



Universidade Estadual Paulista
"Júlio de Mesquita Filho"

Programa Interunidades

unesp

Mestrado

Engenharia Civil e Ambiental

TALITA PEIXOTO DE OLIVEIRA SÁTIRO

**COMPARAÇÃO ENTRE DOIS SISTEMAS DE INFORMAÇÃO GEOGRÁFICA
(ARCGIS® E QGIS) NA ELABORAÇÃO DE UM MAPA DE
POTENCIALIDADE PARA A SILVICULTURA BASEADO EM ELEMENTOS
DO MEIO FÍSICO – A BACIA DO PARAÍBA DO SUL (PORÇÃO PAULISTA)**

Bauru

2013

TALITA PEIXOTO DE OLIVEIRA SÁTIRO

**COMPARAÇÃO ENTRE DOIS SISTEMAS DE INFORMAÇÃO GEOGRÁFICA
(ARCGIS® E GVSIG) NA ELABORAÇÃO DE UM MAPA DE
POTENCIALIDADE PARA A SILVICULTURA BASEADO EM ELEMENTOS
DO MEIO FÍSICO – A BACIA DO PARAÍBA DO SUL (PORÇÃO PAULISTA).**

Dissertação apresentada como requisito para a obtenção do título de Mestre em Engenharia Civil e Ambiental da Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Área de Concentração Geotecnia Ambiental.

Orientador: Prof. Dr. Silvio Jorge Coelho Simões

Bauru

2013

Sátiro, Talita Peixoto de Oliveira.

Comparação entre dois sistemas de informação geográfica (ArcGIS® e gvSIG) na elaboração de um mapa de potencialidade para a silvicultura baseado em elementos do meio físico - A Bacia do Paraíba do Sul (porção Paulista)/ Talita Peixoto de Oliveira Sátiro, 2013

77 f.

Orientador: Silvio Jorge Coelho Simões

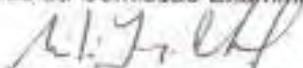
Dissertação (Mestrado)- Universidade Estadual Paulista. Faculdade de Engenharia, Bauru, 2013

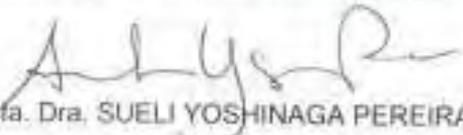
1. Silvicultura 2. Meio Físico. 3. Sistemas de Informação Geográfica. 4. Manejo de bacias. 5. Álgebra de Mapas. I. Universidade Estadual Paulista. Faculdade de Engenharia. II. Título.

ATA DA DEFESA PÚBLICA DA DISSERTAÇÃO DE Mestrado DE TALITA PEIXOTO DE OLIVEIRA SÁTIRO, DISCENTE DO PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL E AMBIENTAL, DO(A) FACULDADE DE ENGENHARIA DE BAURU.

Aos 17 dias do mês de dezembro do ano de 2012, às 10:30 horas, no(a) SALA DE VIDEOCONFERÊNCIA DA UNESP DE GUARATINGUETÁ, reuniu-se a Comissão Examinadora da Defesa Pública, composta pelos seguintes membros: Prof. Dr. SILVIO JORGE COELHO SIMOES do(a) Departamento de Engenharia Civil / Faculdade de Engenharia de Guaratinguetá - UNESP, Profa. Dra. SUELI YOSHINAGA PEREIRA do(a) Instituto de Geociências / Universidade Estadual de Campinas - UNICAMP, Profa. Dra. ISABEL CRISTINA DE BARROS TRANNIN do(a) Departamento de Engenharia Civil / Faculdade de Engenharia de Guaratinguetá - UNESP, sob a presidência do primeiro, a fim de proceder a arguição pública da DISSERTAÇÃO DE Mestrado de TALITA PEIXOTO DE OLIVEIRA SÁTIRO, intitulada "COMPARAÇÃO ENTRE DOIS SISTEMAS DE INFORMAÇÃO GEOGRÁFICA (ARCGIS E GVSIG) NA ELABORAÇÃO DE UM MAPA DE POTENCIALIDADE PARA A SILVICULTURA, BASEADO EM ELEMENTOS DO MEIO FÍSICO - A BACIA DO RIO PARAÍBA DO SUL (PORÇÃO PAULISTA)". Após a exposição, a discente foi arguida oralmente pelos membros da Comissão Examinadora, tendo recebido o conceito final: *Aprovado*

Nada mais havendo, foi lavrada a presente ata, que, após lida e aprovada, foi assinada pelos membros da Comissão Examinadora:


Prof. Dr. SILVIO JORGE COELHO SIMOES


Profa. Dra. SUELI YOSHINAGA PEREIRA


Profa. Dra. ISABEL CRISTINA DE BARROS TRANNIN

À minha família pelo amor,
carinho, apoio, e incentivo.

Em especial, meu avô,
que hoje não está mais entre nós,
mas com certeza está orgulhoso
por essa conquista.

Sem eles nada disso seria possível.

Agradecimentos

À Deus por me abençoar com determinação e persistência para encarar os obstáculos surgidos e seguir adiante.

Em especial e com glórias, ao meu marido, Rodrigo, que esteve sempre ao meu lado, me incentivando e encorajando a continuar, acreditando que seria possível. E ainda, pela compreensão nas horas ausentes, pelo carinho, amizade, apoio e amor em todos os momentos.

Aos meus pais, Marilene e Cesar, em especial, pelas palavras encorajadoras nas horas em que a desistência persiste, e pelo imenso carinho, apoio e força, que fizeram com que eu superasse as limitações da vida e chegasse até aqui. E ainda pelas orações e pelo amor e dedicação durante todos os anos da minha vida.

Ao meu irmão, Tiago, pela imensa compreensão nas horas de estresse, pela prontidão em me ajudar sempre, pelas horas de companhia em São Paulo e, em destaque, pelo carinho e atenção sempre disponíveis.

Ao Tales, meu irmão, que mesmo de longe sempre me ajudou com as tecnologias. E ainda, pelo contínuo carinho.

À cunhada, Priscilla, pelo exemplo de dedicação, superação e determinação.

Aos pilares da minha vida, meu avô e minhas avós, que entenderam o muito tempo de ausência.

Às amigas e colegas da Marinha do Brasil, que acreditaram que eu conseguiria e entenderam quando eu precisei me ausentar.

Ao meu orientador Silvio, pelo aprendizado, pelas horas dedicadas; sempre muito atencioso, paciente e incentivador, possibilitando que esse trabalho fosse concluído.

Ao apoio dos colaboradores Giordano Bruno Automare, George de Paula Bernardes, Juliano Ferreira Dias e Paulo Valladares Soares que serviram como apoio para que esse trabalho pudesse ser realizado. E também à empresa Fibria pelo estímulo para o desenvolvimento desse estudo.

E à todos aqueles que pela minha vida passaram e me agregaram valores, conhecimento e virtudes e deixaram boas lembranças.

“Talvez não tenha conseguido fazer o melhor,
mas lutei para que o melhor fosse feito.
Não sou o que deveria ser,
mas graças a Deus,
não sou o que era antes.”

Martin Luther King

RESUMO

Este estudo procurou avaliar o aspecto físico de uma bacia hidrográfica, buscando utilizar métodos que apontassem espacialmente, aplicando uma escala correspondente, áreas com maior potencial (5) ou menor potencial (0) para a silvicultura do eucalipto, levando em consideração apenas o meio físico, desconsiderando outros meios para utilização do solo. A bacia em questão é a Bacia Hidrográfica do Rio Paraíba do Sul (porção paulista), escolhida por ser uma região onde se inicia um ciclo de grande expansão da silvicultura (plantio de eucalipto). Essa análise do meio físico foi feita considerando-se os mapas de geologia, geomorfologia e pedologia, fornecidos pelo Projeto CEIVAP, e a partir deles fez-se uma análise espacial em dois Sistemas de Informação Geográfica – SIG, gerando mapas de potencialidade à plantação do eucalipto no interior da bacia, através de ferramentas de álgebra de mapas disponíveis nos softwares. Os SIG's utilizados para isso foram o ARCGIS® e o gvSIG, de forma a comparar os resultados obtidos por ambos. De uma forma geral, os mapas finais indicaram as áreas que abrangem as mesmas características. As regiões potencialmente mais favoráveis ao plantio de eucalipto estão associadas a solos bem formados e homogêneos (Latosolos) e relevos com declividades baixas e intermediárias. As áreas menos favoráveis estão associadas a dois tipos de contexto bem distintos: a) as áreas de relevos íngremes com substrato de rochas graníticas ácidas e solos rasos (Cambissolos) e b), solos de várzeas relacionados ao Rio Paraíba do Sul, com a presença de solos hidromórficos (Gleissolos Melânicos) e nível freático próximo à superfície. A obtenção do mapa de potencialidade mostrou-se uma importante ferramenta para a gestão e o manejo da atividade de silvicultura particularmente em regiões de terrenos acidentados como é o caso da área de estudo.

PALAVRAS-CHAVE: Silvicultura, meio físico, sistemas de informação geográfica, manejo de bacias, álgebra de mapas.

ABSTRACT

This study developed a methodology in order to identify the most appropriate areas for eucalyptus plantations based in the interactions among physical landscape elements using two Geographical Information Systems. The area of study is the Paraíba do Sul basin (southeast of Brazil), which has been chosen for being an area where a cycle of great expansion of the eucalyptus plantation has begun in the last decades. The analysis of the physical elements took into account thematic maps (geology, geomorphology, pedology) obtained from CEIVAP Project in AUTOCAD format and later was converted and adjusted in two Geographical Information Systems – GIS. To each landscape feature (rocks and structures, relief, and soil) it was applied a scale factor which corresponds the most suitable (5) or the less suitable (1) for the forest eucalyptus management, taking into account only the physical landscape, disregarding other means of land use, generating with it, a map of the potential for planting plantations in the basin. The GIS used for this were the gvSIG and ArcGIS® in order to compare the results obtained by both. In general, the final maps indicate the areas that cover the same characteristics. The most suitable areas are associated with well-drained, homogeneous and thick soils (Oxisols) and reliefs with low and intermediate steepness. The less favorable areas are associated with two types of very different physical substrates: a) areas of steeper relief with substratum of acid granites rocks and shallow soils (Cambsols) and b), areas under conditions of poor drainage and high water table level associated with Paraíba do Sul River (Gleysols). Results have showed that most part of the basin could be considered very good or good for eucalyptus plantation. The Silviculture Potentiality Map constitutes an important tool for eucalyptus plantation management particularly for the forestry activities in mountainous regions, which is the case of the studied area.

KEYWORDS: Eucalyptus management, physical elements, geographical information system, basin management.

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 – Principais atividades envolvidas em geoprocessamento.	7
Figura 2 - Tecnologias integradas em um SIG.	10
Figura 3 - Tipos de estruturas de dados no computador: (A) Vetorial (B) Raster.	12
Figura 4 - Uma área (linha contínua) e sua aproximação em um polígono (linha tracejada) em estrutura vetorial.	13
Figura 5 - Espaço Tridimensional para representação do mundo real.	15
Figura 6 - Arquitetura de um Sistema de Informações Geográficas (SIG).	19
Figura 7 - Modo de apresentação dos objetos do ArcGIS®.	24
Figura 8 - Produtos ArcGIS®.	25
Figura 9 – Janela do ArcGIS® Spatial Analyst.	26
Figura 10 – Exemplo de visualização no ArcGIS® 3D Analyst.	27
Figura 11 – Janela do Geostatistical Analyst.	28
Figura 12 – Estrutura do gvSIG.	30
Figura 13 – Janela de um projeto gvSIG.	31
Figura 14 – Elementos Básicos da Sextante do gvSIG.	33
Figura 15 – Localização da bacia do rio Paraíba do Sul.	35
Figura 16 – Localização da porção paulista da bacia do rio Paraíba do Sul em relação às demais bacias hidrográficas do Estado de São Paulo.	36
Figura 17 - Foto da região estudada: Diversidade.	37
Figura 18 – Mapa Geomorfológico do Estado de São Paulo.	38
Figura 19 - Áreas com processo erosivo evidente.	40
Figura 20 – Fluxograma Metodológico empregado no estudo.	47
Figura 21 – Esquema de composição do Mapa de Potencialidade para a Silvicultura em SIG.	48
Figura 22 - Geologia da Bacia do Rio Paraíba do Sul.	52
Figura 23 - Geomorfologia da Bacia do Rio Paraíba do Sul.	55
Figura 24 - Pedologia predominante da Bacia do Rio Paraíba do Sul.	57

Figura 25 – Mapa de potencialidade para a silvicultura do eucalipto segundo o ArcGIS® com base no meio físico da Bacia o Rio Paraíba do Sul.	60
Figura 26 – Porcentagem de Área das Classes de Potencialidade ao Cultivo do Eucalipto na bacia do Rio Paraíba do Sul (porção paulista) geradas pelo software ArcGIS®.	62
Figura 27 - Mapa de potencialidade para a silvicultura do eucalipto segundo o gvSIG com base no meio físico da Bacia o Rio Paraíba do Sul.	64
Figura 28 – Porcentagem de Área das Classes de Potencialidade ao Cultivo do Eucalipto na bacia do Rio Paraíba do Sul (porção paulista) geradas pelo software gvSIG.	67

ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 1 - Comparação entre as características dos modelos raster e vetorial.....	17
Tabela 2 - Operadores aritméticos.....	20
Tabela 3 - Operadores relacionais.....	21
Tabela 4 - Operadores booleanos.....	21
Tabela 5 - Operadores lógicos.....	22
Tabela 6 - Operadores combinatórios.....	23
Tabela 7 - Resultados do mapa de uso do solo representados em km ² e %.....	42
Tabela 8 – Qualificadores potenciais e seus respectivos fatores.....	48
Tabela 9 – Ponderação atribuída para as classes de geologia da bacia do Rio Paraíba do Sul para o cultivo de eucalipto.....	53
Tabela 10 – Pontuação atribuída para as classes de geomorfologia da bacia do Rio Paraíba do Sul para o cultivo de eucalipto.....	54
Tabela 11 – Pontuação atribuída para as classes da pedologia da bacia do Rio Paraíba do Sul para o cultivo de eucalipto.....	58
Tabela 12 - Unidades definidas para o cultivo do eucalipto.....	59
Tabela 13 - Quadro Síntese do Mapa de Potencialidade gerado segundo o ArcGIS®.....	61
Tabela 14 – Porcentagem de Área das Classes de Potencialidade ao Cultivo do Eucalipto na bacia do Rio Paraíba do Sul (porção paulista) geradas pelo software ArcGIS®.....	63
Tabela 15 - Quadro Síntese do Mapa de Potencialidade gerado segundo o gvSIG.....	65
Tabela 16 – Porcentagem de Área das Classes de Potencialidade ao Cultivo do Eucalipto na bacia do Rio Paraíba do Sul (porção paulista) geradas pelo software gvSIG.....	66
Tabela 17 - Comparação técnica entre o ArcGIS® e o gvSIG.....	68
Tabela 18 - Comparação dos resultados obtidos pelo ArcGIS® e pelo gvSIG.....	68

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	1
2	OBJETIVOS	3
	2.1 Objetivo Geral	3
	2.2 Objetivos Específicos	3
3	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	4
	3.1 A Silvicultura e o Eucalipto	4
	3.2 Silvicultura e Meio Físico	5
	3.3 Geoprocessamento e Sistema de Informação Geográfica.....	6
	3.4 Estrutura de Dados.....	12
	3.4.1 Estrutura de dados vetorial	13
	3.4.2 Estrutura de dados raster	14
	3.4.3 Comparação entre as estruturas de dados	15
	3.5 Dados Geoespaciais	17
	3.6 Álgebra de Mapas	19
	3.6.1 Operadores Aritméticos	20
	3.6.2 Operadores Relacionais	21
	3.6.3 Operadores Booleanos.....	21
	3.6.4 Operadores Lógicos.....	22
	3.7 Características dos programas utilizados	23
	3.7.1 ArcGIS®	23
	3.7.1.1 Extensões ArcGIS® Desktop	26
	3.8 GvSIG	28
	3.8.1 Dados Geográficos no gvSIG	31
	3.8.2 Sextante	32
4	MATERIAIS E MÉTODOS	34

4.1	Caracterização da Área de Estudo	34
4.2	Abordagem Regional	36
4.2.1	Contexto Geológico e Geomorfológico	37
4.2.2	Contexto Pedológico	39
4.2.3	Características Climáticas.....	40
4.2.4	Vegetação e Uso do Solo.....	41
4.3	Metodologia Aplicada.....	44
4.3.1	Procedimento para Composição do Mapa de Potencialidade no ArcGIS®	48
4.3.2	Procedimento para a composição do Mapa de Potencialidade no gvSIG	49
5	RESULTADOS E DISCUSSÕES	51
5.1	Mapa Geológico	51
5.2	Geomorfologia.....	54
5.3	Pedologia.....	56
5.4	Mapa de Potencialidade utilizando o ArcGIS®	59
5.4.1	Quantificação dos fatores com base no ArcGIS	62
5.5	Mapa de Potencialidade utilizando o gvSIG.....	63
5.5.1	Quantificação dos fatores com base no gvSIG	66
6	CONCLUSÕES	70
7	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	72

1 INTRODUÇÃO

O Brasil é um país de grandes extensões territoriais, com grande variação de solos, relevos e climas. Devido a essa variabilidade um dos maiores desafios à gestão da silvicultura é a definição das melhores áreas para o cultivo, considerando a fragilidade e a potencialidade dos elementos naturais que constituem as paisagens.

No Brasil, as plantações de eucalipto são, em grande parte, concentradas na Região Sudeste, região que inclui os estados de São Paulo, Rio de Janeiro, Espírito Santo e Minas Gerais. Nessa região, a plantação de eucalipto (espécie *Eucalyptus grandis*) aumentou significativamente, ocupando principalmente as regiões montanhosas associadas com uma grande variedade de rochas e solos.

Para o sucesso de um empreendimento florestal é preciso considerar todos os fatores, contra ou favoráveis, e o caso dos efeitos ambientais é um deles. Esse assunto é debatido há muitos anos e as controvérsias sobre o cultivo do eucalipto estão longe de serem resolvidas. Por exemplo, em alguns estudos, Lima (1996) afirma que o escoamento superficial e a erosão diminuem sensivelmente após o estabelecimento de plantações de eucalipto em terrenos outrora degradados, assim como pode ser observado um aumento na concentração dos nutrientes na água do escoamento direto após o corte raso das árvores.

A diversidade de elementos geológicos, geomorfológicos e pedológicos precisa ser entendida de forma a reduzir o impacto ambiental da atividade de silvicultura em especial os processos erosivos e, conseqüentemente, a alta produção de sedimentos que afetam o sistema de drenagem natural. Neste aspecto, este estudo pretende identificar as regiões potencialmente mais adequadas para a silvicultura, considerando a integração dos elementos da paisagem física, a uma escala regional. Ou seja, este trabalho não pretende estabelecer um mapa de capacidade de uso, mas, apenas, avaliar o comportamento geotécnico de unidades homogêneas, com base nos principais elementos do meio físico. Mais especificamente, este estudo foi realizado na porção paulista da bacia do Paraíba do Sul, que é uma das mais

importantes bacias hidrográficas do Brasil. Apesar desta importância, a integração dos elementos do meio físico (rochas, solos e relevo) para avaliar a potencialidade da silvicultura não tem recebido muita atenção e poucos trabalhos têm sido publicados sobre este assunto.

Para elaborar o mapa de potencialidade de silvicultura levou-se em consideração os aspectos geológicos, geomorfológicos e pedológicos, com base nos mapas existentes à nível regional, e foram utilizados dois Sistemas de Informação Geográfica (SIG), que permitiram comparar as ferramentas disponíveis em ambos os softwares. O primeiro deles foi o ArcGIS[®], um software de propriedade da empresa ESRI. O segundo foi o gvSIG, que é um software de domínio público, que apesar de poder ter ampla utilização, é utilizado por uma pequena comunidade no país.

O desenvolvimento desse projeto se insere no programa de parceria iniciado no ano de 2004 entre a empresa FIBRIA, a FEG/UNESP e o IG/UNICAMP, que busca estudar e inserir novas formas de manejo para a silvicultura no Vale do Paraíba.

2 OBJETIVOS

2.1 Objetivo Geral

Esse estudo tem como objetivo geral a integração de mapas do meio físico que indiquem a potencialidade da Bacia do Rio Paraíba do Sul para a silvicultura do eucalipto, fazendo-se uma comparação entre dois sistemas de informação geográfica, utilizados para a elaboração e correlação dos resultados obtidos. Desta forma, o mapa de integração obtido pode ser visto como um mapa previsional que aponta, em escala regional, a dificuldade ou a facilidade de se desencadear processos de erosão acelerada ou escorregamentos.

2.2 Objetivos Específicos

- Revisar os procedimentos de análise geoespacial, particularmente no que se refere à álgebra de mapas;
- Produzir mapas temáticos (Geologia, Geomorfologia e Pedologia) para a bacia do Paraíba do Sul (Porção Paulista) que não estavam disponíveis em formato SIG;
- Descrever as características do meio físico com base em uma abordagem integrada;
- Quantificar os fatores de potencialidade para a área de estudo com base nos dois Sistemas de Informação Geográfica utilizados.

3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1 A Silvicultura e o Eucalipto

Define-se por silvicultura o ato de criar e desenvolver povoamentos florestais, satisfazendo as necessidades de mercado, conforme Louman et al. (2001), apud Ribeiro et al., (2002). No nosso país, devido às variações dos fatores climáticos, à boa adaptação de materiais genéticos introduzidos e à biodiversidade encontrada, é possível considerar a silvicultura como uma das mais ricas do mundo. Entretanto, essas vantagens podem também ser interpretadas como armadilhas em caso de falta de análise específica para cada região, devido à diversidade da paisagem.

De acordo com a Valverde (2001), o eucalipto, nativo da Austrália, é uma espécie arbórea pertencente à família das Mirtáceas com mais de 670 espécies que podem ser cultivadas para a produção de madeira. No Brasil, como afirmado por Lima (1996), o eucalipto teve seu cultivo intensificado a partir do início do século XX, sendo usado em ferrovias da Companhia Paulista de Estradas de Ferro como dormentes e como lenha para as Maria-Fumaças. Após esse período, sua utilização foi intensificada como postes de linhas de energia elétrica, sendo que no final dos anos 20, as siderúrgicas de Minas Gerais aproveitaram o eucalipto no processo de fabricação de ferro-gusa com a transformação da espécie em carvão vegetal. A partir de 1965, com a lei dos incentivos fiscais ao reflorestamento, a área de plantio de eucalipto no Brasil cresceu cerca de seis vezes a existente na época.

Hoje, o eucalipto está disseminado em todo o território brasileiro, desde o nível do mar até grandes altitudes, em solos extremamente pobres, em solos ricos, secos ou alagados. Isso ocorre pela grande necessidade desse cultivo para o desenvolvimento do setor de celulose e papel, na produção de lenha e na grande necessidade de reflorestamento, devido à escassez das florestas naturais, que está estritamente relacionada com as mudanças climáticas, devido ao aumento da concentração de gás carbônico na atmosfera.

O reflorestamento contribui para uma diminuição na pressão sobre as florestas nativas, aumenta o abrigo para fauna, a proteção das águas e dos solos, melhora na qualidade do ar, contribui para a mitigação do efeito estufa, ajuda no processo de recuperação de áreas degradadas, etc. Além disso, independente do seu potencial, o setor florestal é capaz de contribuir com cerca de 5% do PIB, US\$3 bi em impostos e US\$16 bi em exportações, empregar mais de 2 milhões de pessoas e remunerar seus trabalhadores melhor que outros em atividades similares. (Valverde 2001)

No que tange à formação dos macro-indicadores do setor florestal brasileiro, tem-se uma responsabilidade muito maior das plantações florestais destinadas à produção de madeira para energia, celulose e processamento mecânico do que das florestas nativas (Lima, 1996). No caso do mercado florestal ocorre uma melhora significativa, pois o eucalipto, sendo de rápido crescimento, faz a economia girar mais rapidamente, cerca de dez vezes mais que os países líderes desse mercado.

Mesmo com esses benefícios das plantações florestais para o país, estranhamente há algumas controvérsias a respeito da silvicultura do eucalipto. Muitas críticas alegam que essa espécie vegetal, por ser uma espécie exótica aumenta o déficit hídrico do solo, reduz a fertilidade e o pH do mesmo, afugenta a fauna, as plantações formam grandes latifúndios e monocultura, apresenta pouca contribuição na geração e formação da renda e emprego, provocam o êxodo rural e reduzem o valor da propriedade. Entretanto, muitas destas afirmativas não são embasadas em trabalhos científicos ou correspondem a situações ou ecossistemas específicos, e não podem ser considerados para todas as situações.

No Brasil, existem muitas áreas ociosas, degradadas e mal aproveitadas, onde se deveria investir em reflorestamentos, e para esses locais o cultivo do eucalipto pode ser uma excelente opção econômica, ambiental e social. Impactos negativos podem advir de qualquer ação antrópica; cabe analisar e decidir o que é o menos ruim para cada região, o que trará maiores benefícios que malefícios, o que é mais sustentável.

3.2 Silvicultura e Meio Físico

Assim como em todas as atividades econômicas, a silvicultura também busca desenvolver técnicas para o manejo sustentável de florestas plantadas de eucalipto. Para o manejo sustentável, além de adotar os procedimentos governamentais é preciso considerar,

entre outros fatores, as potencialidades e vulnerabilidades do meio físico de cada região. A análise do meio físico, visando à otimização e a racionalização do uso e ocupação da terra em áreas de florestas plantadas é um instrumento fundamental para o alcance do manejo sustentável, particularmente, em áreas de grande diversidade geológica e geomorfológica, como é o caso da área de estudo.

Apesar da importância de avaliar o meio físico na busca da sustentabilidade ambiental das florestas plantadas, publicações abordando este tema são escassas na literatura nacional e internacional. A maior parte dos trabalhos discute os efeitos dos processos hidrológicos, e a produção de sedimentos sem considerar uma abordagem dos elementos que compõem o meio físico como a geologia e a geomorfologia. Entretanto, alguns trabalhos de cunho mais abrangente e sistêmico - considerando de forma integrada o meio físico - têm sido realizados em áreas com predominância de silvicultura ou agricultura. Este é o caso do trabalho desenvolvido por Salas (1987) para a caracterização de “qualidade do sítio florestal”, ainda que o principal enfoque seja pedológico, particularmente para a avaliação dos nutrientes e fertilidade dos solos. Orea (2007), em sua proposta metodológica de ordenação territorial, também considera fortemente aspectos do meio físico como a geomorfologia, a climatologia e a vegetação.

3.3 Geoprocessamento e Sistema de Informação Geográfica

Geoprocessamento é um termo que vem sendo muito empregado por profissionais que trabalham com informações referenciadas espacialmente na superfície terrestre. Geoprocessamento é a técnica utilizada para a análise espacial através de estatísticas e dados que fornecem a visualização espacial de variáveis dentro de um projeto. Rosa (2004) define geoprocessamento como um conjunto de tecnologias destinadas à coleta e tratamento de informações espaciais, assim como o desenvolvimento de novos sistemas de aplicações, com diferentes níveis de sofisticação.

O geoprocessamento pode ser aplicado em áreas que trabalham com cartografia digital, processamento digital de imagens e sistemas de informação geográfica, já que essas especialidades podem estar intimamente relacionadas, apesar de suas diferenças (Figura 1). Dentro dessas três atividades, destacam-se os sistemas de informação geográfica, destinados à aquisição, armazenamento, manipulação, análise e apresentação de dados referenciados espacialmente.

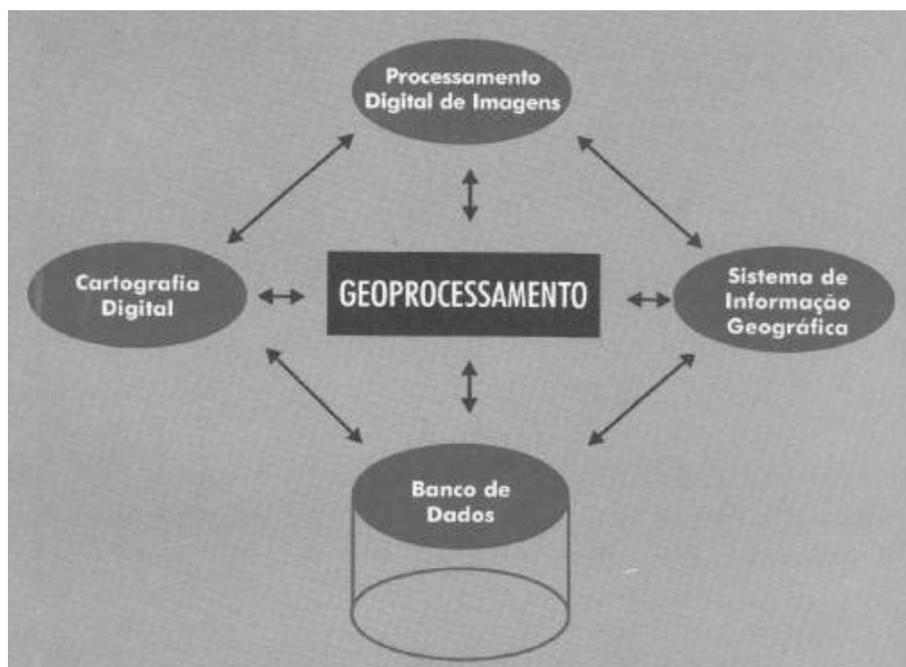


Figura 1 – Principais atividades envolvidas em geoprocessamento.

Fonte: Rosa (2004).

Assim, dentro do ambiente tecnológico, que se convencionou chamar geoprocessamento, estão incluídos os sistemas de informação geográfica, que atuam na área de coleta e tratamento da informação espacial, assim como o desenvolvimento de novos sistemas e aplicações. A tecnologia ligada ao geoprocessamento envolve hardwares (equipamentos) e softwares (programas) com diversos níveis de sofisticação, destinados à implementação de sistemas com fins didáticos, de pesquisa acadêmica ou aplicações profissionais e científicas, nos mais diversos ramos das geociências e engenharia (Teixeira et al., 1992 apud Rosa, 2004).

Portanto, pode-se considerar que um Sistema de Informações Geográficas (SIG) tem a capacidade de tratar as relações espaciais entre entidades geográficas. Essas relações estão presentes tanto nas consultas espaciais quanto nas aplicações geográficas.

Os Sistemas de Informação Geográfica (SIG) são sistemas destinados à aquisição, armazenamento, manipulação, análise e apresentação de dados referenciados espacialmente, sendo muito utilizados na área do geoprocessamento. Os SIGs passam a idéia de uma análise, uma modelagem e simulação de dados já digitalizados, ou a estruturação e organização de um banco de dados georreferenciado. Ao contrário, a cartografia digital, é apenas uma automação de projetos com auxílio do computador e outros equipamentos ligados a ele. A cartografia é

como uma digitalização e organização de desenhos de mapas; é o processo anterior a análise, ao uso do sistema de informação geográfica.

De acordo com Worboys (1995), o termo “Sistema de Informação Geográfica” caracteriza os sistemas de informação que tornam possível a captura, modelagem, manipulação, recuperação, análise e apresentação de dados referenciados geograficamente (ou dados georreferenciados). De forma geral, um software de SIG é um sistema composto de quatro grandes componentes: componente de captura de dados, componente de armazenamento, componente de análise e componente de apresentação dos dados.

Os SIGs devem permitir a operação com múltiplos mapas (ou cartas e plantas), na forma de seus temas geográficos, onde cada camada está, geralmente, associada a um conjunto de dados com características semelhantes. Esse conjunto é comumente denominado de categoria de dados. Em aplicações voltadas para análise de uso e cobertura do solo, por exemplo, isso é uma tarefa rotineira (Ribeiro, 2002).

O desenvolvimento desse tipo de sistema teve início em meados dos anos 60 e o Canadá foi o primeiro a implementar um sistema com as características de um SIG, em 1964. Durante os anos seguintes foram desenvolvidos outros sistemas, mas os grandes avanços ocorreram na década de 80, com a evolução em hardware e software, que tornou mais efetiva a manipulação das informações geográficas e a interface entre uma base de dados gráfica e alfanumérica através desses sistemas (Burrough, 1997).

Delaney & Niel (2007) ressaltam que para se definir um SIG (ou GIS) é preciso considerar cada uma das letras da sigla individualmente, conforme segue:

- **S (System):** Implica que se relacionam entidades separadas, usando ligações. Estas entidades podem ser o hardware, o software, os dados, e o utilizador. Quando as entidades são combinadas, ou ligadas, formam um sistema de interações de interdependências.
- **I (Informação):** identifica que existem alguns dados (medidas) dentro do contexto de significado de um sistema. É a partir da informação que o conhecimento cresce. Pelo menos um elemento da informação deve ser ligado ao “G”, isto é, deve haver alguma informação geográfica.
- **G (Geográfica):** indica que se trata do mundo real, espacial, considerando uma qualidade ou quantidade que é distribuída espacialmente.

Silva (2003) define sistema como sendo “o conjunto de elementos entre os quais haja alguma relação”. E assim, “um sistema de informação é uma cadeia de operações que nos

remete a planejar a observação e a coleção de dados, para armazená-los, analisá-los e usar as informações derivadas em algum processo de tomada de decisão”, conforme Calkins e Tomlinson (1977 apud Silva, 2003).

Para Rosa (2004), sistema é um arranjo de entidades (elementos) relacionadas ou conectadas, de tal forma que constituem uma unidade ou um todo organizado, com características próprias e subordinadas a processos de transformação conhecidos. As entidades são elementos ou objetos tomados como unidades básicas para a coleta dos dados. Estes se relacionam com os atributos, que caracterizam e fornecem significado à unidade estudada. Por exemplo, pode-se tomar um lugar como entidade e as suas características de solo, relevo e uso da terra como alguns de seus atributos. O conjunto de entidades (lugares) corresponde à área estudada. Os dados disponíveis sobre os atributos representam a riqueza informativa. Um dado é um símbolo utilizado para a representação de fatos, conceitos ou instruções em forma convencional ou pré-estabelecida e apropriada para a comunicação, interpretação ou processamento por meios humanos ou automáticos, mas que não tem significado próprio. Já informação é definida como o significado que o ser humano atribui aos dados, utilizando-se de processos pré-estabelecidos para a sua interpretação. Para Delaney & Niel (2007), os dados são usados para descrever um conhecido, que é utilizado como uma base para a obtenção de informações. Pode-se dizer que os *dados* são um conjunto de valores, numéricos ou não, sem significado próprio e que *informação* é o conjunto de dados que possui significado para determinado uso ou aplicação.

Os Sistemas de Informação, em geral, são dedicados ao armazenamento e análise integrada de dados. O SIG é um caso específico do Sistema de Informação, que trata de dados geográficos.

Segundo Rosa (2004), “um SIG pode ser definido como um sistema destinado à aquisição, armazenamento, manipulação, análise e apresentação de dados referidos espacialmente na superfície terrestre, integrando várias tecnologias” (Figura 2).

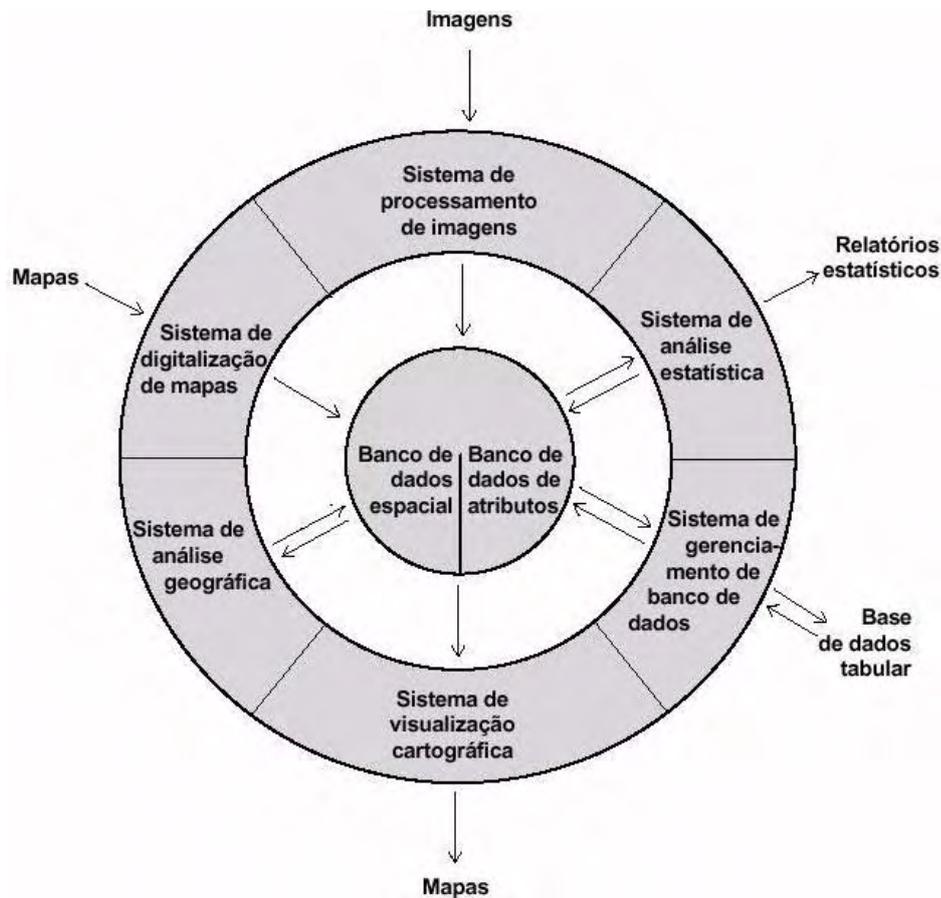


Figura 2 - Tecnologias integradas em um SIG.

Fonte: Hesenack e Weber (1998 apud Rosa, 2004).

Um Sistema de Informação Geográfica pode ser uma ferramenta eficiente na integração de mapas de uma única base de dados contendo informações de diferentes aspectos de uma região e permitir a entrada de dados de diversas maneiras, combinando dados de fontes diferentes, gerando novas outras informações, relatórios e gráficos que possam explicitar certas análises.

Para Silva (2003), “os SIGs necessitam de meio digital e, portanto, o uso intensivo da informática é imprescindível; deve existir uma base de dados integrada e estes dados precisam estar georreferenciados e com controle de erro; devem conter funções de análises destes dados que variem de álgebra cumulativa até álgebra não cumulativa”.

De forma geral, um SIG é um instrumento eficiente para todas as áreas de conhecimento, simulando e inter-relacionando eventos de natureza intrinsecamente espacial. Esta ferramenta possibilita a confecção de cenários para efeito de planejamento, modelagem de funções correlativas e interação de dados de monitoramento, para obtenção de controle, supervisão e diagnósticos.

O SIG é uma das tecnologias da informação que transforma o modo de conduzir uma pesquisa e pode oferecer contribuições à sociedade, permitindo coletar e analisar a informação mais rapidamente do que já foi possível com técnicas tradicionais de pesquisa. Como tecnologia inovadora auxilia tanto em análises de sistemas naturais quanto em sistemas sociais.

De acordo com Moreira (2007), qualquer Sistema de Informação Geográfica apresenta duas características principais:

- Em uma única base de dados permite inserir e integrar informações espaciais provenientes de diferentes fontes. Destacam-se imagens de satélite, dados censitários, de cadastro rural ou urbano, dados de redes e cartográficos; e
- Oferece mecanismos para trabalhar os dados georreferenciados, ou seja, para manipular e analisar as informações, permitindo consulta, recuperação, visualização e plotagem.

Para Longley et al. (2005), um Sistema de Informação Geográfica é capaz de preencher, com uma única coleção de ferramentas, a lacuna entre a curiosidade científica e a prática de resolução de problemas.

Existem diferenças entre o conceito de SIG e o de geoprocessamento. Entende-se como geoprocessamento, de acordo com a definição de Rosa (2009), qualquer tipo de processamento de dados georreferenciados, em contrapartida, o SIG processa dados gráficos e não gráficos em modelagens de superfícies.

O Sistema de Informações Geográficas, segundo Fitz (2008), é composto por hardware, software, de dados e peopleware, ou seja, pessoas, tanto usuários quanto profissionais de áreas distintas da ciência que complementam e aprofundam as análises, subtraindo o melhor que o programa pode oferecer. Pode-se afirmar, que o SIG engloba as funções do geoprocessamento, mas se ocupa também do que se chama peopleware, no sentido de não somente ser um conjunto de ferramentas, programas e técnicas, mas do significado que os dados assumem quando são trabalhados pelos profissionais e usuários.

O software é o conjunto de programas que deve ser gerido por um sistema operacional; a sua finalidade básica é coletar, armazenar, processar e analisar dados geográficos facilitando o manuseio das informações. Em se tratando de SIG, não se fala somente em software, mas em toda a tecnologia. Como exemplo, consideram-se os hardwares, que são os equipamentos (computadores, unidades de armazenamento, plotter e scanner), necessários para que o software desempenhe suas funções. Têm-se, também, os dados, material bruto, que alimenta o

sistema, que sendo interpretado pelo usuário ganha significado. Usuários e métodos são as pessoas que aliam a sua experiência profissional às técnicas de análise para alcançar os objetivos do grupo.

Quanto à entrada de dados em um SIG, pode-se dizer que dispõe de dois tipos de dados: os gráficos e os não-gráficos. Os primeiros constituem uma entidade geométrica materializada por pontos, linhas e polígonos, e os últimos são os dados que descrevem qualitativa ou quantitativamente uma entidade geométrica.

3.4 Estrutura de Dados

Segundo Delaney & Niel (2007), a estrutura dos dados utilizada em cada projeto afeta o armazenamento e exibição desses dados, assim como influencia o tipo de análise e manipulação que o utilizador pode executar.

Ainda que existam várias maneiras de representar os dados espaciais, quase todas as variações produzidas são sobre dois tipos básicos de representação. Uma é a estrutura conhecida como raster (ou matricial) e a outra vetorial. De acordo com Rosa (2004), a principal diferença entre estes dois tipos de estruturas está no modelo de espaço que cada uma pressupõe. As estruturas vetoriais se baseiam em um espaço contínuo, que se comporta segundo postulados da geometria euclidiana, enquanto que, as estruturas raster dividem o espaço geográfico em elementos discretos, requerendo a adoção de uma geometria própria que poderíamos chamar de geometria digital (Figura 3).

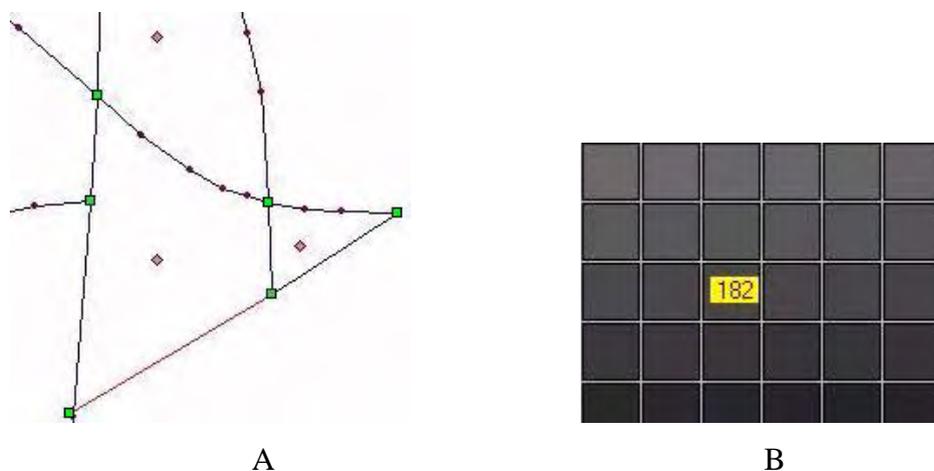


Figura 3 - Tipos de estruturas de dados no computador: (A) Vetorial (B) Raster.

Fonte: Rosa (2004)

3.4.1 Estrutura de dados vetorial

Segundo Delaney & Niel (2007), dados vetoriais são estruturas de dados para armazenamento de dados espaciais. Dados vetoriais em SIG são talvez os mais fáceis de entender a estrutura, pois ele aparece como estamos acostumados a vê-lo no mapa. Essas entidades podem ser polígonos, ou áreas, linhas ou pontos (Figura 3A). Como afirma Silva (2003), os pontos são representados por um único par de coordenadas, as linhas podem ser representadas por dois ou mais pares e os polígonos correspondem a um conjunto de linhas, cujos pares de coordenadas inicial e final são os mesmos.

Os dados geográficos podem ser representados pelo formato vetorial ou polígono e neste caso, é usada uma série de pontos (coordenadas x, y) para definir o limite do objeto ou feição de interesse, em uma tentativa de reproduzir um elemento o mais exatamente possível (Figura 4). Assume-se o espaço como contínuo, permitindo que todas as posições, distâncias e áreas sejam definidas com um grau de precisão muito maior.

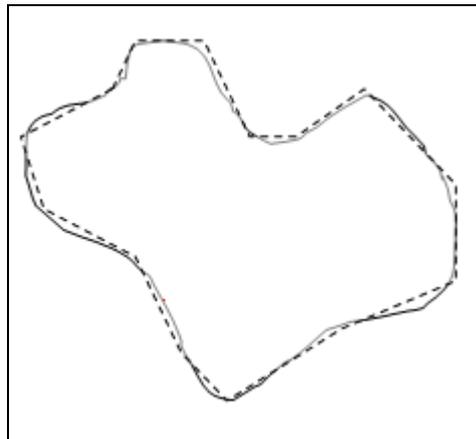


Figura 4 - Uma área (linha contínua) e sua aproximação em um polígono (linha tracejada) em estrutura vetorial.

Fonte: Longley et al. (2005).

De acordo com Longley et al. (2005), a estrutura de dados vetoriais é utilizada em SIG, devido à natureza precisa do seu método de representação, a sua eficiência de armazenamento, a qualidade da sua produção, de cartografia e a disponibilidade de ferramentas funcionais para operações como projeção de mapa, sobreposição, e análise.

Os métodos vetoriais assumem que as coordenadas dos pontos são matematicamente exatas. Além disso, usam relações implícitas, permitindo que dados complexos sejam

armazenados em menos espaço no computador. No entanto alguns cálculos são dificultados e consomem um maior tempo para sua resolução.

3.4.2 Estrutura de dados raster

Trata-se do primeiro e mais antigo dos formatos de dados - formato raster ou estrutura grid (grelha). Esta estrutura se consegue mediante o uso de uma malha com diferentes formatos mas principalmente quadriculada regular sobre a qual se constrói, célula a célula, o elemento que está sendo representado. Cada célula corresponde a um elemento, ao qual é atribuído um código, de tal forma que o computador sabe a que elemento pertence determinada célula.

Segundo Delaney & Neil (2007) dados em estrutura raster são dados baseados em células e cada célula contém um atributo que é (geralmente) representante da característica que ocupa a maioria das células.

Na representação raster cada célula é individualmente integrada ao sistema por suas coordenadas. Torna-se fácil entender, se imaginarmos o espaço assim representado como uma matriz $p(i, j)$, composta de i linhas e j colunas, onde cada célula tem um número de linha; um número de coluna e um valor correspondente ao atributo estudado. Um ponto é representado por uma única célula. Uma linha é um conjunto de células vizinhas arranjadas numa determinada direção e, uma área é um aglomerado de células (Figura 3B).

A superfície bi-dimensional sobre a qual os dados estão sendo representados não é uma superfície contínua, mas sim discreta. Esse aspecto interfere na avaliação de áreas e distâncias, principalmente quando o tamanho da célula é grande com relação ao tamanho do fenômeno representado.

A estrutura raster assume que o espaço pode ser tratado como uma superfície cartesiana plana, onde cada célula está associada a uma porção do terreno. A resolução do sistema é dada pela relação entre o tamanho da célula no mapa e a área por ela coberta no terreno. Dados raster são armazenados numa grade, que é referenciada a um sistema de coordenadas (exemplo, latitude e longitude). O tamanho da grade pode variar, contudo a resolução espacial dos dados é determinada pela dimensão da grade.

Pelo fato da estrutura raster usar um plano bi-dimensional, apenas um atributo pode ser representado por vez. Assim, para a representação do mundo real, um conjunto de planos superpostos deve ser usado (Figura 5).

Dados raster são facilmente manipuláveis computacionalmente. No entanto, requerem grande quantidade de espaço (em disco ou fita magnética) para o seu armazenamento. Dados digitais de sensoriamento remoto (imagens de satélite) são bons exemplos de dados no formato raster.

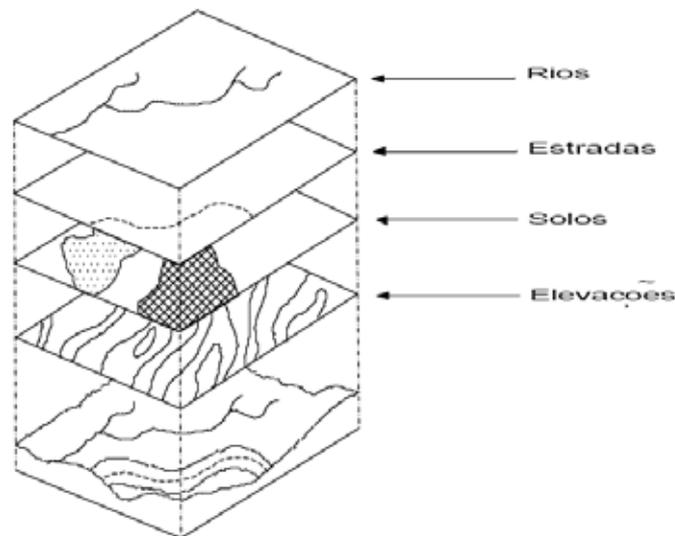


Figura 5 - Espaço Tridimensional para representação do mundo real.

Fonte: Rosa (2004).

3.4.3 Comparação entre as estruturas de dados

A estrutura de armazenamento de dados pode ou não incorporar informações topológicas, descrevendo não somente a posição de um objeto, mas também as relações espaciais entre o objeto e os objetos vizinhos. Informações topológicas são importantes em muitos tipos de análises, incluindo detecção automática de erros, janelamento para análises, apresentação gráfica, aplicações em rede, operações de proximidade, sobreposição de polígonos e outros procedimentos de inserção. No entanto, se sua aplicação não necessita de informações detalhadas sobre as relações entre os objetos espaciais e a criação de uma topologia para tal fim, pode dificultar a criação e atualização da base de dados. Por exemplo, uma estrutura vetorial pode ser perfeitamente adequada para tarefas de visualização dos dados.

A tradicional vantagem e desvantagem da estrutura de dados raster versus estrutura de dados vetorial foi bastante documentada por diversos autores, como Burrough (1997), Rosa (2004), Longley et al (2005) e Delaney & Niel (2007). Basicamente, isto inclui volume de dados (ou eficiência de armazenamento), eficiência de recuperação, robustez para perturbação, eficiência na manipulação dos dados (ou processamento), acurácia e precisão dos dados e visualização dos dados. Algumas dessas diferenças, no entanto, são menos importantes nas implementações modernas de SIG.

A principal vantagem das estruturas raster está em sua simplicidade, não exigindo programas muito complexos para a manipulação dos dados, facilitando a elaboração de aplicações específicas. O problema no uso desta estrutura refere-se à precisão dos mapas digitais obtidos, uma vez que esta depende diretamente da resolução da quadrícula, acarretando sérias dificuldades na representação de manchas pequenas ou padrões lineares como rios e estradas. A solução nestes casos é o refinamento da malha, porém exige meios de armazenamento mais potentes.

Outra limitação da estrutura raster, quando comparada com a vetorial, refere-se à qualidade visual de apresentação dos produtos finais (mapas), produzidos em impressoras e/ou plotters, assim como a precisão obtida. A estrutura vetorial permite uma apresentação mais adequada dos dados, não só do ponto de vista estético, mas também pelo fato de que o produto final assemelha-se muito mais à forma analógica (convencional) de elaboração de mapas.

Os modernos SIG's possibilitam acessar, armazenar, manejar, recuperar e visualizar dados de ambas as estruturas (raster e vetorial), assim como a possibilidade de converter dados de uma estrutura para outra. Normalmente, para o processo de entrada de dados (via mesa digitalizadora) utiliza-se a estrutura vetorial, e para o processo de análise e cruzamento de mapas (temas), a estrutura raster.

Na tabela 1 podemos observar as características de cada tipo de estrutura de dado, em uma comparação entre elas.

Tabela 1 - Comparação entre as características dos modelos raster e vetorial.

Fonte: Modificado de Silva (2003)

Características	Raster	Vetorial
Captação do dado	Rápido	Lento
Área de armazenamento	Grande	Pequena
Produção de Gráficos	Médio	Bom
Estrutura de dados	Simple	Complexa
Precisão geométrica	Baixa	Alta
Análise de rede	Pobre	Bom
Análise de área	Bom	Médio
Generalização	Simple	Complexa
Geração de desenhos	Rápido	Lento
Modelagem	Simple	Complexo
Transformação de coordenadas	Complexo	Simple

3.5 Dados Geoespaciais

Dados espaciais podem ser definidos como quaisquer tipos de dados que descrevem fenômenos associados a alguma dimensão espacial. Quando esta dimensão espacial refere-se ao posicionamento de um fenômeno ou ocorrência na superfície da Terra e no seu espaço próximo, num determinado instante ou período, tem-se o conceito de dado geoespacial, também chamado dado geográfico. Dessa forma, Moema (2012) define:

- Dado espacial - descreve um fenômeno, associado a alguma dimensão espacial.
- Dado geoespacial ou geográfico – dado espacial em que a dimensão espacial está associada à sua localização na superfície terrestre, em determinado instante ou período de tempo.

Segundo Moema (2012), os dados geoespaciais podem ser divididos em dois tipos: dados de referência ou dados temáticos. Dados de referência são dados geoespaciais de referência aos dados ou conjunto de dados que proporcionam informações genéricas de uso não particularizado. Estes dados de referência são elaborados como bases imprescindíveis

para o referenciamento geográfico de informações sobre a superfície do território nacional, como por exemplo, um mapeamento básico cadastral, representações de localidades, hidrografia, limites, redes geodésicas, elevações ou sensoriamento remoto. Eles constituem os insumos básicos para o georreferenciamento e contextualização geográfica de todas as temáticas territoriais específicas. Já os dados temáticos são os dados ou conjuntos de dados e informações sobre um determinado fenômeno específico em uma região de interesse ou em todo o país, como levantamento de cobertura e uso da terra, serviços públicos, tipos de solos, transportes, biodiversidade e outros. Esse último tipo de dado inclui valores qualitativos e quantitativos que se referenciam espacialmente aos dados de referência, e normalmente, estão ligados aos objetivos centrais da gestão dos seus respectivos órgãos produtores.

Quando tratamos de dados espaciais temos uma Informação Geoespacial também chamada de Informação Geográfica, que se refere a qualquer propriedade de um determinado objeto geográfico que pode ser composto também de outros objetos geográficos. Uma estrada, um rio e uma bacia hidrográfica são exemplos típicos.

Moema (2012) define ainda que, Informação Geoespacial ou Geográfica (IG) pode ser o resultado do processamento de dados geoespaciais, e compreende os dados *da, sobre a, sob a e próximo* à superfície da Terra, sendo caracterizada por no mínimo três componentes: espacial ou posicional, descritivo ou semântico e temporal. Além disso, podem ainda ter um atributo gráfico. Como por exemplo, um objeto municipal pode conter os seguintes atributos: um polígono representando os limites municipais (espacial); um polígono e um símbolo gráfico (ex.: círculos concêntricos proporcionais à população), representando sua forma cartográfica em diferentes escalas (gráfico); data de emancipação e data em que os dados do município foram incluídos no sistema (temporal); e atributos descritivos como nome e população (descritivo ou semântico). Portanto, para Lisboa Filho (2011) os aspectos espaciais estão relacionados à forma e localização dos fenômenos geográficos.

As informações geográficas, relativas aos fenômenos que possuem referência geográfica, consistem em informação de natureza tanto quantitativa quanto qualitativa relativa a objetos e fenômenos de natureza física (topografia e ambiente) e populacional (humana), distribuída espacialmente pela superfície terrestre. A informação geográfica é básica para as atividades e tarefas de planejamento e ordenamento do território e ela pode ser acessada a partir de arquivos estáticos, como as cartas e mapas analógicos ou convencionais, ou em arquivos dinâmicos, caso tratado no contexto dos Sistemas de Informação Geográfica (SIG). Essa informação necessita de constante atualização que, a par dos métodos convencionais, pode também ser realizada por meio de imagens obtidas, com grande frequência, por sistemas

orbitais que possuem sensores acoplados a satélites artificiais de detecção remota utilizando, há algumas décadas, técnicas de Sensoriamento Remoto. Para Ribeiro (2002) a manipulação e o tratamento da informação geográfica em um contexto de Banco de Dados e SIG não é tarefa trivial, diante, principalmente, do volume e da complexidade dos dados geoespaciais possíveis de serem transformados.

De uma forma geral, os termos “dado” e “informação geoespacial” são usados indistintamente em referência a dados ou conjuntos de dados - organizados ou não em bases de dados - cuja principal característica é a dimensão espacial, expressa pela associação dos mesmos a um sistema geodésico de referência.

Os dados e as informações geoespaciais estruturam o banco de dados geográfico e possibilitam o relacionamento entre os componentes de um SIG, conforme apresentado na figura 6.

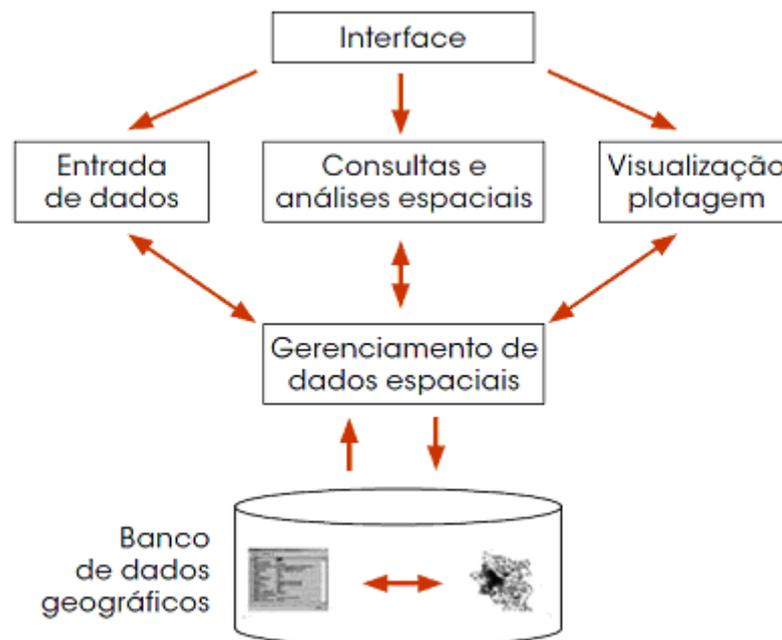


Figura 6 - Arquitetura de um Sistema de Informações Geográficas (SIG).

Fonte: Câmara e Medeiros (1998)

3.6 Álgebra de Mapas

Quando comparamos um SIG com outros sistemas de informação, o que os distingue são as funções que realizam análises espaciais. De acordo com Câmara et al. (2001), tais

funções utilizam os atributos espaciais e não espaciais das entidades gráficas armazenadas na base de dados espaciais e buscam fazer simulações (modelos) sobre fenômenos do mundo real, seus aspectos e parâmetros.

A álgebra de mapas é uma linguagem computacional de alto nível que é usada quando se quer realizar análise espacial cartográfica. Simplificando, a álgebra de mapas é a matemática aplicada a dados cartográficos.

A álgebra de mapas é composta de variáveis, expressões e funções. As variáveis são camadas (*layers*) de mapas, representados por símbolos ou nomes. As expressões e funções aplicam uma ou mais variáveis, e podem ter parâmetros adicionais. Outra aplicação da utilização da álgebra de mapas é a criação de uma nova variável dependente que pode ser usada em análises posteriores, ou visto como uma nova camada (*layer*) de mapa (Bruns & Engenhofer, 1997).

A álgebra de mapas faz uso de expressões matemáticas que contém operadores e funções. Conforme Caeiro (2009), os operadores dessa linguagem podem ser aritméticos, relacionais, booleanos lógicos ou combinatórios, os quais serão detalhados a seguir.

3.6.1 Operadores Aritméticos

Os operadores aritméticos utilizados em álgebra de mapas (Tabela 2) permitem somar, subtrair, multiplicar e dividir. Por exemplo, três mapas em formato raster, que representem três fatores de risco diferentes para propagação de incêndios podem ser somados para se obter uma carta com o risco global de propagação.

Os operadores aritméticos também podem ser utilizados para converter valores de uma medida para outra (por exemplo, uma unidade de pé x 0,3048 = um metro).

Tabela 2 - Operadores aritméticos.

Operadores Aritméticos	
+	Adição
-	Subtração
*	Multiplicação
/, DIV	Divisão
MOD	Módulo
-	Unary minus

3.6.2 Operadores Relacionais

Os operadores relacionais (Tabela 3) permitem a construção de testes lógicos. Estes devolvem os valores verdadeiro (1) ou falso (0). Por exemplo, encontrar as zonas de um tema de elevação, cujo declive é inferior a 15 graus.

Tabela 3 - Operadores relacionais

Operadores Relacionais	
=, EQ	Igual
^=, <>, NE	Diferente / Não Igual
<	Menor que
<=, LE	Menor ou igual a
>, GT	Maior que
>=, GE	Maior ou igual a

3.6.3 Operadores Booleanos

Os operadores booleanos (Tabela 4) como o “AND”, “OR” e “NOT” permitem a construção de testes lógicos em cadeia. Tal como os operadores relacionais, estes operadores devolvem os valores verdadeiro e falso. Por exemplo, calcular a zonas com um declive inferior a 45 graus e com uma elevação superior a 1000 metros.

Tabela 4 - Operadores booleanos.

Operadores Booleanos	
^, NOT	Complemento lógico NÃO
&, AND	Lógica E
, OR	Lógica OU
!, XOR	Lógica NÃO-OU

3.6.4 Operadores Lógicos

Os operadores lógicos (Tabela 5) DIFF, IN, e OVER, permitem igualmente a construção de testes lógicos célula a célula. No entanto, são implementados com regras específicas.

- A DIFF B: Se o valor da célula no raster A é diferente do valor da célula no raster B, é devolvido o valor da célula do raster A. Se os valores forem idênticos, é devolvido o valor 0.
- A IN {value list}: Se o valor da célula no raster A estiver incluído na lista de valores, é devolvido o valor da célula do raster A. Caso contrário, é devolvido o valor NoData.
- A OVER B: Se o valor da célula no raster A é diferente de 0, é devolvido o valor da célula do raster A. Caso contrário, é devolvido o valor da célula do raster B.

Tabela 5 - Operadores lógicos.

Operadores Lógicos	
DIFF	Diferença Lógica
IN {list}	Conter em lista
OVER	Substituir

3.6.5 Operadores Combinatórios

Os operadores combinatórios (Tabela 6) combinam os atributos de múltiplos rasters de saída. Estes operadores encontram todas as combinações únicas de valores e atribuem-lhes um identificador único que é inscrito no raster de saída. A tabela de atributos conterà os valores dos grids de entrada. É importante ressaltar que outros atributos que a tabela possa ter não são passados para a tabela da grid final.

Tabela 6 - Operadores combinatórios.

Operadores Combinatórios	
CAND	Combinatória E
COR	Combinatória OU
CXOR	Combinatória NÃO-OU

3.7 Características dos programas utilizados

3.7.1 ArcGIS®

ArcGIS® é um sistema de informação geográfica desenvolvido pela empresa Environmental Systems Research Institute (ESRI) em escalas de softwares de criação, gerenciamento, análise e disseminação de dados geográficos. Através de conhecimentos geográficos este sistema pode operar em diversos setores, auxiliando na gestão de projetos bem definidos. Tanto pode ser utilizado pessoalmente, como pode ser compartilhado com os funcionários de uma mesma organização. Por exemplo, seus diferentes produtos podem ser utilizados para atender a necessidade de integração que geralmente um projeto em SIG requer.

O ArcGIS® usa modelos inteligentes para representar e relacionar dados geográficos e fornece todas as ferramentas necessárias para criar e trabalhar com estes dados. Isso inclui ferramentas para todas as tarefas SIG, tais como edição e automação de dados, mapeamento e tarefas baseadas em mapa, gerenciamento de dados, análise geográfica e de dados e implantação de aplicações na Internet.

Esse SIG tem um alto nível de modelo de dados geográficos para representar as informações espaciais, características e outros tipos de dados. Também permite suportar implementação de um modelo de dados para sistemas de arquivos SGBDs, que inclui um conjunto de dados SIG, tais como camadas (*layers*), *shapefiles*, imagens e redes triangulares irregulares (*TINs*).

Do mais simples ao mais complexo, o ArcGIS® possui os seguintes formatos:

- *Shapefile*: formato de armazenamento de dados vetoriais baseados em arquivos. Armazena elementos geográficos e seus atributos sem considerar as relações topológicas;

- *Coverage*: formato de armazenamento de dados vetoriais baseados em arquivos. Armazena elementos geográficos e seus atributos com topologia;
- *Geodatabase*: formato que suporta um modelo de integração topológica (base de dados relacionais) organizada em uma hierarquia de objetos armazenados como: *features datasets*, *feature class* e tabelas. O geodatabase o formato *coverage* como ferramenta topológica.

Assim, tem-se o geodatabase como o organizador dos dados geográficos dentro de uma hierarquia de objetos. Estes objetos podem ser armazenados conforme ilustra a figura 7:

- *Feature Class*: coleção de elementos espaciais com os mesmos tipos de geometria e atributos como ponto, linha e polígono;
- *Feature Dataset*: coleção de *feature classes* que compartilham a mesma referência espacial;
- *Object Class*: tabela dentro do *geodatabase* que armazena dados que não são espaciais, ou seja, apenas dados tabulares.

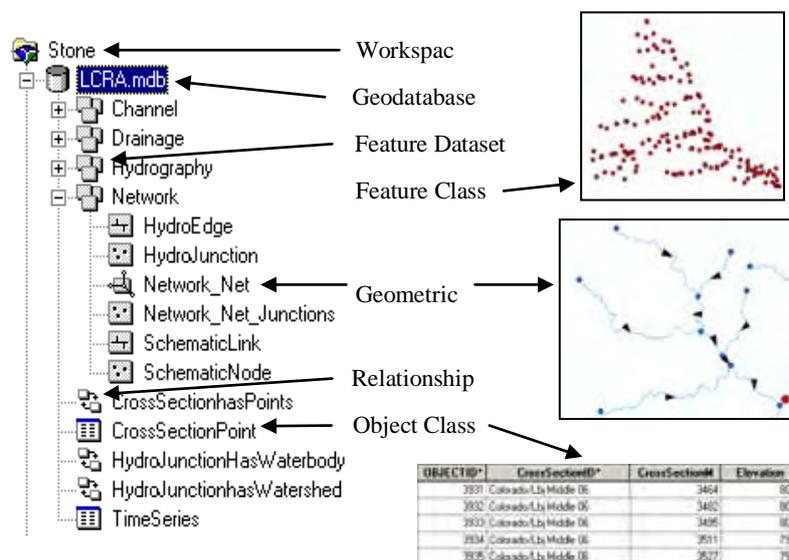


Figura 7 - Modo de apresentação dos objetos do ArcGIS®.

Atualmente, os produtos da família *ArcGis*®, como ilustra a figura 8, subdividem-se em: *ArcGis*® *Desktop*, *ArcGis*® *for Móbile*, *ArcGis*® *for Server (Web)* e *ArcGis*® *Online*.



Figura 8 - Produtos ArcGIS®.

Fonte: <http://www.esri.com/software/arcgis/features>

O ArcGIS® Desktop, atualmente, está disponível em três níveis de licença: Basic, Standard ou Advanced (que compõe as antigas denominações ArcView, ArcEditor ou ArcInfo, respectivamente), sendo que cada nível adiciona um conjunto de funcionalidades, que compartilham dos mesmos aplicativos principais, mesma interface de usuário e mesmo ambiente de trabalho. Para realizar um trabalho no *ArcGis® Desktop* utiliza-se suas aplicações, ou seja, *ArcCatalog*, *ArcMap* e *ArcToolbox*. Em uma explanação simplificada, segundo a abordagem do manual do usuário de CROISER et al. (2005), pode-se afirmar que o *ArcCatalog* é o aplicativo com função de auxiliar na organização e no armazenamento de diversos tipos de dados SIG. Ele permite uma pré-visualização (*Preview*) das informações sobre os arquivos já existentes e o conteúdo contido neles. Além disso, permite uma visão geral de todos os arquivos salvos e do tipo de conteúdo (*Contents*), sendo, portanto uma ferramenta necessária para gerenciar o banco de dados que é criado com o desenvolvimento do projeto. Pelo *ArcMap* pode-se manipular o arquivo, sendo principal ambiente de trabalho. Ao se anexar um documento, que foi previamente consultado e analisado no *ArcCatalog*, no *ArcMap*, pode-se a partir daí editar informações, utilizar ferramentas de análise de dados, criar outros mapas a partir do mapa que serve como base, promover áreas delimitadas fisicamente, entre outras operações. Além disso, acoplado-se a janela de ferramentas do *ArcToolBox* pode-se georreferenciar, converter dados advindos de outros programas, além de muitos outros processos mais avançados, e que também podem ser implementados no programa.

ArcGis® Mobile é uma ferramenta de mapeamento em instrumentos móveis como *smartphones* e *tablets*, que auxiliam no trabalho de campo, otimizando a transferência de informações em tempo real. Em âmbito empresarial esta ferramenta amplia o alcance do SIG

para um público maior. É possível navegar nos mapas, coletar e divulgar dados e realizar análises em qualquer lugar.

Por meio do ArcGIS® for Server pode-se criar, gerenciar e distribuir os serviços SIG na Web, com o intuito de fornecer suporte aos aplicativos de mapeamento do ArcGIS® Desktop, ArcGIS® Móvil e Online. Um conteúdo elaborado por meio do ArcGIS® Desktop, por exemplo, pode ser posteriormente publicado utilizando-se o ArcGIS® for Server que tornará o conteúdo acessível em qualquer lugar de uma empresa ou na web.

3.7.1.1 Extensões ArcGIS® Desktop

O ArcGIS® introduz um conjunto de extensões construídos sob a mesma arquitetura. Estas extensões operam sob a mesma linha do *ArcGIS Desktop*® e entre as principais extensões se pode destacar o *ArcGIS Spatial Analyst*, o *3D Analyst* e o *Geostatistical Analyst*.

O ArcGIS® Spatial Analyst (Figura 9) fornece uma gama de modelagem espacial e recursos de análise que permitem criar, consultar, mapear e analisar dados vetoriais e raster. Algumas destas ferramentas são:

- Conversão de feições (ponto-linha-polígono) para formato raster;
- Geração de *buffers* tipo raster, baseados na distância ou proximidade;
- Geração de superfícies contínuas a partir de pontos;
- Geração de mapas de declividade, de contornos, orientação de relevo e sombreado;
- Classificação de raster e visualização

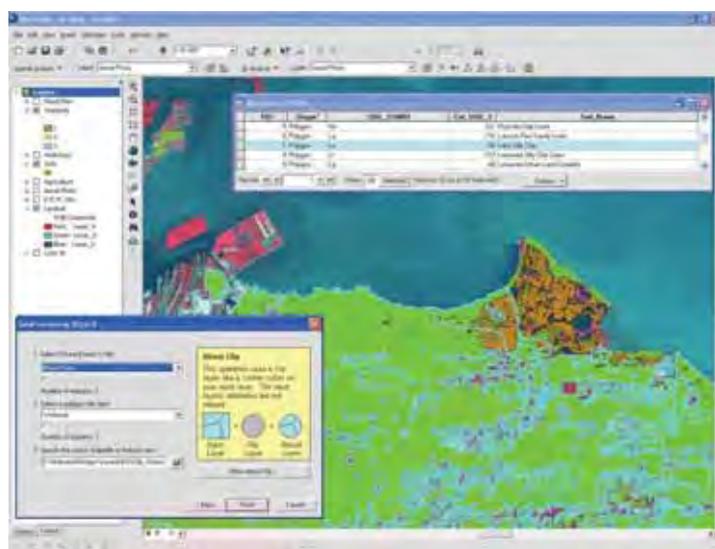


Figura 9 – Janela do ArcGIS® Spatial Analyst.

Algumas aplicações que podem ser feitas com o *Spatial Analyst* são a predição de risco de incêndio, a avaliação do uso da terra, a determinação de níveis de poluição, a análise de produção agrícola, a determinação do potencial de erosão, avaliação de riscos, e a modelagem e visualização de padrões de crimes.

O ArcGIS® 3D Analyst (Figura 10) permite a visualização e análise avançada de dados de superfície, em três dimensões. Algumas dessa ferramentas são:

- Construção de modelos a partir de qualquer tipo de dados;
- Geração de visualização em perspectiva;
- Simulação de vôo;
- Modelagem de feições sub-superficiais como minas, poços d'água, oleodutos;
- Cálculo de áreas de superfície, volume, declividade, orientação de relevo;
- Geração de isolinhas.



Figura 10 – Exemplo de visualização no ArcGIS® 3D Analyst.

O poder do Geostatistical Analyst, mostrado na figura 11, reside na sua capacidade de criar uma superfície contínua, a partir das medidas tomadas por escassos pontos de amostragem. Além disso, ajuda a prever confiabilidade nos valores de superfícies usando krigagem e outros interpoladores, e inclui ferramentas de erro estatístico e modelagem de probabilidade. Também fornece uma variedade de ferramentas para a exploração da análise espacial, identificação de anomalias de dados, predição de valores ótimos, avaliação de incertezas e criação de superfície. Esta extensão permite, entre outros pontos:

- Explorar a variabilidade de dados, encontrar dados extremos, examinar tendências, investigar autocorrelação espacial e correlação entre múltiplos conjuntos de dados;
- Criar mapas de predição, mapas de predição do erro, mapas de quantis, mapas de probabilidade.

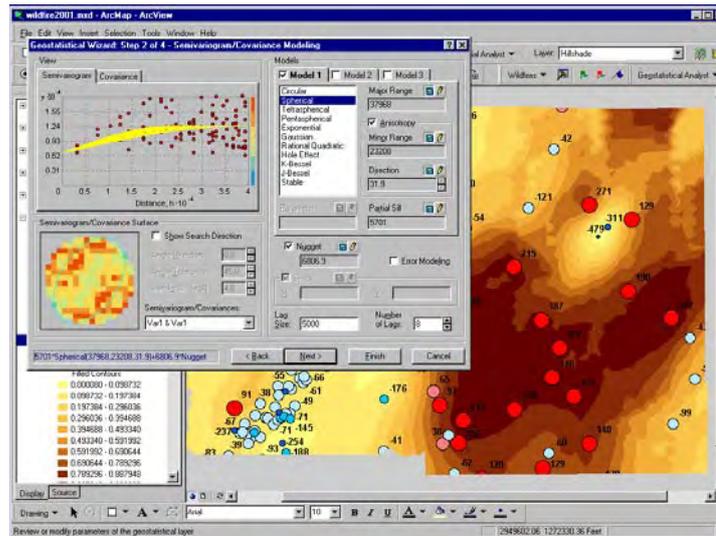


Figura 11 – Janela do Geostatistical Analyst.

3.8 GvSIG

O gvSIG é um projeto de desenvolvimento em software livre de um completo Sistema de Informação Geográfica. O gvSIG se constitui em uma potente ferramenta de gestão geográfica, de acordo com as demandas de mercado, baseado nos padrões do Open Geospatial Consortium (OGC) e das diretrizes que marcam a Comunidade Européia. As especificações baseadas no OGC são uma das principais características do gvSIG, quando comparado a outros sistemas de informação geográfica, pois contém serviços implementados pela OGC, tais como: WMS (Web Map Service), WCS (Web Coverage Service), Serviço de Catálogo e Serviço de Nomenclatura. O gvSIG foi desenhado como um cliente de infraestruturas de dados espaciais e tem garantida sua interoperabilidade.

A origem do gvSIG se deu em 2004 (ASOCIACIÓN GVSIG, 2011), época em que o Conselho de Infraestruturas e Transporte (Conselleria de Infraestructuras y Transporte – CIT) da cidade de Valência, na Espanha, implantou um processo de migração a sistemas abertos de todos os sistemas informáticos. Da mesma maneira, para os softwares de gestão de informação geográfica se torna fundamental a migração dentro das áreas de SIG e CAD, já que na CIT se encontra a Direção Geral de diversas áreas, tais como Obras Públicas, Desenvolvimento Marítimo, Energia, Arquitetura, Transportes, Portos e Costas. Com essa necessidade, foi preciso desenvolver um estudo das necessidades dos distintos usuários e verificou-se que, até aquele momento, não existia nenhum software aberto no mundo, que cobrisse as necessidades encontradas para o gerenciamento de informações geográficas. Dessa maneira, se optou por criar um concurso público para o desenvolvimento deste SIG. A partir

de então foi desenvolvido o gvSIG pela Generalitat Valenciana e IVER Tecnologías de La Información S.A. e financiado pela Comunidade Européia.

As características deste sistema se fundamentam em:

- Portabilidade – gvSIG pode ser executado em diferentes plataformas de hardware/software (Linux, Windows, Mac) e sua linguagem de desenvolvimento é Java;
- Modularidade – é possível adicionar novas funcionalidades mediante o desenvolvimento de extensões, permitindo uma melhora continua da aplicação, assim como o desenvolvimento de soluções customizadas;
- Código Aberto – o código fonte original do gvSIG está disponível, permitindo seu livre uso, distribuição, estudo e melhorias;
- Sem licenças – Não é necessário pagar para utilizar o gvSIG, não existe limites de computadores e/ou de tempo para utilizar o programa;
- Interoperável – gvSIG pode acessar dados de outros programas computacionais proprietários, tais com ArcGIS, AutoCAD, Microstation sem necessidade de alterar seu formato;
- Internacionalização – está disponível em mais de vinte idiomas e permite a incorporação de novos idiomas com facilidade;
- Respeita padrões – gvSIG segue os padrões do OpenGIS Consortium (OGC).

A fonte do aplicativo é aberto com licença GPL (General Public License) e livre. Segundo o próprio manual para usuários de gvSIG (2007), uma ênfase especial tem sido fornecida desde o seu início para que o gvSIG seja extensível, de forma que os desenvolvedores possam estender a funcionalidade da aplicação com facilidade. Além disto, permite desenvolver aplicações completamente novas a partir das bibliotecas utilizadas em gvSIG (desdeque sejam cumpridas as normas da GPL).

Em resumo, o gvSIG Desktop é capaz de aceitar, armazenar, manipular e analisar os formatos mais comuns de dados geograficamente referenciados (vetoriais e raster) e conta com ferramentas de consulta, criação de mapas, geoprocessamento, redes e outros, tornando-se eficaz na resolução de problemas complexos de gestão (ASOCIACIÓN GVSIG, 2011). A estrutura do gvSIG pode ser exemplificada pela figura 12:

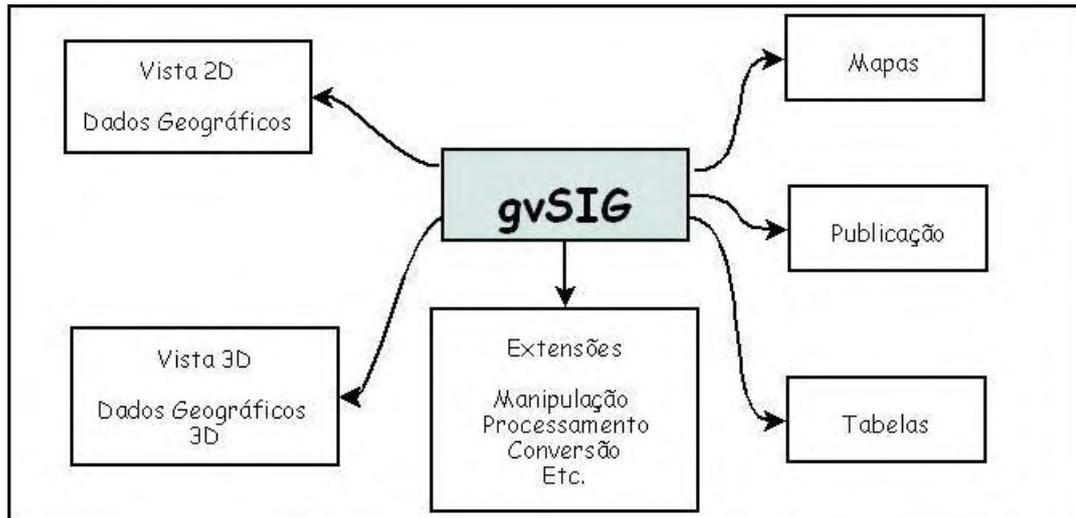


Figura 12 – Estrutura do gvSIG.

Fonte: Costa e Silva (2009)

A interface que o gvSIG possui proporciona ao usuário os elementos necessários para se comunicar com o programa. A interface gráfica é intuitiva e fácil de gerir, mesmo para um usuário com pouca experiência em geoprocessamento. A interface do gvSIG se compõe de uma janela principal, onde se situam as distintas ferramentas e janelas secundárias que formam os documentos próprios do programa.

Na figura 13 é possível observar a janela de projeto, quando se determina o nome do projeto, o seu título passa a ser o nome do projeto. Desta janela, o usuário pode criar ou abrir vistas, tabelas e mapas.

O gvSIG é composto por três tipos de documentos:

- Vistas - Documentos utilizados para exibição, edição, manipulação e processamento de dados geográficos armazenados em estrutura vetorial e/ou matricial;
 - Mapas - Documentos utilizados na produção de dados cartográficos;
 - Tabelas - Documentos utilizados para exibição, edição, manipulação e processamento de dados tabulares;

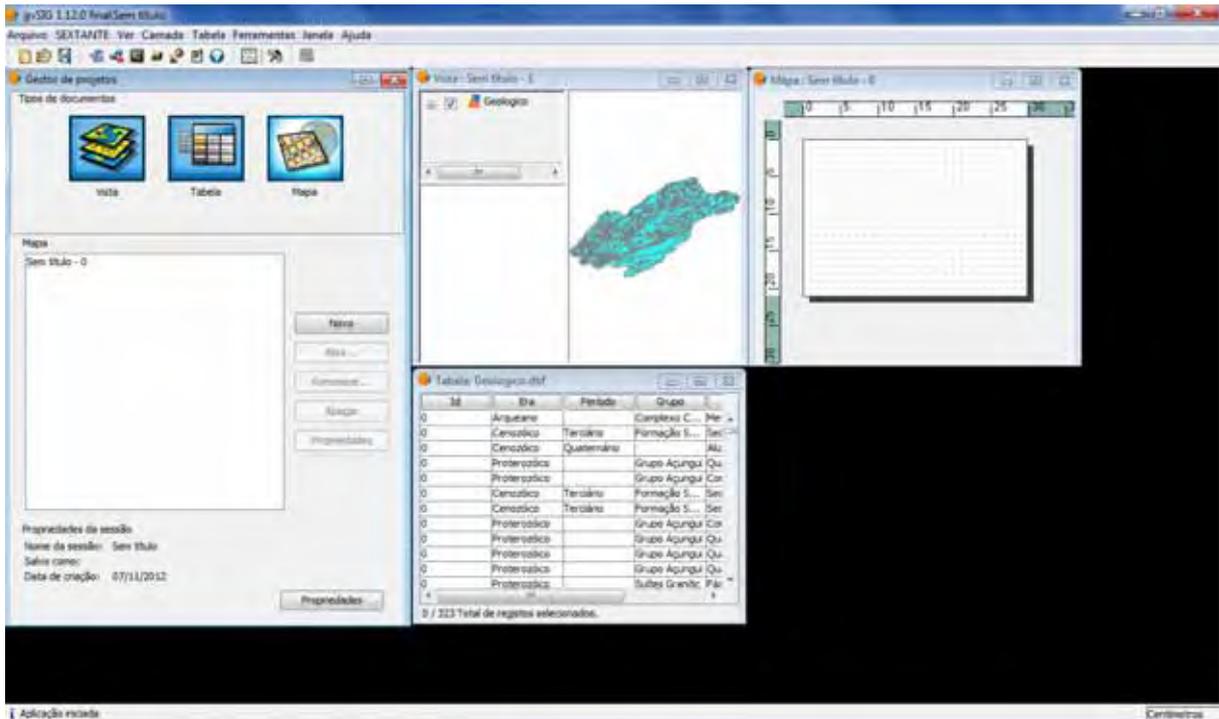


Figura 13 – Janela de um projeto gvSIG.

Além dos documentos, o gvSIG ainda suporta extensões, que têm como função, adicionar mais funcionalidades a este software. As extensões para gvSIG podem ser encontradas na Internet ou, ainda, elas podem ser produzidas por qualquer pessoa a partir de programação em linguagem Java. Como exemplo de algumas extensões existentes podemos citar: *Redes*, *3D y Animación*, *Topología e Normalización*. Uma antiga extensão é a Sextante, que atualmente está incorporada ao gvSIG. Esta extensão permite manipular e processar tanto dados vetoriais como dados rasterizados e a qual trataremos em seguida.

3.8.1 Dados Geográficos no gvSIG

Como mencionado anteriormente, os dados geográficos no gvSIG podem estar tanto no formato vetorial quanto no formato raster. O gvSIG suporta dados vetoriais (pontos, linhas e polígonos) das mais diversas fontes, dentre elas: Shapefiles (formato nativo de SIG), CAD (DXF, DWG, DGN), arquivos textos tabelados com vírgula, entre outros. Os dados raster (imagens) suportados podem ser: TIF, BMP, JPEG, MrSID, ECW, entre outros.

Um arquivo vetorial é adicionado em uma Vista do gvSIG como um tema, e geralmente um tema é composto de várias feições do mesmo tipo (ou pontos, ou linhas, ou polígonos). Cada feição possui um registro em uma tabela associada, e esse registro pode ser composto de

vários itens ou colunas. Cada feição de um tema tem um registro na tabela. Então se tivermos um tema de lotes, com 100 unidades, cada lote será um polígono e cada polígono terá um registro. Desta forma a tabela do tema lotes possuirá 100 registros ou linhas.

Um arquivo raster é adicionado a uma vista da mesma forma como é executado para um arquivo vetorial. Para se manipular esses arquivos matriciais, é necessário o uso da Sextante, mencionada anteriormente.

3.8.2 Sextante

Segundo Costa e Silva (2009), a Sextante é desenvolvida principalmente pela Universidade de Extremadura, Espanha. Completamente integrada ao gvSIG, a Sextante que antes era uma extensão, hoje está incorporada ao gvSIG. Essa ferramenta estende as funcionalidades do gvSIG com mais 221 ferramentas para manipulação e processamento de dados geográficos armazenados em estrutura vetorial ou matricial. A Sextante disponibiliza ferramentas para análise de dados matriciais, para análise hidrológica, de proximidade, de custos, análises estatísticas, lógica fuzzy, análises de terreno, geoestatística, processamento de imagens, análise de paisagem, interpolação, manipulação de dados vetoriais, análises de visibilidade, vetorização, entre outras..

Com essa ferramenta, o usuário pode ainda criar modelos gráficos para processamento de dados geográficos, possibilitando desta forma, a materialização de procedimentos metodológicos de manipulação de dados e produção de informações geográficas.

A janela da Sextante fornece acesso aos elementos básicos da ferramenta, tais como a Caixa de Ferramentas, o Modelador, o editor de Linhas de Comando, uma janela para Resultados de processamentos estatísticos, um gerenciador de Históricos e finalmente um Explorador de Dados (Figura 14).

Pela Caixa de Ferramentas são acessadas interativamente todas as ferramentas da Sextante. geralmente ao acessar uma ferramenta, uma caixa de diálogo é aberta para que o usuário forneça todos os parâmetros necessários para o processamento dos dados. A Caixa de Ferramentas organiza as ferramentas em categorias, de tal forma que fica fácil encontrar a ferramenta desejada.



Figura 14 – Elementos Básicos da Sextante do gvSIG.

Se for necessário realizar várias funções em sequência é possível desenhar um fluxograma que modela graficamente o processamento, automatizando assim todo o processo. O usuário pode acessar as ferramentas, digitando o nome das funções acompanhadas de seus argumentos e parâmetros.

Se for executada alguma análise espacial, os resultados ficam disponíveis em uma janela de resultados que pode ser acessada a qualquer momento. Todos os comandos da Sextante executados são gravados em um histórico, que pode ser acessado a qualquer momento.

4 MATERIAIS E MÉTODOS

4.1 Caracterização da Área de Estudo

A região escolhida para estudo corresponde à porção paulista da bacia do rio Paraíba do Sul. A bacia está localizada no Sudeste do Brasil, com área total de cerca de 62.074 km², abrangendo os estados de São Paulo (14.510 km²), Rio de Janeiro (26.851 km²) e Minas Gerais (20.713 km²) e com uma população no interior da bacia de aproximadamente 5,5 milhões de pessoas (Figura 15). Cerca de 8,7 milhões de pessoas que vivem fora da bacia depende também de seus recursos hídricos desviados através de um sistema contribuinte para aumentar a oferta de água doce para a Região Metropolitana do Rio de Janeiro. Cidades importantes estão localizadas na bacia e a região concentra uma das maiores atividades industriais no Brasil ao longo de parte do rio Paraíba do Sul. São 39 municípios no Estado de São Paulo, 57 no do Rio de Janeiro e 88 no de Minas Gerais, inseridos no interior da bacia (CEIVAP et al., 2011).

Esta bacia tem uma importância econômica significativa, sendo responsável por 10% do Produto Interno Bruto Nacional (Marengo e Alves, 2005) com diferentes setores industriais e concentrada próxima às principais cidades da região no ramo industrial.

A porção paulista da bacia situa-se entre as coordenadas 22°24' e 23°39' de latitude Sul e 44°10' e 46°26' de longitude Oeste e tem seu rio principal, Paraíba do Sul, formado pela confluência dos rios Paraitinga e Paraibuna, correndo pelo fundo da depressão tectônica, ao longo da base da Serra da Mantiqueira.



Figura 15 – Localização da bacia do rio Paraíba do Sul.

O estado de São Paulo, segundo o Plano Estadual de Recursos Hídricos (Governo do Estado de São Paulo, 1990), está dividido em 21 Unidades de Gerenciamento de Recursos Hídricos (UGRHIs) como é apresentado na figura 16 onde a área em destaque caracteriza a porção paulista da bacia do rio Paraíba do Sul. Do ponto de vista institucional é uma das bacias mais complexas do país devido à necessidade de ajustar conflitos de interesses entre os estados próximos (São Paulo, Rio de Janeiro e Minas Gerais).

O trecho paulista da bacia, pela sua estratégica localização, é objeto de implantação de uma série de aproveitamento de usos múltiplos da hidrografia, visando à regularização de vazão, geração de energia elétrica e controle de cheias. As ações tomadas e seguidas dentro de um plano de gestão e planejamento visam estruturar a implementação de políticas públicas no uso e preservação dos recursos hídricos da bacia.



Figura 16 – Localização da porção paulista da bacia do rio Paraíba do Sul em relação às demais bacias hidrográficas do Estado de São Paulo.

Fonte: Simões (2007).

4.2 Abordagem Regional

A região, estando confinada entre duas cordilheiras, as serras do Mar e Mantiqueira e disposta paralelamente à linha da costa, revela uma unidade de conjunto, um espaço regional organizado e sistêmico. Porém, devido à diversidade de relevos existente há uma grande heterogeneidade de geologia, geomorfologia, hidrografia, hidrologia, clima, solos e vegetação/uso do solo, que serão tratados a seguir (Figura 17).



Figura 17 - Foto da região estudada: Diversidade.

4.2.1 Contexto Geológico e Geomorfológico

Existe uma grande diversidade nos relevos constituintes da bacia, assim como no Estado de São Paulo (Figura 18), apresentando as mais diferentes escalas. Conforme Ross (1992) a região apresenta áreas com declividades inferiores a 5%, sendo que, parte delas, está sujeita periodicamente à inundação; são as áreas que acompanham o curso principal do rio Paraíba do Sul e seus afluentes; são denominados relevos agradacionais. Os relevos degradacionais, as áreas com declividades de até 20% raramente atingindo 30% (Colinas Suaves) ou áreas de declividades médias a altas – 20 a 40% - e amplitude entre 200 e 300 metros (Morros Arredondados), também fazem parte dessa região do rio Paraíba do Sul. Os morros que possuem topos arredondados, declividades altas – 20 a 50% - e amplitude entre 200 e 300 metros (Morros Alongados com Espigões e Serras Locais) e as serras com topos angulosos, vertentes ravinadas, com perfis retilíneos e localmente abruptas (Serras com Escarpas Locais), comprovam a grande diversidade geomorfológica da bacia.

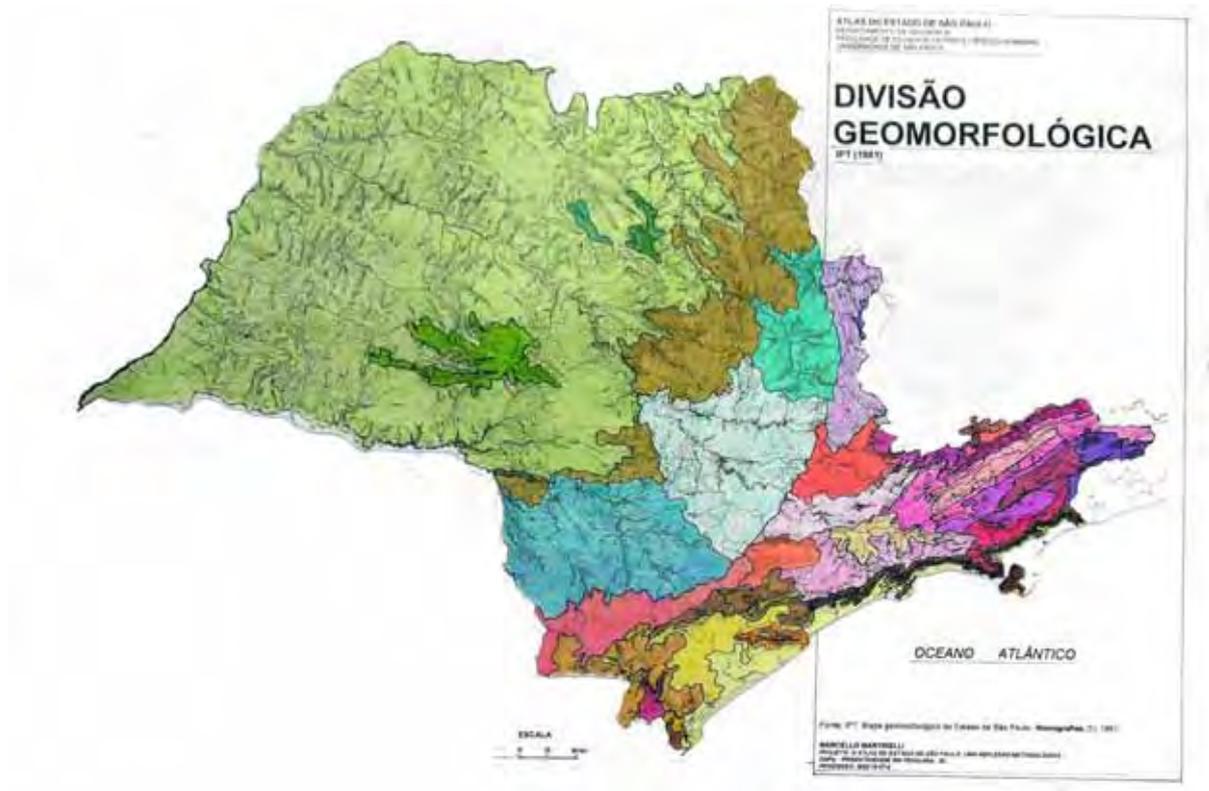


Figura 18 – Mapa Geomorfológico do Estado de São Paulo.

Fonte: IPT (1981).

Os relevos de morros e serras possuem fragilidades naturais e restrições para uma ocupação urbana mais intensa devido a possibilidade de aceleração de processos do meio físico como erosão e escorregamentos. As planícies aluvionares também têm fortes restrições à ocupação urbana devido à proximidade do aquífero e a baixa capacidade de suporte dos solos associados. Os relevos colinosos são os mais apropriados para o desenvolvimento e crescimento dos núcleos urbanos.

Justificando as formações do relevo da região temos as formações geológicas presentes e tão diferenciadas. Detalhadamente, segundo Carneiro et al. (1978), Fúlfaro & Bjomberg (1993) e IPT (1981,1990), podemos definir a constituição da bacia em três tipos geológicos: uma seqüência de rochas de idade pré-cambriana (embasamento cristalino), com gnaisses, migmatitos e granitos; uma seqüência sedimentar da Bacia do Taubaté, de idade Cenozóica, constituída de argilitos, folhelhos, arenitos e conglomerados; e sedimentos, de idade Quaternária, relacionados às atuais planícies fluviais, formados por areia e argilas inconsolidadas em depósito de terraços.

A Bacia Sedimentar de Taubaté situa-se na porção central da bacia hidrográfica, possuindo uma origem tectônica do tipo *rift*, não simétrico, delimitada por falhas normais e

transcorrentes. O rebaixamento da porção central favoreceu a sedimentação, que ocorreu durante o Terciário (sedimentos de origem fluvial e lagunar) e parte do período Quaternário (sedimentos aluvionares recentes que formam as extensas áreas de planícies).

4.2.2 Contexto Pedológico

Alguns dos principais fatores que influenciaram na composição dos solos encontrados na bacia em questão são as características geológicas, a diversidade do relevo e as elevadas taxas de pluviosidade. Desta forma, são solos provenientes de processos de intemperismo, transporte e deposição, sendo presentes na área Argissolos Vermelho-Amarelos (PVA), Latossolos Vermelho-Amarelos (LVA), Gleissolos Melânicos (GM) e Cambissolos Háplicos (CX) (Oliveira et al., 1999; Yoshinaga et al., 2003).

Os Argissolos representam a classe de maior expressão espacial do Vale do Paraíba e possuem, na sua maioria, horizonte B textural muito heterogêneo com sub-horizontes facilmente delimitáveis. Os Latossolos são normalmente argilosos, com boa drenagem e baixa erodibilidade, possuindo frequentemente tonalidades bem avermelhadas. Os Cambissolos apresentam horizonte B incipiente, apresentando muitos minerais primários (por exemplo, quartzo, feldspatos e turmalina), oriundos da rocha original. Os Cambissolos possuem, normalmente, elevada erodibilidade e o saprolito (horizonte C das rochas cristalinas) aflora muito próximo à superfície. Os Gleissolos possuem tonalidades cinza escura, denotando um elevado teor de matéria orgânica. Do ponto de vista agrícola, apresentam sérias limitações impostas pela presença do lençol freático a pouca profundidade. As plantações de arroz de várzea se associam a estes solos ainda que necessitem uma elevada quantidade de corretivos e fertilizantes devido a sua acidez e baixa fertilidade (Simões, 2007).

De uma maneira geral, os tipos de solos do Vale do Paraíba, associados aos relevos mais enérgicos, estabeleceram condições relativamente desfavoráveis para uma atividade agrícola mais intensiva na região. Devido à derrubada da mata primitiva e o cultivo intensivo e extensivo de café, cana e pastagem, tem-se uma região com intenso desgaste de cobertura pedológica, comprometendo a fertilidade na região em um curto espaço de tempo. Nas áreas com maior declividade a erosão foi muito alta, o que empobreceu o solo e deu início a atividade agropastoril, que acentua ainda mais os processos erosivos (Figura 19).



Figura 19 - Áreas com processo erosivo evidente.

Os Latossolos existentes na bacia são aqueles que apresentam melhor capacidade para uso, sendo cobertos por pastagem de gado leiteiro, com predomínio da braquiária e do capim gordura. Já os Argissolos são utilizados para o cultivo de cana, café e milho, além de pastagem e reflorestamento. Os Cambissolos têm grande limitação para a agricultura, principalmente devido à elevada declividade em que estão localizados e à pouca profundidade. Com grande valor para a agricultura, os Gleissolos normalmente são utilizados para a rizicultura.

4.2.3 Características Climáticas

Silva (1999), afirma que o Vale do Paraíba é um grande canalizador de correntes atmosféricas, que acelera a velocidade das mesmas e influi na distribuição pluvial, sendo ainda uma faixa de transição, onde ocorre o confronto entre os climas controlados pelos sistemas tropicais e pelos sub-tropicais. Enquadra-se dentro da área limitada pelas isoietas de 1.100 a 2.500 mm de chuvas anuais, com pluviosidade crescente no setor nordeste (de relevo mais acidentado), sendo cerca de 20 a 40% maior em relação ao setor Sudoeste. É uma área submetida à forte radiação solar que gera chuvas mais ou menos frequentes.

O clima na parte paulista da bacia do rio Paraíba do Sul, segundo estudos realizados por Silva (1999), é mesotérmico úmido com seca nos meses de junho a agosto e chuva nos meses de novembro a fevereiro. Através da classificação obtida pelo estudo, observa-se que a análise feita com base na média de precipitação anual define uma classificação climatológica

variando de úmida (60% da área) a muito úmida (35% da área). Contudo, a análise com base na distribuição sazonal mostra que no inverno, 60% da região do Vale do Paraíba apresenta índice pluviométrico inferior à 125mm, sendo caracterizada como uma região semi-árida. Por outro lado, no verão os índices pluviométricos ficam acima de 300 mm e neste período existe o agravante das chuvas torrenciais, com grande intensidade e curto período.

“Nas regiões serranas as temperaturas de inverno são frequentemente abaixo de zero com geadas assíduas, enquanto que nas partes baixas da bacia, ao nível da calha do rio, podem ocorrer médias do mês de janeiro da ordem de 32°C” (Marengo & Alves, 2005).

A região do Vale do Paraíba está numa faixa em que as massas de ar revezam em rápida sucessão estabelecendo uma encruzilhada de influências. Para Marengo & Alves (2005), a barreira orográfica oferecida pela Serra da Mantiqueira e a localização da bacia, favorece a atuação durante maior parte do ano das Massas Tropical Atlântica (Ta), Tropical Continental (Tc), Polar Atlântica (Pa) e Equatorial Continental (Ec), encontrando-se entre duas regiões climáticas da porção oriental da América do Sul: a meridional, sempre úmida; e a do Brasil central, que alterna períodos secos e úmidos.

4.2.4 Vegetação e Uso do Solo

Em meio bastante diversificado no que se refere ao clima, relevo e solo, a região em estudo apresenta cobertura vegetal variada. O relevo contribui de forma evidente: as escarpas de serras, interpondo-se à circulação das massas úmidas, condicionam a vegetação. Registros e reconstituições da vegetação do Sudeste brasileiro indicam que a região do Vale do Paraíba apresentava-se, originalmente, coberta por uma floresta tropical latifoliada em quase toda a sua extensão, mas devido às atividades humanas, durante o passar dos anos, fez com que a paisagem regional tivesse mudanças drásticas. A ação intensiva do Homem, através dos diversos ciclos econômicos, teve como resultado uma quase completa devastação das florestas, restando apenas, na maioria dos casos, pequenos fragmentos isolados. Além disso, os tipos de solos predominantes na região e as baixas práticas conservacionistas propiciaram uma elevada atividade erosiva com a perda das camadas mais férteis do solo. A inadequada exploração dos solos levou à atual dificuldade de recomposição vegetal, mesmo gramínea de boa qualidade ou cultivos agrícolas e de floresta natural.

Atualmente, a vegetação é formada por um complexo mosaico de pastos, florestas e áreas urbanas, os quais estão associadas aos diversos usos da terra relacionadas às atividades

rural, urbano e mineral, estando em grande destaque a silvicultura (plantio de eucalipto) que pode ser observada em diversas condições de relevo.

Batista et al. (no prelo) identificou os principais tipos de usos do solo e seu percentual de ocorrência na região estudada. Conforme tabela 7, desenvolvida pelo autor, os resultados do mapeamento das áreas de floresta no trecho paulista da bacia do rio Paraíba do Sul apontaram que 40,83% da área da bacia encontra-se em desconformidade com o uso primitivo, ou seja, apresentam cobertura vegetal composta por gramíneas, onde a cobertura original indicava haver floresta.

Tabela 7 - Resultados do mapa de uso do solo representados em km² e %.

Classes de uso do solo	Área (km²)	Área (%)
Mata ou capoeira	3373,48	23,62
<u>Pasto</u>	<u>5830,81</u>	<u>40,83</u>
Urbana	708,35	4,96
Reflorestamento	1160,18	8,12
Água	316,68	2,22
Regeneração/cultura	2892,62	20,25
Área total das classes	14282,11	100,00

Fonte – Batista et al. (no prelo)

Através da tabela observam-se a predominância das áreas de pastos sobre as outras formas de uso da terra. Isso é o reflexo dos diversos ciclos que a região passou, possuindo bastante áreas degradadas, com grande dificuldade de regeneração da vegetação natural. De uma forma mais abrangente, a pobreza desses pastos se deve às condições naturais de solos relativamente pouco férteis e também das condições inadequadas de manejo.

As áreas de mata nativa se resumem hoje a algumas regiões baixas do vale, aos cumes de certas colinas mais elevadas e às vertentes das serras que limitam a bacia. No sentido de estabelecer mecanismos de proteção da paisagem natural na região foram criadas diversas unidades de conservação nos âmbitos federal, estadual e municipal. Entretanto, o que resta da

floresta continua sendo alvo de desordenada devastação mesmo no interior dos parques devido à ausência de uma ação efetivamente fiscalizadora.

As atividades de reflorestamento, principalmente o plantio de eucalipto, têm tido um significativo crescimento sobre a região ocupando áreas geomorfologicamente diversas. Desde que efetuados a partir de práticas adequadas de manejo e mantendo a diversidade da paisagem na região, o plantio de eucalipto poderá contribuir para reduzir as pressões sobre as florestas nativas e contribuir para a recuperação arbórea da paisagem.

O crescimento das áreas urbanas, acompanha o eixo principal do rio Paraíba do Sul. Segundo o IBGE (2010), a maior concentração de ocupação, tanto urbana como industrial, está localizada ao longo da Rodovia Presidente Dutra. Cidades como São José dos Campos, Taubaté, Jacareí, Pindamonhangaba, Guaratinguetá, Lorena, Caçapava e Cruzeiro, e correspondem à cerca de 85% da população urbana da bacia e mais de 93% do VA (valor adicionado) industrial da mesma.

A expansão das cidades disputa, com outras formas de uso, os terrenos de baixíssimas declividades das planícies aluvionares, os quais apresentam fortes restrições naturais para o crescimento urbano. Isto se deve a fatores como: a baixa resistência dos solos, ao nível freático próximo à superfície e a sua tendência para inundações. Apesar das restrições apresentadas por estes terrenos, as cidades têm se expandido para estas áreas mais críticas. Da mesma forma, muitas indústrias foram implantadas sobre os terrenos de várzea.

A agricultura praticada atualmente na bacia ocorre em pequena escala e pode ser considerada pouco expressiva tanto do ponto de vista espacial quanto econômico. A agricultura de várzea é bem mais significativa do que a agricultura de encosta. A agricultura de encosta é representada, principalmente, por culturas anuais (ou temporárias) ocupando pequenas áreas e com características de subsistência.

O rodízio entre pastagens e a pequena dimensão destas áreas fazem com que não se constituam fator de degradação ambiental constante (CEIVAP, 2000). A agricultura de várzea está associada com os solos hidromórficos e o principal produto cultivado é o arroz e, secundariamente, o milho e os produtos hortigranjeiros. Do ponto de vista ambiental, ocorre o risco de contaminação dos corpos hídricos por fertilizantes e agrotóxicos, além do elevado consumo de água devido ao método de irrigação utilizado (inundação).

Também ocorre na região a atividade de mineração de areia, aproveitando o potencial dos depósitos aluvionares na planície fluvial do rio Paraíba, principalmente no trecho meandrante entre Jacareí e Cachoeira Paulista. Atualmente, no Vale do Paraíba, a forma de

extração de areia mais comum é através de cava submersa; a extração em leito de rio é observada mais raramente em municípios como Cachoeira Paulista.

4.3 Metodologia Aplicada

O procedimento metodológico baseou-se na suposição de que é possível identificar e avaliar as potencialidades regionais para a silvicultura do eucalipto e a facilidade (ou dificuldade) de aceleração dos processos de erosão e escorregamento, partindo da interação dos elementos do meio físico rocha – relevo – solo. Para a entrada, organização, manipulação, processamento e saída das informações dos resultados desse estudo, foram utilizados dois Sistemas de Informações Geográficas: ArcGIS® e o gvSIG. Esse estudo foi elaborado dentro dos dois sistemas e, com base nos resultados foi possível identificar qual o melhor software a se utilizar.

Como a região de estudo já é bem conhecida foi possível utilizar-se de outros meios de informações para o início do trabalho. Estudos e elaborações de mapas temáticos feitos sobre a região foram de grande auxílio. A maioria dos mapas temáticos foi obtida a partir do projeto CEIVAP (2000). Estes mapas foram adaptados e convertidos do formato AutoCAD® para o ambiente de cada software, tendo-se um cuidado especial na conversão dos arquivos para não corrompê-los, invalidá-los ou torná-los dados falsos, pois com a soma de todas as operações realizadas pelo SIG há o risco de propagação de erros, tornando as cartas ineficientes e os dados inválidos para o gerenciamento da região.

Com a utilização desses mapas e de métodos de análise, partindo da seleção, análise e definição dos elementos do meio físico que compõem a paisagem, foi possível atribuir valores numéricos (ponderações) para cada potencial que esses diferentes elementos apresentam e, integrando e inter-relacionando espacialmente todas essas atividades em um ambiente SIG tornou-se possível a elaboração do mapa com as unidades físicas mais propícias ao plantio do eucalipto. Ou seja, nesse estudo foi realizado a interpolação dos mapas base (integração dos elementos da paisagem) e, de acordo com a análise da apresentação no sistema, identificaram-se os potenciais da bacia e sua resistência aos processos de erosão e escorregamento, de acordo com cada SIG utilizado.

Uma dificuldade encontrada foi relacionar numericamente os parâmetros associados aos mapas temáticos. Quando se realiza a ponderação muitos fatores influenciam e contribuem para o processo decisivo final. Por exemplo, saber quais as melhores declividades para o

cultivo, ou determinar que tipo de solo é mais satisfatório, considerando seus constituintes minerais. Para reduzir estas incertezas, um grupo multidisciplinar de especialistas no domínio das Ciências da Terra e Engenharia Geotécnica foi designado a interpretar e fornecer fatores para a definição de cada elemento físico (rochas e estruturas, relevo e solo). Essa equipe foi composta por pesquisadores da FEG/UNESP, profissionais da Fibria e da Associação Corredor Ecológico do Vale do Paraíba.

Ainda que existam diversos outros fatores de natureza ambiental e social, este trabalho teve como objetivo considerar apenas critérios do meio físico e sua aptidão para florestas manejadas. Neste estudo o meio físico foi, portanto, o elemento de apoio para as decisões da ponderação.

Os parâmetros do meio físico utilizados na classificação das áreas foram: tipos litológicos e estruturas regionais, tipos de solo e tipos de relevo. Estes critérios foram os mais compatíveis, considerando a escala regional deste trabalho que gera mapas na escala de 1:250.000.

Ainda que as características da região possam apontar para utilização do solo para outras atividades, não se levou em consideração que os critérios avaliados pudessem ser melhores ou piores para outro tipo de atividade. Considerou-se a análise do meio físico da área de estudo apenas para a silvicultura do eucalipto.

Esse estudo apresentou uma proposta de definição de potencialidade para a silvicultura do eucalipto, vista de duas maneiras: através do ArcGIS® e do gvSIG. O trabalho foi dividido em três etapas distintas, mas intrinsecamente ligadas (Figura 20).

- Primeira Etapa – Nível Compilatório: Primeiramente foi realizada a determinação da área de estudo regional e a seleção da bacia a ser estudada. Em seguida, houve uma seleção prévia de conceitos, dados e informações técnicas que deram o respaldo adequado ao objeto de estudo. A revisão bibliográfica e cartográfica, regional e da bacia representativa foi realizada nesta etapa.
- Segunda Etapa – Nível Correlativo: Nesta fase foram gerados os mapas temáticos modificados, tanto em dados vetoriais como raster, que serviram como base para a geração do mapa de potencialidade. Procurou-se compreender as características que seriam mais e menos vantajosas para o cultivo do eucalipto, considerando o crescimento do eucalipto, instabilidade do solo, fontes de processos erosivos, dentre outros fatores.
- Terceira Etapa – Nível Semântico: Nesta fase foi realizada a síntese, dos estudos integrados, com seleção, correlação e ponderação adequada das etapas

anteriores. A equipe multidisciplinar se reuniu, discutiu e, considerando as características da pedologia, geomorfologia e geologia da região, interpretou a relação entre o meio físico e a silvicultura do eucalipto, definindo os pesos (ponderação) que correspondiam à maior ou menor influência para a potencialidade da silvicultura do eucalipto. Geraram-se os mapas de potencialidade baseados nos dois SIGs, e com os resultados gerados, a partir dos dados selecionados e correlacionados nas etapas anteriores, interpretou-se e comparou-se os dois softwares.

Inicialmente, adequou-se os mapas ao ambiente SIG onde foi possível o entendimento e análise. Primeiramente os dados eram vetoriais, mas para que se pudesse trabalhar mais facilmente e precisamente, já que estamos trabalhando com grandes áreas, os mapas temáticos foram convertidos para dados em formato raster. Com os mapas temáticos separados e já rasterizados, de acordo com cada informação a ser transmitida em carta temática, passou-se a elaborar a ponderação aplicada a cada área.

A partir daí, em reuniões da equipe multidisciplinar, discutiu-se as características que influenciam na silvicultura do eucalipto e cada especialista exprimiu a partir de sua própria perspectiva e experiência os pontos que poderiam ou não ser favoráveis. Com as opiniões multidisciplinares chegou-se a ponderação de cada característica do meio físico, considerando como grau de aptidão para a silvicultura do eucalipto um fator de escala de maior potencial (5) a menor potencial (1). E para as Áreas de Preservação Permanente (APP) e Áreas de Preservação Ambiental (APA), nas quais a legislação não permite o cultivo de nenhuma espécie, desconsiderou-se qualquer pontuação (0).

Portanto, cada elemento da paisagem tem suas características intrínsecas, que influenciam a potencialidade de silvicultura do terreno. As características específicas da paisagem permitem a identificação da parcela de terra que tem maior (ou menor) potencialidade para o desenvolvimento da silvicultura. O fator de escala apresentado na tabela 8 foi usado para caracterizar a porção de terra (área) para cada camada (*layer*) de acordo com sua influência na atividade de silvicultura.

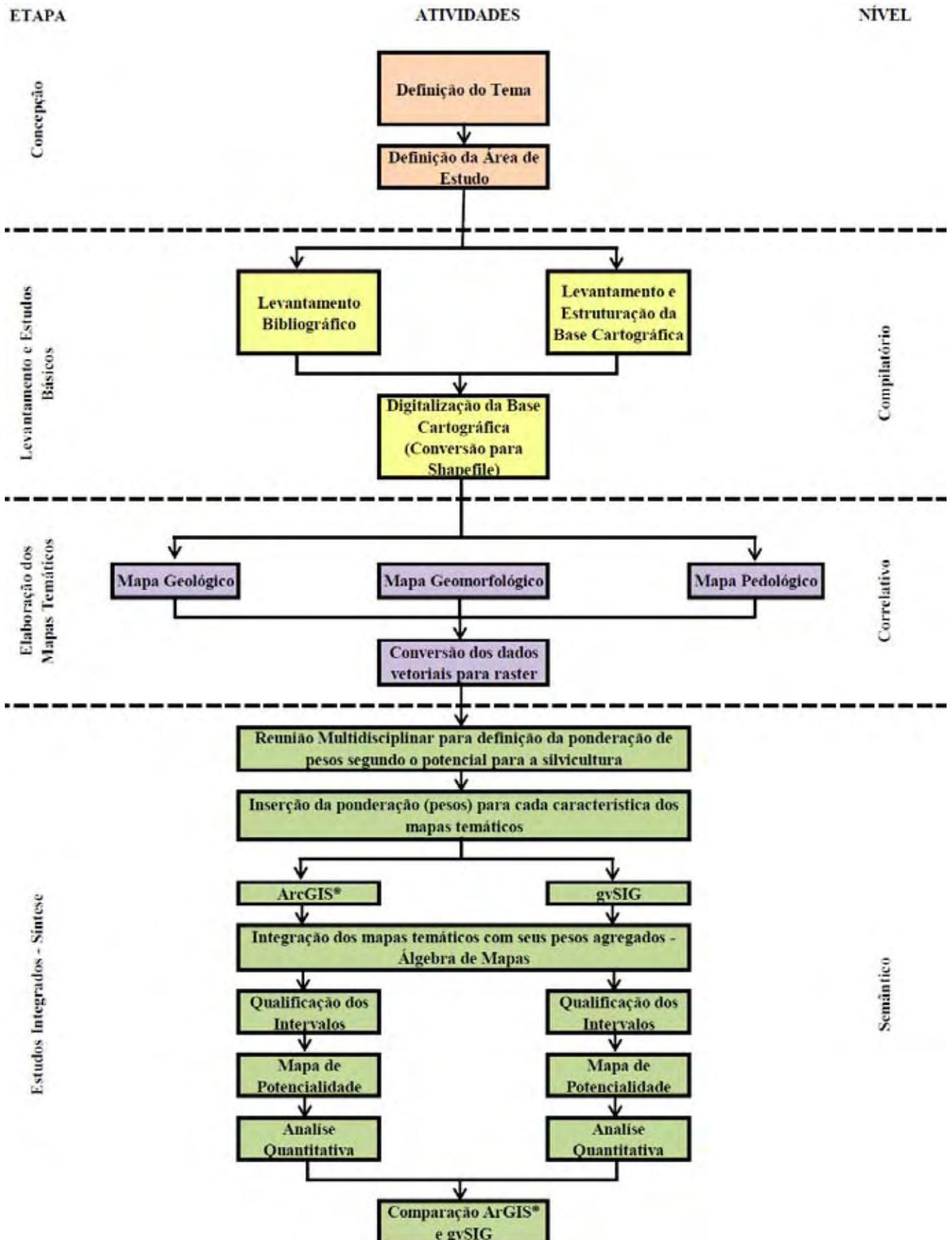


Figura 20 – Fluxograma Metodológico empregado no estudo.

Tabela 8 – Qualificadores potenciais e seus respectivos fatores.

<i>Significado</i>	<i>Pontuação</i>
Não Recomendável	0
Muito Baixo	1
Baixo	2
Médio	3
Alto	4
Muito Alto	5

A partir daí, se fez a integração dos mapas temáticos com seus pesos agregados. As áreas potenciais para a silvicultura foram calculadas pela soma dos fatores de escala, dividida pelo número de elementos da paisagem, utilizando o Sistema de Informação Geográfica. Essas camadas foram combinadas para obter o mapa de potencialidade na silvicultura, conforme esquematizado na figura 21. Para isso, os três mapas temáticos (Pedologia, Geomorfologia e Geologia) receberam o mesmo peso.

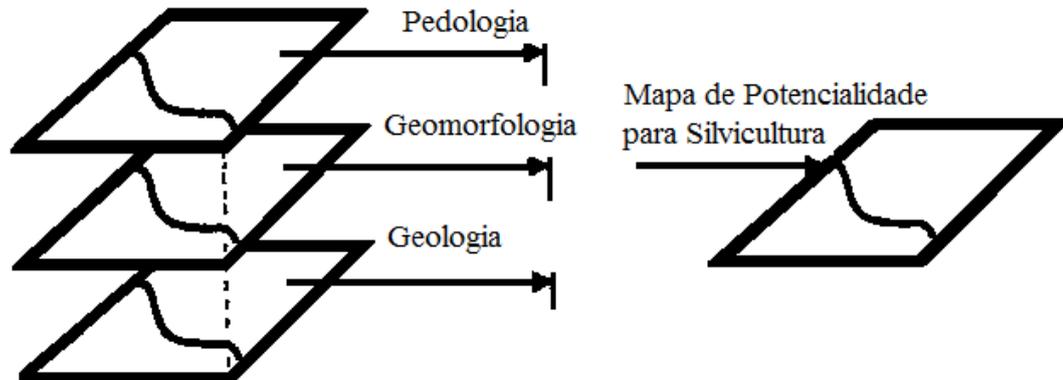


Figura 21 – Esquema de composição do Mapa de Potencialidade para a Silvicultura em SIG.

4.3.1 Procedimento para Composição do Mapa de Potencialidade no ArcGIS®

Os mapas temáticos utilizados para se obter o mapa integrado (mapas geológico, geomorfológico e pedológico) foram identificados em extensão .dwg, pertencente ao programa AUTOCAD®, e posteriormente migrados para o SIG ArcGIS®. Em seguida, através do ArcCatalog, localizou-se os mapas existentes e com a ferramenta “Export – to shapefile single” exportou-se todas as linhas do mapa. Essas informações que no AUTOCAD® eram

apenas linhas, tornaram-se um *shapefile* e assim puderam ser aperfeiçoados, de acordo com o necessário. Como, na migração, todas as informações passaram a constituir “um só corpo”, foi necessário que cada característica do mapa fosse analisada no arquivo em *.dwg* e todos os seus dados de identificação fossem repassados como atributos de cada característica do todo. O procedimento seguinte foi a separação das informações necessárias para a criação de cada mapa temático. Assim, gerou-se um *shapefile* para cada informação, que foi transmitido pelos mapas temáticos.

Após todo esse processo, os dados de cada mapa que estavam compostos por *shapefiles* com suas informações temáticas em formato vetorial (polígonos e linhas), foram transformados em mapas com dados em raster, por meio da ferramenta “*Convert to raster*” no *Tool Box*. Com os mapas todos em formato raster foi possível realizar a interpolação das ponderações de cada ponto, que em raster deixaram de ser linhas ou polígonos e transformaram-se em pixel. Com a ferramenta de seleção, foram selecionadas as áreas e atribuídas as pontuações definidas anteriormente para cada atributo. Em seguida foi realizada a “soma” (interpolação) dos atributos, empregando a ferramenta “*Raster Calculation*” do *Spatial Analyst*. A partir daí foi gerado o mapa final (*mapa de potencialidade*), separando as áreas por médias dos fatores pontuados por meio da simbologia em intervalos, selecionada na propriedade “*Symbolology*” do *shapefile*.

4.3.2 Procedimento para a composição do Mapa de Potencialidade no gvSIG

Como os mapas temáticos já haviam sido transformados em *shapefile* para a elaboração do mapa de potencialidade pelo ArcGIS[®], não foi preciso fazer uma nova conversão pois o gvSIG possui a função de ler esses arquivos como *shapefile*. Dessa forma, utilizaram-se os mapas do meio físico que já tinham sido aperfeiçoados e adequados a um sistema de informação geográfica.

Para a elaboração do mapa de potencialidade no gvSIG considerou-se os mapas em sua forma vetorial, pois o programa apresentou problemas na conversão para raster. A Sextante, ferramenta de uso para essa conversão, está incorporada ao sistema e realiza a operação, mas os resultados obtidos após o processamento não estão equivalentes com os dados vetoriais, apresentando distorções e áreas ocultas. Dessa maneira, carregou-se os *shapefiles* dos mapas temáticos em uma vista do gvSIG, denominando-a como um projeto. Em seguida, para se fazer a interpolação das ponderações de cada polígono (que representa um elemento do

mapa), usou-se a ferramenta de geoprocessamento intitulada “*Union*”. Ela permite unir as informações que contém em cada mapa temático, adicionando ao mapa base da superposição as características do outro mapa na “tabela de atributos”. Essa ação somente é executada entre dois shapefiles, da maneira que foi necessário se fazer a interpolação entre o mapa geológico e geomorfológico e com o resultado entre esses executar a ação “*Spatial Join*” com o mapa pedológico. Essa ferramenta, então, realiza a união dos mapas, executando uma média dos valores das ponderações em seu atributo. Com isso, aplicou-se um “*Dissolve*” para que as áreas com mesmo valor de média dos fatores pontuados (ponderação) se unissem como um só polígono, o que já define a classificação. Com esses passos o mapa de potencialidade para a silvicultura segundo o gvSIG foi gerado com todas as características relevantes a seu respeito.

5 RESULTADOS E DISCUSSÕES

A partir da definição da área de estudo e considerando as interações que existem entre os diferentes elementos do meio físico que compõem a paisagem (geologia, pedologia e geomorfologia), buscou-se avaliar através da elaboração de um mapa as possíveis áreas potenciais na bacia do Rio Paraíba do Sul para a silvicultura do eucalipto, empregando-se dois Sistemas de Informações Geográficas, para uma comparação.

Para a definição de cada elemento do meio físico usou-se apenas a conversão dos dados do AutoCAD[®] para o ArcGIS[®], que manipulados tomaram formato de shapefile e puderam ser utilizados em qualquer outro SIG. O desenvolvimento dos mapas de potencialidade no ArcGIS[®] e no gvSIG foi realizado utilizando os mesmos mapas do meio físico.

5.1 Mapa Geológico

Para o estudo da potencialidade de cultivo de eucalipto relacionado à geologia da bacia do Rio Paraíba do Sul, a análise das rochas incluiu tanto a composição como as características litológicas estruturais, tais como lineamentos e foliação metamórfica, obtidos a partir do Mapa Geológico do Estado de São Paulo na escala 1:500.000. A complexidade geológica regional foi responsável por uma significativa diversidade geológica, como pode ser observado na Figura 22. Mais precisamente, 15 unidades foram identificadas (Carneiro et al., 1978), incluindo três principais tipos de rochas (ígneas, metamórficas e sedimentares). Mas como há uma grande similaridade entre duas delas (Migmatitos e Fácies Migmatíticas), estas foram agrupadas apenas em uma unidade, totalizando assim, 14 unidades, como apresentado

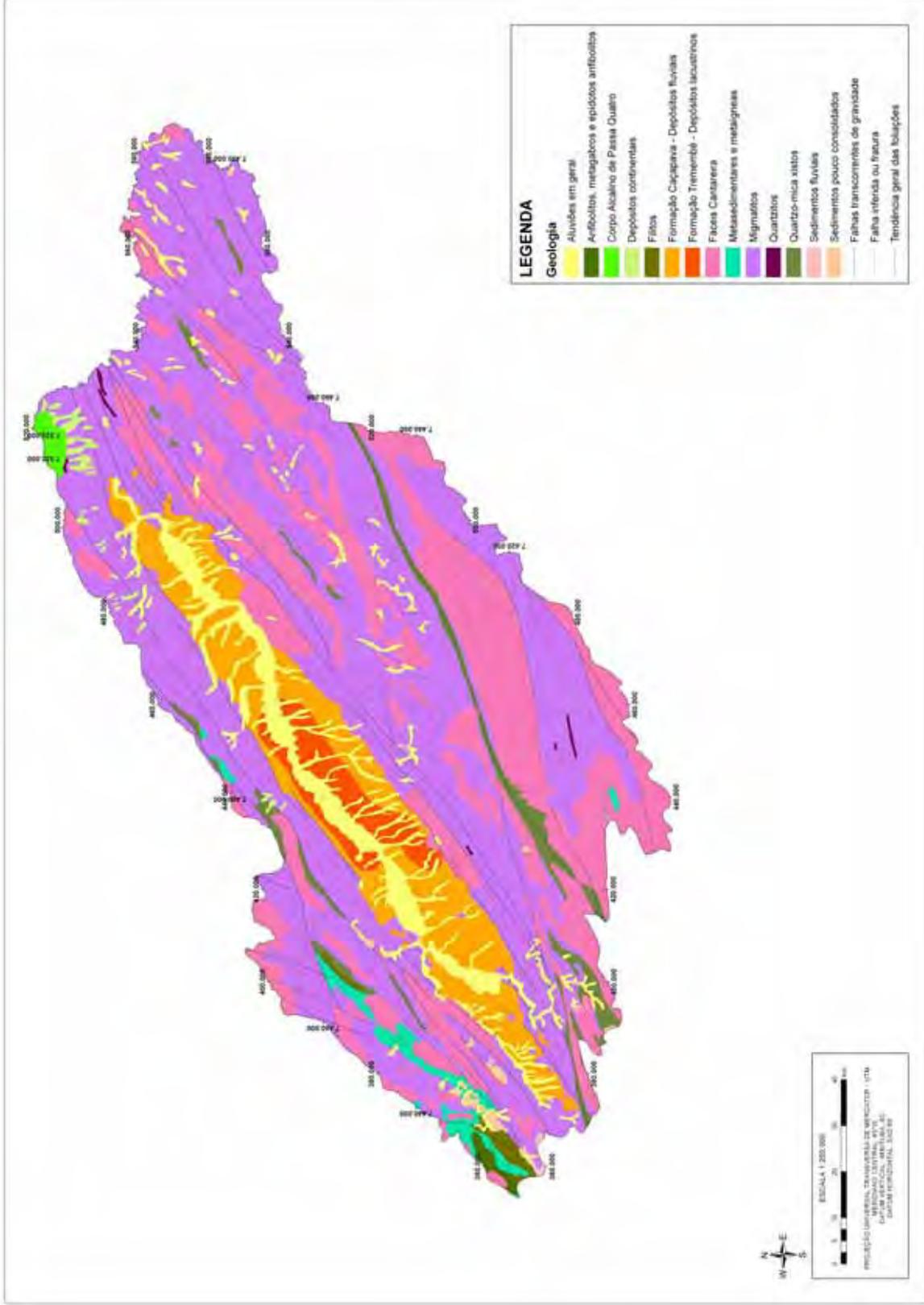


Figura 22 - Geologia da Bacia do Rio Paraíba do Sul.
 Fonte: Modificado de IPT, 1981.

na tabela 9.

Tabela 9 – Ponderação atribuída para as classes de geologia da bacia do Rio Paraíba do Sul para o cultivo de eucalipto.

Aluviões em geral	0
Sedimentos fluviais	0
Depósitos continentais	1
Sedimentos pouco consolidados	1
Fácies Cantareira	2
Quartzitos	2
Migmatitos	3
Corpo alcalino de Passa Quatro	3
Filitos	4
Metasedimentares e metaígneas	4
Formação Caçapava	4
Formação Tremembé	5
Anfibolitos, metagabros e apídotos anfibolitos	5
Xistos	5

A Formação Tremembé formada por depósitos lacustrinos é de alto potencial para a silvicultura e recebe pontuação máxima (5), pois sua textura argilosa se destaca em relação às formações arenosas. A Formação Caçapava, que é formada por depósitos fluviais, é uma região favorável para o plantio, mas recebeu menor pontuação por estar em áreas formadas por sedimentos, predominantemente, arenosos (peso 4). Os Anfibolitos (rochas básicas metamorfizadas) receberam pontuação máxima, pois produzem solos avermelhados que caracterizam maior potencial para o cultivo do eucalipto. Filitos, metasedimentares e metaígneas são muito propícios a esse tipo de silvicultura, tendo recebido peso 4, por serem rochas formadas por minerais micáceos, geralmente muito finos, e gerarem normalmente solos ricos em argila, que são favoráveis ao cultivo, mas como podem ser originados de outras rochas, tornou-se difícil afirmar sobre seu favorecimento.

As duas classes que receberam pontuação intermediária (3) são formadas por migmatitos, que são misturas de fácies de rochas metamórficas e graníticas. As fácies gnáissicas são mais favoráveis por serem ricas em minerais micáceos. Devido à sua textura grosseira e presença de feldspatos e quartzo, os granitos (designados de Fácies Cantareira) recebem pontuação 2, podendo gerar solos grosseiros, com potencial para processos erosivos

acelerados. Os quartzitos estão associados a solos arenosos e muitas vezes ácidos tendo, por isso, pouco potencial para a silvicultura. Os depósitos continentais, assim como os sedimentos pouco consolidados receberam pontuação 1. Os primeiros por localizarem-se em áreas de corpos de tálus, os quais são totalmente instáveis; os segundos, por serem inconsolidados e estarem associados ao nível freático próximo à superfície. Os aluviões são depósitos sedimentares formados por material, em geral, grosseiros, mal rolados e mais ou menos soltos, transportados por águas correntes. Eles receberam ponderação mínima, devido ao baixo potencial de infiltração e por apresentarem-se parcialmente saturados de água.

5.2 Geomorfologia

A análise da geomorfologia da bacia hidrográfica do Rio Paraíba do Sul baseou-se no Mapa Geomorfológico do Estado de São Paulo em escala 1:1.000.000, produzido por pesquisadores do Instituto Tecnológico de São Paulo (Figura 23). O mapa geomorfológico foi dividido em quinze unidades, baseadas na declividade que cada uma apresenta, e refletindo a alta complexidade geológica da bacia do Rio Paraíba do Sul (porção paulista). O mesmo procedimento adotado para a geologia foi aplicado, as unidades geomorfológicas foram agrupadas em onze unidades, devido à similaridade de suas características, de acordo com a tabela 10.

Tabela 10 – Pontuação atribuída para as classes de geomorfologia da bacia do Rio Paraíba do Sul para o cultivo de eucalipto.

<i>Planícies aluviais</i>	0
<i>Escarpas</i>	1
<i>Montanhas</i>	1
<i>Serras alongadas</i>	2
<i>Morros com serras restritas</i>	3
<i>Morrotes alongados</i>	3
<i>Mar de morros</i>	3
<i>Morrotes baixos</i>	3
<i>Terraços</i>	4
<i>Colinas amplas</i>	5
<i>Colinas pequenas</i>	5

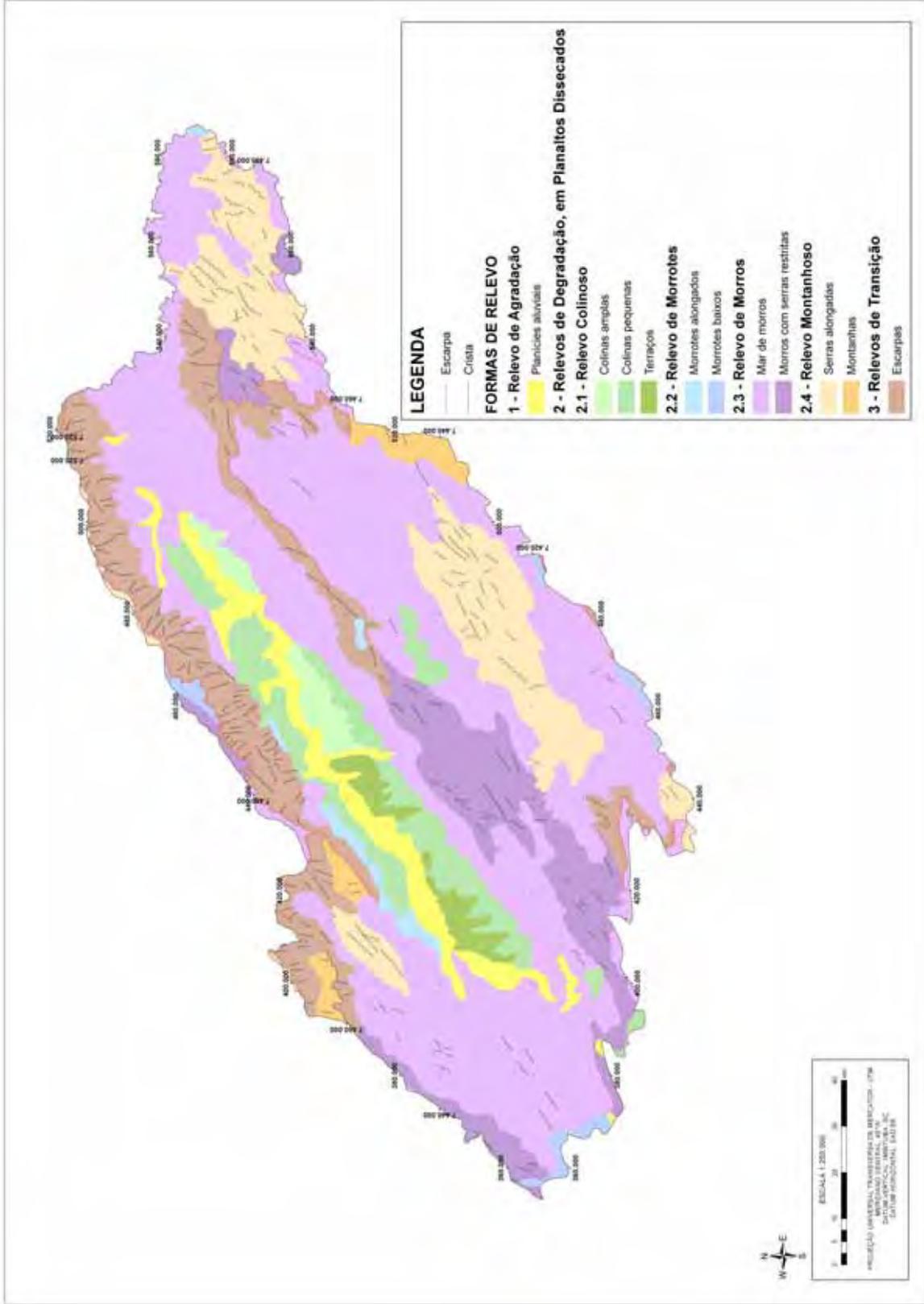


Figura 23 - Geomorfologia da Bacia do Rio Paraíba do Sul.

Fonte: Modificado de IPT, 1981.

As colinas amplas, juntamente com as colinas suaves, receberam pontuação máxima (5) por serem regiões que possuem topos amplos e arredondados, com declividades normalmente inferiores a 15%. Os terraços também foram considerados áreas com potencial (peso 4), possuindo relevos planos e boa permeabilidade. No caso dos relevos de morros com serras restritas, mar de morros e os morrotes alongados foram classificados conjuntamente por possuírem mais ou menos a mesma declividade. Eles receberam uma menor pontuação (3) devido à uma maior declividade (20 a 30% em média) o que favorece o escoamento, em detrimento do processo de infiltração. As serras alongadas, receberam a pontuação 2, devido às elevadas declividades – 20 a 50% e amplitude entre 200 e 300 metros, que favorecem a evolução de processos do meio físico, como erosão linear e escorregamento. As escarpas e montanhas receberam pontuação 1 por possuírem as maiores declividades encontradas na área (em torno de 50%) e topos angulosos. Nestas áreas o potencial para o desenvolvimento de processos erosivos é muito grande. As planícies aluviais foram completamente descartadas ao cultivo do eucalipto recebendo peso 0, pois não são áreas com potencial ao cultivo por serem propícias a inundações, mesmo apresentando baixa declividade.

5.3 Pedologia

No atributo pedologia, a potencialidade da bacia do Rio Paraíba do Sul para a silvicultura foi baseada principalmente na homogeneidade do solo, textura e profundidade do horizonte. Nesta região são encontrados Latossolos, Argissolos, Cambissolos e Organossolos, conforme pode ser observado no Mapa Pedológico em escala 1:500.000 (Figura 24). Os tipos de solos encontrados na bacia hidrográfica, como já ressaltado, têm uma boa correlação com as unidades geomorfológicas locais. Os Argissolos são, principalmente, associados com o cume da montanha, com escarpas e encostas íngremes, enquanto os Latossolos são principalmente associados às colinas pequenas com espigões locais.

Assim, a partir do mapa temático produzido em raster, os pesos para cada classe de solo foram estipulados, conforme apresentado na tabela 11.

Mais da metade da superfície da área de estudo corresponde a diferentes tipos de Latossolos. Estes solos apresentam a condição de maior potencial para a silvicultura por serem solos bem drenados, profundos, bem formados, homogêneos, com ausência de resíduos

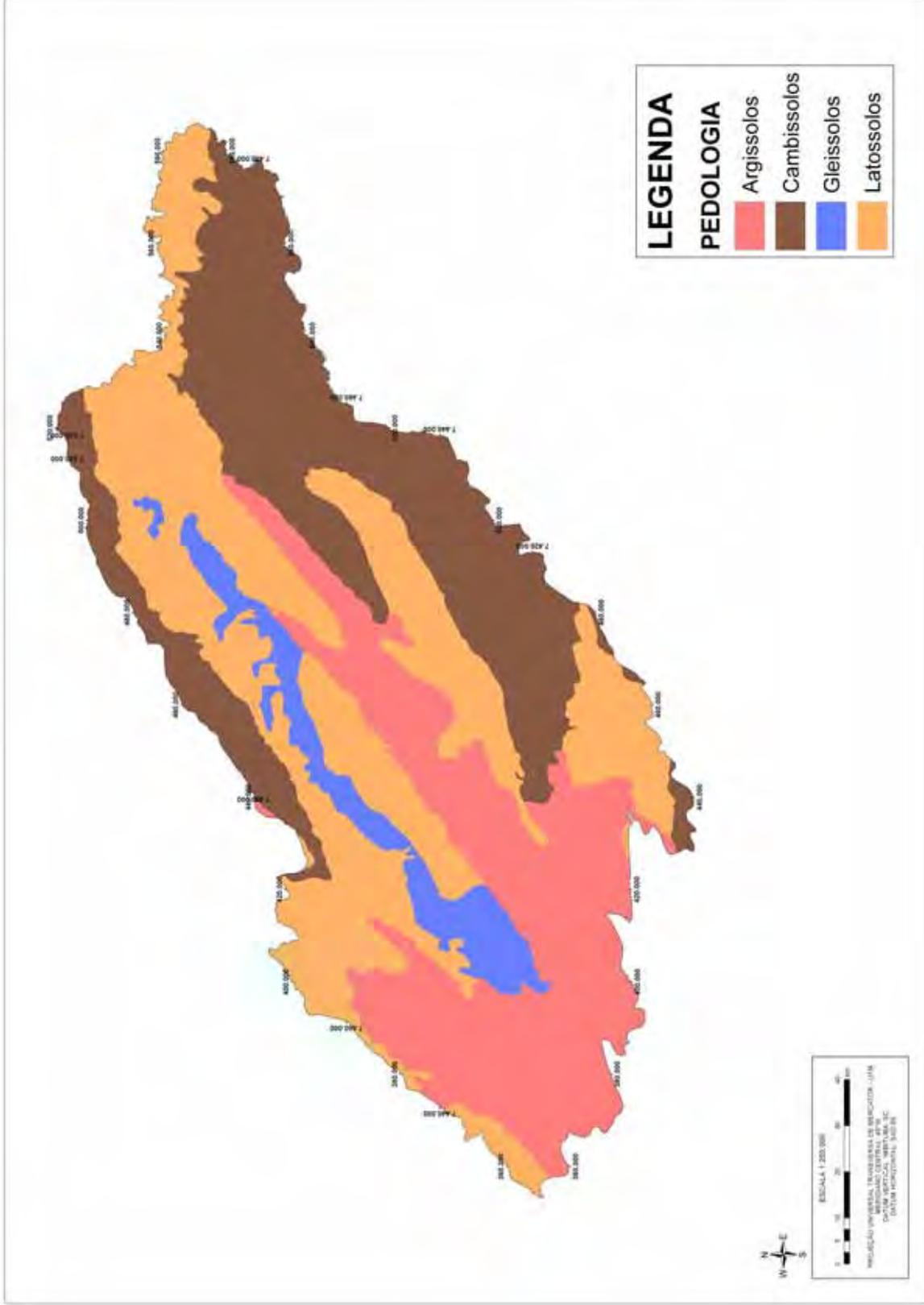


Figura 24 - Pedologia predominante da Bacia do Rio Paraíba do Sul .

Fonte: Modificado de Oliveira et al., 1999.

minerais primários e, além disso, são solos, geralmente, argilosos, o que aumenta sua resistência aos processos erosivos.

Tabela 11 – Pontuação atribuída para as classes da pedologia da bacia do Rio Paraíba do Sul para o cultivo de eucalipto.

Gleissolos	1
Cambissolos	3
Argissolos	4
Latossolos	5

Por sua vez, os Latossolos não são recomendados para a silvicultura por serem bons ao desenvolvimento de agricultura, uma vez que possuem boa drenagem interna e estão situados, na maioria dos casos, em relevos favoráveis ao uso intensivo de máquinas agrícolas. Mas como para o caso estamos apenas considerando a potencialidade para o plantio de eucalipto, sem considerar outras atividades, esse tipo de solo é o mais favorável.

Os Argissolos receberam menor pontuação por serem constituídos por material mineral com argila de atividade baixa, que apresenta má aeração durante o período chuvoso devido à significativa menor condutividade hidráulica, sendo, em terrenos pouco declivosos, na época de chuvas prolongadas, impróprios ao cultivo e nos períodos de veranico, vantajoso devido a maior disponibilidade de água existente. No entanto, de certa forma apresentam, normalmente, textura média e arenosa em superfície e baixa atividade da fração argila, o que pode ser favorável à preparação para o plantio. Além disso, é um tipo de solo pouco recomendado ao uso agrícola. Os Argissolos constituem a classe de maior expressão espacial do Vale do Paraíba, são mais bem formados e espessos que os Cambissolos, ainda que possuam horizonte B textural muito heterogêneo e com níveis enriquecidos de argila, que dificulta a drenagem para os níveis inferiores.

Os Cambissolos representam a situação intermediária, com desenvolvimento do horizonte B fraco a moderado, possuem normalmente, elevada erodibilidade, mas são caracterizados pela presença de rochas parcialmente intemperizadas (minerais primários). Nos Cambissolos o saprolito (horizonte C das rochas cristalinas) aflora muito próximo à superfície. Entretanto, possuem uma boa permeabilidade interna e facilidade de preparo do terreno para o plantio, recebendo, por isso, pontuação média. Os Cambissolos Háplicos apresentam uma condição pouco mais favorável para a silvicultura que os Cambissolos Húmicos, porque são mais ricos em matéria orgânica e argila nas camadas superficiais, mas

estando na mesma classe predominante por apresentarem tão pouca diferença para o potencial à silvicultura, recebendo pontuação 3.

Os Gleissolos representam a situação menos potencial, por serem solos recomendados apenas ao cultivo de espécies hidromórficas, apresentando sérias limitações, relacionadas à sua baixa capacidade de infiltração, nível freático próximo à superfície, teores relativamente elevados de matéria orgânica que aumenta a acidez e menor capacidade de suporte.

5.4 Mapa de Potencialidade utilizando o ArcGIS®

A partir de elementos da paisagem, dos mapas apresentados anteriormente, foi possível definir o potencial ou as zonas adequadas para silvicultura na bacia do Paraíba, utilizando o programa ArcGIS®. As áreas potenciais foram calculadas pela soma dos fatores de escala, caracterizando a influência do fragmento de terra na condição do processo de drenagem, dividido pelo número de elementos da paisagem, ou seja, foram somados os pesos dos três mapas e divididos por três. O mapa apresentado na figura 25 define seis unidades potenciais diferentes para o cultivo de eucalipto: alto, médio, baixo, muito baixo e não recomendável, conforme definido pela Tabela 12.

Tabela 12 - Unidades definidas para o cultivo do eucalipto.

<i>Significado</i>	<i>Resultado Cálculo</i>
Não Recomendável	0 – 1,00
Muito Baixo	1,01 – 2,00
Baixo	2,01 – 3,00
Médio	3,01 – 4,00
Alto	4,01 – 5,00

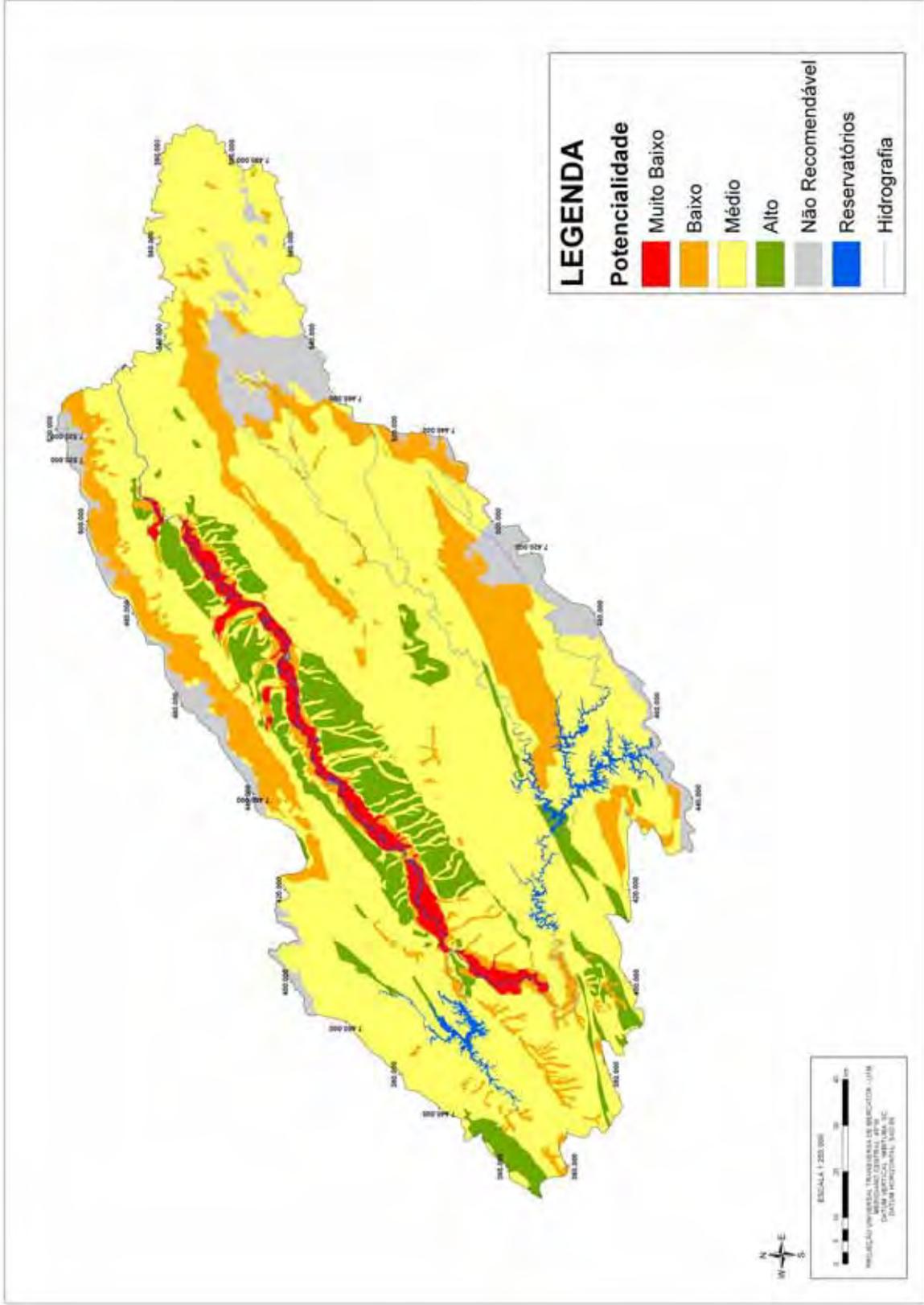


Figura 25 – Mapa de potencialidade para a silvicultura do eucalipto segundo o ArcGIS® com base no meio físico da Bacia o Rio Paraíba do Sul.

O quadro síntese a seguir, tabela 13, resume os pontos principais apontados pelo mapa de potencialidade gerado pelo ArcGIS®:

Tabela 13 - Quadro Síntese do Mapa de Potencialidade gerado segundo o ArcGIS®

ArcGIS®			
Classe	Geologia	Geomorfologia	Pedologia
Alto	Rochas sedimentares arenosas	Terraços, Colinas e Porções intermediárias da Bacia: Morros, Morrotes e Encostas Suaves	Latosolos
Médio	Migmatitos e Rochas graníticas	Morros e Relevo Montanhoso	Cambissolos e Argissolos
Baixo	Rochas Graníticas	Escarpas	Cambissolos e Argissolos
Muito Baixo	Aluviões	Planícies	Solos orgânicos ácidos
Não Recomendável	APP e APA	APP e APA	APP e APA

De acordo com a figura 25, as áreas com maior potencial para a silvicultura correspondem a uma estreita zona, próxima ao divisor de águas, que separa as sub-bacias do Rio Paraíba do Sul e Paraibuna/Paraitinga. Outra região com potencial alto situa-se nas porções intermediárias da bacia, correspondendo a relevos de morros e morrotes, resultado da interação entre as rochas sedimentares arenosas, Latossolos e encostas suaves. Estas áreas são responsáveis por apenas 9,2% da área total. Na história mais recente da bacia do Rio Paraíba do Sul, estas áreas tem sido ocupadas por pastagens mal manejadas e com fragmentos isolados (alguns contínuos) de floresta natural. Portanto, a atividade de silvicultura nestas áreas é compatível com as características e a dinâmica do meio físico nesta região, apesar de outras formas de uso (como agricultura e expansão urbana) merecerem prioridade nestas áreas. No entanto, como foi considerado apenas o meio físico isoladamente, não ponderando outros fatores da natureza, como o uso da terra.

A grande área que pode ser considerada com potencial médio para a silvicultura do eucalipto representa um pouco mais que 65% da superfície total da bacia em que o terreno é composto por migmatitos e rochas graníticas associados a Cambissolos e Argissolos. Estas áreas que sofreram processo de degradação significativa do solo, atualmente, são representadas por mistura de áreas de pastagens degradadas e fragmentos florestais descontínuos. Neste caso, a silvicultura, de fato constitui uma alternativa econômica para estas regiões degradadas.

As áreas pouco potenciais, classificadas como baixo potencial, são de declividade elevada, onde ocorrem rochas graníticas, associadas a solos texturados e rasos (Argissolos e Cambissolos) de composição areno-siltosa, que favorecem o avanço dos processos erosivos acelerados (sulcos e ravinas), especialmente aqueles relacionados à construção de estradas de terra para a colheita da madeira de eucalipto em bacias hidrográficas florestadas.

A porção ao longo do Rio Paraíba do Sul constitui a área mais crítica à silvicultura sendo classificada como de potencial muito baixo e responde quase 3% da área de superfície. Essas áreas representam uma vasta planície aluvial com aquífero próximo da superfície e solos orgânicos ácidos, que devem ser cultivadas apenas com espécies adaptadas a este ambiente.

Finalmente, algumas áreas próximas ao divisor de águas naturais da bacia não foram considerados, pois representa unidades de conservação Federal e Estadual (APP e APA) que por lei proíbe qualquer atividade humana.

5.4.1 Quantificação dos fatores com base no ArcGIS

Separando as classes da ponderação (Não Recomendável, Muito Baixo, Baixo, Médio e Alto) e transformando em polígono, a partir de polígonos agregados, seguindo a classificação, o ArcGIS® calculou a área de cada classificação e assim, foi possível obter relação de porcentagem em área total apresentada pelo gráfico da figura 26, conforme tabela 14.

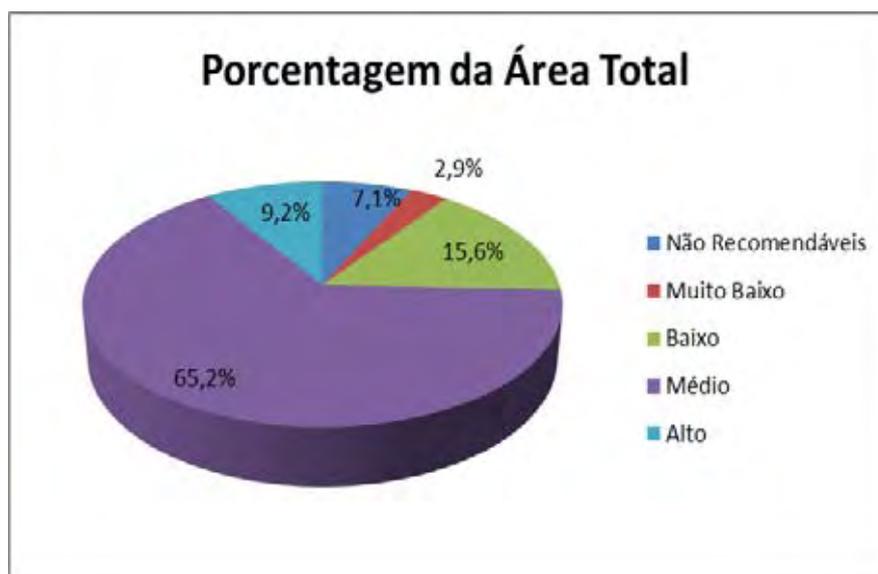


Figura 26 – Porcentagem de Área das Classes de Potencialidade ao Cultivo do Eucalipto na bacia do Rio Paraíba do Sul (porção paulista) geradas pelo software ArcGIS®.

Tabela 14 – Porcentagem de Área das Classes de Potencialidade ao Cultivo do Eucalipto na bacia do Rio Paraíba do Sul (porção paulista) geradas pelo software ArcGIS®.

Classificação	Área (Km2)	Porcentagem da Área Total
Não Recomendáveis	1.028,08	7,1%
Muito Baixo	423,12	2,9%
Baixo	2.268,88	15,6%
Médio	9.455,71	65,2%
Alto	1.334,21	9,2%
Área Total:	14.510,00	100,0%

A condição mais adequada ao plantio do eucalipto na bacia do Paraíba do Sul (porção paulista) corresponde a quase 74,4% de sua área. A análise física integrada revelou que rochas sedimentares argilosas associadas a terrenos com morros suaves representam uma das áreas mais adequadas à silvicultura. No entanto, ao levarem-se em consideração outros fatores como as condições sociais e econômicas, esta área poderia ser utilizada como prioridade para outros fins de uso da terra que não a silvicultura como, por exemplo, a agricultura, urbanização e industrialização.

5.5 Mapa de Potencialidade utilizando o gvSIG

Com os mesmos elementos do meio físico apresentados em mapas anteriormente, tornou-se possível a definição das áreas potenciais para a silvicultura na bacia do Paraíba do Sul, utilizando o programa gvSIG. O cálculo das áreas favoráveis foi realizado a partir da média entre os fatores de escala, ou seja, foram somados os valores dos pesos dados na ponderação, dividindo pelo número de elementos da paisagem. As áreas que a média dos pesos resultaram de 0 a 1,0 correspondem a áreas não recomendáveis, média de 1,01 a 2,00 áreas de potencial baixo, média de 2,01 a 3,00 de potencial baixo, média de 3,01 a 4,00 de potencial médio e de 4,01 a 5,00 de potencial alto; da mesma forma que foi definido para o ArcGIS®. A figura 27 apresenta o mapa de potencialidade elaborado utilizando o gvSIG, apresentando essas cinco unidades para a produtividade do eucalipto. As áreas de soma de

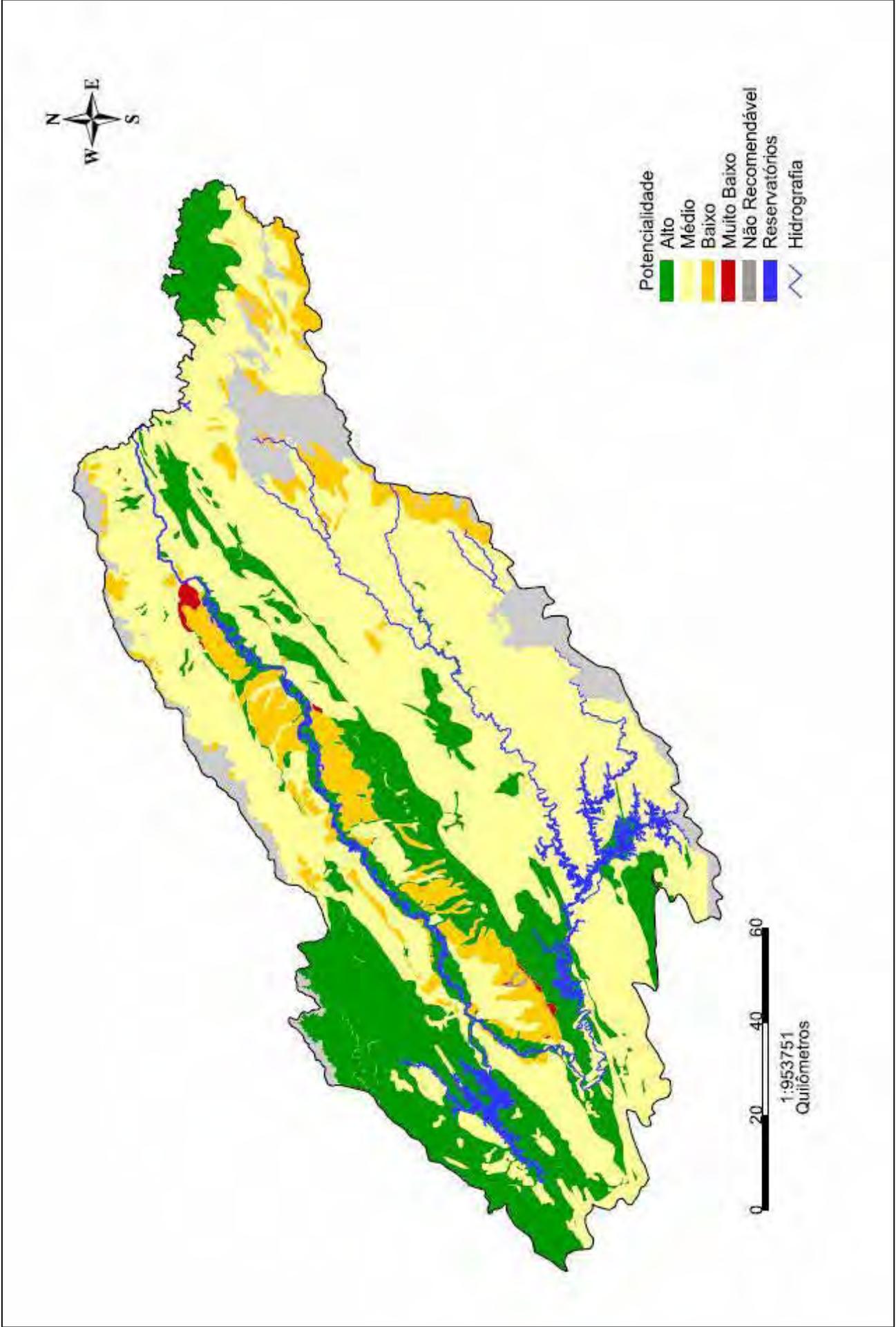


Figura 27 - Mapa de potencialidade para a silvicultura do eucalipto segundo o gvSIG com base no meio físico da Bacia o Rio Paraíba do Sul.

valor zero (0) foram atribuídas APPs e APAs, onde não é permitido o cultivo.

A tabela 15, como quadro síntese, resume os pontos principais apontados pelo mapa de potencialidade gerado pelo gvSIG.

Tabela 15 - Quadro Síntese do Mapa de Potencialidade gerado segundo o gvSIG

gvSIG			
Classe	Geologia	Geomorfologia	Pedologia
Alto	Rochas Migmatíticas	Morros e Montanhas	Latossolos e Argissolos
Médio	Migamatitos e Granitos	Terrenos Montanhosos	Cambissolos e Argissolos
Baixo	Rochas Graníticas e Depósitos de rios	Relevos Colinosos, Serras alongadas e escarpas	Cambissolos e Argissolos
Muito Baixo	Depósitos Fluviais	Terrenos Planos	Gleissolos
Não Recomendável	Aluviões, APP e APA	Tabuleiros, APP e APA	Gleissolos, APP e APA

De acordo com a figura 27, as áreas classificadas como potenciais para a silvicultura também estão localizadas na zona próxima ao divisor de águas, em verde, com alguns fragmentos espalhados pela bacia. Outra área com potencial alto está situada a Noroeste da bacia, correspondendo às regiões de morro e montanhas do Sistema Mantiqueira, resultados da interação entre as rochas migmatíticas com Latossolos e Argissolos. Da mesma maneira que no mapa obtido pelo ArcGIS a atividade de silvicultura nestas áreas é compatível com as características e a dinâmica do meio físico desta região.

A maior parte da bacia foi caracterizada com potencial médio para a silvicultura, área em amarelo no mapa da figura 27, dada pela composição de migmatitos e granitos em associação também a Cambissolos e Argissolos, formado por terrenos montanhosos. As áreas com potencial baixo (em laranja) são as áreas com características de relevos colinosos, serras alongadas e escarpas, onde ocorrem rochas graníticas e depósitos de rio, associadas à Argissolos e Cambissolos húmicos de composição areno-siltosa, favorecendo a erosão acelerada. Essas áreas potencialmente baixas também estão próximas ao Rio Paraíba do Sul, ao longo de sua trajetória na bacia. Correspondem as áreas de planície fluvial, o que indica a presença do aquífero próximo à superfície e presença de solos orgânicos, não sendo o eucalipto uma espécie adaptável a esse meio.

A região avermelhada no mapa da figura 27, classificada como de potencial muito baixo, é relativamente pequena quando comparada ao tamanho da bacia e pouco representativa espacialmente, abrangendo uma pequena faixa de depósitos fluviais, que

formaram Gleissolos associados a terrenos planos, onde são melhor indicados outros tipos de manejo.

Uma área também de baixa distribuição areal foi denominada como não recomendadas (área cinza), associando uma área de Gleissolos, formados por aluviões, com terreno de tabuleiros.

5.5.1 Quantificação dos fatores com base no gvSIG

Tomando-se como base as unidades selecionadas (classes de Não Recomendáveis, Muito Baixo, Baixo, Médio e Alto), e tendo o mapa separado por polígonos agregados, segundo essa classificação, calcula-se a área de cada classe de ponderação. O próprio gvSIG executou esse cálculo por meio da ferramenta “calculadora de campos”. Com o cálculo da área foi possível se fazer uma análise percentual da área total da bacia, no que diz respeito à potencialidade para a silvicultura, conforme apresentado na tabela 16.

Tabela 16 – Porcentagem de Área das Classes de Potencialidade ao Cultivo do Eucalipto na bacia do Rio Paraíba do Sul (porção paulista) geradas pelo software gvSIG.

Classificação	Área (Km2)	Porcentagem da Área Total
Não Recomendáveis	746,52	5,1%
Muito Baixo	34,87	0,2%
Baixo	1.421,28	9,8%
Médio	8.212,66	56,6%
Alto	4.094,67	28,2%
Área Total:	14.510,00	100,0%

As áreas de grande potencial para o cultivo do eucalipto, denominadas potencial alto e médio, na Bacia do Paraíba do Sul (porção paulista), são responsáveis por quase 84,8% da área da bacia, como pode ser visto na figura 28.

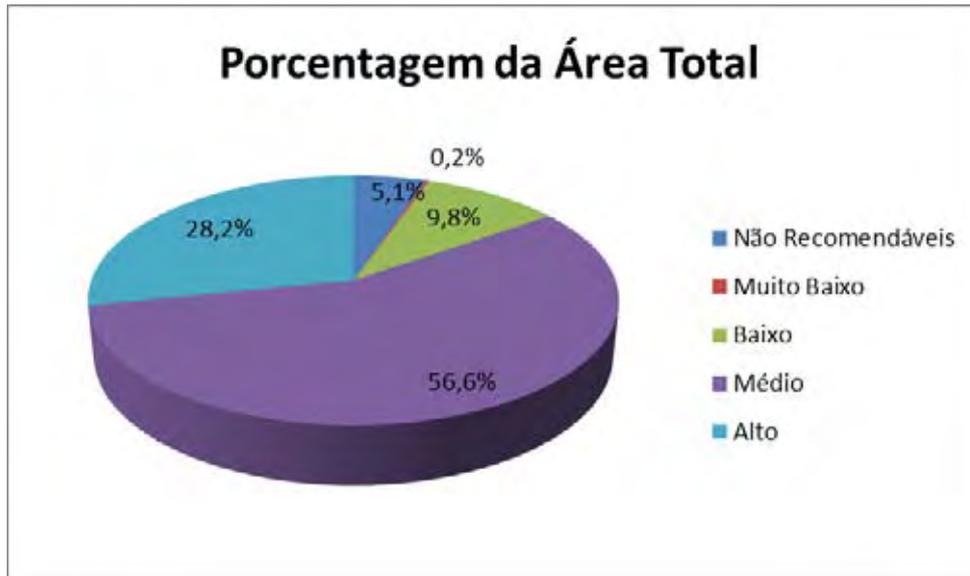


Figura 28 – Porcentagem de Área das Classes de Potencialidade ao Cultivo do Eucalipto na bacia do Rio Paraíba do Sul (porção paulista) geradas pelo software gvSIG.

5.6 Comparação dos Resultados

Considerou-se que o uso de geoprocessamento para esse tipo de estudo é imprescindível e, para isso, os SIG's utilizados foram de grande auxílio. Eles permitiram que toda a análise fosse concluída, desempenhando papel fundamental e demonstrando eficiência em seus aplicativos e processos. O uso de sistemas de informação para este tipo de estudo possibilitou, de forma rápida, a obtenção de dados relativamente precisos, com a apresentação de resultados gráficos na forma de mapas.

Os mapas obtidos pelos dois métodos, de uma forma geral, têm as mesmas características e indicaram como áreas potenciais as mesmas regiões. Dessa forma, pode-se afirmar que os procedimentos metodológicos para a definição das áreas potenciais para a silvicultura do eucalipto, em escala regional estão coerentes, indicando boa representação e correspondência.

De uma forma geral, os SIG's utilizados, ArcGIS® e gvSIG, são estruturados da mesma forma e trabalham de uma maneira semelhante. Porém, para a integração dos mapas foram utilizados métodos com caminhos diferentes. De acordo com a tabela 17 é possível verificar as diferenças técnicas entre os dois softwares.

Tabela 17 - Comparação técnica entre o ArcGIS® e o gvSIG.

ArcGIS®	gvSIG
- Licença Comprada	- Licença Livre
- Raster	- Vetorial
- Dados em shapefile	- Dados de diversos tipos
- Menor precisão	- Maior precisão
- Maior rapidez de processamento	- Maior lentidão de processamento
- Passos mais trabalhosos	- Passos mais simples

Por outro lado, a tabela 18 apresenta uma comparação entre os resultados obtidos por ambos os programas usados.

Tabela 18 - Comparação dos resultados obtidos pelo ArcGIS® e pelo gvSIG.

ArcGIS®	gvSIG
- Menor área recomendada ao cultivo do eucalipto (74,4%)	- Maior área recomendada ao cultivo do eucalipto (84,8%)
- Maior área inadequada a silvicultura (25,6%)	- Menor área inadequada a silvicultura (15,2%)
- Área de potencial muito baixo em regiões ao longo do Rio Paraíba	- Área de potencial baixo e muito baixo em menores proporções

A diferença que ocorre entre as áreas resultantes como de maior e menor potencial entre os dois softwares ocorre devido ao método com que cada um deles trabalha. O ArcGIS, devido aos dados serem trabalhados em raster, permite que seja feita apenas uma operação da álgebra de mapas em que ele faz a “soma” dos “pixels” dos três mapas base. Isso gera um resultado um pouco menos favorável ao cultivo do eucalipto, visto que se trabalha com cada única unidade do mapa. Com relação ao GvSIG, os dados, por serem vetoriais precisam ser trabalhados em partes, primeiro se soma dois mapas base e o resultado desse é somado com o outro mapa base. Ainda, por se trabalhar com a área total do polígono da característica, o GvSIG apresentou áreas mais favoráveis ao cultivo do eucalipto, devido a visão geral que o programa assimila quando faz a “soma” dos mapas.

O ArcGIS® apresenta maior possibilidade para se trabalhar com imagens do tipo raster, ou para fazer as conversões de vetorial para raster, e, por isso, para realizar esta integração com este software os mapas utilizados estavam em raster. De maneira diferente, o gvSIG, tem ferramentas que trabalham melhor com dados vetorias, inclusive com limitados recursos para

a conversão em raster, sendo conveniente trabalhar no desenvolvimento desse estudo com imagens vetoriais.

Os dados em raster são mais fáceis de serem processados e, por isso, são mais rápidos de serem obtidos, gerando resultados mais imediatos e sem grandes problemas com erros de processamento. Ao contrário, a geração utilizando dados vetoriais, foi mais lenta, quando se tratou do cruzamento dos dados, e alguns erros no processamento foram apresentados durante o desenvolvimento dos mapas. Em contrapartida, os dados vetoriais apresentaram maior precisão, por serem mais exatos que os dados em raster.

Assim, pode-se considerar que os dois Sistemas de Informações Geográficas utilizados, apresentam pontos favoráveis e desfavoráveis. A análise, de uma forma mais complexa de cada um, depende do tipo de aplicação a que serão destinados. Para o caso em questão, os passos seguidos no gvSIG são mais simples e fáceis de assimilar, mas é preciso um pouco mais de insistência e paciência para que haja o processamento dos dados. Porém, ele apresenta maior número de ferramentas para o manuseio de dados que sejam de outra extensão, como por exemplos dados em AutoCAD[®]. Nesse software não é preciso fazer a conversão para *shapefile* para que se possam manusear os dados; ele acessa e trabalha com os dados em diferentes extensões, o que não acontece com o software da ESRI, que precisa ser convertido em *shapefile* para ser aberto dentro do SIG. O ArcGIS[®] possui uma forma um pouco mais demorada e difícil de se aplicar os passos para obtenção do mapa, mas quando as aplicações são feitas o processamento é mais rápido.

6 CONCLUSÕES

Este estudo explorou a importância de considerar a análise dos elementos do meio físico (rocha – relevo – solo) no planejamento e operação de atividades de silvicultura particularmente no que concerne a facilidade de desenvolvimento e evolução dos processos do meio físico. A importância da análise e da integração dos elementos físicos aumenta nas regiões montanhosas, as quais apresentam alta heterogeneidade espacial e diversidade de rochas, relevo e tipos de solo. Nesta região, é necessário reconhecer as áreas que poderiam ser mais afetadas por erosão acelerada e deslizamentos de terra que, conseqüentemente, contribuem para a elevada quantidade de sedimentos que são transportados e depositados para os cursos d'água. Portanto, com o Mapa de Potencialidade à Silvicultura torna possível identificar as áreas mais críticas, a fim de evitar a plantação intensiva do eucalipto na bacia do Rio Paraíba do Sul (porção paulista).

Para a obtenção do Mapa de Potencialidade à Silvicultura foram utilizados dois sistemas de informação geográfica (ArcGIS e gvSIG). Na área de estudo, utilizando-se o software ArcGIS®, cerca de 26% da área total representa regiões menos apropriada para a plantação de eucalipto (condição ruim e condição regular). Por outro lado, os resultados mostraram que, para o mesmo método, cerca de 84% da área total pode ser considerada com potencial alto ou médio para o plantio de eucalipto. Utilizando-se o gvSIG obteve-se uma proporção com as mesmas características, sendo grande parte da bacia (cerca de 85%) apropriada para a silvicultura de eucalipto e uma porção muito pequena (aproximadamente 15%) foi caracterizada como pouco ou menos favorável ao plantio do eucalipto.

Esta pesquisa, de uma maneira generalizada, procurou estabelecer novos procedimentos que podem servir de ferramenta aos tomadores de decisão, mostrando, inclusive, diferentes formas de aplicação da metodologia proposta.

A partir dos resultados obtidos neste trabalho evidencia-se a necessidade de um melhor planejamento nas atividades de operação e manejo das áreas de silvicultura levando-se em consideração a complexidade e a diversidade do meio físico. As informações contidas no mapa de potencialidade podem contribuir para o planejamento da bacia em questão, ajudando na melhor adaptação das necessidades dos homens ao meio ambiente, reduzindo os impactos ocasionados por intervenções na paisagem como o traçado de estradas. Desta forma, o mapa previsionar obtido pode ser utilizado para evitar atividades de silvicultura naquelas áreas com forte tendência a geração de processos como aquelas formadas pela interação de rochas graníticas, relevos de escarpas e Cambissolos. Desta forma, as intervenções nestas áreas (como o traçado de estradas) precisam ser evitadas ou realizados com cuidados especiais em face da intensidade com que ocorrem os processos erosivos e escorregamentos. Por outro lado, aqueles ambientes formados pela interação entre as sequências de rochas sedimentares (ou de rochas gnássicas), associadas a relevos de morros (ou colinosos) e Latossolos são pouco suscetíveis aos processos do meio físico e não teriam maiores problemas quando ocorrem intervenções nas áreas de plantio e os problemas geotécnicos são relativamente pequenos. Entretanto, se deve destacar que muitas destas áreas consideradas favoráveis poderiam (e deveriam) ser utilizadas para outros fins que não o plantio de eucalipto. Por exemplo, as áreas de ambiente sedimentar com relevos colinosos situadas relativamente próximas ao eixo do rio Paraíba do Sul são áreas potencialmente mais favoráveis à urbanização quando se considera outros fatores além da abordagem do meio físico como questões de natureza econômica ou ambiental.

Ainda que tenha sido utilizado para o plantio de eucalipto é possível utilizar esta mesma metodologia para outras aplicações. O mesmo sistema de ponderações e interpolações pode ser utilizado para vários fins como, por exemplo, para a determinação de áreas potenciais para qualquer tipo de plantio e a definição das melhores áreas para a construção de estradas.

Em geral é percebido que os SIG's são de grande valia para qualquer tipo de análise a que são destinados, e são de grande ajuda para estudos nos dias atuais. Porém, para que isso seja desenvolvido da forma mais ideal e apresente resultados reais, é preciso que se analisem os melhores materiais e métodos que devem ser empregados.

Finalmente deve-se ressaltar que a comparação feita entre os dois SIGs pode ser considerada como preliminar e necessita de maior aprofundamento. Por exemplo, as tentativas de se utilizar modelos com formato raster associados ao gvSIG não foram bem sucedidas. De qualquer forma, os resultados preliminares apontam para a aplicação desta metodologia a outras linhas de pesquisa com grande potencial de desenvolvimento.

7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ANA – AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS. Caminho das Águas, 2012. Disponível em: <http://www.caminhoaguas.org.br/bacias/Paraiba_do_Sul_Localizacao.html> Acesso em 17 fev 2012.

ASSOCIACIÓN GVSIG, Visão, Missão e Valores. 2011. Disponível em: <<http://www.gvsig.org/web/organization/missao-visao-e-valores>> Acesso em 20 fev 2012.

BATISTA, G. T.; CATELANI, C. S., DIAS, N. W., TARGA, M. S. Mapeamento das áreas de floresta no trecho paulista da bacia do rio Paraíba do Sul. Revista Ambiente & Água, no prelo.

BRUNS, H. T.; ENGENHOFER, M. J. User Interfaces for Map Algebra. Journal of the Urban and Regional Information Systems Association V.9, nº 1, p. 44-54, 1997.

BURROUGH, P.A.; MCDONNELL, R. A. Principles of Geographical Information Systems. New York: Oxford University Press Inc., 1997. 333p.

CAEIRO, S. Tópico 4 – Ferramentas do SIG: Aplicações. Parte III – Álgebra de Mapas. Interpolação de rasters. Funções de distância. Material de Apoio de Licenciatura em Ciências do Ambiente – Sistemas de Informação Geográfica. 2009. Disponível em: <http://antonio-fonseca.com/Unidades%20Curriculares/2->

Ano/Sistemas%20de%20Informacao%20Geografica/6%20Apontamentos/Textos/ArcGis3.pdf. Acesso em: 12 jun 2012.

CALKINS, H. W.; and TOMLINSON, R. F. Geographic Information Systems: Methods and Equipment for Land Use Planning. IGU Commission on Geographical Data Sensing and Processing and U.S. Geological Survey. Ottawa, 1977. In: SILVA, A. B. Sistemas de Informações Geo-referenciadas – Conceitos e Fundamentos. Campinas: Editora Unicamp, 2003. 236p.

CÂMARA, G.; MEDEIROS, J. S. Princípios Básicos em geoprocessamento. ASSAD, ED; SANO. EE. 1998.

CÂMARA, G.; BARBOSA, C. C.; CORDEIRO, J. P.; LOPES, E.; FREITAS, U. M.; LUCENA, I. Álgebra de Mapas. Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos, São Paulo. 2001. Disponível em: <http://mtc-m12.sid.inpe.br/col/sid.inpe.br/sergio/2004/04.19.14.58/doc/cap8-algebra.pdf>. Acesso em: 12 jun 2012.

CARNEIRO, C.D.R.; HASUI, Y.; GIANCURSI, F. D. Estruturas da Bacia do Taubaté na região de São José dos Campos. In: Congresso Brasileiro de Geologia, 29, Ouro Preto, 1976. Anais...SBG, Belo Horizonte, v. 4, p. 247-256. 1978.

CEIVAP (Comitê para a Integração da Bacia Hidrográfica do Rio Paraíba do Sul) – Projeto Qualidade das Águas e Controle da Poluição Hídrica (PQA). São Paulo, Relatório Executivo. 2000.

CEIVAP (Comitê para a Integração da Bacia Hidrográfica do Rio Paraíba do Sul), AGEVAP (Associação Pró-Gestão das Águas da Bacia Hidrográfica do Rio Paraíba do Sul) & Vallenge Consultoria, Projetos e Obras Ltda. Relatório Técnico – Bacia rio Paraíba do Sul – Subsídios às Ações de Melhoria da Gestão. Resende. 2011.

COSTA, H. C.; SILVA M. V. A. Apostila de Introdução ao gvSIG. Goiânia, CEFET. 2009. Publicação online: <<http://www.esri.com/library/bestpractices/essays-on-geography-gis.pdf>>. Acesso em: 05 ago. 2009.

CROISER, S. et. al. ArcGis 9 Getting Started With ArcGis. New York: ESRI, 2005.

DELANEY, J.; NIEL, K. V. Geographical Information Systems – An Introduction. 2 ed. South Melbourne: Oxford University Press, 2007. 214p.

FITZ, P.R. Geoprocessamento sem Complicação. São Paulo: Oficina de Textos, 2008. 159p.

FÚLFARO, V.J. & BJOMBERG, J.S. – Geologia. In: A.A. Ferreira; A. Negro Jr.; J.H. Albiero; J.C.A. Cintra (orgs.) Solos do Interior de São Paulo. ABMS/EESCUSP. p. 1-44. 1993.

HESENACK, H.; WEBER, E. Manual do usuário do Idrisi: Exercícios tutoriais. UFRGS, Porto Alegre, 1998. In: ROSA, R. Sistema de Informação Geográfica. Universidade Federal de Uberlândia, Instituto de Geografia, Laboratório de Geoprocessamento. Uberlândia: 2004.

IPT (INSTITUTO TECNOLÓGICO DO ESTADO DE SÃO PAULO) – Mapa Geológico do Estado de São Paulo. Escala 1:500.000. Volume I. Governo de São Paulo, IPT. 1981.

IPT (INSTITUTO TECNOLÓGICO DO ESTADO DE SÃO PAULO) – Geologia das Folhas Jacareí, Tremembé, Taubaté e Pindamonhangaba. Escala 1:50.000. Relatório 28732/1990. Secretaria da Ciência, tecnologia e Desenvolvimento Econômico/Governo de São Paulo. 1990.

IPT (INSTITUTO TECNOLÓGICO DO ESTADO DE SÃO PAULO). Mapa Geomorfológico do Estado de São Paulo. São Paulo, Instituto de Pesquisas Tecnológicas, 1981. 94p. PONÇANO, W.L. (coordenador).

LIMA, W. P. Impacto Ambiental do Eucalipto. São Paulo: EDUSP, 1996. 301p.

LONGLEY, P. A.; Goodchild, M. F.; Maguire, D. J.; Rhind, D. W. Geographic Information Systems and Science. 2 ed. Chichester: John Wiley & Sons Ltd, 2005. 517p.

- LOUMAN, B.; DAVID, Q.; MARGARITA, N. (2001). Silvicultura de Bosques Latifoliados Húmidos com ênfases em América Central. CATIE. Turrialba, Costa Rica. 265p. In: RIBEIRO, N.; SITO, A. A.; GUEDES, B. A.; STAISS, C. Manual de Silvicultura Tropical. Universidade Eduardo Modlane. Faculdade de Agronomia e Engenharia Florestal. Publicação: FAO, Projeto GCP/Moz/056/Net. Maputo: 2002.
- LISBOA FILHO, J. Projeto de Banco de Dados para Sistemas de Informação Geográfica. Revista Eletrônica de Iniciação Científica – REIC/SBC, v.1, n.2, 2011. Disponível online em: < ftp://www.cefetes.br/Cursos/Geomatica/Wellington/N21_SIG/ProjetoBDparaSistemasdeInformacaoGeografica.pdf. Acesso em: 05 jun 2012.
- MARENGO, J. A.; ALVES, L. M. Tendências Hidrológicas da Bacia do Rio Paraíba do Sul. Artigo Revista Brasileira de Meteorologia. CPTEC/INPE, Cachoeira Paulista. 2005.
- MOEMA, J. C. A. Curso de Infraestrutura Nacional de Dados Espaciais – INDE. 2012. Publicação online em: http://www.mundogeoconnect.com/2012/arquivos/29k/Moema_Jose_de_Carvalho_Augusto_MundoGEOConnect. Acesso em: 05 jun 2012.
- MOREIRA, M. A. Fundamentos do Sensoriamento Remoto e metodologias de aplicação. Viçosa: UFV, 2007. 301 p.
- OLIVEIRA, J.B.; CAMERGO, M.N.; ROSSI, M.; CALDERANO FILHO, B. Mapa Pedológico do Estado de São Paulo. Campinas, IAC. 1999.
- OREA, D. G. Ordenación Territorial, 2ª. Ed. Madrid: Ediciones Mundi-Prensa, 2007. 766p.
- RIBEIRO, G. P. Tecnologias Digitais de Geoprocessamento. Anais eletrônicos do I Congresso Brasileiro de Extensão Universitária. João Pessoa: 2002. Disponível em: http://www.prac.ufpb.br/anais/Icbeu_anais/anais/tecnologia/digitais.pdf
- ROSA, R. Sistema de Informação Geográfica. Universidade Federal de Uberlândia, Instituto de Geografia, Laboratório de Geoprocessamento. Uberlândia: 2004.

- ROSA, R. Introdução ao Sensoriamento Remoto. 7. ed. Uberlândia: Editora da Universidade Federal de Uberlândia - EDUFU, 2009.
- ROSS, J.L.S. O registro cartográfico dos fatos geomórficos e a questão da taxonomia do relevo. FFLCH/USP, Revista do Departamento de Geografia, 6:17-29. 1992.
- SALAS, G. DE LA. Suelos y Ecosistemas Forestales com ênfasis em América Tropical. San José, Costa Rica: Instituto Interamericano de Cooperación para La Agricultura (IICA). 1987. 450p.
- SILVA, A. B. Sistemas de Informações Geo-referenciadas – Conceitos e Fundamentos. Campinas: Editora Unicamp, 2003. 236p.
- SILVA, J. U. L. A dinâmica atmosférica e a distribuição das chuvas na região “lesnordeste” paulista. Tese de doutorado. Universidade Estadual Paulista: UNESP, Instituto de Geociências e Ciências Exatas – Campus de Rio Claro. Rio Claro: 1999.
- SIMÕES, S. J. C. Análise dos impactos da variabilidade climática e da dinâmica do uso da terra sobre os recursos hídricos superficiais – A Bacia do Rio Paraíba do Sul (Setor Paulista). Tese de Livre Docência. Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho: UNESP. Guaratinguetá: 2007.
- TEIXEIRA, A. L. A.; MORETTI, E.; CHRISTOFOLETTI, A. Introdução aos Sistemas de Informação Geográfica. Edição do Autor, Rio Claro, 199. In: ROSA, R. Sistema de Informação Geográfica. Universidade Federal de Uberlândia, Instituto de Geografia, Laboratório de Geoprocessamento. Uberlândia: 2004.
- VALVERDE, S. R. As plantações de eucalipto no Brasil. Sociedade Brasileira de Silvicultura, 2001. Publicação online em: <http://www.sbs.org.br/destaques_plantacoesnobrasil.htm>. Acesso em: 16 ago. 2009.
- YOSHINAGA, S. - Gestão de recursos hídricos da bacia do rio Paraíba do Sul - Aplicação do conceito de geo-bio-hidrologia e da ecologia da paisagem. Programa de Políticas Públicas da FAPESP. São Paulo, FAPESP. Relatório Interno. 2003.

WORBOYS, M. F. GIS: A Computing Pespective. London: 1995.