas, que inibem ou favorecem as chuvas (CORREIA et al., 2011) e a variação da temperatura do ar, em decorrência, de processos orográficos e da altitude. Tal interação influencia a elevada diversidade climática no Estado, com regiões com climas entre superúmido a semiárido - Norte Fluminense (SANTOS, 2013).

#### **3.5.2. Clima**

A diversidade climática do estado do Rio de Janeiro deve-se principalmente ao relevo complexo, a altitude e ao fenômeno da continentalidade/oceanidade, que influenciam temperatura do ar e a distribuição da precipitação no Estado (MAIA e ZAMBONI, 2004).

As porções continentais localizadas ao norte do Tópico de Capricórnio apresentam elevado balanço positivo de energia em todos os meses do ano. Com isso inúmeros mecanismos de circulação nas escalas local e meso podem ser induzidos. O oceano Atlântico, localizado ao longo dos limites meridionais e orientais do Estado, também influencia de maneira significativa na caracterização climática, ele funciona como regulador térmico, que

atenua as temperaturas sobre a faixa continental e também estabelece fluxo de umidade no sentido oceano-continente (MAIA e ZAMBONI, 2004).

André et al. (2008) dividiu o estado do Rio de Janeiro em seis regiões homogêneas de acordo com a precipitação pluvial mensal, o que evidenciou a disparidade de distribuição das chuvas no Estado. Os acumulados anuais de chuva indicaram grande variabilidade de distribuição espaço-temporal, com os maiores totais anuais observados na região que a abrange da encosta sul da Serra do Mar até a parte da Serra da Mantiqueira (de 2126 a 2606 mm), e os menores observados na região que compreende o Norte do Estado (767 a 946 mm).

Segundo Correia et al. (2011), no estado do Rio de Janeiro, os meses de dezembro e janeiro apresentaram os maiores acumulados mensais de precipitação pluvial, e podem atingir valores mensais superior a 390 mm. Isso ocorre nos meses de verão, visto que durante este período há a intensificação dos SFs, devido à convecção tropical, associado a ocorrências de da Zona de Convergência do Atlântico Sul (ZCAS) e de Sistemas Convectivos de Mesoescala (SCM). Os meses que compreendem a estação do inverno (junho, julho e agosto), apresentaram os menores acumulados de precipitações, devido a diminuição da atuação dos sistemas meteorológicos de grande escala no Estado, associado com a desintensificação da convecção Tropical.

No estado do Rio de Janeiro observam-se frequentemente às classificações climáticas de Tropical Quente (temperatura do ar mensal  $> 18^{\circ}\text{C}$ ) a Mesotérmico Brando ( $10 - 15^{\circ}\text{C}$ ) e entre subúmido (três meses secos) a super úmido (sem seca) (IBGE, 2012). As temperaturas do ar variam entre  $25$  e  $42^{\circ}\text{C}$  no verão, e de  $15$  a  $35^{\circ}\text{C}$  no inverno. Nas áreas de baixadas o clima Tropical é preponderante e nas áreas de planalto o Tropical de Altitude (COSTA, 2010).

Na região metropolitana do Rio de Janeiro (RMRJ) predomina o Clima Tropical semiúmido, assinalado por chuvas concentradas no verão, sendo essa estação quente, enquanto o inverno é seco e frio. Baseado na classificação climática de Köppen, definiu-se o clima da RMRJ como Tropical Atlântico (Aw), com temperaturas médias do ar entre  $21,1^{\circ}\text{C}$  (julho) a  $27,3^{\circ}\text{C}$  (janeiro), com cerca de 124 dias de chuva e 1.000 a 1.500 mm anuais.

A região Serrana é classificada como Clima Tropical de Altitude, a temperatura do ar média anual varia de  $22$  a  $24^{\circ}\text{C}$  e os totais pluviais entre 1.000 e 1.500 mm anuais. As baixas temperaturas do ar anuais que ocorrem na região são devido às elevadas altitudes.

As baixadas litorâneas, que abrange a Região do Lagos, apresentam como características principais o Clima Tropical Marítimo, a temperatura do ar média anual de  $24^{\circ}\text{C}$  e verão moderadamente quente, mas amenizado pela circulação de brisa marítima. No inverno destacam-se temperaturas do ar amenas, em consequência do vento frio, oriundo da Corrente das Malvinas, vinda do oceano e que caracteriza essa região com uma das mais secas da região Sudeste. A precipitação pluvial total varia de 750 mm, nos municípios de Arraial do Cabo, Armação do Búzios e Cabo Frio a 1.500 mm, nos municípios de Marica e Saquarema (COSTA, 2010).

Entre a Baixada Fluminense e a Serra Fluminense, o clima é classificado como Tropical de Altitude, com o verão quente e chuvoso e inverno frio e seco. A temperatura do ar média anual é de  $16^{\circ}\text{C}$  e índice pluviométrico anual de até 2.500 mm.

### **3.6. Modelos de crescimento e produção**

Segundo Zeide (1993), o crescimento é representado pela interação de dois componentes opostos. Um desses componentes é positivo e gera aumento gradual de um

organismo e representa a tendência natural de multiplicação, alongamento e engrossamento das células e o outro componente é negativo que manifesta as limitações impostas por fatores externos (como por exemplo, competição, estresse hídrico e disponibilidade de nutrientes) e fatores internos (mecanismos auto-regulatórios, características genéticas e envelhecimento). O crescimento também pode ser explicado como um processo de mudanças na forma e no tamanho do tronco, com contínua adição de novas camadas de lenho ao longo de todo material lenhoso existente. A produção revela a quantidade total do volume ou outra variável acumulada num determinado tempo (CAMPOS e LEITE, 2006; COLPINI, 2008).

Os estudos de crescimento e produção são essenciais para o manejo florestal, através destas informações é possível dimensionar economicamente a área para suprir a demanda madeireira local ou regional (COLPINI, 2008).

A utilização de modelos de crescimento tem sido amplamente empregada na área florestal. Desde o começo do plantio de florestas manejadas, irrompeu a vontade de influenciar e prognosticar o crescimento com o objetivo de controlar a produção. Essa vontade se deve as circunstâncias especiais da produção florestal: os longos prazos e a irreversibilidade de decisões e intervenções uma vez tomadas (SPATHELF e NUTTO, 2000; GOMES, 2006).

Os modelos matemáticos de crescimento possibilitam simular a dinâmica natural de um povoamento e prognosticar a sua produção ao longo do tempo, em diferentes possibilidades de exploração (VANCLAY, 1994). Independente da complexidade estrutural que cada modelo de crescimento e produção possa apresentar, todos possuem um propósito em comum, que é o de apresentar estimativas das características do povoamento de um ponto específico no tempo (AVERY e BURKHART, 1994).

Ao obter o prognóstico da distribuição diamétrica das árvores existentes em uma floresta através de modelos, permite que a realização de várias ações, como: a definição do ciclo de corte para a floresta ou com relação; a análise da viabilidade econômica de se praticar ou não manejo para a floresta ou com base nas espécies fazer parte de um rol de critérios que auxiliarão na tomada de decisão sobre que espécie poderá ser removida da floresta, fato este que afetará com menor intensidade a manutenção da diversidade florística (PULZ et al., 1999).

Existem distintas formas de modelagem já consagradas na literatura, muitas delas podem ser utilizadas em diferentes espécies. Na área florestal, as três principais categorias de modelos de crescimento e produção são direcionadas para povoamento, distribuição diamétrica e para árvores individuais (DAVIS et al., 2005). De acordo com Vanclay (1994) esses modelos florestais, se distinguem em hierarquia por gerenciamento florestal, de povoamento, de classe de diâmetro e de árvores individuais. Os modelos de distribuição diamétrica são os mais empregados e são baseados em funções probabilísticas de distribuição, o que possibilita descrever as alterações na estrutura do nas relações hipsométricas e nas taxas de mortalidade, e podem todas estas características ser analisadas, simultaneamente, ao longo do tempo (VANCLAY, 1994; COLPINI, 2008).

### **3.7. Geoprocessamento para espacialização da produção**

Segundo Rodrigues (1993), geoprocessamento é um conjunto de tecnologias de coleta, tratamento, manipulação e apresentação de informações espaciais voltado para um objetivo específico. O geoprocessamento é bastante empregado nas caracterizações fisiográficas, levantamentos pedológicos e os mapeamentos de produtividade florestal, visto que é uma

ferramenta útil e prática, que auxilia na espacialização e visualização das informações. Dessa forma, permite que os resultados sejam mais abrangentes, precisos, padronizados e melhor apresentados, e assim, proporciona diversas combinações e interação de informações no sentido de aprimorar o manejo florestal (ALVARES et al., 2011; GHANI et al., 1995; ORTIZ et al., 2006; GONÇALVES et al., 2012).

Usualmente, utiliza-se dois métodos para avaliar a qualidade e estimar a produtividade dos sítios florestais: o direto e o indireto (CARMEAN, 1975). O método direto é aquele em que a produtividade do sítio é estimada diretamente das avaliações de crescimento das árvores que ocorrem no sítio como o diâmetro, a altura e o índice de sítio (BATISTA; COUTO, 1986; KRONKA et al., 2005; TONINI et al., 2002). O segundo método estima a produtividade do sítio indiretamente, por meio de variáveis ambientais (climáticas, fisiográficas e edáficas), de plantas indicadoras (por exemplo, invasoras do sub-bosque) ou pela vegetação original (BELLOTE; DEDECEK, 2006; CORRÊA; MARCOLIN, 1993; STAPE et al., 1997).

### **3.8. Fatores ambientais**

O desenvolvimento e a produtividade vegetal tem forte dependência da disponibilidades hídricas e energéticas do ambiente. Os fatores climáticos são os relacionados com a atmosfera, em que a parte aérea da planta cresce, nesta categoria estão inseridos a temperatura do ar, a radiação solar, a água (a precipitação e a água no solo) e o vento. Os fatores edáficos compreendem a rocha matriz ou material sedimentar que origina o material do solo e suas implicações na propriedade físicas, químicas e bióticas.

Segundo Maestri (2003) as variáveis ambientais que mais influenciam no incremento médio anual em altura dominante de povoamentos de *Eucalyptus grandis* são: a precipitação pluvial, a evapotranspiração potencial, temperatura do ar máxima e mínima.

Segundo Stape et al. (2004), a quantidade de radiação solar, a disponibilidade de água e nitrogênio influenciam na produtividade de plantações de eucalipto no estado de São Paulo. Braga et al. (1999) afirma que a radiação solar foi uma das variáveis ambientais mais importante na produtividade de eucalipto cultivados no Médio Rio Doce (MG). A radiação solar representa a fonte primária de energia para o processo fotossintético (PIRES O'BRIEN, 1995). Os processos fisiológicos como fotossíntese, respiração, transpiração e divisão celular são influenciados pela temperatura e a água é primordial para todos os processos fisiológicos e bioquímicos (CAMPOS, 1970; PEREIRA et al., 2002).

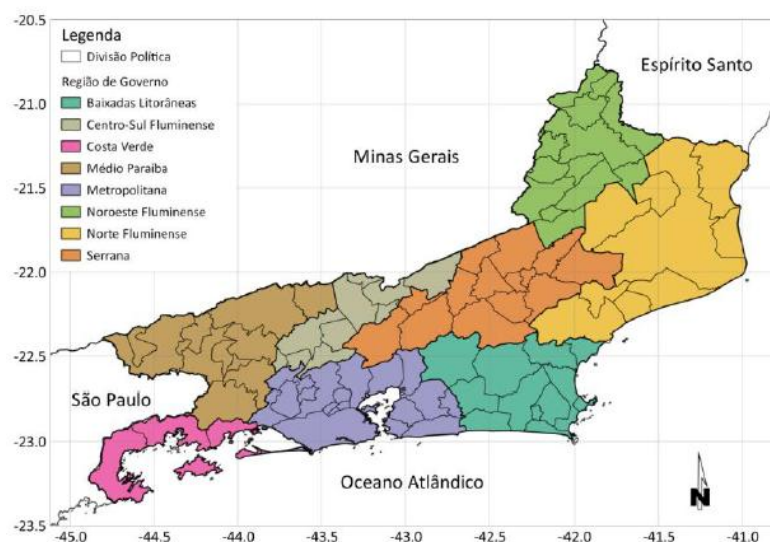
A relação entre a disponibilidade hídrica e a produtividade florestal é relativa aos efeitos diretos e indiretos da deficiência de água no crescimento das árvores. Dentre esses efeitos, destacam-se: redução da taxa fotossintética, em virtude do aumento na resistência estomática (VOSE e SWANK, 1994); diminuição do aporte nutricional às árvores, via fluxo de massa e difusão; diminuição na velocidade de mineralização da matéria orgânica; e em grau mais elevado de deficiência hídrica, o próprio colapso funcional em níveis citoplasmático e tissular (SANDS; MULLIGAN, 1990).

## 4. MATERIAL E MÉTODOS

### 4.1. Área de estudo

O estado do Rio de Janeiro está situado na região Sudeste, entre as latitudes 20° 44' e 23° 22' S e as longitudes 40°57' e 44° 53' W, possui área de 43.696,054 km<sup>2</sup>, limita-se com o oceano Atlântico, a sul e sudeste, e com os Estados do Espírito Santo, a nordeste, Minas Gerais, a norte e noroeste, e São Paulo, a sudoeste (IBGE, 2012).

O estado do Rio de Janeiro é formado por 92 municípios, os quais, segundo a divisão político-administrativa estadual, estão distribuídos em oito regiões de governo: Metropolitana, Noroeste Fluminense, Norte Fluminense, Baixadas Litorâneas, Serrana, Centro-Sul Fluminense, Médio Paraíba e Costa Verde (Figura 3). Esta divisão está baseada na Lei n° 1.227/87, que aprovou o Plano de Desenvolvimento Econômico e Social do Estado de 1988/1991 (SANTOS, 2013). O estado do Rio de Janeiro também pode ser dividido politicamente em seis mesorregiões (Baixadas, Centro Fluminense, Metropolitana do Rio de Janeiro, Noroeste Fluminense, Norte Fluminense e Sul Fluminense) baseado na Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE, 2010). Neste trabalho, adotou-se a divisão político-administrativa estadual (Figura 4).



**Figura 3.** Regiões de governo do estado do Rio de Janeiro. Adaptado da Fundação CEPERJ (1991).

### 4.2. Produção do eucalipto

A fim de testar o modelo proposto foram utilizados dados de produtividade do estado do Rio de Janeiro. Amorim et al (2012) realizou um mapeamento preliminar dos reflorestamentos a partir das imagens Google disponíveis para o Estado, no qual foi identificado 1.077 polígonos associados a reflorestamentos. Desse total, 934 foram visitados e, em 143, não foi possível essa visita em função de diversos problemas. As visitas foram realizadas com o intuito de confirmar os dados do mapeamento preliminar, obtenção de



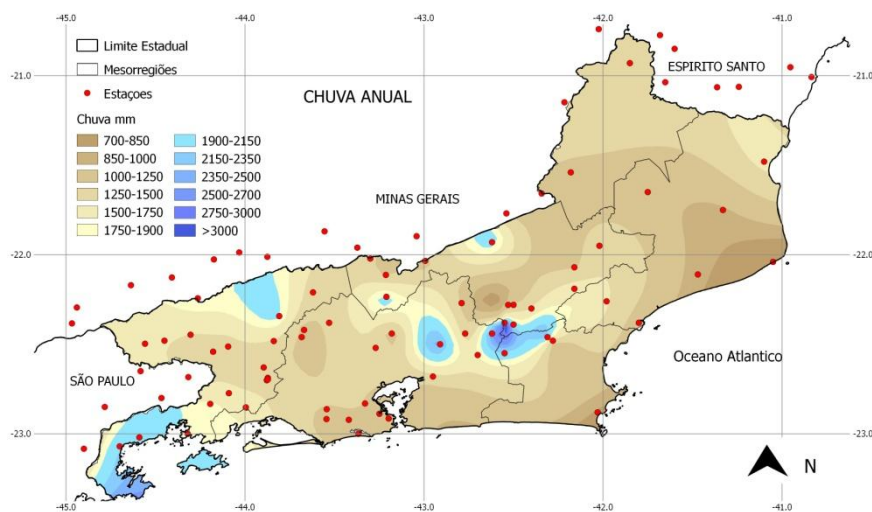
informações (espécies, idade, etc.) e quantificar o volume ( $m^3$ ) in situ, sobre povoamentos existentes nas regiões visitadas. Por meio dessas informações, e admitindo para os povoamentos existentes, um incremento médio anual de  $30 m^3/ha/ano$ , efetuou-se uma projeção visando obter uma estimativa do estoque para os próximos cinco anos.

Os dados de volume médio por hectare encontrados no estudo foram utilizados no ajuste e teste do modelo edafo-climático.

### 4.3. Séries climáticas

#### 4.3.1. Precipitação pluvial

As séries climáticas de precipitação pluvial diária foram obtidas na base de dados da Agência Nacional de Águas (ANA), com auxílio do sistema Hidroweb (ANA, 2009) e no Banco de Dados Meteorológicos para Ensino e Pesquisa (BDMET) do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET). As estações foram pré-selecionadas com base no critério de tamanho das suas séries e ano de início. Foram consideradas apenas séries superiores ou iguais a 20 anos e com início a partir de 1961 até 2010. Baseados nesses critérios foram selecionadas 110 estações (Figura 4). As estações selecionadas passaram por um controle de qualidade dos dados de precipitação mensal (CRUZ et al., 2013). Para obter dados qualificados foi necessário realizar uma análise exploratória das séries mensais das estações (Box-plot mensais), com auxílio do programa estatístico *Instat Climatic* +3.36 STERN et al. (2005). Essas análises possibilitaram a identificação de *outliers* mensais, além de outros parâmetros estatísticos (média e mediana, desvio padrão, valores extremos e os intervalos interquartis). Os *outliers*, os valores externos ao intervalos interquartis e os valores nulos e extremos de chuva de cada mês e estação foram posteriormente comparados com a tendência média da precipitação mensal de estações com precipitações homogêneas da estação em análise.



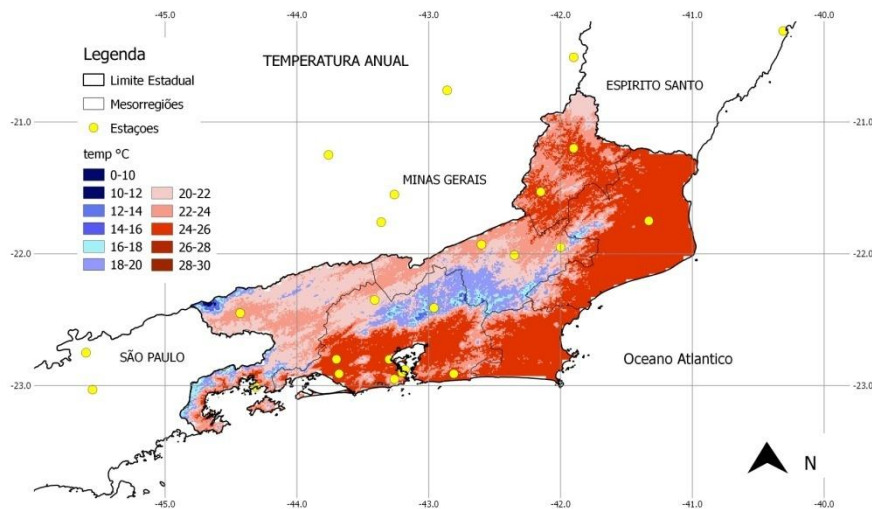
**Figura 4.** Distribuição das estações meteorológicas utilizadas para obter o mapa de precipitação média anual.

A definição das estações com precipitações homogêneas foi realizada através da técnica de análise de agrupamento – AA (Cluster). Considerou-se na AA o método de hierárquico aglomerativo de Ward, com medida de dissimilaridade a distância euclidiana ao quadrado. Após a identificação dos grupos homogêneos, foi gerada uma matriz de correlação das precipitações mensais das estações de cada grupo. Para cada estação foram identificadas entre três e cinco outras estações do mesmo grupo e que apresentaram o coeficiente de correlação de Pearson ( $r$ ) acima de 0,6, sendo escolhidas preferencialmente aquelas que apresentaram  $r$  mais próximo possível de 1,0. Os valores médios das observações ( $X_i$ ) das precipitações das estações com essas características foram considerados como representativos da tendência climática e, assim comparados com as observações ( $Y_i$ ) da estação que se avaliou a qualidade das séries. Nas comparações, utilizou-se a regressão linear simples entre a estação a ser analisada a qualidade dos dados e as médias das estações selecionadas pela AA e o coeficiente de determinação ( $r^2$ ) da regressão linear  $Y_i = \beta_0 + \beta_1 X_i$ , em que  $\beta_0$  é o intercepto da regressão linear e  $\beta_1$  é o coeficiente angular. Estações com  $r^2 > 0,65$  e  $0,7 < \beta_1 < 1,3$  foram consideradas com qualidade (KITE, 1973)

Após esses procedimentos, a partir das séries mensais de qualidade determinaram-se os acumulados anuais e sua média histórica para cada estação. Os dados de precipitação anual pontuais das estações foram espacializados pelo método da mínima curvatura, para gerar o mapa da chuva anual no formato *raster*. Este método foi definido em vista do trabalho de Correia et al. (2011) que avaliou cinco modelos determinísticos de efeito local para a interpolação da precipitação no estado do Rio de Janeiro, sendo o método da mínima curvatura o que apresentou menor erro padrão de estimativa (EPE) e maior coeficiente de determinação entre os valores interpolados e os observados e, conseqüentemente maior acurácia e precisão. A interpolação foi realizada para a área delimitada entre as coordenadas -23,5 e -20,6° S de latitude e entre -45,00 e -40,75° O de longitude, com resolução espacial de 5 km.

#### 4.3.2. Temperatura do ar

As séries climáticas de temperatura do ar utilizadas foram obtidas no BDMET do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET) e da Rede Meteorológica do Comando da Aeronáutica (REDEMET), disponibilizadas nas bases de dados da *Food and Agriculture Organization* (FAO), da *National Climatic Data Center* da *National Oceanic and Atmospheric Administration* (NCDC/NOAA). As estações estavam localizadas nos estados do Rio de Janeiro (RJ), Espírito Santo (ES), São Paulo (SP) e Minas Gerais (MG). Estas estações passaram por uma pré-seleção, na qual foram consideradas apenas séries superiores a 15 anos e com início a partir de 1961 até 2010, com base neste critério selecionaram-se 28 estações climáticas (Figura 5).



**Figura 5.** Distribuição das estações meteorológicas utilizadas para obter o mapa de temperatura média anual do ar.

Os mapas de temperatura do ar foram obtidos através da espacialização dos dados pontuais de temperatura utilizando-se de um modelo determinístico global (regressão linear múltipla). Para a espacialização, ajustou-se previamente para cada mês, um modelo baseado em regressão linear múltipla entre a temperatura do ar mensal em função das coordenadas geográficas (latitude e longitude) e a altitude. O modelo determinístico global (FERREIRA et al., 2010; CORREA et al., 2013) utilizado foi o seguinte:

$$T_i = \beta_0 + \beta_1 \cdot LAT_i + \beta_2 \cdot LONG_i + \beta_3 \cdot ALT_i + \varepsilon_i \quad (1)$$

em que,  $T_i$  (°C) é a temperatura média mensal do ar;  $LONG$  (graus) é a longitude;  $LAT$  (graus) é a latitude,  $ALT$  (m) é a altitude,  $\varepsilon_i$  é o erro aleatório, suposto independente e com distribuição normal da média e variância constante, e  $\beta_0$ ,  $\beta_1$ ,  $\beta_2$  e  $\beta_3$  são os coeficientes de ajuste do modelo a serem determinados. O termo subscripto  $i$  representa a  $i$ -ésima estação meteorológica ( $i = 1, 2, \dots, 24$ ). O ajuste do modelo foi avaliado pelo coeficiente de determinação ( $R^2$ ) e pela análise de variância (ANOVA) a  $p < 0,05$ .

Os coeficientes do modelo (eq. 1) foram utilizados para espacializar a temperatura do ar anual com auxílio do aplicativo GRASS. Para isso utilizou-se o comando *raster calculator* para resolver a eq. 1 em um grid com a latitude e a longitude e outro com a elevação para cada mês (LYRA et al., 2011). A representação da elevação foi obtida do levantamento do projeto *Shuttle Radar Topography Mission*. Com a elaboração dos 12 mapas mensais, novamente utilizou-se o *raster calculator* para obter a média desses mapas, obtendo assim, o mapa de temperatura do ar anual.

Os mapas de temperatura do ar e precipitação anual foram confeccionado com o auxílio do SIG Quantun GIS (1.8.0).

### 4.3.3. Déficit e Excesso hídrico

A partir dos dados de temperatura do ar média mensal, associados às precipitações médias mensais calculou-se o balanço hídrico climático baseado no de Thornthwaite e Matter (1955), o qual se considerou a capacidade de água disponível (CAD) de 100 mm.

A interpolação da precipitação anual e do déficit e excedente hídrico anual, obtidos do balanço hídrico, foi realizada através do método da mínima curvatura. (CORREIA, et al., 2011).

### 4.4. Solos

Para a obtenção do mapa que representasse a característica físico-hídrica do solo considerado no ajuste do modelo considerou-se a 2ª edição do Sistema Brasileiro de Classificação de Solos (SiBCS) coordenada pela EMBRAPA (EMBRAPA, 1999). O mapa de solos da 2ª edição do SiBCS apresenta a classificação pedológica dos solos no estado do Rio de Janeiro no formato vetorial. O mapa vetorial foi transformado em mapa raster com auxílio do Grass para permitir que posteriormente realizasse a modelagem entre mapas. Na transformação considerou-se uma tabela relacional entre as classes pedológicas e o identificador no mapa raster. Posteriormente, baseado no 2ª edição do SiBCS reclassificou o mapa pedológico para se obter a textura predominante dos seus horizontes. Com base na textura obteve-se a água disponível (AD) no solo pela reclassificação do mapa de textura considerado a Tabela 1, proposta pelo *USA Soil Texture Classification* apresentado no boletim FAO56 (Allen et al., 1998).

**Tabela 1:** Classificação do solo em relação a água disponível no solo com base.

Classificação da textura do solo (USA)	Água Disponível (média)
Arenoso	0,080
Argilo Arenoso	0,090
Franco Arenosa	0,130
Franco Argilosa	0,155
Argilo Siltoso	0,160
Siltoso	0,180
Siltoso Franco Argiloso	0,155
Argila Siltosa	0,160
Argiloso	0,160

### 4.5. Elevação, declividade e orientação

Com suporte do GRASS, foram adquiridos os dados referentes a elevação, declividade e orientação do relevo no estado do Rio de Janeiro. Essas informações foram baseadas no Modelo Digital de Elevação (MDE), que também foi considerado na espacialização da temperatura do ar. O MDE foi elaborado pelo projeto *Shuttle Radar Topographic Mission* (SRTM) (USGS, 2013) com resolução espacial original de 90 m. O SRTM utilizado foi tratado anteriormente pela Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA) com a

finalidade de eliminar falhas, sombras e distorções (MIRANDA, 2005; LYRA et al., 2009). A partir do MDE foram derivadas as informações sobre a declividade e a orientação das vertentes com o módulo . A declividade de uma vertente está relacionada a fatores como: teor de água no solo, fluxo convergente/divergente e a taxa de erosão/deposição (MOORE et al., 1991).

#### 4.6. Ajuste e teste do modelo de produtividade

O modelo determinístico global proposto para ajustar a produtividade e as variáveis do clima (precipitação anual, temperatura do ar anual, déficit e excedente hídrico anual), relevo (elevação, declividade e orientação) e solo, foi um modelo de regressão linear múltipla, representado a seguir:

$$Y_i = \beta_0 + \beta_1 \cdot P_i + \beta_2 \cdot T_i + \beta_3 \cdot DEF_i + \beta_4 \cdot EXC_i + \beta_5 \cdot E_i + \beta_6 \cdot DEC_i + \beta_7 \cdot ORI_i + \beta_8 \cdot AD_i + \varepsilon_i \quad (3)$$

em que,  $Y_i$  é a produtividade do eucalipto em  $m^3/ha/ano$ , as variáveis climáticas são representadas pelas siglas P - precipitação anual (mm), T - temperatura do ar anual ( $^{\circ}C$ ), DEF - déficit hídrico anual (mm) e EXC - excesso hídrico (mm). As variáveis do relevo são representadas por E - elevação (m), DEC - declividade (graus) e ORI - orientação (graus). A variável solo (água disponível) também foi considerada no modelo e identificada por meio da sua grafia. O  $\varepsilon_i$  é o erro aleatório, suposto independente e com distribuição normal da média e variância constante, e  $\beta_0, \beta_1, \beta_2, \beta_3, \beta_4, \beta_5, \beta_6$  e  $\beta_7$  são os coeficientes de ajuste do modelo a serem determinados.

Para efetuar o ajuste do modelo proposto foi elaborada uma matriz no Excel<sup>®</sup>, com as informações necessárias: coordenadas geográficas, categoria, denominação das mesorregiões, a produtividade observada, dados referentes as variáveis climática, relevo e solo encontrados obtidas com o software GRASS. O ajuste do modelo foi avaliado pelo coeficiente de determinação ( $R^2$ ), pela análise de variância (ANOVA) a  $p < 0,05$  e pelo valor-p (ou nível descritivo) que indica a probabilidade de se obter uma estatística de teste igual ou mais extrema que a observada em uma amostra

O teste do modelo foi efetuado por meio do software GRASS, aplicando a ferramenta *v.drape* nos mapas de produtividade elaborados para cada região do governo, esta ferramenta visa extrair dados pontuais (mapa vetorial) de uma mapa raster, através das coordenadas definidas.

O modelo de regressão linear múltipla proposto foi calculado através do aplicativo Raster Map Calculator do sistema de informação GRASS, neste cálculo utilizou-se as variáveis climáticas e edáficas relacionadas aos valores da produção. Por meio desse software foi obtido o mapa contendo a produção estimada para o estado do Rio de Janeiro e mapas apresentando produção estimada para cada região do governo: Baixadas Litorâneas, Centro Sul Fluminense, Região Metropolitana, Noroeste Fluminense, Norte Fluminense, Região Serrana e Médio Paraíba.

## 5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 5.1. Ajuste do modelo

O modelo de regressão linear ajustado apresentou resultado insatisfatório para a relação entre os dados climáticos, edáficos e a produção de eucalipto para o estado do Rio de Janeiro (Tabela 2), visto que o coeficiente de determinação obtido foi de 0,0468. Ou seja, o modelo só explica cerca de 4% dos dados observados e o erro padrão de estimativa (EPE) foi de 53 m<sup>3</sup>/ha. O EPE foi elevado, o que indicou que a média da amostra estudada está distante da média populacional. Tais resultados podem ser explicados pela diversidade de espécies de eucalipto plantadas no Estado, pois cada espécie apresenta suscetibilidades e/ou exigências climáticas e edáficas específicas e estas particularidades refletem no ajuste estatístico do modelo.

**Tabela 2.** Coeficiente de determinação e erro padrão.

Regiões	R <sup>2</sup>	Erro Padrão (m <sup>3</sup> /ha)
Estado	0,0468	53
Baixas Litorâneas	0,3564	51
Centro Sul	0,2801	41
Metropolitana	0,7166	26
Noroeste Fluminense	0,1461	56
Norte Fluminense	0,1656	44
Serrana	0,0413	55
Médio Paraíba	0,0377	48

Em função do ajuste insatisfatório para o Estado, aplicou-se o modelo separadamente para os dados de cada região do governo: Baixadas Litorâneas, Metropolitana, Centro Sul, Médio Paraíba, Noroeste Fluminense, Norte Fluminense e Serrana. Devido a falta de dados da mesorregião da Costa Verde não foi possível ajustar um modelo para a mesma.

O ajuste da Região Metropolitana foi o mais satisfatório, apresentou elevado coeficiente de determinação (0,7166), e assim, o modelo explica cerca de 70% da variabilidade dos dados observados, com um erro padrão (26 m<sup>3</sup>/ha) considerado baixo em comparação aos demais encontrados por região, o que evidenciou variabilidade relativamente pequena. O EPE representou 18% do valor da produtividade média. Provavelmente os dados de produção utilizados no ajuste da região Metropolitana são provenientes de poucas espécies de eucalipto, o que diminui a variação das exigências dos dados e os dados são bem distribuídos ao longo da região.

As regiões Baixadas Litorâneas e Centro Sul apresentaram ajustes inferiores a metropolitana, com R<sup>2</sup> de 0,3564 e 0,2801, respectivamente. Estes valores encontrados são considerados relativamente bons, visto que as variáveis ambientais utilizadas no modelo apresentam grande variabilidade. Entretanto o erro padrão obtido foi alto, 51 m<sup>3</sup>/ha para as Baixadas e 41 m<sup>3</sup>/ha para o Centro Sul, o que evidenciou que em média, o modelo apresenta erro elevado em comparação ao valor de produção observado. O EPE representou em torno de

41 % para região das baixadas, enquanto no Centro Sul o EPE foi 38% da média da produtividade.

As regiões Norte Fluminense e Noroeste fluminense apresentaram coeficientes de determinação próximos e de 0,1656 e 0,146, respectivamente. Tal semelhança pode ser explicada pela proximidade geográfica das mesorregiões, logo, apresentam características ambientais e de plantio similares. O erro padrão de ambas as regiões é considerado elevado, sendo o da mesorregião Noroeste Fluminense o maior quando comparado com o erro padrão das outras localidades, portanto, este erra muito com relação ao valor de produção coletado.

Os piores resultados de ajuste do modelo foram obtidos nas regiões: Médio Paraíba (0,0377) e Serrana (0,0413). O modelo explica apenas 4 % dos dados observados, logo, este modelo de regressão linear múltiplo não é indicado para estimar a produtividade do eucalipto nessas regiões. O resultado pode ser explicado por uma distribuição dos dados pouco homogênea, grande variação de espécies plantadas nessas áreas e idade das árvores observadas, visto que diferentes idades em uma mesma análise podem afetar negativamente o ajuste do modelo.

Apesar do R<sup>2</sup> da regiões Norte, Nordeste, Médio Paraíba e Serrana ter sido inferior aos das demais regiões, o EPE em relação a média da produtividade foi similar, com exceção da região Metropolitana. O EPE em relação a produtividade média foi de 50, 41, 45 e 40%, respectivamente, Norte, Nordeste, Médio Paraíba e Serrana.

Através do ajuste obtiveram-se coeficientes os quais foram utilizados no modelo a fim de testá-lo e espacializar a produtividade do eucalipto (Tabela 3).

**Tabela 3:** Coeficientes ajustado aos modelos para o estado do Rio de Janeiro e suas regiões de governo

Regiões / Coeficiente	Estado	Baixadas	Centro Sul	Metropolitana	Noroeste	Norte	Serrana	Médio Paraíba
$\beta_0$	256*	-656	859*	1336	-39	-119	160	368*
$\beta_1$	-5,964*	-5,251	11,993	36,272	13,094	3,231	3,696	-5,320
$\beta_2$	-0,0143	0,201	-0,113	-0,610	0,014	-0,012	0,020	-0,097
$\beta_3$	0,0120	0,2245*	0,1092	-0,3528	-0,3798	-0,077	-0,045	-0,326
$\beta_4$	0,010	-0,202*	0,056	0,913*	-0,379	-0,0079	0,012	0,057
$\beta_5$	-0,009	-0,192	0,051	0,148	0,035	0,013	0,032	-0,044
$\beta_6$	-0,238	-2,5861	-0,8523	-6,6448	-0,3308	0,3284	-0,3306	-0,4207
$\beta_7$	104*	56	-181	-386*	-470*	312	96	161
$\beta_8$	-4,106	-18,237*	-10,417	6,541	-3,426	19,163	-2,342	-4,157

\* coeficiente significativo.

Após a obtenção dos coeficientes, foi avaliada a significância destes através do valor-p (ou nível descritivo). Nem todos os coeficientes utilizados no modelo foram significativos para níveis de significância de 5%, porém mesmo os considerados não significativos foram utilizados no teste do modelo em razão de respaldo técnico que comprova que as variáveis utilizadas na regressão e conseqüentemente no modelo são de grande influência no crescimento e produção de biomassa dos vegetais, portanto influenciam na produtividade do eucalipto. Dependendo das condições ambientais impostas para dado local, algumas variáveis são determinantes na viabilidade do plantio enquanto que outras não são fundamentais para tal situação.

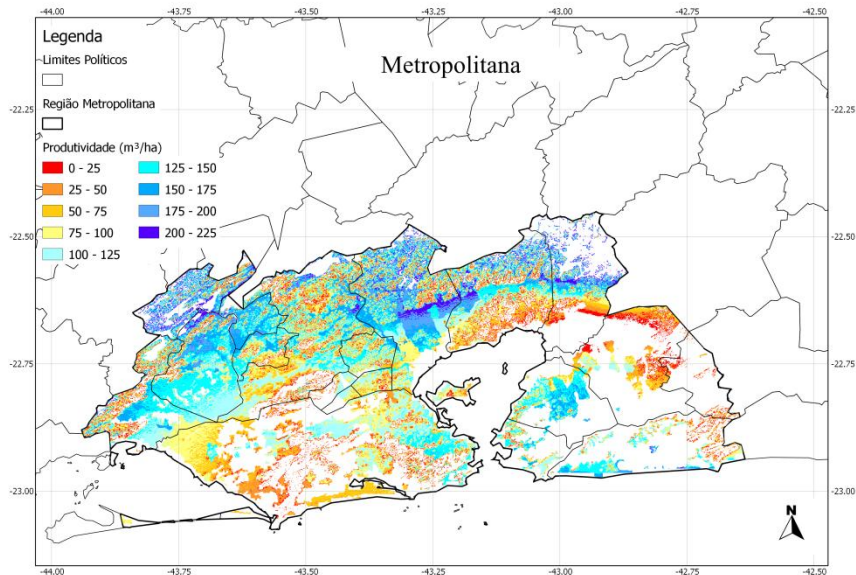
## 5.2. Espacialização da produtividade

### 5.2.1. Distribuição espacial da produtividade

Após o ajuste do modelo, os coeficientes foram aplicados no modelo para espacializar a produtividade das regiões. Através da equação gerada foi possível elaborar mapas da produtividade das regiões do estado do Rio de Janeiro, visto que o ajuste do modelo para o Estado não obteve êxito estatístico, este não foi utilizado no trabalho.

A região Metropolitana (Figura 6) mostrou os valores menos expressivos de produtividade obtidos em cada região do governo. Observou-se grande variabilidade nos valores de produtividade obtidos, há tanto locais com valores entre 0 e 25 m<sup>3</sup>/ha como lugares que apresentaram elevada produtividade (entre 200 e 225 m<sup>3</sup>/ha). Essa é a região do estado com maior aglomerado urbano e o segundo maior do país, com uma população superior a 10 milhões de habitantes (EMBRAPA, 2003). Na Região Metropolitana do Rio de Janeiro os totais anuais de chuva são elevados, devido principalmente a influência dos maciços da Mendanha, Gericinó e Tijuca, o que favorece as precipitações orográficas (DERECZYNSKI et al., 2009). A temperatura do ar média anual dessa região se encontra em torno de 24°C. É uma região com um déficit hídrico considerado relativamente baixo.

A grande amplitude da produtividade encontrada em uma única região pode ser explicada e pela provável diferença de idade dos plantios desta região. Amorim et al. (2011) confirma que cerca de 78% do plantio de eucalipto da região Metropolitana está localizada no município de Seropédica, sendo que estes plantios se encontram em estágios diferentes de exploração, há plantios com mais de 50 anos.

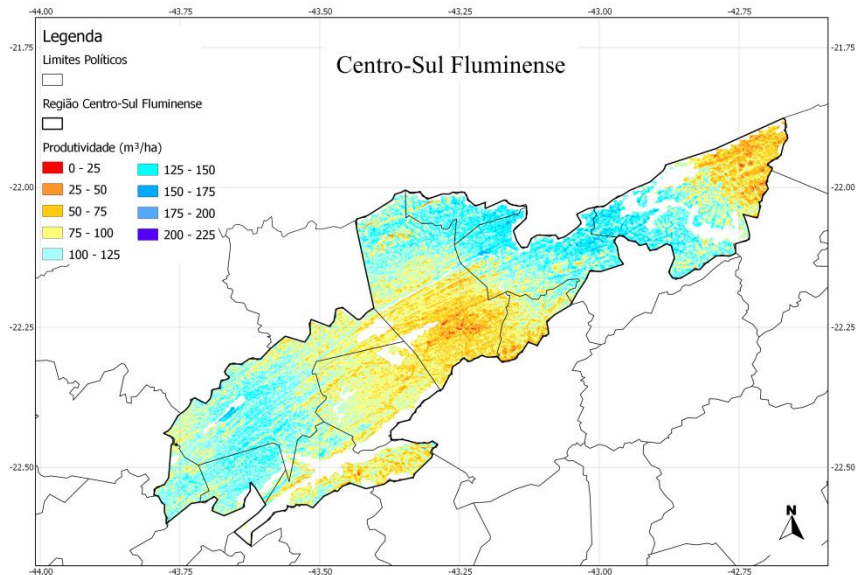


**Figura 6:** Produtividade média do eucalipto da Região Metropolitana.

A região Centro-Sul Fluminense apresentou valores de produtividade entre 25 e 150 m<sup>3</sup>/ha. Essa região mostra elevado índice pluviométrico anual e temperaturas do ar amenas, o que ocasiona baixo déficit e elevado excedente hídrico. Uma região marcada por elevadas altitudes e relevo complexo. Nessa região, os municípios de Paty do Alferes e Engenheiro Paulo de Frontin respondem por 78% da área plantada e 67% do volume. Em Paty do Alferes, a maioria dos locais mapeados se encontram em diferentes estágios de rebrota, o que explica o

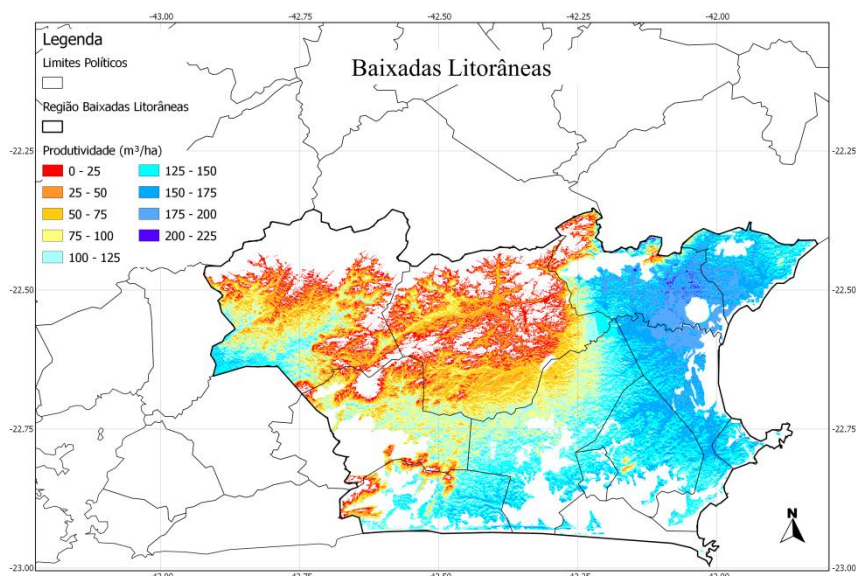


fato de 46,3% da área total dessa região, encontrar-se na menor classe de volume (AMORIM et al, 2011). Tal situação é evidenciada no mapa (Figura 7), já que este município está inserido na área que apresentou os menores valores de produtividade da região.



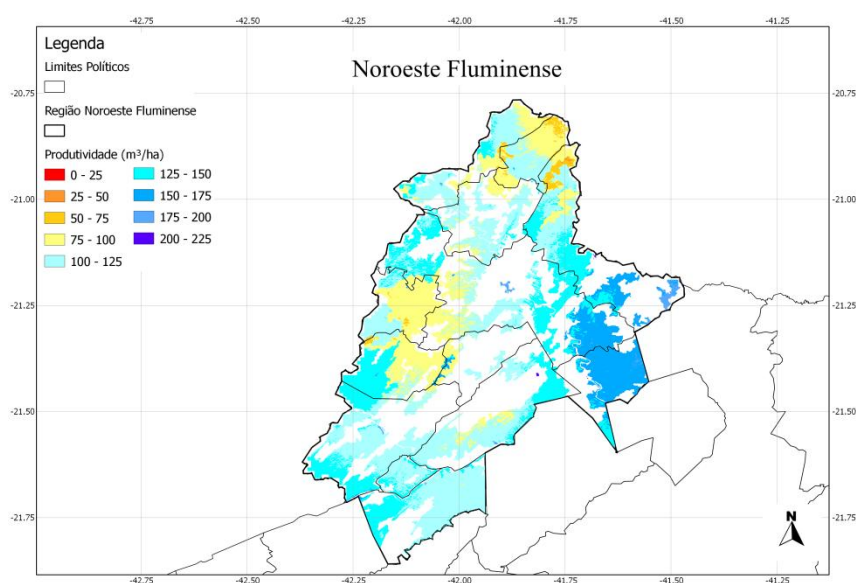
**Figura 7:** Produtividade média do eucalipto da Região Centro-Sul Fluminense.

A Figura 8 representa a produtividade média da região de Baixadas Litorâneas. Destacou-se nessa região o nítido aumento da produtividade no sentido de norte para sul desta região, assim como também foi possível observar que este acréscimo na produtividade média ocorre no sentido oeste para leste. Nas áreas mais a oeste a produtividade foi entre 0 e 25 m³/ha, sendo que na nas áreas no extremo leste a produtividade já é considerada elevada, como valores variando, em sua maioria, entre 125 e 220 m³/ha. Foi possível perceber que os locais mais próximos do oceano apresentam uma produtividade superior as demais regiões. Como são regiões de baixadas são áreas de menor elevação, com altitudes inferiores a 100 m, localizadas a barlavento das principais cadeias montanhosas e com influência da costa no padrão climático, apresenta baixos índices pluviométricos e elevada temperatura do ar (variando de 20°- 28°C), tais características influenciam no elevado déficit hídrico desta região. A elevada produtividade da parte sul/leste desta região poder ser explicado pela presença de espécies de eucalipto mais adaptadas as condições ambientais exigidas. De acordo com Braga et al. (1999), os sítios mais produtivos com relação a espécie *Eucalyptus grandis* eram os que ocupavam área de menor declividade e altitude, pedofoma côncava, com maior insolação e perfis de solos mais desenvolvidos.



**Figura 8:** Produtividade média do eucalipto da Região Baixadas Litorâneas

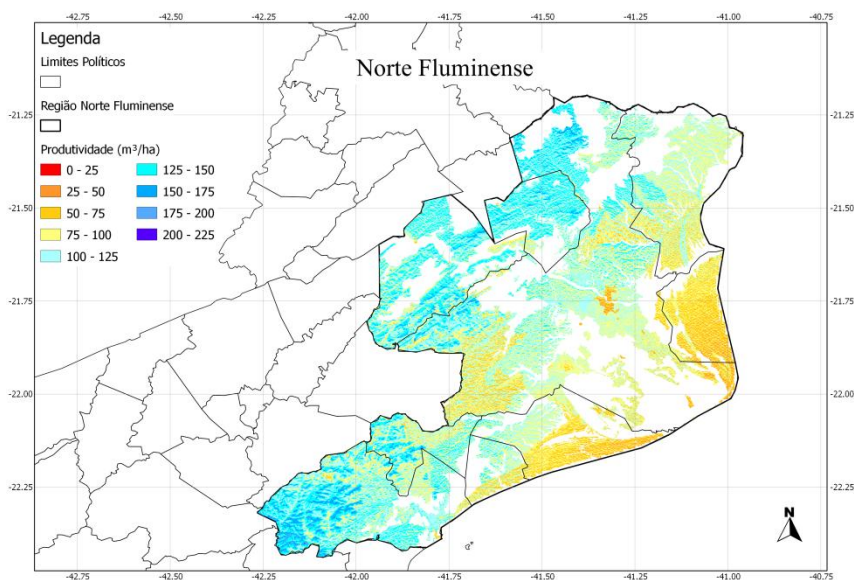
A região Noroeste Fluminense (Figura 9) apresentou variabilidade da produtividade média do eucalipto entre 50 e 175 m³/ha. Notou-se que a área mais próxima da região Norte Fluminense mostraram os maiores valores de produtividade, enquanto que a área ao extremo norte teve valores inferiores. Esta região consiste numa vasta depressão interplanáltica, alternada com alinhamentos serranos escalonados, que é delimitada a sul pelo Planalto da Região Serrana e Serra dos Órgãos e a norte pelo Planalto do Alto Itabapoana, estendendo-se a oeste pela Zona da Mata mineira, com características um pouco similares. É uma região caracterizada por baixos totais anuais pluviométricos e elevada temperatura do ar, consequentemente apresenta um déficit hídrico acentuado. Para que espécie plantada nesta área apresente o máximo potencial produtivo, esta deverá estar mais adaptada a uma menor disponibilidade hídrica do local.



**Figura 9:** Produtividade média do eucalipto da Região Noroeste Fluminense.

A região Norte Fluminense (Figura 10), no geral, obteve resultado significativo quanto ao elevado valor de produtividade, sendo que as áreas mais próximas aos municípios localizados na região Noroeste Fluminense (a oeste do mapa) são os maiores valores, variando entre 100 e 150 m<sup>3</sup>/ha. Nas áreas a leste dessa região de governo a produtividade apresentou resultado inferior (50 – 100 m<sup>3</sup>/ha). Esta região é caracterizada pelos menores índices pluviométricos do Estado e temperatura do ar elevada ao longo do ano. Apresenta uma extensa planície e tabuleiros terciários de Formação Brasileira, que constituem uma superfície de relevo aplainado, onde predominam solos profundos e bem drenados, ocupam muitas porções dos municípios de Quissamã, Campos dos Goytacazes e São Francisco do Itabapoana, estendendo-se a norte até a baixada aluvionar do rio Itabapoana, no limite com o Espírito Santo (EMBRAPA, 2003). As matas sobre os tabuleiros apresentam espécies distribuídas ao longo de um gradiente climático (sentido litoral-interior).

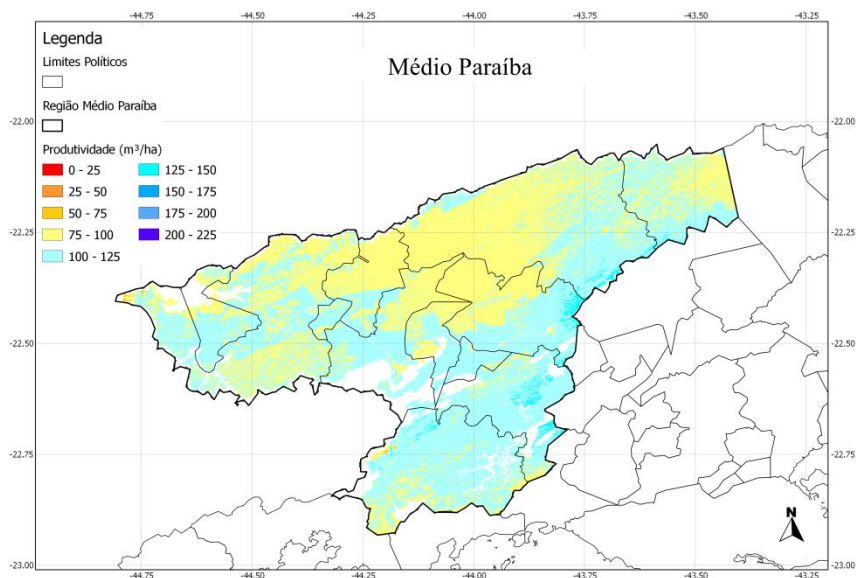
Nas matas presentes nessa região, as espécies que ocorrem próximo do litoral, em geral, diferem daquelas que ocorrem no interior do continente, próximo às encostas das serras, enquanto nas demais formações que abrangem as matas serranas e suas encostas, as espécies se distribuem em um gradiente climático/topográfico (MORENO et al.,1998; SILVA; NASCIMENTO, 2001). Portanto, supõe-se que as espécies localizadas próximas a costa, apresentam menor adaptabilidade ao ambiente e principalmente ao relevo da região, em comparação as existentes no interior da região. Tal resultado difere do que foi afirmado por Ribeiro (2009) que realizou um estudo de delimitação de zonas agroclimáticas para cultura do eucalipto no norte do Espírito Santo e sul da Bahia, no qual o autor revela a tendência de que a região litorânea apresente melhores condições agroclimáticas para o desenvolvimento da cultura do eucalipto. Ele afirma que quanto mais distante do litoral a zona estiver localizada, piores são as condições agroclimáticas para o desenvolvimento da cultura.



**Figura 10:** Produtividade média do eucalipto da Região Norte Fluminense

A região Médio Paraíba (Figura 11) apresentou baixa amplitude da produtividade média do eucalipto, predominando a variação de 75 a 125 m<sup>3</sup>/ha. E pequenas manchas que representam uma produtividade entre 125 e 150 m<sup>3</sup>/ha. Na região do Médio Paraíba, atualmente, prevalece uma paisagem heterogênea e instável submetida a mudanças ambientais cada vez mais rápidas e sob altas taxas de erosão e deposição nas encostas e fundos de vales fluviais (COELHO NETTO, 2003). O clima deste domínio é caracterizado por apresentar temperatura do ar amena, médios e elevados valores de precipitação pluvial, épocas secas bastante definidas e baixa a moderada deficiência hídrica.

Essa é a região com a maior área plantada (46%) e volume (41%) do Estado. As áreas de plantio de eucalipto se inserem no domínio de colinas, onde prevalece a matriz de pastagens. Os plantios recobrem a média e a alta encosta e também as zona de cabeceiras de drenagem, sendo mantida nos fundos de vales uma vegetação arbórea heterogênea. Esses plantios estão localizados em áreas menos íngremes do que nas encostas das serras (VIANA et al., 2007). Tal fato pode ser observado no mapa da Figura 11, visto que a maior produtividade da região ocorre em áreas menos íngremes, de menores altitudes, logo, é provável que nesta região os produtores prefiram o cultivo de espécies mais adaptadas a altitudes não tão elevadas e que necessitem de uma maior disponibilidade hídrica, já que a região tem elevado excedente hídrico.



**Figura 11:** Produtividade média do eucalipto da Região Médio Paraíba.

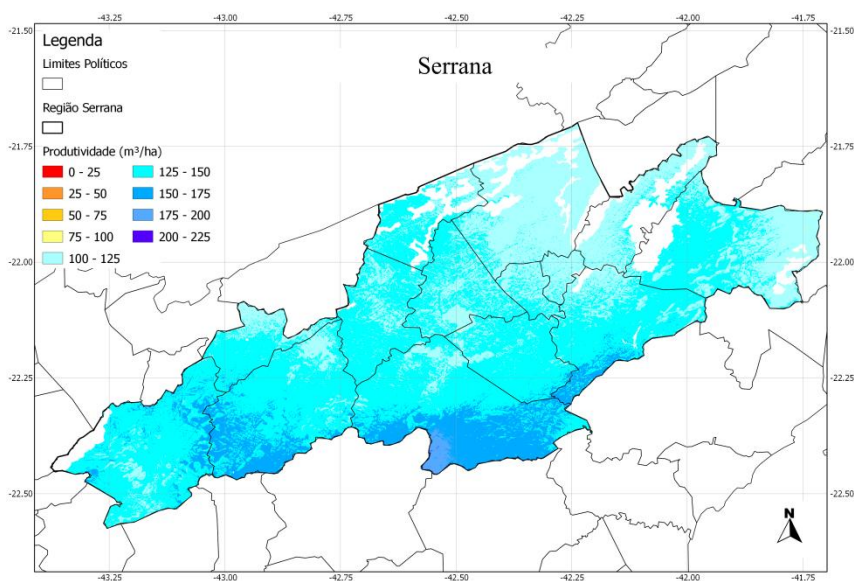
A região Serrana do estado do Rio de Janeiro representada na Figura 12, foi a região que mais se destacou com relação a produtividade do eucalipto. Os valores de produtividade foram considerados altos, variando entre 100 e 200 m<sup>3</sup>/ha. A distribuição da produtividade também foi marcado pela homogeneidade da produção, uma vez que não há uma grande amplitude de produtividade na região em questão. Percebe-se que a produtividade aumenta no sentido Norte-Sul. A região Serrana é formada por 14 municípios, apresenta topografia bastante acidentada, com altitudes que variam de 100 até 2.263 metros, na região são encontrados os picos mais altos da Serra do Mar, como a Pedra do Sino (2.263 m). Esse domínio consiste predominantemente de morros elevados e, subordinadamente, morros baixos e colinas. Há redução de umidade nos terrenos mais baixos, referentes aos vales entalhados pelos rios principais, em direção norte e leste, marcada pela diferenciação de solos e da



cobertura florestal original. Verifica-se a presença de Latossolos Vermelho-Amarelos e Argissolos Vermelho-Amarelos Distróficos, eventualmente Cambissolos Háplicos, na metade sul desta área, nas posições mais elevadas e mais úmidas da paisagem (EMBRAPA, 2003).

Segundo Amorim et al. (2011) é a segunda região do estado em área plantada (21,6% do total) e volume (25,7%). O município de Nova Friburgo se destaca na região por abrigar 48,7% da área total e 44,6% do volume dessa região. O estudo também afirma que a região é composta, na sua maior parte, por povoamentos plenamente estabelecidos.

Tais dados evidenciam a boa capacidade produtiva da região com relação ao cultivo de eucalipto que pode atingir valores superiores a 150 m<sup>3</sup>/ha. Este resultado também pode ser fundamentado no provável plantio de espécies adaptadas as condições climáticas e edáficas da região, com temperaturas do ar mais amenas, baixo déficit e elevado excedente hídrico.



**Figura 12:** Produtividade média do eucalipto da Região Serrana

### 5.3. Teste do modelo

Ao extrair as produtividades pontuais presentes no mapa, foi possível realizar uma análise estatística com os dados interpolados (Tabela 4).

O teste do modelo apresentou padrão similar ao do ajuste do modelo, visto que a região Metropolitana apresentou o maior coeficiente de determinação. Após a região Metropolitana, as regiões Baixadas Litorâneas e Centro-Sul Fluminense, respectivamente, apresentaram os dois maiores coeficientes de determinação. O Noroeste Fluminense também apresentou um R<sup>2</sup> considerável, com um valor muito próximo ao obtido no ajuste do modelo. Já as regiões Serrana e Médio Paraíba mantiveram um coeficiente de determinação muito baixo, ambas não explicam mais que 2% dos dados observados. A região Norte Fluminense foi a que apresentou padrão diferente ao observado no ajuste do modelo e encontrado para o teste de modelo. O coeficiente do teste foi de apenas 0,0152.

**Tabela 4:** Coeficiente de determinação obtido após teste do modelo.

<b>Regiões</b>	<b>R<sup>2</sup></b>
Baixas Litorâneas	0,21647
Centro-Sul Fluminense	0,233178
Metropolitana	0,607373
Noroeste Fluminense	0,156372
Norte Fluminense	0,050772
Serrana	0,015219
Médio Paraíba	0,010441

## 6. CONCLUSÕES

- O ajuste e teste do modelo foram satisfatórios para a produtividade da Região Metropolitana, Baixadas Litorâneas e Centro-Sul Fluminense, sendo que para o Estado do Rio de Janeiro, Região Serrana e Médio Paraíba o ajuste foi insatisfatório;
- A região Serrana é a que apresenta maiores valores de produtividade média do eucalipto, isso pode ser explicado pelo fato das espécies de eucalipto existentes na região, serem mais adaptadas as condições existente na região, como elevadas altitudes, temperaturas amenas e baixo déficit hídrico;
- As menores produtividades foram encontradas na porção sul da região Baixadas Litorânea e em trechos da região Metropolitana. Tais locais apresentaram produtividades inferiores a 25 m<sup>3</sup>/ha.

## 7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABRAF-ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE PRODUTORES DE FLORESTAS PLANTADAS. **Anuário estatístico da ABRAF do ano de 2013**. Disponível: <<http://www.abraflor.org.br/estatisticas/ABRAF11/ABRAF13-BR.pdf>>. Acesso em: 29 nov. 2013.

ALVARES, C.A. **Mapeamento e modelagem edafoclimática da produtividade de plantações de Eucalyptus no sul do Estado de São Paulo**. 2011. 279f. Tese (Doutorado em Recursos Florestais) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba.

AMORIM, H. B.; et al.; Estimativa da área ocupada por reflorestamentos no estado do Rio de Janeiro. **Cerne**, v. 18, n. 1, p. 27-32, 2012.

ANDRADE, E.N. **O Eucalipto**. 2. Ed. Impresso nas Oficinas Tipográficas da Companhia Paulista de Estradas de Ferro, São Paulo, 1961. 667 p.

ANDRÉ, R. G. B.; et al. Identificação de regiões pluviometricamente homogêneas no estado do Rio de Janeiro, utilizando-se valores mensais. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v.23, n. 4, p. 501-509, 2008.

ARAÚJO, F.F.S.; et al. Espacialização da temperatura do ar mensal no estado do Rio de Janeiro baseada em modelos lineares e dados SRTM. In: SEMINÁRIO DE ATUALIZAÇÃO EM SENSORIAMENTO REMOTO E SISTEMAS DE INFORMAÇÕES GEOGRÁFICAS APLICADOS À ENGENHARIA FLORESTAL, 9., Curitiba. **Anais...** Curitiba, 2010. p. 275-287.

AVERY, T.E.; BURKHART, H.E. **Forest management**. 4.ed. New York: McGraw-Hill, 1994, 432p.

BATISTA, J.L.F.; COUTO, H.T.Z. Escolha de modelos matemáticos para a construção de curvas de índice de sítio para florestas implantadas de *Eucalyptus* no Estado de SP. **IPEF**, v.32, p.33-42, 1986.

BATISTA, T. R.; MAFIA, R. G.; Uso do geoprocessamento para determinação de áreas com maior potencial para o cultivo do eucalipto considerando a intensidade de radiação luminosa. In: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, 14. Natal, **Anais...** Natal: INPE, 2009. p.3551-3558.

BELLOTE, A.F.; DEDECEK, R.A. Atributos físicos e químicos do solo e suas relações com o crescimento e a produtividade do *Pinus taeda*. **Boletim de Pesquisa Florestal**, v.53, p.21-38, 2006.

BOOTH, T. H.; et al. Niche analysis and tree species introduction. **Forest Ecology and Management**, v. 23, n. 1, p. 47-59, 1988.

BOOTH, T. H.; PRYOR, L. D. Climatic requirements of some commercially important eucalypt species. **Forest Ecology and Management**, v. 43, n. 1-2, p. 47-60, 1991.

BRACELPA - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CELULOSE E PAPEL. Disponível em: <<http://www.bracelpa.org.br/>> . Acesso em: 17 jan. 2014.

BRAGA, F. A.; et al. Características ambientais determinantes da capacidade produtiva de sítios cultivados com eucalipto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 23, n. 2, p. 291-298, 1999.

CAMPOS, J.C.C. Principais fatores do meio que afetam o crescimento das árvores. **Revista Floresta**, n.3, p.45-52, 1970.

CARMEAN, W.H. Forest site quality evaluation in the United States. **Advances in Agronomy**, v.27, p.209-269, 1975.

CARMO, D.N.; RESENDE, M.; SILVA, T.C.A. Avaliação da aptidão das terras para eucalipto. In: BARROS, N.F.& NOVAIS, R.F., **Relação solo-eucalipto**. 2. Ed. Viçosa: Folha de Viçosa, 1990. cap. 8, p.187-235.

CHAVES, J. H.; et al. Seleção precoce de clones de eucalipto para ambientes com disponibilidade diferenciada de água no solo: Relações hídricas de plantas em tubetes. **Revista Árvores**, v.28, n.3, p. 333-341, 2004.

COELHO NETTO, A. L. Evolução de Cabeceiras de Drenagem no Médio Vale do Rio Paraíba do Sul (SP/RJ): Bases para um Modelo de Formação e Crescimento da Rede de Canais sob Controle Estrutural. **Revista Brasileira Geomorfologia**, v. 4, n.2, 69-100, 2003.

COLPINI, C.; **Dinâmica e prognose da produção de uma floresta de contato ombrófila aberta/estacional semidecidual**. 2008. 114f. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais e Ambientais) – Universidade Federal do Mato Grosso, Cuiabá.

CORREIA, J.J.L.; MARCOLIN, M. Produtividade florestal de Pinus taeda e Eucalyptus grandis em função da vegetação primitiva e unidades de solos. In: CONGRESSO FLORESTAL BRASILEIRO, 7, Curitiba. **Anais...** São Paulo: SBS/SBEF, 1993. p. 535-538.

CORREIA, T.P. ; et al.. Distribuição espacial da precipitação pluvial mensal no estado do Rio de Janeiro. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE AGROMETEOROLOGIA, 17., 2011, Guarapari. **Resumos...** Guarapari, 2011. P. 123-130.

COSTA, C. D.; **Variabilidade intranual da precipitação pluvial mensal no Estado do Rio de Janeiro**. 2010. 35f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Florestal) - Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica.

DAVIS, L.S.; et al. **Forest management: to sustain ecological, economic, and social values**. 4. ed. Illinois: Waveland, 2005. 804p.

DERECZYNSK, C. P.; OLIVEIRA, J. S.; MACHADO, C.O. Climatologia da precipitação no município do Rio de Janeiro. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v.24, n.1, 24-38, 2009.

EMBRAPA – EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. Zoneamento Agroecológico do Estado do Rio de Janeiro. **Boletim de pesquisa e desenvolvimento**, Rio de Janeiro, 2003.

FIRJAN - FEDERAÇÃO DAS INDÚSTRIAS DO ESTADO DO RIO DE JANEIRO. Estudo de mercado – Consumo de produtos de base florestal. **Boletim técnico**. Curitiba, 2012.

FLORES, C. A.; FILIPPINI, J. M.; WREGGE, M. S. **Zonoeamento agroclimático do eucalipto para o Estado do Rio Grande do Sul e edafoclimático na região de Corede Sul – RS**. 1. Ed. Embrapa Clima Temperado. Pelotas: Rio Grande do Sul, 2009.

FRANCELINO, M. R. et al. Proposta de metodologia para zoneamento ambiental de plantio de eucalipto. **Cerne**, v. 18, n. 2, p. 275-283, 2012.

GHANI, N.L.B.; et al. Levantamento de solos do Parque Estadual Pico do Marumbi através da integração de técnicas convencionais com geoprocessamento. **Revista do Setor de Ciências Agrárias**, v.14, n. 2, p.197-200, 1995.



GOHLZ, H.L.; BORING, L. R. Characterizing the site: environment, associated vegetation, and site potencial. **Kluwer Academic Publishers**.v. 35, n. 8, p. 163-182. 1991

GOMES, A.G.; VARRIABLE, M.C. **Modelagem de ecossistemas: uma introdução**. 2. Ed. Santa Maria: Ed UFSM, 2004. 503P.

GONÇALVES, J. L. M.; et al. Mapeamento de solos e da produtividade de plantações de *Eucalyptus grandis*, com uso de sistema de informação geográfica. **Sci. For.**, v. 40, n. 94, p.187-201, 2012.

GREY, D.C. Site classification of forestry land. South Afr. **For. J.**,v. 138, n.2, p. 54-57, 1985.

IBGE – INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. Disponível em: <<http://www.ibge.gov.br/>>. Acesso em: 30 ago. 2012.

IPEF – INSTITUTO DE PESQUISA E ESTUDOS FLORESTAIS. Disponível em: <<http://www.ipef.br/identificacao/cief/especies/>>. Acesso em: 16 jan. 2014.

JOHNSEN, K.; et al.. Process models as tools in forestry research and management. **Forest Science**, v.47, n. 1, p 2-8, 2001.

KITE, G. W. **Frequency and risk analisys in hidrology**. Fort Colins, Water Resources Publications, 1978. 395p

KRONKA, F.J.N.; BERTOLANI, F.; PONCE, R.H. **A cultura do Pinus no Brasil**. São Paulo: Sociedade Brasileira de Silvicultura, 2005. 160p.

LYRA, G. B. et al. Variação espacial e temporal da temperatura mensal do ar no estado de alagoas, In: CONGRESSO BRASILEIRO DE AGROMETEOROLOGIA, 16. Belo Horizonte. **Anais...**, Viçosa: UFV, 2009. p. 143-151.

LYRA, G. B. ; et al. Espacialização da temperatura do ar anual para o estado de Alagoas com diferentes modelos digitais de elevação e resoluções espaciais. **Ciência Florestal** , v. 21, n. 2, p. 275-287, 2011.

MAESTRI, R. **Modelo de crescimento e produção para povoamentos clonais de *Eucalyptus grandis* considerando variáveis ambientais**. 2003. 143f. Dissertação (Doutorado em Engenharia Florestal) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2003.

MAIA , L. F. P. G.; ZAMBONI , W. **Monitoramento da qualidade das águas das chuvas na cidade do Rio de Janeiro**. Departamento de Meteorologia- UFRJ, Rio de Janeiro, 2004. 137p.

MENDONÇA FILHO, W.F. **Inventário Florestal Nacional, reflorestamento: Rio de Janeiro e Espírito Santo**. 2. Ed. Brasília: IBDF, 1984. 108 p.

MIRANDA, E.E.; (Coord.). Brasil em Relevo. Campinas: Embrapa Monitoramento por Satélite do ano2005. **Relatório Técnico**. Disponível em: <<http://www.relevobr.cnpem.embrapa.br/>>. Acesso em: 1 jun. 2007.

MOORE, I.D.; GRAYSON, R.B.; LADSON, A.R. Digital terrain modeling: a review of hidrological, geomorphological and biological applications. **Hydrological Processes**, v.5.p.3-30, 1991.

MORENO, M.R.; NASCIMENTO, M.T. ; KURTZ, B. Estrutura e composição florística do estrato arbóreo em duas zonas altitudinais diferentes em Mata Atlântica de encosta na região do Imbé, RJ: primeira aproximação. In: SIMPÓSIO DE ECOSSISTEMAS BRASILEIROS, 4. São Paulo. **Anais...**, São Paulo: ACIESP, 1998. p.64-70.

MOTTA, F. G. **Relatório setorial preliminar**. Rio de Janeiro: FINEP, 2004.

ORTIZ, J.L.; et al. Relações espaciais entre o potencial produtivo de um povoamento de eucalipto e atributos do solo e do relevo. **Scientia Forestalis**, v.72, p.67-79, 2006.

PEREIRA, A. R.; ANGELOCCI, L. R.; SENTELHAS, P. C.; **Agrometeorologia: Fundamentos e aplicações práticas**. Guaíba: ed. Agropecuária, 2002, 478p.

PEREIRA, J. C. D. et al. **Características da madeira de algumas espécies de eucalipto plantadas no Brasil**. Colombo: Embrapa Florestas, 2000. 113p.

PIRES O'BRIEN, M. J. **Ecologia e modelamento de florestas tropicias**. Belém: FCAP, 1995. 400p.

PULZ, F.A. **Estudo da dinâmica e a modelagem de uma floresta semidecídua montana na região de Lavras - MG**. 1998. 156f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal). Universidade Federal de Lavras, Lavras.

RIBEIRO, C. A. D.; **Delimitação de zonas agroclimáticas para cultura do eucalipto no norte do Espírito Santo e sul da Bahia**. 2009. 105f. Dissertação (Mestrado em Produção Florestal). Universidade Federal de Alegre, Alegre.

SOUZA, D. L. A.; et al. Utilização de geoprocessamento na agricultura de precisão no Brasil. In: JORNADA DE ENSINO, PESQUISA E EXTENSÃO, 13, Recife, Anais..., Recife: UFRPE. 2013. p. 132- 137.

RODRIGUES, M. Geoprocessamento: Um retrato atual. **Revista Fator GIS**, v.1, n. 2, p. 20-23. 1993

SANTANA, R. C. et al; Estimativa de biomassa de plantios de eucalipto no brasil. **Revista Árvore**, v.32, n.4, p.697-706, 2008.

SANTOS, P. S. B.; **Determinação da massa específica e estudo da variação do comprimento de fibras da madeira de *Eucalyptus saligna smith* e *Eucalyptus globulus labill***. 2010. 55f. Monografia (Conclusão de Curso em Engenharia Industrial Madeireira) - Universidade Federal de Pelotas, Pelotas.

SANTOS, A.A.R. **Evapotranspiração de referência estimada por métodos de dados climáticos mínimos no estado do Rio de Janeiro**. 2013. 35f. Monografia (Conclusão de

Curso em Engenharia Agrônoma) - Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica..

SBS – SERVIÇO FLORESTAL BRASILEIRO. Disponível em:  
<<http://www.florestal.gov.br>>. Acessado em: 10 dez. 2013.

SILVA, G. C.; NASCIMENTO, M. T. Fitossociologia de um remanescente de mata sobre tabuleiros no norte do estado do Rio de Janeiro (Mata do Carvão). **Revista Brasil. Bot.**, v.24, n.1, p.51-62, 2001

SPATHELF, P.; NUTTO, L. **Modelagem aplicada ao crescimento florestal**. Santa Maria: UFSM, 2000. 70p.

SPONHOLZ, I. K.; FILHO, P.C.O.; OLIVEIRA, E.B.; Espacialização da produção florestal por sortimento de madeira. **Brazilian Journal of Forestry Research**, v. 33, n.76, p. 369-378, 2013.

STAPE, J.L.; et al. **Relatório das atividades científicas, operacionais e educacionais e das finanças das Estações Experimentais de Itatinga e Anhembi -Ano de 1997**. Piracicaba: ESALQ/Departamento de Ciências Florestais, 1998. 60p.

STERN, R.D.; COE, R. The use of rainfall models in agricultural planning. **Agricultural Meteorology**, v.26, p.35-50, 1982.

THORNTHWAITE, C.W.; MATHER, J.R. **The water balance**. Publications in Climatology. New Jersey: Drexel Institute of Technology. 1955. 104p

TONINI, H.; et al. Índice de sítio para *Pinus elliottii* Engelm, em três unidades de mapeamento de solo, nas regiões da Serra do Sudeste e litoral, no Estado do Rio Grande do Sul, Brasil. **Ciência Florestal**, v. 12,n. 22 p.61-73, 2002.

VANCLAY, J.K. **Modelling forest growth and yield: applications to mixed tropical forests**. Copenhagen: CAB International, 1994. 312p.

VIANA, L. G. G. et al.; Fronteira de expansão dos plantios de eucalipto no geocossistema do médio vale do rio Paraíba do Sul (SP/RJ).In: SIMPÓSIO DE RECURSOS HÍDRICOS DA BACIA HÍDROGRÁFICA DO PARAÍBA DO SUL: O EUCALIPTO E CICLO HIDROLÓGICO, 1., Taubaté. **Anais...Taubaté** : UNITAU, 2007, p367-369.

VOSE, J. M.; SWANK, W.T. Effect of long-term drought on the hydrology and growth of a white pine plantation in the southern Appalachians. **Forest Ecology and Management**, v. 17 n. 64,p. 25-39, 1994.