

# Identificação de Áreas Prioritárias para Recuperação Florestal Através da Rede Neural *Self-Organizing Maps* (SOM)

*Identification of Priority Areas for Forest Recuperation through Self-Organizing Maps neural network*

Gustavo Felipe Balué Arcoverde<sup>1</sup>

Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais <sup>1</sup>  
Av. dos Astronautas, Caixa Postal 515 (12245-970)  
São José dos Campos - SP, Brasil  
[gustavo@dsr.inpe.br](mailto:gustavo@dsr.inpe.br)

## RESUMO

O objetivo deste trabalho foi identificar áreas prioritárias para a recuperação florestal e analisar variáveis relacionadas através da rede neural *Self organizing Maps* (SOM) em duas escalas. Primeiramente, foi identificada uma sub-bacia hidrográfica prioritária para a recuperação florestal na Unidade de Gerenciamento de Recursos Hídricos Paulista (UGRHI) do rio Paraíba do Sul através da SOM. Foram utilizadas variáveis de Conectividade ambiental e Cobertura Florestal em Áreas de Preservação Permanente de cursos d'água (APPÁgua). Foi definida uma sub-bacia hidrográfica situada na represa do Jaguari, município de Igaratá. Nas APPÁgua desta sub-bacia hidrográfica foi realizada análise de variáveis pela SOM afim de detectar variáveis e áreas mais propícias para a recuperação florestal. Foram consideradas variáveis de distancia a fragmentos florestais, a áreas urbanas e estradas pavimentadas, e a construções rurais; assim como NDVI e Potencial Natural de Erodibilidade Laminar. Em ambas escalas, as áreas prioritárias para a recuperação florestal foram constatadas através de histogramas de agrupamentos da SOM. Também, Foi gerado Mapa de Contribuição de amostras para Neurônios Vencedores, o que permitiu uma nova abordagem para análise dos agrupamentos gerados.

**Palavras Chave:** SOM, recuperação florestal, bacia hidrográfica, análise espacial

## ABSTRACT

*The work's objective was identify priority areas for forest recuperation and analyze variables related through Self organizing Maps (SOM) neural network into two spatial scales. First, it was identified a priority sub-watershed for Forest*

*recuperation in the Managing Unit of Hidrological Resources of São Paulo Estate (MUFR) of Paraíba do Sul river through SOM. Variables were used for Enviromental Connectivity and Forest Cover in Permanent Preservation Areas of rivers (PPARiver). It established a sub-watershed located in Jaguari water reservoir, in Igaratá municipality. In the sub-watershed's PPARiver was anlysed variables from SOM to detect variables and areas more suitable to forest recuperation. It takes into account variables of distance to forest fragments, urban areas and paved roads, and rural constructions; as well as NDVI and Natural Potential of Superficial Erodibility. In both scales , the priority areas for forest recuperation was noted from cluster histograms of SOM. Also, It was generated Contribution Map of samples to best match units, which allowed a new approach for analysis of clusters generated.*

*Keywords: SOM, Forest recuperation, watershed, spatial analysis*

## **1 INTRODUÇÃO**

A conversão da cobertura natural por espaços alterados pelo homem alcançou magnitude sem precedentes a partir do século XX (Lambin et al., 2001). As alterações de coberturas naturais provocam desequilíbrios no ciclo de nutrientes, de energia e de permutação gênica em diferentes ecossistemas e biomas. Walker (2004) exemplifica algumas destas conseqüências, tais como: aumento de gases de efeito estufa, perda de biodiversidade, assoreamento de rios e lagos. Apesar dos diagnósticos das alterações climáticas globais devido à ação humana divulgados pelo Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC), a situação de alteração da cobertura da terra neste início de século parece não ter uma solução definitiva. Este fato está calcado, entre outros fatores, pelo crescimento populacional, necessidade por alimentos, e pela ordem macro-econômica vigente não-sustentável.

De especial interesse está o desflorestamento de florestas tropicais. São nelas onde está a maioria dos países subdesenvolvidos e em desenvolvimento, e, portanto abarca um crescimento populacional maior que nas demais regiões do planeta. Este fato propicia maior uso de recursos naturais locais e acelera a destruição de ecossistemas de grande biodiversidade (Myers et al., 2000). Um destes exemplos, onde a exploração humana tem perdurado há 500 anos e cujo discurso atual em pauta é o de evitar a extinção de todo um bioma, é o caso da Mata Atlântica no Brasil. A Mata Atlântica é um dos ecossistemas mais ricos do planeta e integra a lista dos 25 biomas de alta diversidade mais ameaçados (Mittermeier et al., 1999; Rodrigues et al., 2009). Segundo a Fundação SOS Mata Atlântica e o INPE (2009) o mesmo está reduzido a 8,8 % de sua extensão original. Deste fato desprende-se a alta fragmentação do habitat e a perda de sua biodiversidade. Atualmente, a área original deste Bioma abriga mais de 60% da população brasileira e mais de 70% do

PIB nacional (Conservação Internacional, 2008). O Bioma também significa abrigo para várias populações tradicionais e garantia de abastecimento de água para mais de 100 milhões de pessoas (Conservação Internacional, 2008). No entanto, a sua conservação se resume a Unidades de Conservação, as quais foram implantadas de forma tardia, em terrenos com alta declividade, onde o acesso a máquinas e a instalação humana são dificultosos.

Segundo o Inventário florestal da vegetação natural do Estado de São Paulo (Instituto Florestal, 2005), a vegetação natural remanescente situada em Unidades de Conservação no Estado é de 25%, sendo que a outra parte está situada em áreas particulares. Considerando que este Bioma está em uma situação extremamente fragmentada e que a aplicação da legislação ambiental para propriedades particulares é débil em todo o país, medidas para a conservação florestal devem ser reavaliadas. Devem ser tomadas medidas proativas que forneçam alternativas para as propriedades particulares, além de medidas estritamente punitivas. Portanto, programas de recuperação florestal na propriedade particular associado aos modos de produção rural e industrial mais sustentáveis, visando inclusive, a valoração monetária do produtor para tais medidas, são altamente indicados para um Bioma tão ameaçado. Todavia, devido à rápida dinâmica do desflorestamento nestas áreas, tais programas, além do fator político, devem ter forte embasamento técnico-científico para a alocação dos mesmos. Tais estudos devem contemplar o histórico ambiental da área, resiliência ambiental, escolha das melhores sementes, técnicas de recuperação mais adequadas, recursos humanos envolvidos, convênios, setor financeiro, entre outros. Todos estes fatores, mais ou menos, estão relacionados com a localidade a ser executado o programa de recuperação florestal. Portanto, a questão espacial é uma variável implícita para qualquer programa de implantação de programa de recuperação florestal, assim como, também pode ser decisiva para a evolução adequada das áreas com recuperação florestal.

Para a recuperação florestal, a questão espacial está estreitamente relacionada com fatores edafo-climáticos, ecológicos e com áreas de influência antrópica atual e potencial. A partir destes fatores podem ser desprendidas diferentes variáveis geográficas, cujos métodos de análise devem considerar a percepção visual da distribuição espacial das mesmas, assim como, a tradução de padrões existentes com considerações objetivas e mensuráveis (Embrapa, 2004). Variáveis geográficas e métodos de análise associados pertencem atualmente e inevitavelmente ao âmbito das disciplinas do sensoriamento remoto e geoprocessamento. A partir destas, existem inúmeros algoritmos e técnicas de análise espacial de variáveis geográficas. Uma das técnicas que preenche os requisitos supracitados e que tem sido incorporada cada vez mais no âmbito das ciências espaciais é a rede neural artificial (RNA) *Self-Organizing Maps* (conhecida como SOM ou Mapas Auto-Organizáveis) (Villmann et al., 2003; Veronose, 2007; Gonçalves et al., 2008; Arcoverde, 2008; Ximenes, 2008; Freitas et al., 2009).

A RNA SOM começou a ser desenvolvida por Willshaw e Von Der Malsburg (1976) e foi aperfeiçoada por Kohonen (1982). Diferentemente de outras redes neurais, que se baseiam na observação de neurônios, as bases teóricas da SOM estão relacionadas às observações neurobiológicas do córtex cerebral humano, em que diferentes entradas sensoriais recebidas (motoras, somestésica, visual, auditiva, etc.) são “mapeadas” para áreas especializadas do córtex cerebral de forma “ordenada” (HAYKIN, 2001). Ou seja, a SOM faz parte da disciplina de reconhecimento de padrões e se dispõe principalmente à análise exploratória de dados e agrupamento dos mesmos (Kohonen, 1982). A mesma baseia-se na aprendizagem competitiva e não-supervisionada (HAYKIN, 2001; KOHONEN et al., 2000). Cada variável é mapeada em um espaço finito de neurônios organizados em arranjo, geralmente bidimensional (Mapa de Kohonen) (Figura 1). Preliminarmente, são distribuídos pesos aleatórios para cada neurônio do Mapa de Kohonen e o conjunto de vetores de cada variável é normalizado (fase de inicialização). O treinamento do SOM pode ser realizado de forma seqüencial ou por lote. Na forma seqüencial, o treinamento é realizado para cada vetor de uma respectiva variável (iteração). É calculada a distância mínima euclidiana deste vetor para cada um dos neurônios do Mapa de Kohonen, o neurônio que tiver a menor distância será denominado neurônio vencedor (fase de competição). Este determinará a localização espacial dos neurônios vizinhos (exitados), aproximando-os para si, baseando-se em um raio de influência, e geralmente utilizando uma função gaussiana (fase de cooperação). Finalmente, é realizada a atualização dos pesos sinápticos da função discriminante dos neurônios próximos ao neurônio vencedor. O processo de treinamento pode ser dividido em uma primeira fase de ordenação e outra de convergência. Na ordenação são utilizados raios e taxas de aprendizagem maiores, e na convergência estes valores são reduzidos. Como critérios de quantificação de erros, são calculados o erro de quantização médio e o erro topológico. Para explicações mais completas podem ser consultados Vesanto et al., (2000); Haykin (2001); Silva (2004); Arcoverde (2008) e Ximenes (2008).

Haja vista estas explicações, a SOM realiza uma projeção não linear do espaço de entrada, executando uma redução dimensional dos dados, preservando ao máximo a topologia do espaço original (Zuchini, 2003). Também, o processo de aprendizagem do SOM é considerado não-paramétrico e é um processo recursivo de regressão (Kohonen, 1998). Desta forma a SOM tem potencial para visualização de dados, condensação de dados, mineração de dados, decorrelação de dados, entre outros. Vesanto et al. (2000) propuseram algumas heurísticas para o cálculo do Mapa de Kohonen, assim como para os parâmetros de treinamento do SOM, ao desenvolver o aplicativo SOM toolbox para o programa Matlab (disponível gratuitamente em <http://www.cis.hut.fi/projects/somtoolbox/>). Uma das principais ferramentas visuais

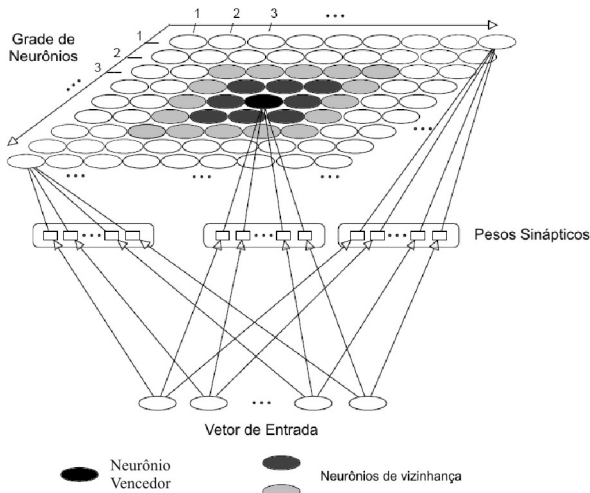


FIGURA 1 - Mapa de Kohonen.

Fonte: Adaptado de Ulthc (1996)

deste aplicativo é a matriz da distância unificada (U-matrix), que mostra a distância entre os respectivos neurônios de cada Mapa de Kohonen correspondente a cada variável do dado (Componentes) (Vesanto et al., 2000). Na U-Matrix estão condensadas as informações de todas as componentes, e portanto é possível verificar visualmente os possíveis agrupamentos. No SOMtoolbox, é possível discretizar os possíveis agrupamentos através de método K-médias entre as componentes existentes. A avaliação quantitativa dos agrupamentos definidos pelo K-Médias pode ser realizada pelo índice Davies-Bouldin (Vesanto et al., 2000). Este índice visa encontrar agrupamentos esféricos, com compacidade interna e, ao mesmo tempo, com boa separabilidade entre demais agrupamentos (SIPONEN et al., 2001). O menor valor deste índice indica o melhor particionamento de agrupamentos.

Considerando a problemática e a técnica exposta, o objetivo principal deste trabalho foi identificar áreas prioritárias para a recuperação florestal através da rede neural *Self-Organizing Maps* (SOM). Como objetivo secundário foi o de analisar a SOM como ferramenta de exploração de variáveis para a recuperação florestal.

## 2 METODOLOGIA

### 2.1 Área de Estudo: escolha e definição

Este trabalho teve o intuito de trabalhar com áreas próximas às de bacias hidrográficas em um nível de escala regional e sub-regional. Escolheu-se primeiramente uma bacia hidrográfica em nível de escala regional, que englobasse vários municípios. Esta bacia hidrográfica foi subdividida em sub-bacias hidrográficas e estas seriam os elementos de análise para a SOM identificar aquelas com maior prioridade para a recuperação florestal na escala regional. Em continuação, foi escolhida somente uma das sub-bacias hidrográficas que foram definidas como prioritárias para recuperação florestal. Esta sub-bacia hidrografia foi analisada pela SOM a nível sub-regional, considerando somente as Áreas de Preservação Permanente (APP) de cursos d'água (APP-Água), de acordo com a Resolução CONAMA 303/2002. Foram definidas as regiões de APP-Água mais críticas para a recuperação florestal nesta sub-bacia hidrográfica.

Para a escolha da bacia hidrográfica e posteriores etapas, foi necessário obter informação espacial de cobertura florestal. O Estado de São Paulo, através do Instituto Florestal, publicou em 2005 o seu último inventário florestal (São Paulo, 2005). Desta forma, devido à existência desta informação, a escolha da bacia hidrográfica foi no Estado de São Paulo. Além da contribuição do inventário florestal para a escolha da bacia hidrográfica, este estudo também utilizou o Mapa “Áreas prioritárias para incremento da conectividade” (MAPIC). Este mapa é um resultado da Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo (FAPESP), no âmbito do Projeto Diretrizes para a Conservação e Restauração da Biodiversidade no Estado de São Paulo, em 2007. Este mapa foi realizado com auxílio de oficinas entre vários pesquisadores, considerando levantamentos de flora e fauna. O MAPIC dispõe faixas geográficas para compensação ambiental diferenciada, objeto de pedido de autorização para supressão de vegetação nativa no Estado de São Paulo (Resolução SMA 85/2008). Além disto, o MAPIC passou a ser utilizado para todo o planejamento ambiental no Estado de São Paulo como uma diretriz de localização no contexto ambiental, seja para o licenciamento ou para a implantação de Unidades de Conservação.

Considerando a análise visual dos dois mapas citados, foi escolhida a bacia hidrográfica da Unidade de Gerenciamento de Recursos Hídricos (UGRHI) do rio Paraíba do sul no seu trecho paulista (UGRHI-PBSUL). O sistema de coordenadas utilizado foi o UTM, fuso 23; e o Datum horizontal, SAD 69. Esta UGRHI possui áreas com um longo histórico de conversão da cobertura natural nas áreas situadas na região do vale, enquanto que sofre intensa pressão imobiliária e da indústria de papel e celulose (plantação de eucalipto) nas serras da Mantiqueira e do Mar. Estas serras, inclusive, de acordo com o MAPIC, pertencem a faixas de alta

conectividade. Para a delimitação sub-bacias hidrográficas da UGRHI-PBSUL foi utilizado o programa Automated Geospatial Watershed Assessment tool - AGWA (Miller et al., 2007) e dados de altimetria do *Shuttle Radar Topography Mission* (SRTM), ambos, disponíveis sem custos pela rede WEB de computadores.

O AGWA pode ser definido como um conjunto de ferramentas para modelagem hidrológica inseridas em um sistema de informações geográficas (Maeda, 2008). O AGWA foi desenvolvido como uma extensão na plataforma do ArcView 3.3, e neste trabalho, foi utilizado como ferramenta para delimitação de sub-bacias hidrográficas pertencentes à UGRHI-PBSUL, utilizando os dados altimétricos do SRTM. Não obstante, foi constatado que a área da UGRHI-PBSUL não corresponde exatamente a área física da bacia do rio Paraíba do sul no Estado de São Paulo. Sendo assim, após a delimitação das sub-bacias, foram necessárias edições e ajustes para que toda a área da UGRHI-PBSUL contivesse sub-bacias coerentes com sua extensão (Figura 1). A definição de parâmetros no AGWA para a delimitação de sub-bacias na UGRHI-PBSUL, visou que as dimensões médias das mesmas pudessem obter um tamanho médio a nível de sub-município da região. Os parâmetros empregados foram: limiar de 200, porcentagem de bacia hidrográfica 2%, e empregou-se o *CSA enforcement*, de forma a possibilitar as dimensões esperadas. Foram constadadas sub-bacias de tamanhos bem inferiores aos da média, caso estas viessem a ser definidas como prioritárias para a recuperação florestal, haveria de realizar uma agregação com bacias vizinhas com resultado semelhante de prioridade para recuperação florestal.

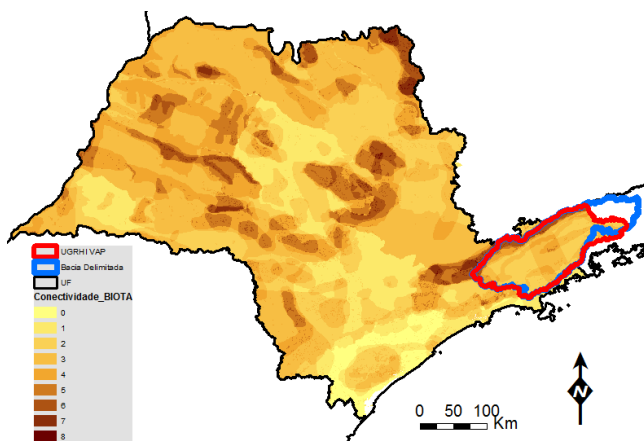


FIGURA 2 – Área de Estudo UGRHI-PBSUL (em vermelho) e Bacia Hidrográfica delimitada pelo AGWA (em azul), sobre o MAPIC

## 2.2 Material

Neste item é descrito o material utilizado na escala regional e sub-regional, separadamente. Na escala regional foram utilizados o Inventário Florestal (Instituto Florestal, 2005), o vetor de APP-Água de toda a extensão da UGRHI-PBSUL e o MAPIC, do Projeto Diretrizes para a Conservação e Restauração da Biodiversidade no Estado de São Paulo (2007). A cobertura florestal natural florestal do inventário Florestal foi subtraída para as APP-Água (APP-Água\_VEGETAÇÃO). Este dado passaria a ser analisado juntamente com o MAPIC para as sub-bacias hidrográficas delimitadas pelo AGWA, as quais passariam a ser vetores de entrada na SOM. Na escala sub-regional foram utilizados: a APP-Água\_VEGETAÇÃO, Vetores da base cartográfica IBGE escala 1:50.000, Vetores de Rodovias (DER, ?), Vetores de Construção (DAEE, ?), Dados de estações pluviométricas (ANA; DAEE, ?), Mapa de Solos (RADAMBRASIL, ?) e imagem do sensor TM/Landsat de 8 de setembro de 2004, órbita ponto 219/076. Estes dados iriam abastecer polígonos ao longo das APP-Água que foram mapeados como sem vegetação natural segundo o Inventário Florestal (Instituto Florestal, 2005).

## 2.3 Métodos

Igualmente ao item anterior, neste item é descrito os métodos utilizados na escala regional e sub-regional, separadamente.

### 2.3.1 Escala Regional

Na escala regional, as poligonais das sub-bacias geradas pelo AGWA foram abastecidas da seguinte forma:

- a) Porcentagem de APP-Água\_VEGETAÇÃO na respectiva sub-bacia hidrográfica (APP-Água\_VEGETAÇÃO). Calculada como a razão entre área de vegetação natural em APP-Água na respectiva bacia (a) e a área total de APP-Água na respectiva bacia contida na respectiva sub-bacia hidrográfica (b), conforme a Equação 1.

$$\%APP - \text{Água\_VEGETAÇÃO} = \frac{a}{a_{total}} \times 100 \quad (1)$$

- b) Valor de conectividade ponderado pelo seu respectivo valor por sub-bacia hidrográfica (Valor\_Conectividade). O valor em cada sub-bacia hidrográfica seria o resultado da soma das áreas de cada valor de conectividade  $AC_i$ , multiplicado pelo seu respectivo número de conectividade  $C_i$ , dividido pela área total da sub-bacia hidrográfica.



$$Valor\_Conectividade = \sum_{i=1}^8 \left( \frac{ACixCi}{A\_total} \right) \quad (2)$$

Considerando que o objetivo do estudo é encontrar áreas com prioridade para a recuperação florestal, nesta escala regional os valores que cumprem este objetivo para a variável “%APP-Água\_VEGETAÇÃO” devem ser baixos, e os valores para a variável “Valor\_Conectividade” devem ser altos. Dado o objetivo do trabalho, esta diferença deve ser adaptada, uma vez que os agrupamentos definidos na SOM serão melhor identificados se em todas as variáveis a quantificação de grandeza nas mesmas ocorrerem em um mesmo sentido. Sendo assim, ficou estipulado que as áreas com prioridade para a recuperação florestal, deveriam ter valores altos. Desta forma, deveu-se inverter os valores da variável “%APP-Água\_VEGETAÇÃO” multiplicando os mesmos por “-1”, assim, os seus valores físicos mais baixos passariam a ser os mais altos, e indicariam na SOM as áreas com maior prioridade para a recuperação florestal.

Além das variáveis já apresentadas, também foram utilizados na SOM os valores de coordenadas UTM do centróide de cada sub-bacia hidrográfica. Este procedimento teve o intuito de contemplar a primeira lei da geografia (Tobler, 1970 *apud* Embrapa, 2004): “*todas as coisas são parecidas,mas coisas mais próximas se parecem mais que coisas mais distantes*”. Ou seja, os valores de coordenadas passariam a ser treinados na SOM com a intenção de agregar feições mais próximas no espaço. Portanto, estes valores não foram considerados como variáveis para a definição de áreas prioritárias para a recuperação florestal, mas somente para preencher o quesito citado. Bação et al., (2004) discorrem detalhadamente sobre a importância em se utilizar a informação espacial na SOM para dados geográficos.

A SOM foi gerada por treinamento seqüencial no modo padrão do SOMToolbox, com normalização dos dados de entrada entre 0 e 1. Os mapas de kohonen resultantes de cada variável (Componentes) foram analisados visualmente, com a intenção de detectar possíveis redundâncias de informação entre os mesmos. Caso houvesse uma redundância discrepante, seria eliminada uma das duas variáveis. Também, foram avaliadas visualmente a U-Matrix e Componentes associadas, como a Componente de importância relativa, que demonstra a influência de cada variável na delimitação de agrupamentos; e a Componente de frequência de neurônios vencedores, onde é possível verificar o grau de aderência das variáveis com o resultado da SOM.

A definição de agrupamentos da SOM foi realizada através do método K-médias em todas as Componentes, inclusive as de coordenadas UTM. A escolha da quantidade de agrupamentos foi baseada no método Davies-Bouldin (Vesanto et al., 2000). Para a identificação de sub-bacias prioritárias para a recuperação florestal, realizou-se um somatório dos valores normalizados e ordenados resultantes das

Componentes para cada agrupamento definido. Desta forma, seria gerado um histograma de cada agrupamento, apresentando os agrupamentos com maiores valores do somatório realizado. Este procedimento ordenaria os agrupamentos mais indicados para a recuperação florestal. Todos os agrupamentos foram relacionados com os geo-objetos das sub-bacias hidrográficas no mapa geográfico da UGRHI-PBSUL, o que permitiria finalmente a escolha da sub-bacia com maior prioridade para recuperação florestal, dando continuação a etapa seguinte.

### **2.3.2 Escala Sub-regional**

Esta etapa se deu a partir da sub-bacia hidrográfica selecionada na etapa anterior. Nas APP-Água sem cobertura de vegetação natural foi necessário a geração de polígonos para a extração de amostras das variáveis. A representação geométrica destes polígonos para extração de valores de variáveis foi em forma de hexágonos, com 3600 m<sup>2</sup> cada. O hexágono se aproxima a forma arredondada, e portanto, possui mais área de vizinhança que a geometria retangular, sendo mais apropriado para estudos que consideram o meio natural.

Parte de alguns dos dados apresentados no item 2.2 foram geradas grades de distância. Para o cálculo de distâncias, foram consideradas as respectivas variáveis em um raio externo de 10 km do limite da sub-bacia hidrográfica. Foram geradas distâncias a partir dos fragmentos florestais do Mapa do Inventário Florestal (Instituto Florestal, 2005), para que fosse retratada a questão de conectividade entre os fragmentos, visando a recuperação de corredores florestais. Esta variável denominou-se “DIST-FRAG”. Neste sentido, seria importante também que houvesse uma prioridade de sentido na formação destes corredores entre fragmentos maiores e mais coesos. Portanto, foram delimitados os fragmentos maiores e mais arredondados baseando-se nos maiores percentis da área absoluta e da métrica shape dos mesmos, para então ser gerada a respectiva grade de distância. Esta variável foi denominada “DIST\_FRAGMAIOR”. A partir da imagem TM/Landsat 5, foram vetorizadas as manchas urbanas consolidadas, e associadas às rodovias pavimentadas, foi gerada grade de distância para as mesmas. Esta variável denominou-se “DIST\_URB\_EST”. A partir das informações pontuais de construções, foram consideradas apenas os pontos com mais de 2,5 km de distância a estradas pavimentadas e a áreas urbanas consolidadas. Este procedimento teve o intuito de considerar construções no meio rural nesta região especificamente. Seria uma forma de que áreas de recuperação pudessem ter um contato mais direto com áreas a população no meio rural. Áreas de recuperação muito inóspitas ou de difícil acesso tendem ao declínio, uma vez que a manutenção das mesmas é mais dificultosa. Esta variável denominou-se “DIST\_CONSTRURURAIIS”.

O restante das variáveis não foram geradas grades de distância, mas extraídos seus valores médios ou de soma. Mediante a imagem do sensor TM/Landsat5, foi

gerado o índice de vegetação por diferença normalizada (NDVI). Os polígonos extraíram o seu valor médio e esta variável denominou-se “NDVI”. O intuito foi de que as áreas com menos vegetação tivessem um foco maior para a recuperação florestal. Como a imagem utilizada é do início do mês de setembro, praticamente não haveria ocorrência de desenvolvimento vegetativo de possíveis culturas anuais de verão. O único fator limitante, nesta variável, é se caso houvesse plantação de Eucalipto nas áreas de APP-Água, não haveria a detecção destas áreas como prioritárias para a recuperação por espécies nativas. Com os dados de mapa de solos, pluviometria e os vetores de altimetria e cursos d’ água, foi gerado o mapa de potencial natural de erodibilidade laminar (PNEL). Esta variável demonstraria as áreas mais críticas quanto a remoção de solo em toneladas por hectare/ano. A recuperação florestal destas áreas sem cobertura vegetal é fundamental, uma vez que se evitaria o eminente assoreamento dos cursos d’ água. Para a geração do PNEL foram necessárias as transformações do mapa de solo para o fator K, dos dados de pluviometria para o fator R, assim como da geração do fator LS através do Modelo Digital de Elevação (MDE) a partir dos vetores topográficos de 1:50.000. Os valores de solo do Fator K foram retirados da literatura levantada por Machado et al., 2009. Os valores de Fator R foram calculados para cada ponto de estação pluviométrica segundo equação proposta por Lombardi Neto e Moldenhauer (1992). Portanto, posteriormente foi necessário a interpolação por krigeagem ordinária destes dados para toda a sub-bacia hidrográfica delimitada. O MDE foi gerado pelo método de interpolação disponível no ArcGIS denominado TOPOGRID. Este algoritmo foi desenvolvido por Hutchinson (1989) e é específico para gerar MDEs hidrologicamente corretos. O MDE gerado a partir do TOPOGRID pode ser gerado por pontos altimétricos, linhas de curvas de nível, linhas de cursos d’ água e polígonos que retratam lagoas. Este método usa a técnica de interpolação de diferença finita, aperfeiçoada para ter a eficácia computacional de um método de interpolação local, como o IDW, sem perder a continuidade da superfície dos métodos de interpolação globais, como Splines e Kriging (ESRI, 2006 *apud* MEDEIROS, 2009). A geração do Fator LS a partir deste MDE foi realizada através da extensão *Topocrop Terrain Indices* no ArcView 3.3. Como é conhecido na literatura, o PNEL foi calculado pela multiplicação dos fatores K, R e LS. Para cada hexágono (polígono) seria extraído o valor de soma do PNEL dos pixels subjacentes. No entanto, como é comum que valores de PNEL tenham valores muito discrepantes, e para que esta variável pudesse ser significativa na SOM, foi calculado o logaritmo na base 10 desta variável afim de que houvesse concentração de valores significativos. Esta variável passou a ser denominada “PNEL\_log”.

Igualmente ao item anterior, da escala regional, a quantificação de grandeza nas variáveis ocorre em diferentes sentidos, e portanto, deve ser adaptada. Neste caso, os valores de variáveis que cumprem o objetivo de identificação de áreas com prioridade para a recuperação florestal são: valores baixos de “DIST\_FRAG”, valores baixos de “DIST\_FRAGMAIOR”, valores altos de “DIST\_URB\_EST”,

valores baixos de “DIST\_CONSTRURAIIS”, valores baixos de “NDVI\_MEDIA” e valores altos de “PNEL\_LOG\_SOMA”. Sendo assim, igualmente ao item anterior, ficou estipulado que as áreas com prioridade para a recuperação florestal, deveriam ter valores altos. Desta forma, deveu-se inverter os valores das variáveis “DIST\_FRAG”, “DIST\_FRAGMAIOR”, “DIST\_CONSTRURAIIS” e “NDVI\_MEDIA”, multiplicando os mesmos por “-1”. Desta forma, seus valores físicos mais baixos passariam a ser os mais altos, e indicariam na SOM as áreas com maior prioridade para a recuperação florestal.

As etapas de geração e análise da SOM neste item seguem semelhantes ao item anterior, 2.3.1. Somente que nesta etapa, a fim de aprofundar a análise das áreas definidas como prioritárias para a recuperação florestal, foi gerado um mapa da contribuição das amostras na frequência de neurônios vencedores (CA). Este dado informa a aderência das respectivas amostras à SOM, e, portanto, identifica as amostras mais precisas considerando as variáveis do estudo. Neste item, os resultados da SOM não foram incorporados nas geo-objetos das sub-bacias hidrográficas, mas sim nos geo-objetos dos polígonos ao longo das APP-Água.

### 3 RESULTADOS

#### 3.1 Escala Regional

A Figura 3 apresenta a extração da “%APP-Água\_VEGETAÇÃO” para cada uma das sub-bacias hidrográficas geradas. Verificou-se que as sub-bacias mais críticas estão situadas entre os municípios de Jacareí e Taubaté. A figura 4 apresenta a extração do “Valor\_Conectividade” para cada uma das sub-bacias hidrográficas. Observa-se que a predominância se dá ao longo da Serra da Mantiqueira.

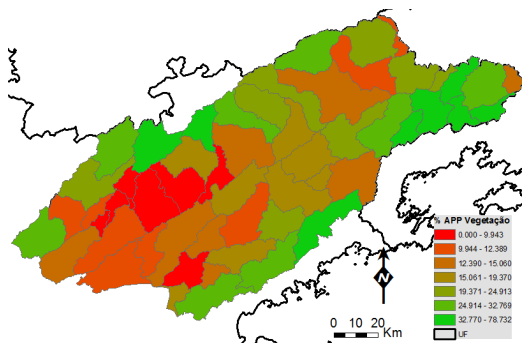


FIGURA 3 - Extração da “%APP-Água\_VEGETAÇÃO” por Sub-bacia hidrográfica.

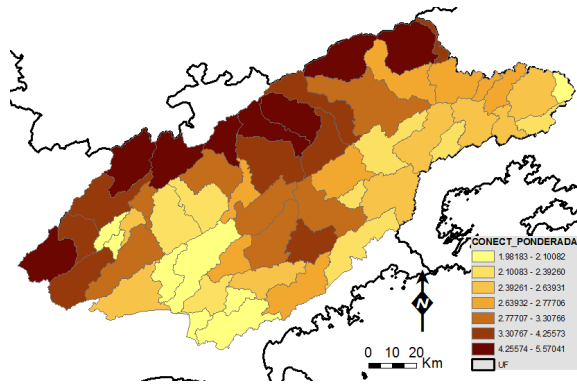


FIGURA 4 - Extração do “Valor\_Conectividade” por Sub-baca hidrográfica.

A SOM gerada nesta escala obteve erro de quantização médio de 0,219 e erro topológico de 0,036, significando erros baixos e portanto boa representação das variáveis trabalhadas pela SOM. O mapa de kohonen resultou em 35 neurônios, dispostos em 5 em linha e 7 em coluna. A Figura 5 apresenta as respectivas Componentes e a Matriz-U associada. Percebe-se que a variável “Veget” apresenta uma correlação inversa com a dado de longitude. Isto pode ser constatado no mapa da Figura 3, em que a medida que os valores de longitude das coordenadas aumentam (a oeste) é onde há tendência dos valores de “Veget” serem mais baixos. A Matriz-U se mostra confusa, dificultando a visualização de mais que dois aglomerados resultantes.

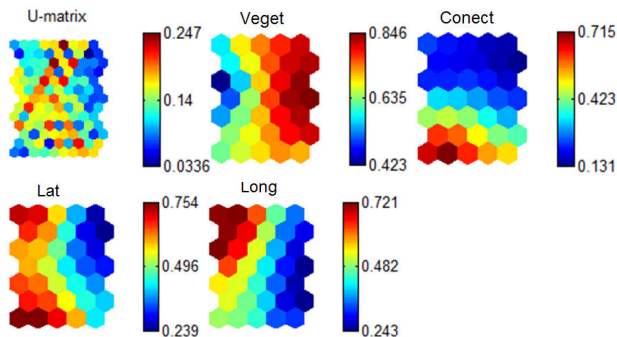


FIGURA 5 – Matriz-U e Componentes associadas na escala regional

A Figura 6 demonstra os neurônios que foram vencedores (em vermelho) e as respectivas freqüências destes (tamanho do hexágono), sobre a Matriz-U. Percebe-se que esta grandeza tem relação com as áreas que formam aglomerados na Matriz-U. Este fato é verídico, pois devido a fase de Cooperação e Adaptação da SOM os neurônios vencedores se situarão em meio a aglomerados de determinado padrão.

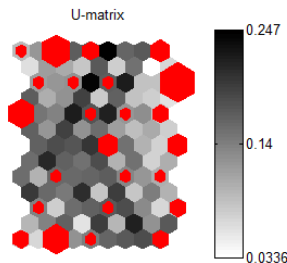


FIGURA 6 - Freqüência de neurônios vencedores (em vermelho) sobre Matriz-U

A Figura 7(a) mostra a Componente Influência Proporcional de cada variável para cada localização de neurônio. Sendo que a cor vermelha representa “Veget”, o verde o “Conect”, o anil “LAT” e o roxo “LONG”. Assim percebe-se as tendências de influências relativas nos requadros, em vermelho para “Veget” e em verde, para “Conect”. A Figura 7(b) representa a Componente de Importância Relativa entre as variáveis utilizadas. O tamanho dos mini-gráficos localizados sobre os neurônios representa a importância de determinado neurônio na separação de agrupamentos, e as cores sobre o mesmo, representa as variáveis que possuem maior contribuição para esta separação. Percebe-se que o papel da latitude e da longitude é tão importante para a definição dos agrupamentos quanto às demais variáveis.

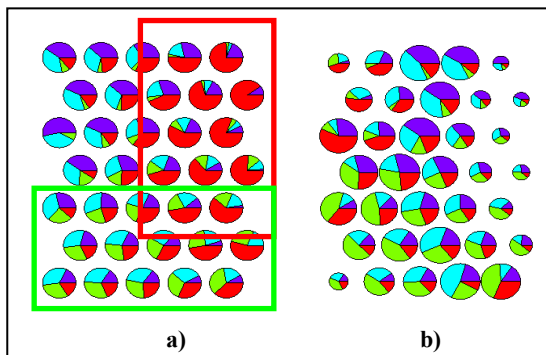


FIGURA 7 – Influência Proporcional (a); Importância Relativa (b)

A Figura 8 apresenta os agrupamentos delimitados pelo k-médias, cujo particionamento alcançou valor de Davies-Bouldin de 0,61195. Foram delimitados 11 agrupamentos, os quais são representados geograficamente na UGRHI-PBSUL, na Figura 9. Percebe-se que grande parte dos agrupamentos na UGRHI-PBSUL encontram-se juntos ou próximos, esta característica foi requerida ao ter sido utilizados valores de coordenadas UTM.

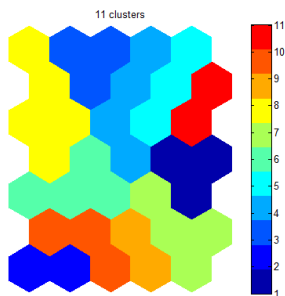


FIGURA 8 – Agrupamentos na Escala Regional

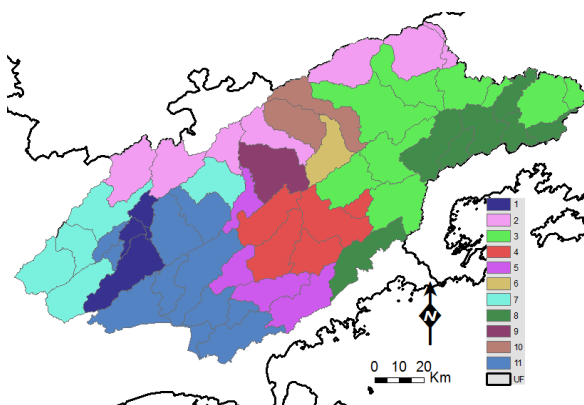


FIGURA 9 - Agrupamentos projetados no mapa geográfico da UGRHI-PBSUL

Conforme a metodologia, foi realizado histograma da soma dos valores normalizados das Componentes “Veget” e “Conect” (Figura 10). Percebe-se que o agrupamento 7 foi o que apresentou maiores valores resultantes desta soma, portanto é neste agrupamento onde se encontram as sub-bacias com maior prioridade para a recuperação florestal na UGRHI-PBSUL. O mapa da Figura 11 mostra o ordenamento de prioridades na UGRHI-PBSUL, tendo em vista o

escalonamento de grandezas do histograma da Figura 10. Foram consideradas 5 sub-bacias hidrográficas com maior prioridade para a recuperação florestal, portanto deveu-se optar em escolher somente uma para o andamento do estudo. O círculo em azul assinala a Sub-Bacia Escolhida para o andamento do trabalho em escala sub-regional.

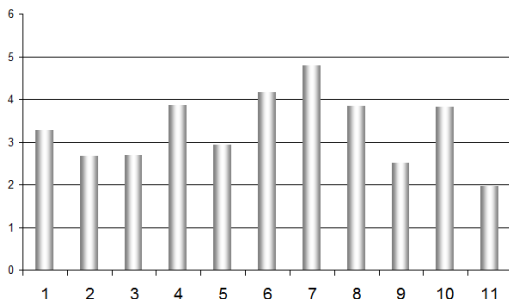


FIGURA 10 - Histograma da soma dos valores normalizados das Componentes

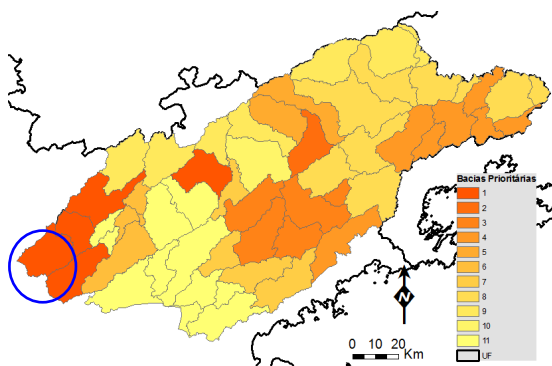


FIGURA 11- Agrupamentos ordenados e projetados no mapa geográfico da UGRHI-PBSUL

### 3.2 Escala Sub-Regional

A Figura 12 apresenta a Sub-bacia hidrográfica delimitada sobre a imagem TM/Landsat-5 utilizada para as fases seguintes. Esta Sub-bacia hidrográfica está situada na parte alta da represa Jaguari, no município de Igaratá. Constata-se, desta forma, que trata-se de uma bacia importante para o abastecimento humano. A Figura 12 também demonstra as AAP-Água com vegetação (em verde) e sem vegetação (em vermelho). Nestas últimas foram gerados os polígonos em forma de hexágono



com 3600 m<sup>2</sup> (embaixo à direita) para gerar as amostras, sendo contabilizados 12923 polígonos.

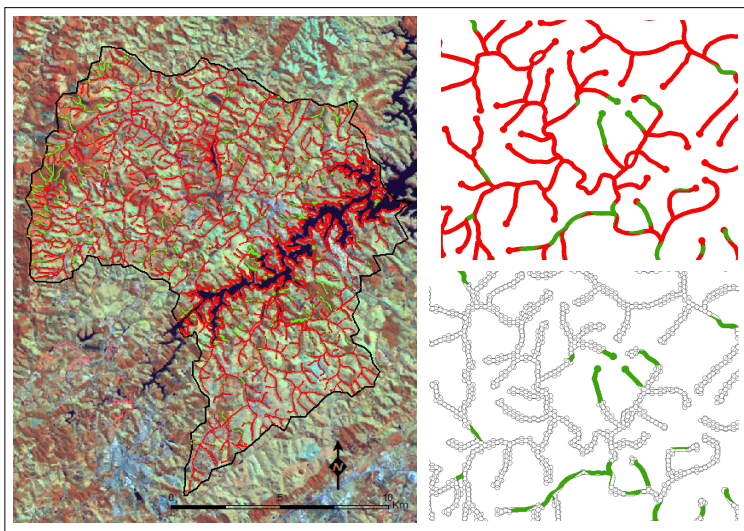


FIGURA 12 - Sub-bacia hidrográfica delimitada sobre a imagem TM/Landsat-5

A interpolação por krigeagem dos dados pluviométricos correspondeu a um modelo gaussiano dos dados. Desta forma, com a obtenção de todas as grades geradas (Figura 13), foi gerado a SOM. A mesma foi gerada para 570 neurônios, obtendo erro de quantização médio de 0,226 e erro topológico de 0,023, considerados erros baixos. A Figura 14 mostra a Matriz-U e as respectivas Componentes. Percebe-se que a grande maioria das componentes possuem significado próprio, sem haver redundância de informação com outras Componentes. Apenas a Componente LAT tem relação inversa com a Componente DIST\_FRAGMAIOR, já que os fragmentos desta encontram-se praticamente todos a oeste da sub-bacia hidrográfica. Portanto, as maiores distâncias encontram-se a leste. A latitude, ao contrário, possui maiores valores a oeste. A Matriz-U resultante parece ter tido um resultado satisfatório, onde é possível constatar divisões bem definidas de aglomerados.

A Figura 15, expressa os neurônios que foram vencedores (em vermelho) e as respectivas frequências destes (tamanho do hexágono), sobre a Matriz-U. Neste caso, não é perceptível que a os neurônios vencedores estão compreendidos em meio a aglomerados, como no resultado com a escala regional, apenas sendo constatado um aglomerado maior com neurônios vencedores no centro da U-Matriz. Por outro lado, os neurônios vencedores compreenderam-se nos limites da U-

Matriz, cujos valores foram baixos. Incorre-se que este padrão seria resultante da fase de adaptação e cooperação da SOM, a qual teria afastado estes neurônios às extremidades.

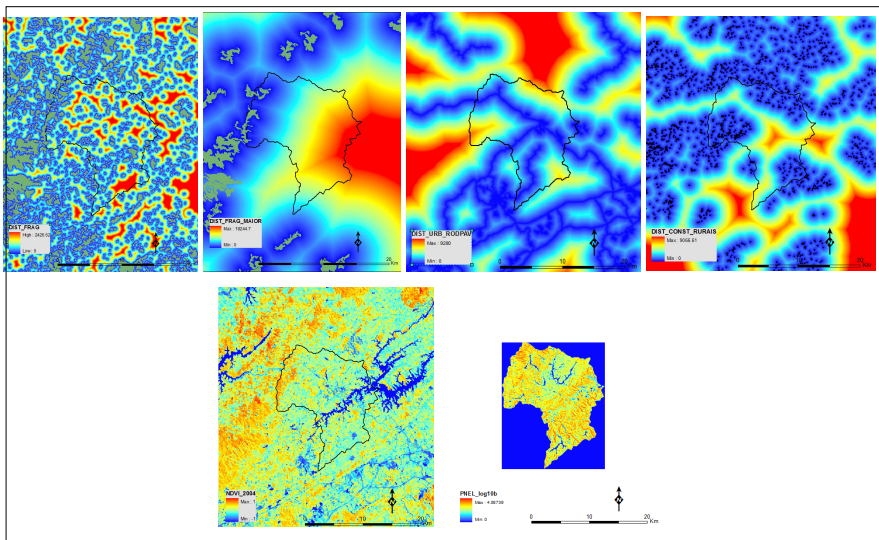


FIGURA 13 - Grades de variáveis na escala sub-regional, com exceção das coordenadas UTM.

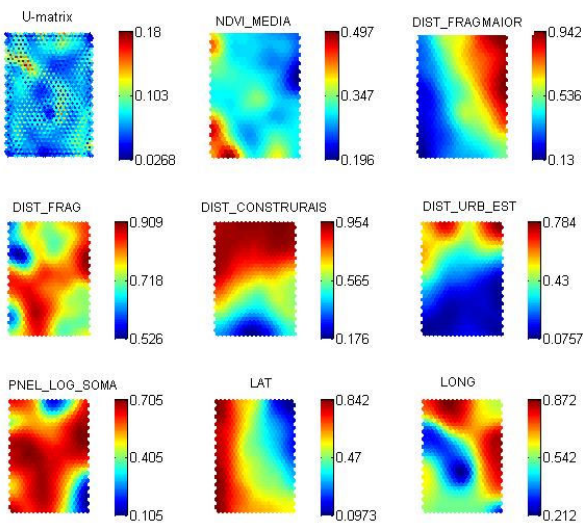


FIGURA 14 - Matriz-U e as respectivas Componentes na escala Sub-regional

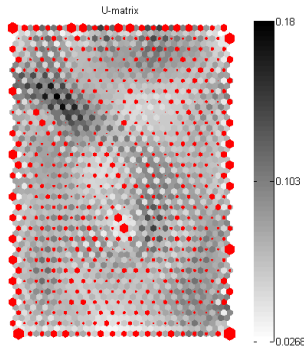


FIGURA 15 - Frequência de neurônios vencedores (em vermelho) sobre Matriz-U na escala sub-regional

A Figura 16 mostra as Componentes de Importância Relativa para cada variável separadamente. O tamanho dos mini-gráficos localizados sobre os neurônios representa a importância de determinado neurônio na separação de agrupamentos, e as cores vermelhas sobre o mesmo, representa a contribuição da respectiva variável para a separação. Circundou-se com círculo vermelho os neurônios mais relevantes para as separações em cada variável. É possível observar que as variáveis com mais detalhe de informação, como na NDVI e na DIST\_CONSTRURURAIIS que as contribuições quase não são visíveis. Este fato é justificado pela própria natureza do dado, de maior detalhe, onde a representação mais global não é possível ser verificada. Contudo, estas variáveis são importantes para o refinamento das áreas prioritárias para recuperação florestal.

A Figura 17 estão representados os agrupamentos delimitados pelo k-médias. Foram delimitados 23 agrupamentos, com valor de Davies-Boulding de 0,7851. Estes agrupamentos estão projetados na Sub-bacia hidrográfica na Figura 18. Foi verificado visualmente que os agrupamentos tem coesão de área, não se apresentam de forma fragmentada. Esta característica é um bom indicio para o objetivo do trabalho. Foi verificado também, com a imagem TM/Landsat-5, que houve uma separação entre os agrupamentos de acordo com a paisagem: áreas de cabeceira, de áreas urbanas, ao redor da barragem, por exemplo. A figura 19, apresenta o histograma da soma dos valores normalizados de todas as Componentes, com exceção das LAT e LONG, conforme metodologia. Percebe-se que os agrupamentos 3, 10 e 16 foram os que apresentaram maiores valores resultantes desta soma, portanto são nestes agrupamentos onde encontram-se as APP-ÁGUA com maior prioridade para a recuperação florestal nesta sub-bacia hidrográfica. A Figura 18 (à direita) apresenta esta seleção projetada na sub-bacia hidrográfica. Nota-se que são áreas coerentes com as variáveis apresentadas, Figura 13.

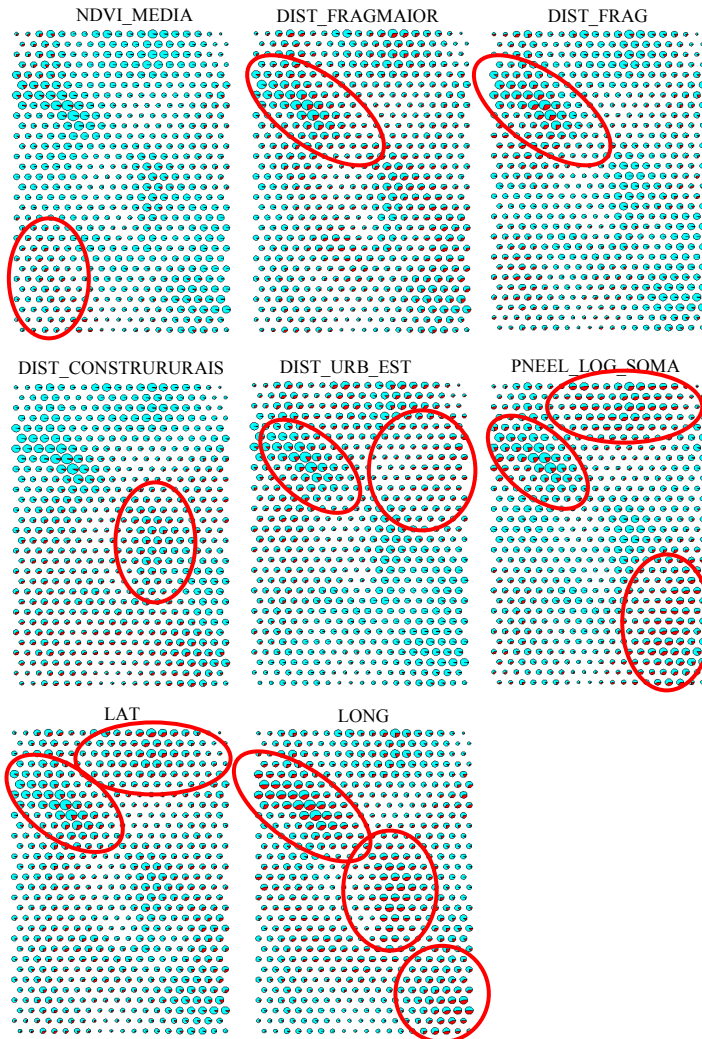


FIGURA 16 - Componentes de Importância Relativa para cada variável separadamente

Os agrupamentos delimitados encontram-se em áreas de recarga hídrica, próximas a fragmentos florestais; próximos às construções no meio rural; e mantendo distância a rodovias pavimentadas e áreas urbanas. A fragmentação ocorre mais a oeste,

devido a que nesta porção existem pequenos fragmentos mais conservados, deflagrados pelo NDVI, além disso o PNEL possui maior variação nesta porção.

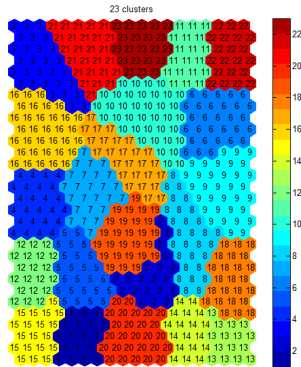


FIGURA 17 - Agrupamentos delimitados na escala Sub-regional

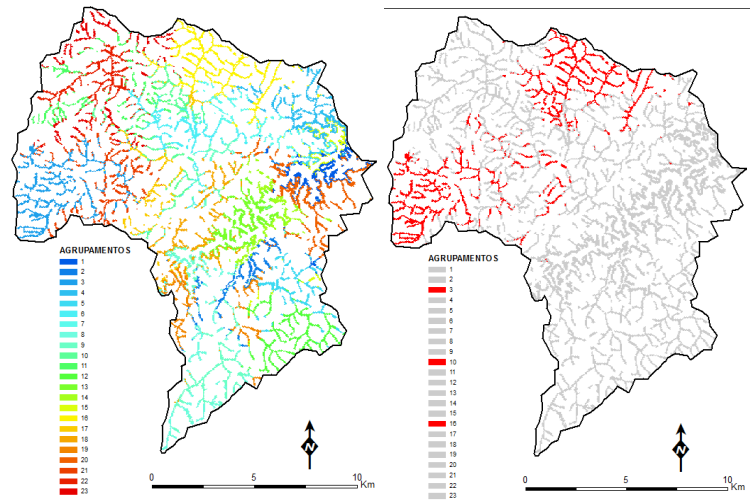


FIGURA 18 - Agrupamentos projetados na Sub-bacia hidrográfica

A Figura 20 apresenta a Mapa de Contribuição de amostras para Neurônios Vencedores (CA). No mesmo é possível notar que a oeste a maioria das amostras que contribuíram para neurônios vencedores foram amostras de cabeceira, enquanto que na porção leste, estas amostras não possuem um padrão bem definido.

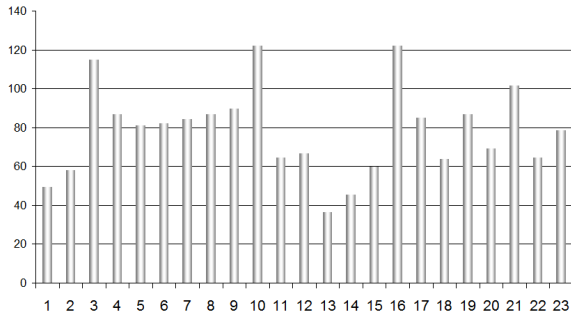


FIGURA 19 - histograma da soma dos valores normalizados de todas as Componentes

A constatação na porção oeste indica que os respectivos agrupamentos dessas amostras foram definidos com base em variáveis de alto valor nestas áreas de cabeceira. Neste caso, de acordo com a Figura 13, compreendem as Variáveis de Fragmentação Florestal e a variável PNEL.

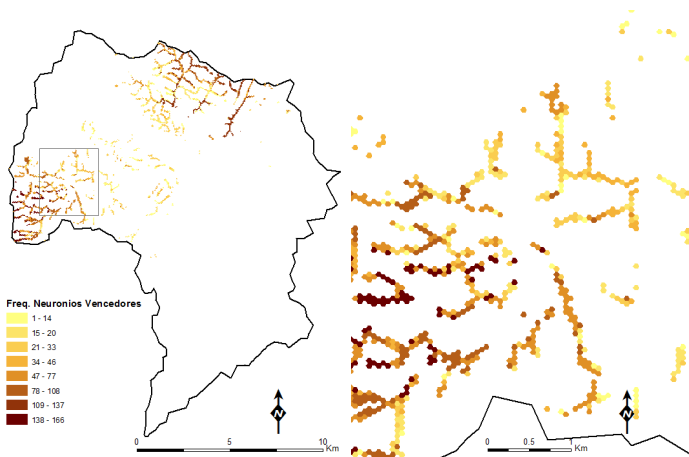


FIGURA 20 - Mapa de Contribuição de amostras para Neurônios Vencedores (CA)

#### 4 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A abordagem metodológica adotada é eficiente para a identificação de variáveis e agrupamentos mais propícios para a recuperação florestal. A análise das

Componentes de Influência Proporcional e Importância relativa devem ser projetadas no mapa geográfico em estudos posteriores, a fim de se avaliar com mais profundidade as variáveis que geraram a SOM.

Foi constatado que a SOM é uma ferramenta eficaz para a detecção de feições para a recuperação florestal.

O Uso da componente espacial como variável é útil para visualizar correlação espacial e anisotropia entre as variáveis.

O mapa de Contribuição de amostras para Neurônios Vencedores deve ser melhor investigado, a fim de verificar o seu potencial verificar mais ;

Estudos futuros se darão em relação à temporalidade das variáveis, e na quantificação e maiores análises dos dados gerados com projeção nos mapas geográficos..

## 5 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ARCOVERDE, G. F. B. **Estratificação espacial para estimativa da área de culturas agrícolas de verão com imagens de pré-plantio**. 2008. 180 p. (INPE-15385-TDI/1404). Dissertação (Mestrado em Sensoriamento Remoto) - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos. 2008. Disponível em: <<http://urlib.net/sid.inpe.br/mtc-m18@80/2008/10.21.00.04>>.

BAÇÃO, F.; LOBO, V.; PAINHO, M. Geo-Self-Organizing Map (Geo-SOM) for building and exploring homogeneous regions. **Geographic Information Science**, p. 22-37, 2004.

CONSERVAÇÃO INTERNACIONAL. **Sobre o bioma da mata atlântica**. Aliança para a Conservação da Mata Atlântica. São Paulo, 2008. Disponível em:<<http://www.aliancamataatlantica.org.br/bioma.htm>>.

EMBRAPA. **Análise espacial de dados geográficos**. Ed. Embrapa Cerrados, 2004. 209p.

FREITAS, R. M.; ADAMI, M.; RUDORFF, B. F. T.; SHIMABUKURO, Y. E.; ROSA, R. R.; SILVA, J. D. S.; ARCOVERDE, G. F. B. Análise Exploratória de Dados Multi-temporais em Sensoriamento Remoto Usando Mapas Auto-Organizáveis: Um estudo de caso nas áreas de conversão para o cultivo da cana-de-açúcar. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 14. (SBSR), 2009, Natal. **Anais...** São José dos Campos: INPE, 2009. p. 7797-7804. DVD, On-line. ISBN 978-85-17-00044-7. (INPE-15876-PRE/10486). Disponível em: <<http://urlib.net/dpi.inpe.br/sbsr@80/2008/11.14.18.32>>.

GONÇALVES, M. L., NETTO, M. L. A., COSTA, J. A. F., ZULLO JUNIOR, J., COSTA, J. A. F. Classificação não-supervisionada de imagens de sensores remotos utilizando redes neurais auto-organizáveis e métodos de agrupamentos hierárquicos. **Revista Brasileira de Cartografia**, v.60, n1, 17-29. Abril 2008.

VESANTO, J.; HIMBERG, J.; ALHONIEMI, E.; PARHANKANGAS, J. **SOM toolbox for Matlab 5**. Helsink University of Technology, 2000. p. 60. Disponível em:

<http://www.cis.hut.fi/projects/somtoolbox/package/papers/techrep.pdf>

HAYKIN, S. **Redes neurais: princípios e prática**. 2 ed. Porto Alegre: Bookman, 2001.

HUTCHINSON. A new procedure for gridding elevation and stream line data with automatic removal of spurious pits. **Journal of Hydrology**, v. 106. pp. 211-232. 1989.

INSTITUTO FLORESTAL. **Inventário florestal da vegetação natural do Estado de São Paulo**. Imprensa Oficial, 2005. 200p.

KOHONEN, T. Self-organized formation of topologically correct feature maps. **Biological Cybernetics**, v. 43, p.59-69, 1982.

KOHONEN, T. The self-organizing map. **Neurocomputing**. v. 21, n. 1-3, p. 1-6, 1998.

KOHONEN T.; KASKI S.; LAGUS K.; SALOJÄRVI J.; HONKELA J.; PAATERO V.; SAARELA A. Self organization of a massive document collection. IEEE Transactions on neural networks. V. 11, n. 3, p. 574-585, 2000. Disponível em:  
<http://ieeexplore.ieee.org/Xplore/login.jsp?url=/iel5/72/18371/00846729.pdf?tp=&isnumber=&arnumber=846729>.

LAMBIM, E. F.; TURNER, B. L.; GEIST, J. H.; AGBOLA, S. B.; ANGELSEN, A.; BRUCE, J. W.; COOMES, O. T.; DIRZO, R.; FISCHER, G.; FOLKE, C.; GEORGE, P.S.; HOMEWOOD, K.; IMBERNON, J.; LEEMANS, R.; LI, X.; MORAN, E. F.; MORTIMORE, M.; RAMAKRISHNAN, J.; RICHARDS, J. F.; SKANES, H.; STEFFEN, W.; STONE, G.D.; SVEDIN, U.; VELDKAMP, T. A.; VOGEL, C.; XU, J. The Causes of land-use and land-cover change moving beyond myths. **Global Environmental Change**. v. 11, n. 4, pp. 261-269, 2001.

LOMBARDI NETO, F.; MOLDENHAUER, W. C. Erosividade da chuva: sua distribuição e relação com perdas de solo em Campinas, SP. **Bragantia**, v. 51, n.2, p.189-196, 1992.

MAEDA, E. E. **Influência das mudanças do uso e cobertura da terra no escoamento superficial e produção de sedimentos na região da bacia do alto rio Xingu**. 2008. 104 p. (INPE-15234-TDI/1321). Dissertação (Mestrado em Sensoriamento Remoto) - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos. 2008. Disponível em: <<http://urlib.net/sid.inpe.br/mtc-m17@80/2008/02.06.17.10>>.

MEDEIROS L.C., FERREIRA N. C., FERREIRA L. G. Avaliação de modelos digitais de elevação para delimitação automática de bacias hidrográficas. **Revista Brasileira de Cartografia**. Nº 61/02. pp. 137-151, 2009.

MITTERMEIER, R. A.; DA FONSECA G. A. B.; RYLANDS, A. B. Y MITTERMEIER, C. G. La Mata Atlántica. In: R. A. Mittermeier, N. Myers, P. Robles Gil, C. G. Mittermeier (Editores). Biodiversidad Amenazada: *Las Ecoregiones Terrestres Prioritarias del Mundo*. **Conservation International – CEMEX**, México, pp. 136-147, 1999.

MYERS N., MITTERMEIER R. A., MITTERMEIER C. G., DA FONSECA G. A. B., KENT J. Biodiversity hotspots for conservation priorities. **Nature**. v. 403, Feb 2000, pp. 853-858.



RODRIGUES R. R., LIMA R. A. F., GANDOLFI S., NAVE A. G. On the restoration of high diversity forests: 30 years of experience in the Brazilian Atlantic Forest. *Biological Conservation*. v. 142, pp. 1242-1251, 2009.

SILVA, M. A. S. **Mapas auto-organizáveis na análise exploratória de dados geoespaciais multivariados**. 2004. 117 p. (INPE-12434-TDI/996). Dissertação (Mestrado em Computação Aplicada) - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos. 2004. Disponível em: <<http://mtcm16.sid.inpe.br/col/sid.inpe.br/jeferson/2004/03.25.16.40/doc/publicacao.pdf>>.

SIPONEN, M.; VESANTO, J.; SIMULA, O.; VASARA, P. An approach to automated interpretation of SOM. In: Workshop on self-organizing map, 13-15 jun 2001, Lincoln, Inglaterra. **Proceedings...** Lincoln: Springer, 2001. p. 98-94.

SOS MATA ATLÂNTICA. Nossos Projetos. Brasil, 2009. Disponível em: <<http://www.sosmatatlantica.org.br/index.php?section=project&action=listProjects>>

ULTSCH, A. Self-organizing neural networks perform different from statistical kmeans clustering. In: Annual Conference of the German Classification Society, n. 19, 1996, [S.l.]. **Proceedings...** [S.l.]: H. H. Bock and W. Polasek, 1996. p. 1-13.

VERONESE, T. B.; GUIMARÃES, L. N. F.; MARTINS, M. P. A Kohonen's Map for Textural Classification of SAR Images in Distributed Environment. In: WORKSHOP DOS CURSOS DE COMPUTAÇÃO APLICADA DO INPE, 6. (WORCAP), 2006, São José dos Campos. **Proceedings...** São José dos Campos: INPE, 2006. On-line. Disponível em: <<http://urlib.net/dpi.inpe.br/hermes2@1905/2006/10.20.17.16>>.

VILLMANN T., MERÉNYI E., HAMMER B. Neural maps in remote sensing image analysis. **Neural Networks**. v. 16, PP. 389-403, 2003.

WALKER, R. Theorizing land-cover and land-use change: the case of tropical deforestation. **International Regional Science Reviews**. v. 24, n. 3, pp. 247-270, 2004.

WILLSHAW, D. J.; VON DER MALSBURG. How patterned neural connections can be set up by self-organization. In: Proceeding of the Royal Society of London Series B, v. 194, p. 431-445, 1976.

XIMENES, A. C. **Mapas auto-organizáveis para a identificação de ecorregiões do interflúvio Madeira-Purus: uma abordagem da biogeografia ecológica**. 2008. 155 p. (INPE-15332-TDI/1372). Dissertação (Mestrado em Sensoriamento Remoto) - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos. 2008. Disponível em: <<http://urlib.net/sid.inpe.br/mte-m18@80/2008/08.18.14.02>>.

ZUCHINI, M. H. **Aplicações de mapas auto-organizáveis em mineração de dados e recuperação de informação**. 2003. 227 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Elétrica) – Universidade Estadual de Campinas, Campinas, São Paulo, 2003.