

Proposta metodológica para a definição de corredor ecológico com base em modelagem cartográfica – a bacia do rio Paraíba do Sul, porção paulista.

Pedro Ivo Mioni Camarinha¹
Carolina Cassiano Ferreira²
Mariana Cassiano Ferreira¹
Paulo Valladares Soares²
Silvio Jorge Simões¹
Isabel Cristina de Barros Trannin¹

¹ Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho – UNESP, Faculdade de Engenharia de Guaratinguetá – FEG, Departamento de Engenharia Civil. Av. Ariberto Pereira da Cunha, 333. Pedregulho. Caixa Postal 205 CEP: 12.516-410 – Guaratinguetá/SP; ² Associação Corredor Ecológico do Vale do Paraíba, Av. Santa Luzia, 1932 – 12380-000 – Santa Branca – São Paulo. E-mail: pedruivo@hotmail.com; ccfambiental@yahoo.com.br; marysjc@terra.com.br; paulo.valladares27@gmail.com; simoes@feg.unesp.br; isatrannin@feg.unesp.br.

Abstract. The Paraíba do Sul basin (or Paraíba valley), is one of most important hydrographic basin in Brazil linking the two major metropolitan centers of São Paulo and Rio de Janeiro. Historically, human activity imposed dramatic transformations of the regional landscape with a reduction in forested areas of about 80% over the last 300 years. Currently, landscape is a complex mosaic of grazing, forest, silvicultural activity and urban areas with large areas of degraded landscape. In the last years, some effort has been done to change this situation. The Associação Corredor Ecológico do Vale do Paraíba (ACEVP) intends to plant about 150000 hectares from now until 2020. Therefore, this work presents some results of a partnership between ACEVP and UNESP in order to develop a methodological proposal for establishing connectivity and ecological corridors linking forest fragments for the Paraíba do Sul basin. Physical and anthropogenic maps (drainage system, road system, geomorphology and land use and land cover) have been analyzed using advanced geospatial analysis tools including raster operation and reclassification. A group of experts in Earth Sciences and Environmental Engineering has applied a scale factor that ranges from most to lower suitable to the forest connectivity. The integration of the four maps mentioned above make possible to trace the best paths to link forest fragments on a regional scale.

Palavras-chave: revegetation, maps algebra, geospatial analysis; revegetação, álgebra de mapas; análises geoestatísticas.

1. Introdução

Historicamente, a atividade humana imprimiu transformações dramáticas na paisagem regional do Sudeste brasileiro com uma redução da área de floresta de aproximadamente 81% para 8% nos últimos 300 anos (Fujieda et al., 1997). Uma região que representa bem estas condições de desmatamento é a do Vale do Paraíba, situada entre as cidades de São Paulo e Rio de Janeiro. Registros e reconstituições da vegetação indicam que esta região apresentava-se, originalmente, coberta por uma floresta tropical latifoliada em quase toda a sua extensão.

O processo de desmatamento iniciado em meados do século XVII com o “ciclo da cana-de-açúcar”, intensificou-se com o ciclo do café, o qual teve um importante papel na região do Vale do Paraíba e adjacências a partir do século XVIII. Conforme destacam Aquino & Farias (1998), a ocupação do solo com a cultura cafeeira tornou-se praticamente uniforme no Médio Vale do Paraíba, sendo responsável pela quase totalidade da produção cafeeira do país durante o século XIX. Com a decadência do ciclo do café devido, entre outros fatores ao esgotamento dos solos e ao desmatamento, a principal atividade rural passou a ser a pecuária por meio da criação extensiva de gado leiteiro e das atividades dela decorrentes, ocupando tanto as áreas de morros e serras como as áreas de planície de várzea. Com o passar dos anos, as atividades agrícolas foram reduzidas ao mínimo; as culturas de encostas passaram a ser associadas à pequenas áreas ou atividades de subsistência, representadas tanto pelas culturas anuais,

quanto temporárias. A ação intensiva do homem no decorrer dos diversos ciclos econômicos, teve como resultado uma intensa devastação das florestas restando, na maioria dos casos, pequenos fragmentos isolados. As condições de pastos abandonados, solos pouco espessos (cambissolos) e relevos íngremes propiciaram as condições para se instalar, nas últimas décadas, uma significativa participação da silvicultura na região.

Desta forma, a atual paisagem do Vale do Paraíba é formada por um complexo mosaico de constituído de pastos, florestas e áreas urbanas, o qual está associado aos diversos usos da terra relacionados às atividades rurais, urbanas e de mineração. Considerando a terminologia utilizada pela Ecologia da Paisagem, as áreas de pastos constituem o elemento *matriz*, enquanto os demais usos seriam *pedaços* (*patches*) inseridos na matriz (Forman & Godron, 1986; Forman, 1995).

As áreas de vegetação representam em torno de 11% da superfície da bacia do rio Paraíba do Sul (porção paulista), sendo boa parte dela constituída de fragmentos isolados de diferentes dimensões e baixa conectividade. Para reverter esta situação, a Associação Corredor Ecológico do Vale do Paraíba (ACEVP), em parceria com várias instituições financiadoras desenvolveu um projeto que tem como meta recuperar 150 mil hectares de áreas degradadas da porção paulista do Vale do Paraíba até 2020. Este trabalho, gerado da parceria entre o Departamento de Engenharia Civil, da Faculdade de Engenharia de Guaratinguetá, da UNESP e a ACEVP, tem o objetivo de propor um procedimento metodológico que possa selecionar áreas prioritárias para o estabelecimento de linhas de conectividade, ou corredores ecológicos. Esta metodologia integra quatro parâmetros do meio físico: 1) redes de drenagem, 2) malha viária, 3) formas de relevo e 4) uso e ocupação do solo, empregando ferramentas avançadas de análise geoespacial para gerar um mapa que aponte as áreas mais adequadas para a implantação de corredores ecológicos.

2. Metodologia de Trabalho

2.1. Área de estudo

A área de estudo corresponde à porção paulista da bacia do Rio Paraíba do Sul, que integra a região hidrográfica do leste brasileiro. A superfície da bacia é avaliada em cerca de 57.000 km² e corresponde a pouco menos de 0.7% da área do país e 6% da superfície da região Sudeste do Brasil. A porção da bacia que está sendo estudada neste trabalho está inserida no Estado de São Paulo (Alto e Médio Vale do Paraíba do Sul), possuindo cerca de 13.500 km² (Figura 1). A escolha desta bacia se deve à importância que esta representa para a conectividade entre as serras do Mar e da Mantiqueira, sendo utilizada a base de dados já disponível no Laboratório de Análise GeoEspacial (LAGE), do Departamento de Engenharia Civil, da FEG/UNESP.

A região do Vale do Paraíba, em sua porção paulista, constitui um ambiente geológico/geomorfológico bastante diversificado, formado por rochas ígneas e metamórficas associadas às grandes serras longitudinais encontradas na região, Serra do Mar e Serra da Mantiqueira, e por rochas sedimentares associadas a relevos colinosos e a planícies aluvionares. O detalhamento geológico e geomorfológico da região pode ser encontrado em IPT (1981) onde pode ser verificado que as características geológicas, a diversidade do relevo e as elevadas taxas de pluviosidade são alguns dos principais fatores que influenciaram na composição e estruturação dos solos encontrados na região. De acordo com Oliveira et al. (1999), os principais solos encontrados na região são os Argissolos Vermelho-Amarelos (PVA), Latossolos Vermelho-Amarelos (LVA), Gleissolos Melânicos (GM) e Cambissolos Háplicos (CX).

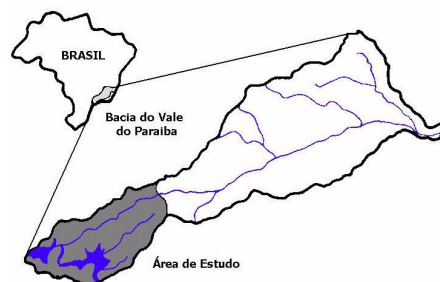


Figura 1 – Localização da bacia hidrográfica do Rio Paraíba do Sul.

2.2. Procedimento metodológico

Este trabalho desenvolveu procedimentos para a definição de áreas prioritárias para a criação de corredores ecológicos, por meio da integração das atividades de campo e de laboratório, tendo como base os mapas analógicos e ferramentas do geoprocessamento, buscando a melhoria contínua dos resultados (Figura 2).

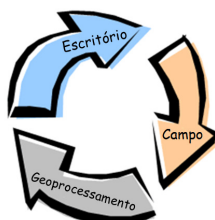


Figura 2 – Integração entre trabalhos de campo e de laboratório

Os trabalhos de campo tiveram a participação de pesquisadores, especialistas, alunos de graduação e pós-graduação. Nesta etapa foram levantados dados referentes ao meio físico, à infra-estrutura e sócio-econômicos da área de estudo.

Os trabalhos de laboratório constaram, inicialmente, da obtenção da informação cartográfica disponível digitalizada e organização de um banco de dados, composto por arquivos em *shapefile* e *geodatabase*. A figura 3 mostra as principais etapas do trabalho, que envolveram a análise geoespacial. O ambiente de análise geoespacial foi o software ArcGIS 9.3[®] e, particularmente, as suas extensões *Spatial Analyst*. A partir daí foram selecionados os *layers* a serem considerados e a ponderação das classes de cada *layer*, contando com a experiência de uma equipe de especialistas. Os *layers* selecionados corresponderam aos de maior importância para o estabelecimento de um corredor ecológico, ou seja, envolveram parâmetros que forneciam informações quanto às potencialidades ou dificuldades que o meio físico, a paisagem, e as ações antrópicas impunham à implementação de linhas de conectividade. Desta forma, foram selecionados os parâmetros, redes de drenagem, de malha viária, geomorfologia e uso e ocupação do solo e, a partir do cruzamento destas informações em forma espacial permitiu a identificação de áreas mais propícias para a recuperação florestal e a criação de corredores ecológicos ligando fragmentos de Mata Atlântica ainda existentes.

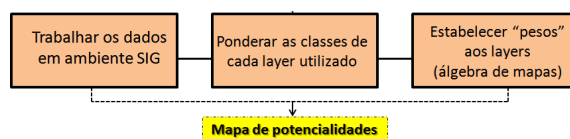


Figura 3 – Procedimento simplificado para a geração do mapa de potencialidade

Um ponto crucial do trabalho foi o estabelecimento de “pesos” aos *layers* dos mapas, o que se designa, “álgebra de mapas”. Esta linguagem fornece uma estrutura poderosa para a modelagem cartográfica (DeMers, 2002), permitindo realizar diversas funções e técnicas interativas que possibilitam gerar o mapa de potencialidade, proposto neste trabalho. A extensão *Spatial Analyst* (ESRI, 2002) empregada neste trabalho possibilita, nas versões mais recentes do ArcGIS, combinar mapas múltiplos, atribuir pesos e identificar relações.

Neste trabalho, os pesos atribuídos às classes de cada uma das camadas (*layers*) basearam-se no critério de importância. Desta forma, quanto maior a importância da classe analisada para a instalação das linhas de conectividade entre os fragmentos, menor foi sua pontuação, ou seja, as classes mais favoráveis receberam valor 1 e as demais, valores acima deste. Esta pontuação recebeu a terminologia de “custo”, que expressa a facilidade (baixos valores) ou a dificuldade (maiores valores) de cada região receber a implantação de uma floresta, para cada uma das camadas (*layers*) selecionadas.

Para o **layer densidade de drenagem** foram consideradas as linhas de drenagem em escala 1:50.000 produzidas pelo DAEE. Os dados foram reclassificados e considerada desde a densidade muito alta de drenagem (valor 1) até a densidade mais baixa (valor 5). Portanto, as áreas com maior potencial hídrico corresponderam as mais adequadas ao estabelecimento dos corredores ecológicos. O **layer densidade de estradas** foi gerado seguindo os mesmos procedimentos que o *layer* anterior, entretanto, a base de dados utilizada, de 1:50.000 fornecida pelo DAEE, contém muitas linhas, que representam estradas e vias. Por este motivo, optou-se por dividir em cinco classes diferentes, correspondendo desde a densidade muito baixa (valor 1) até as densidades muito altas, próximas aos centros urbanos (valor 5). Para a **geomorfologia**, um grupo de especialistas atribuiu valores para cada unidade geomorfológica. O princípio utilizado foi o do “quanto pior, melhor”, pois as florestas não devem concorrer com outros tipos de uso do solo, que pode ser mais apropriado à atividade agrícola ou à expansão urbana. Desta forma, os relevos de escarpas receberam a melhor pontuação (valor 1), enquanto os relevos de colinas receberam uma pontuação muito baixa (valor 4). As áreas de planície aluvionar, por serem áreas impróprias ao desenvolvimento florestal, receberam a menor pontuação (valor 1). Para o **uso do solo** foram considerados vários *layers* na análise, envolvendo as seguintes classes: áreas florestadas, reflorestamentos, pastagem, áreas de represas e áreas urbanas. Para as áreas florestadas foram considerados dois *shapefiles*. O primeiro, elaborado pelo Instituto Florestal de São Paulo, em 2005, representando todos os remanescentes de mata nativa e áreas reflorestadas encontradas no Vale do Paraíba. O segundo, representado pela base de dados da empresa Fibria S.A., a qual possui a maior parte das fazendas de eucalipto na região do Vale do Paraíba. Os fragmentos de mata receberam um “custo” mais baixo que os de capoeira. Outro fator importante e que deve ser levado em consideração é a área dos fragmentos. Não é regra geral, mas sabe-se que fragmentos maiores tendem a apresentar menor efeito de borda que fragmentos pequenos, além de poder ser habitat de um número maior de espécies e, baseando-se nesses fatores foram estipulados os “custos” para mata e capoeira e para o tamanho das áreas, apresentados na tabela 1.

Tabela 1 – Relação entre tipos de fragmentos e tamanho das áreas e seus respectivos “custos”.

Tipo do Fragmento	Área (ha)	"Custo"
Mata	< 100	4
	250 > área > 100	3
	500 > área > 250	2
	> 500	1
Capoeira	< 100	6
	250 > área > 100	4
	500 > área > 250	3
	> 500	2

As áreas de reflorestamento possuem uma importância significativa na região, devido ao grande número de fazendas de eucalipto. Por outro lado, muitas vezes, estas fazendas de eucalipto possuem fragmentos de mata nativa (reservas legais e APP's) ligados às plantações. Neste aspecto, estas áreas apresentaram um grande potencial para os corredores e receberam um valor de “custo” 3 (três). As áreas de pastagem, corresponderam à matriz da paisagem, por ocuparem mais de 55% da área total. Como o plantio de floresta não deve competir diretamente com outros usos e devido ao elevado grau de degradação, estas regiões receberam um valor de “custo” 7 (sete). As áreas urbanas representam uma barreira para o traçado de uma linha de conectividade e aumentam a vulnerabilidade dos remanescentes próximos. Por isso, todas as áreas urbanas identificadas receberam o valor de “custo” máximo, 10 (dez). As áreas de inundação, representadas pelas áreas próximas ao Rio Paraíba do Sul, estão sujeitas à inundação, principalmente, em períodos chuvosos, o que as tornam impróprias ao plantio de espécies florestais, por isso, o “custo” atribuído a esta camada foi 9 (nove). As áreas de drenagem, cobertas por água, obviamente, impossibilitam o plantio de florestas e, por isso, o valor de “custo” atribuído a estas áreas foi 10 (dez).

3. Resultados e Discussão

A densidade da malha viária da região é elevada e representa um grande obstáculo ao plantio de florestas, dificultando a conexão física entre fragmentos de mata nativa. O conhecimento de seus traçados e de suas características são essenciais para nortear o planejamento e traçado das linhas de conectividade entre a Serra do Mar e a Serra da Mantiqueira. Uma estrada de servidão (particular) não pavimentada, muito comum em áreas rurais, causará uma pequena vulnerabilidade à floresta quando comparada, por exemplo, com uma estrada municipal pavimentada, onde o fluxo de automóveis é substancialmente maior. A figura 4 ilustra o processo de transformação de um mapa da malha viária (vetorial), para o mapa de densidade de estradas e, finalmente, o mapa com as classes de ponderação. Nesta figura é possível observar que, as melhores áreas correspondem às regiões próximas aos divisores d'água e as menos adequadas próximas ao eixo do rio Paraíba do Sul, no qual concentram-se diversas cidades grandes e de médio porte em um processo intenso de conurbação.

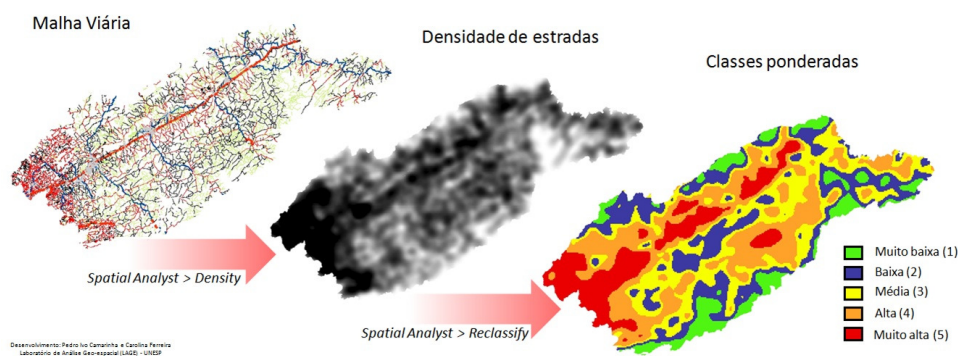


Figura 4 – Processo esquemático de transformação do sistema viário nas classes de ponderação

A figura 5 ilustra o processo de transformação de um mapa de drenagem (vetorial), para o mapa de densidade de drenagem e, finalmente, o mapa com as classes de ponderação. Pode-se observar que as áreas mais favoráveis (valor 1) correspondem a duas áreas distintas de direção NE-SW, caracterizadas pela alta densidade de drenagem e pelos vales encaixados, que correspondem aos relevos mais íngremes.

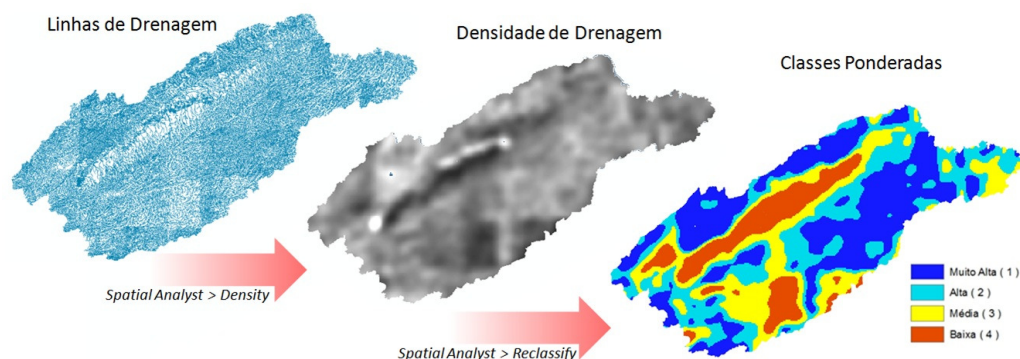


Figura 5 – Processo esquemático de transformação de linhas de drenagem nas classes de ponderação

A geomorfologia pode fornecer informações importantes para a identificação dos locais com potencial para o plantio de florestas. Além de estar ligada à geologia, apresenta também relações importantes com os tipos de solo encontrados na região. Para este *layer* o princípio foi definir pesos específicos atribuídos por uma equipe interdisciplinar buscando estabelecer notas para cada unidade geomorfológica (Figura 6). Neste contexto, os relevos de escarpas e serras, com maiores altitudes e declividades, foram considerados os mais favoráveis e os relevos de colinas, onde podem se desenvolver outras atividades econômicas, foram considerados menos favoráveis. A região de planície aluvionar também foi considerada, obviamente, uma área pouco propícia ao desenvolvimento de florestas por se tratar de um ecossistema com características específicas, geralmente constituído de solos hidromórficos e nível freático próximo à superfície.

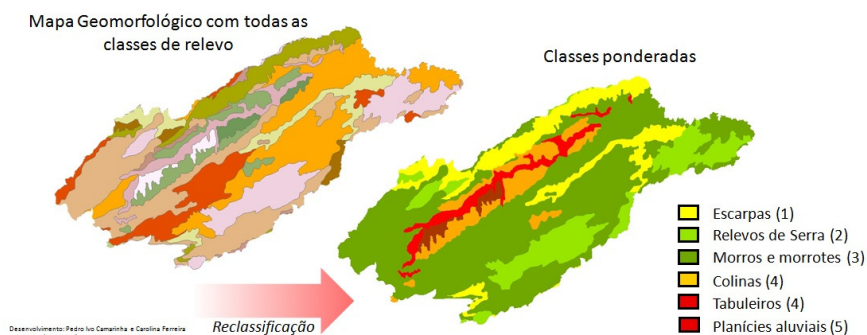


Figura 6 – Mapa geomorfológico e as classes ponderadas depois de reclassificadas.

Para estabelecer as classes de ponderação para as feições ligadas ao uso da terra foi utilizados o mapa de uso e ocupação do solo da região do Vale do Paraíba, apresentado na figura 7. A ocupação do solo por floresta e reflorestamento representaram a condição mais adequada; a pastagem uma condição intermediária e as áreas urbanas permaneceram entre os tipos de uso do solo mais desfavoráveis. Pelo mapa das classes ponderadas pode-se observar que as áreas próximas aos divisores d'água, novamente se apresentaram como as mais adequadas à implantação de uma linha de conectividade.

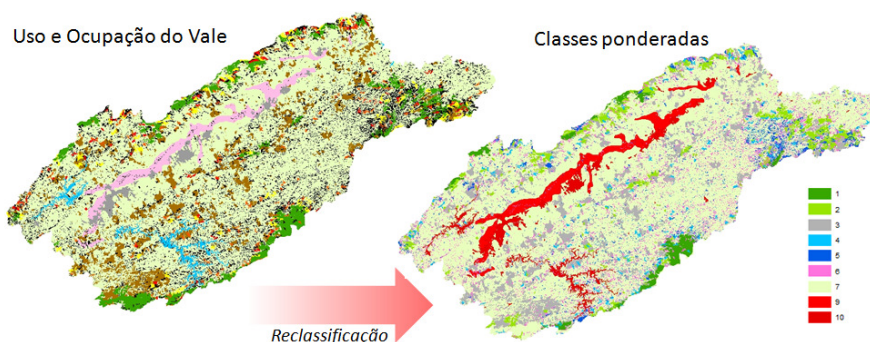


Figura 7 – Mapa de uso e ocupação do solo e mapa de classes ponderadas.

Após a obtenção destes mapas de classes ponderadas para os quatro parâmetros selecionados, o próximo passo foi estabelecer pesos a estes *layers* (Figura 8). O mapa de uso e ocupação do solo recebeu o maior peso (35%) devido às relações entre florestas naturais e demais usos, o que é bem estabelecido nos princípios de ecologia da paisagem (Forman e Godron, 1986).

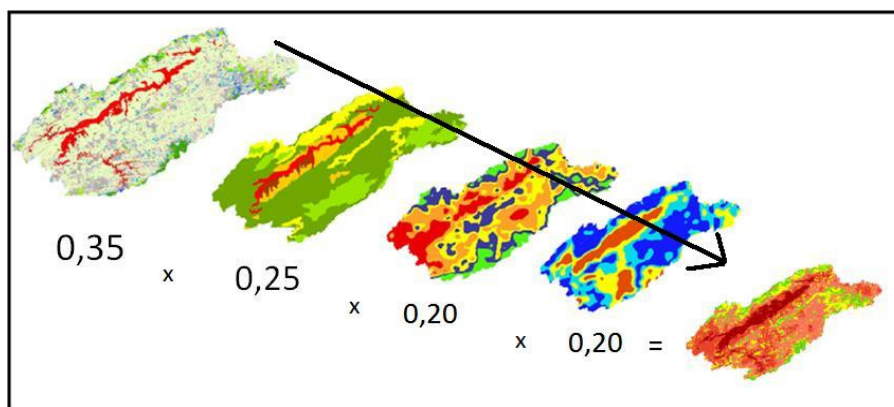


Figura 8 – Pesos atribuídos aos *layers* e obtenção do mapa da potencialidade de áreas à linha de conectividade.

O mapa geomorfológico teve o segundo maior peso (25%) em virtude da evidente relação entre tipos de relevo e as diferentes formas de ocupação na bacia hidrográfica do Rio Paraíba do Sul. Os sistemas de drenagem e viário representaram cada um, 20% do peso total, pois apresentaram um peso relativamente menor do que o uso e ocupação do solo e que a geomorfologia. No mapa de potencialidade das áreas à linha de conectividade, as cores esverdeadas representam as áreas mais adequadas ao estabelecimento do processo de implantação dos corredores ecológicos, que deverão integrar as duas áreas próximas aos divisores d'água, a Serra da Mantiqueira, na porção noroeste e a Serra do Mar, nas porções nordeste e sudeste.

Para uma melhor visualização do Mapa de Potencialidade, apresenta-se a Figura 9. Procurou-se integrar as duas áreas próximas aos divisores d'água, a Serra da Mantiqueira, e a Serra do Mar através dos locais considerados ótimos (verde) e bons (amarelo).

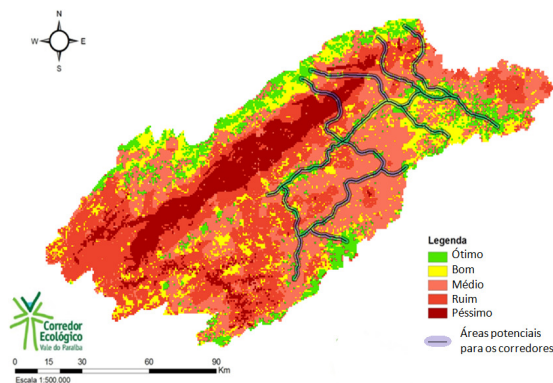


Figura 9 – Mapa de Potencialidades para a implementação de corredores ecológicos

4. Conclusão

O estabelecimento de um corredor ecológico é baseado, muitas vezes, em critérios estritamente biológicos, sem considerar a complexidade dos elementos que compõem a paisagem natural e antropogênica. O trabalho aqui apresentado estabeleceu áreas prioritárias, por meio de critérios que podem viabilizar a implantação dos corredores ecológicos na bacia hidrográfica do Rio Paraíba do Sul. Os resultados mostraram que o emprego de ferramentas de análise geoespacial é um poderoso instrumento para definir as áreas com maior potencial para a implantação de linhas. Deve-se ainda ressaltar que a complementação destes estudos inclui a análise das características sócio-institucionais dos municípios onde foram identificadas áreas com alto potencial, a fim de traçar as melhores estratégias de atuação para que as ações de reflorestamento obtenham êxito a longo prazo.

Agradecimentos

Os autores agradecem o suporte financeiro da Associação Corredor Ecológico do Vale do Paraíba. Também agradecem os levantamentos de campo realizados pelos alunos de graduação dos cursos de Engenharia Civil e Engenharia de Materiais da FEG/UNESP: André Luiz Reis Rangel, Francielle Souza Pinto, Henrique Manço Dutra, José Alberto de Oliveira, Liliane Lelis de Oliveira, Raffael Patto Gonçalves, Renan Tavares Ruy, Sabrina Sara Rossi e também o aluno de pós-graduação Bruno Pavanelli Zanella e da aluna de biologia da UNITAU Viridiana Mourão Ferreira Leite.

Referências Bibliográficas

- Aquino, L.C.S.; Farias, C.M.M. Processos de ocupação e desenvolvimento econômico da bacia. In: Bizerril, C.R.S.F.; Araújo, L.M.N.; Tosin, P.C. (orgs.) Contribuição ao Conhecimento da Bacia do Rio Paraíba do Sul – Coletânea de Estudos. Brasília, ANEEL., 1998. p. 49-54.
- Demers, M. GIS modeling in Raster. New York, John Wiley. 2002. 203p.
- ESRI Using ArcGIS Spatial Analyst. Redland, ESRI. 2002. 238p.
- Forman, R.T. Land mosaic. The ecology of landscape and regions. Nova York, Cambridge University Press. 1995. 632p.
- Forman, R.T.; Godron, M. Landscape ecology. Nova York, John Wiley. 1986. 619p.
- Fujieda, M.; Kudoh, T.; Cicco, V.; Carvalho, J.L. Hydrological processes at two subtropical forest catchments: the Serra do Mar, Sao Paulo, Brazil. Journal of Hydrology, v. 196, p.26-46, 1997.
- 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.
- Oliveira, J.B.; Camargo, M.N.; Rossi, M.; Calderano Filho, B. Mapa Pedológico do Estado de São Paulo. Campinas, IAC. 1999.