



Ministério da  
**Ciência, Tecnologia  
e Inovação**



sid.inpe.br/mtc-m19/2012/09.14.14.48-RPQ

## OS IMPACTOS DOS CENÁRIOS GERAIS DE MUDANÇAS CLIMÁTICAS SOBRE AS ECORREGIÕES DA AMAZÔNIA LEGAL BRASILEIRA

Arimatéia de Carvalho Ximenes  
Silvana Amaral  
Dalton de Morisson Valeriano

Relatório de Pesquisa  
Projeto BIOMA

URL do documento original:  
<<http://urlib.net/8JMKD3MGP7W/3CKR4SB>>

INPE  
São José dos Campos  
2012

## **PUBLICADO POR:**

Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais - INPE

Gabinete do Diretor (GB)

Serviço de Informação e Documentação (SID)

Caixa Postal 515 - CEP 12.245-970

São José dos Campos - SP - Brasil

Tel.:(012) 3208-6923/6921

Fax: (012) 3208-6919

E-mail: pubtc@sid.inpe.br

## **CONSELHO DE EDITORAÇÃO E PRESERVAÇÃO DA PRODUÇÃO INTELLECTUAL DO INPE (RE/DIR-204):**

### **Presidente:**

Marciana Leite Ribeiro - Serviço de Informação e Documentação (SID)

### **Membros:**

Dr. Antonio Fernando Bertachini de Almeida Prado - Coordenação Engenharia e Tecnologia Espacial (ETE)

Dr<sup>a</sup> Inez Staciarini Batista - Coordenação Ciências Espaciais e Atmosféricas (CEA)

Dr. Gerald Jean Francis Banon - Coordenação Observação da Terra (OBT)

Dr. Germano de Souza Kienbaum - Centro de Tecnologias Especiais (CTE)

Dr. Manoel Alonso Gan - Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos (CPT)

Dr<sup>a</sup> Maria do Carmo de Andrade Nono - Conselho de Pós-Graduação

Dr. Plínio Carlos Alvalá - Centro de Ciência do Sistema Terrestre (CST)

### **BIBLIOTECA DIGITAL:**

Dr. Gerald Jean Francis Banon - Coordenação de Observação da Terra (OBT)

### **REVISÃO E NORMALIZAÇÃO DOCUMENTÁRIA:**

Marciana Leite Ribeiro - Serviço de Informação e Documentação (SID)

Yolanda Ribeiro da Silva Souza - Serviço de Informação e Documentação (SID)

### **EDITORAÇÃO ELETRÔNICA:**

Vivéca Sant´Ana Lemos - Serviço de Informação e Documentação (SID)



Ministério da  
**Ciência, Tecnologia  
e Inovação**



sid.inpe.br/mtc-m19/2012/09.14.14.48-RPQ

**OS IMPACTOS DOS CENÁRIOS GERAIS DE  
MUDANÇAS CLIMÁTICAS SOBRE AS ECORREGIÕES  
DA AMAZÔNIA LEGAL BRASILEIRA**

Arimatéia de Carvalho Ximenes  
Silvana Amaral  
Dalton de Morisson Valeriano

Relatório de Pesquisa  
Projeto BIOMA

URL do documento original:  
<<http://urlib.net/8JMKD3MGP7W/3CKR4SB>>

INPE  
São José dos Campos  
2012



## **AGRADECIMENTOS**

Agradecemos ao projeto BIOMA - INPE/CENPES/PETROBRÁS e à Divisão de Processamento de Imagens do INPE pelo suporte oferecido para a realização deste trabalho.

## RESUMO

Este relatório apresenta a metodologia adotada e os resultados obtidos pelo projeto BIOMA, referentes ao subprojeto que buscou estudar os impactos dos cenários gerais de mudanças climáticas sobre as ecorregiões da Amazônia Legal Brasileira. Para subsidiar a discussão destes impactos, foi necessário construir uma base de dados, e gerar um mapa de ecorregiões com critérios objetivos. Uma abordagem quantitativa, semiautomática, e baseada em dados de sensoriamento remoto e redes neurais permitiu gerar o mapa de ecorregiões a partir de múltiplas camadas de informações. As variáveis altitude, declividade, densidade de drenagem, porcentagem de cobertura de dossel, distância aos principais rios amazônicos, longitude e latitude foram selecionadas por possuírem significado biológico associado à definição de ecorregiões. Após a sistematização em um banco de dados geográfico em espaços celulares, estas variáveis foram submetidas ao algoritmo de rede neural do tipo Self-Organizing Map (SOM) para que finalmente as regiões homogêneas fossem agrupadas a partir de k-médias. Após análise e edição, 60 ecorregiões foram mapeadas para a Amazônia Legal, excluindo-se as áreas mapeadas como desmatamento recente pelo projeto PRODES. Para discutir o efeito das mudanças climáticas obteve-se um mapa síntese das diferenças de temperatura e precipitação fornecida pelo cenário A2 de altas emissões do Modelo de Projeção Regional ETA\_CCS (50 km) para o clima presente (1961 a 1990) e futuro (2070 a 2100). Os locais de maiores diferenças de temperatura e precipitação foram confrontados com o mapa de ecorregiões de modo a identificar as áreas de maior impacto potencial sobre a biodiversidade. A distribuição das ecorregiões frente ao mosaico atual das unidades de conservação permitiu identificar áreas prioritárias para a conservação. As ecorregiões terrestres identificadas a partir de métodos quantitativos neste trabalho podem auxiliar e complementar informações para o gerenciamento dos recursos florestais e no planejamento sistemático de conservação frente às mudanças climáticas previstas.

# **IMPACTS OF CLIMATE CHANGE SCENARIOS OVER THE BRAZILIAN AMAZON ECOREGIONS**

## **ABSTRACT**

This report presents the methodology adopted and the results achieved by the sub-project "Impacts of climate change scenarios over the Brazilian Amazon Ecoregions" that was part of BIOME - INPE/CENPES-Petrobrás project. To support the discussion of these impacts, it was initially necessary to build a database, and to generate a map of ecoregions. A quantitative and semi-automatic approach, based on remote sensing data and neural networks procedure allowed the creation of a map of ecoregions from multiple layers of information. The variables altitude, slope, drainage density, percent of canopy coverage, distance to major Amazonian rivers, longitude and latitude were selected because they have biological significance for ecoregions definition. After the systematization in a geographic database in cellular spaces, a neural network algorithm, the Self-Organizing Map (SOM) processed these variables and then, homogeneous regions were grouped from k-means. After analysis and edition, 60 ecoregions were identified in the Amazon region. Areas mapped as recent deforestation by PRODES project were excluded from the ecoregion mapping. To discuss the effect of climate change, we computed the differences in temperature and rainfall provided by high emissions (A2) scenario of the regional projection model ETA\_CCS (50 km) for the present (1961 to 1990) and future (2070 to 2100) climate. Sites with the highest differences in temperature and precipitation were compared to the ecoregions mapping to point out the areas of greatest potential impact over biodiversity. Ecoregions distribution over the current mosaic of conservation units also suggested priority areas for conservation. The terrestrial ecoregions identified in this work by quantitative methods can assist and provide complementary information for the management of forest resources and systematic planning of conservation as mitigation action for climate change.

## LISTA DE FIGURAS

### Pág.

- Figura 1.1 (a) Esforço de coleta de angiosperma na Amazônia brasileira concentrada próximo as cidades, rios e estradas. Fonte: Nelson et al., (2006) adaptado de Nelson et al., (1990). (b) Mapa de desmatamento acumulado do PRODES de 1997 a 2009 (INPE, 2010)..... 1
- Figura 2.1.1 Mapa de desmatamento acumulado de 1997 a 2009 do PRODES (INPE, 2010), onde a região do arco do desmatamento está evidente por uma linha vermelha. .... 6
- Figura 3.1.1 Plataforma do software TerraView 4.0. Alocação dos valores de cada variável sobre a base de dados celular. Na tabela abaixo são os valores de cada variável para cada célula..... 11
- Figura 3.1.2 (a) Em ciano são as células desmatadas do mapeamento do PRODES (INPE, 2010) que foram excluídas das análises; (b) Zoom nas células selecionadas e posteriormente excluídas. Em margenta o Cerrado que não é mapeado pelo programa de monitoramento de desmatamento. .... 12
- Figura 3.2.1 Gráfico do índice Davies-Bouldin. O círculo em vermelho mostra o agrupamento com o menor valor do índice. .... 13
- Figura 3.2.1.1 Planos de componentes das variáveis de longitude, latitude, altitude, porcentagem de cobertura de dossel (Tree), densidade de drenagem, distância aos principais rios e densidade de rios. Valores altos correspondem às divisas entre os agrupamentos e valores baixos aos neurônios similares que formam os agrupamentos. .... 14
- Figura 3.3.1 Resultados do modelo de mapeamento de ecorregiões para Amazônia legal..... 16
- Figura 3.3.2 As ecorregiões mapeadas e as estradas pavimentadas em preto. .... 17
- Figura 3.3.3 Mapa de desmatamento do programa PRODES e as Unidades de Conservações Federais e Estaduais de proteção integral e uso sustentável.... 18
- Figura 3.4.1. a. Diferença de precipitação (2100 -1960) simulada pelo modelo ETA A2 para o mês de janeiro. b. Diferença de precipitação (2100 -1960) simulada pelo modelo ETA A2 para o mês de julho. c. Diferença de temperatura (2100 -1960) simulada pelo modelo ETA A2 para o mês de janeiro. d. Diferença de temperatura (2100 -1960) simulada pelo modelo ETA A2 para o mês de julho.

Os círculos pretos estão indicando as regiões que sofrerão maiores efeitos das mudanças climáticas. ....	19
Figura 3.4.2 Destaque para áreas apontadas como “mais ricas” pela análise de razão de Kernel. Região 1 – dense forest on Terra Firme submontane lowlands. Região 2 - mixed contact zone: savanna and closed-canopy forest. Região 3 – open terra firme forest. Region 4 – dense forest on Terra Firme lowlands; Várzea and Igapó Forest periodically flooded riparian and lacustrine forests of all water types. ....	21
Figura 3.4.3 As Ecorregiões da Amazônia Legal e as Unidades de Conservações Federais e Estaduais de proteção integral e uso sustentável. ....	22

## SUMÁRIO

	Pág.
<b>1 Introdução</b> .....	<b>1</b>
<b>Objetivos</b> .....	<b>3</b>
<b>2 Metodologia</b> .....	<b>3</b>
2.1 Exclusão de células .....	5
2.2 Mapa Auto-Organizável (Self Organizing Maps - SOM) .....	6
2.3 Identificação de agrupamentos .....	9
2.4 Geovisualização.....	9
<b>3 Resultados</b> .....	<b>10</b>
3.1 Banco de dados celular .....	10
3.2 Configurações do algoritmo SOM.....	12
3.2.1 Análise da ferramenta de geovisualização do SOM.....	13
3.3 Mapeamento das ecorregiões da Amazônia Legal .....	14
3.4 Efeitos das mudanças climáticas sobre a biodiversidade .....	19
<b>4 Conclusão</b> .....	<b>23</b>
<b>5 Referências Bibliográficas</b> .....	<b>25</b>

# 1 Introdução

A Amazônia possui alta biodiversidade e abriga a maior floresta tropical pluvial contínua do planeta. Entretanto, a região sofre intenso processo de desmatamento o que torna necessários estudos em macroescala que possam auxiliar na tomada de decisão sobre a conservação e planejamento ambiental da Amazônia.

Na fase de construção da representatividade dos sistemas de áreas protegidas é viável considerar níveis mais generalizados de organização ecológica (PERES, 2005). Por causa da falta de dados sobre a distribuição das espécies, Peres (2005) recomenda utilizar as fisionomias vegetais, que é de fácil acesso, como um possível substituto para explicar a alternância de espécies de plantas e animais.

Na figura 1.1a percebe-se a falta de inventários de angiosperma na maior parte da Amazônia brasileira. Ao observar as figuras 1.1 a e b é possível constatar que as regiões desmatadas e as de fronteira são pouco ou nada estudadas pela ciência (Figura 1.1 a, b). Conclui-se que o desmatamento segue para as regiões ainda desconhecidas cientificamente, e por esta razão, perde-se uma parte da biodiversidade sem antes ser conhecida.

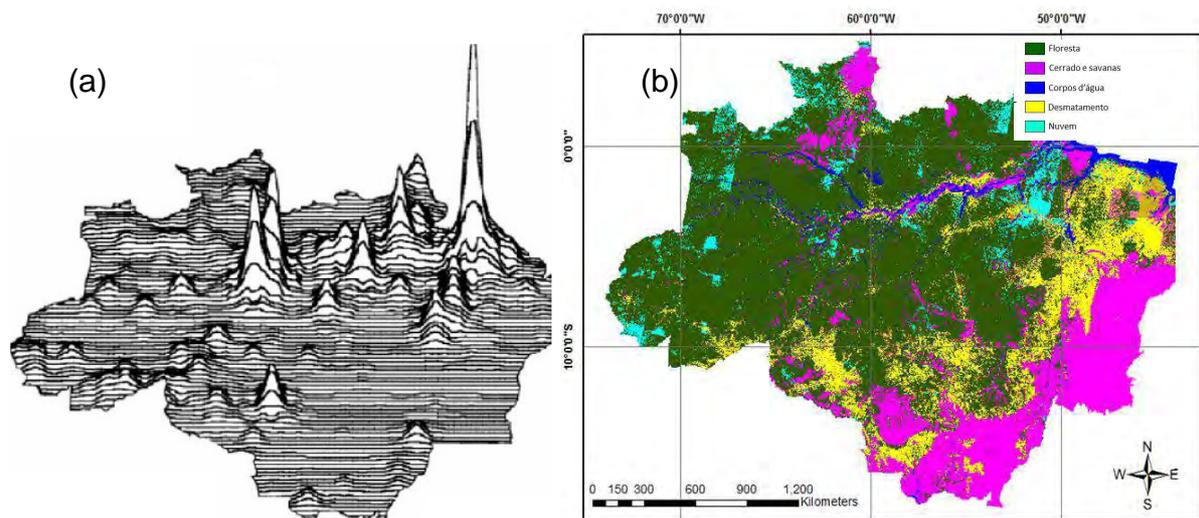


Figura 1.1 (a) Esforço de coleta de angiosperma na Amazônia brasileira concentrada próximo as cidades, rios e estradas.

Fonte: Nelson et al., (2006) adaptado de Nelson et al., (1990). (b) Mapa de desmatamento acumulado do PRODES de 1997 a 2009 (INPE, 2010).

Uma forma de se analisar a biodiversidade num nível mais generalizado de organização ecológica é através do mapa de ecorregiões. Segundo Dinnerstein (1995) ecorregião é definida como um conjunto de comunidades naturais, geograficamente distintas, que compartilham a maioria das suas espécies, dinâmicas e processos ecológicos, além das condições ambientais similares, que são fatores críticos para a manutenção a longo prazo de sua viabilidade. Uma ecorregião também pode ser definida simplesmente como uma área relativamente homogênea que possui condições ambientais similares (BAILEY, 2005; LOVELAND; MERCHANT, 2004; ZHOU et al., 2003; OMERNIK, 1995), e pode ser delimitada em diferentes escalas (BAILEY, 1983).

Para tanto, diversas instituições federais e organizações privadas utilizam o sistema de classificação da paisagem baseados no conceito de ecorregião (BAILEY, 2005; LOVELAND; MERCHANT, 2004). Para o mapeamento das ecorregiões, variáveis abióticas e bióticas como clima, hidrologia, feições morfológicas da paisagem, vegetação e solo são utilizadas.

Historicamente, a maioria das abordagens para o mapeamento das ecorregiões não segue uma metodologia padronizada na escala regional (JEPSON; WHITTAKER, 2002). Por conta disso, os resultados frequentemente não são replicáveis (HOST et al., 1996).

A partir do final dos anos 90, alguns autores têm explorado o potencial dos dados de sensoriamento remoto para mapear as ecorregiões utilizando métodos quantitativos e computacionais robustos que agrupam as regiões homogêneas a partir de múltiplas camadas de informações (HARGROVE; HOFFMAN, 2005; ZHOU et al., 2003; LEATHWICK et al., 2003; HARGROVE; HOFFMAN, 1999). Os métodos quantitativos e computacionais promovem rapidez e permitem manipular informações com alta resolução, além de facilitar as análises estatísticas dos dados (LOVELAND; MERCHANT, 2004; ZHOU et al., 2003). Procedimentos quantitativos e semi-automáticos possuem menos incerteza que o método tradicional, além de reduzir a influência do julgamento humano (ZHOU et al., 2003).

Neste contexto, um método padronizado estruturado numa base de dados celular foi desenvolvido utilizando Self-Organizing Maps para o mapeamento das ecorregiões em escala regional (XIMENES, 2008). As primeiras regiões mapeadas segundo este

método foram: o interflúvio Madeira-Purus (XIMENES, 2008) e o Distrito Florestal Sustentável da BR-163 (XIMENES et al., 2011), ambos localizados em partes da Amazônia Brasileira. No entanto, até o momento as ecorregiões da Amazônia Legal não foram mapeadas por um método quantitativo semiautomático de classificação. Dessa forma, propõe-se um mapeamento de ecorregiões para toda a Amazônia Legal Brasileira a partir de métodos quantitativos, a fim de subsidiar estudos relacionados com a biodiversidade e confrontá-los com os modelos de mudanças climáticas.

## **Objetivos**

Este sub-projeto tem por objetivo caracterizar a heterogeneidade ambiental da Amazônia Legal, a fim de mapear as ecorregiões e auxiliar estudos dos efeitos das mudanças climáticas sobre a biodiversidade. Tem como objetivo secundário prover uma base de dados ambientais sistematizada, incrementada com dados de sensoriamento remoto indicadores de processos bióticos.

## **2 Metodologia**

A metodologia foi dividida em três etapas. A primeira etapa consiste na construção da base de dados ambientais da Amazônia Legal que compreende a seleção e pré-processamento das variáveis. As variáveis selecionadas foram: altitude, declividade, densidade de drenagem, porcentagem de cobertura de dossel, distância aos principais rios amazônicos, longitude e latitude. Estas variáveis são utilizadas para o mapeamento das ecorregiões, pois possuem significado biológico (COOPS et al., 2009).

Os dados de altitude e declividade foram adquiridos a partir do United States Geological Survey NASA/USGS, e estão disponíveis com resolução de 3 arcos segundos (aproximadamente 90 m de resolução espacial). Informações sobre a hidrologia foram adquiridas a partir da rede de drenagem produzida pelo Hydrological Data and Maps from Shuttle Elevation Derivatives at Multiple Scales (HydroSHEDS) (LEHNER et al., 2006). Utilizando um algoritmo de Kernel (SILVERMAN, 1986) implementado no programa ArcGis 10, o mapa de densidade

de rios foi gerado apresentando valores contínuos para a região de interesse (XIMENES, 2008).

O vetor dos principais rios da Amazônia foi cedido pelo laboratório de geoprocessamento da ONG Conservation International. A partir do traçado dos principais rios da Amazônia foi gerada como dado de entrada uma superfície contínua de distância aos principais rios amazônicos. Considerando que os ambientes diferem quando estão perto ou longe dos grandes e principais rios amazônicos é que se resolveu inserir esta variável para o mapeamento. A distância aos principais rios é importante porque eles transformam a paisagem de entorno com eventos de inundação, variação da amplitude de cheias e funcionam como barreiras para algumas espécies, o que pode ter ocasionado algumas especiações por vicariância.

Para representar a vegetação, optou-se por um produto de sensoriamento remoto que apresenta uma estimativa da proporção da cobertura arbórea vegetal, o Percent Tree Cover (Tree), fornecido pela iniciativa “The Vegetation Continuous Fields” (HANSEN et al., 2003). Este produto é derivado das sete bandas do sensor MODerate-resolution Imaging Spectroradiometer (MODIS) que está a bordo do satélite Terra da NASA (HANSEN et al., 2003). A vantagem de inserir um produto de satélite com informações sobre a vegetação é a superfície de valores contínuos, o que difere dos dados de vegetação convencionais que são delimitados por polígonos que não possuem valores numéricos. O que dificulta muito a entrada desse tipo de dado sem valores num mapeamento a partir de técnicas quantitativas. Esta questão foi decisiva para a escolha desta variável como dado de entrada.

A distância geográfica representada pelas variáveis de latitude e longitude foram utilizadas, pois estudos indicam que estas variáveis contribuem no controle da variabilidade da composição florística na Amazônia (TUOMISTO et al., 2003; OLIVEIRA; NELSON, 2001; TERBORGH; ANDRESEN, 1998; PHILLIPS et al., 1994). Terborgh e Andresen (1998) sugerem que áreas próximas, mesmo com fitofisionomias diferentes, são mais similares, pelo menos em nível de gênero e de família, do que áreas distantes com a mesma fitofisionomia. Considerado como um dos pais da biogeografia, Buffon já tinha enfatizado a importância da distância geográfica em suas discussões (BROWN; LOMOLINO, 2006). A primeira lei de Buffon diz que áreas geográficas distintas apresentam espécies diferentes (BROWN;

LOMOLINO, 2006). Esta lei revela a importância da distância geográfica na mudança da composição das espécies. Ao considerar as dimensões continentais da Amazônia conclui-se que as variáveis que representam a distância geográfica são de suma importância para o mapeamento das ecorregiões.

Os dados selecionados para o mapeamento das ecorregiões da Amazônia Legal Brasileira foram sistematizados em um banco de dados geográfico no sistema TerraView versão 4.0 (TerraView 4.0), utilizando o sistema gerenciador MySQL 5.0.

A segunda etapa refere-se à formação da base de dados celular, que compreende o processo de criação de células para toda a área de interesse, extração de informação e exclusão das células impróprias para o processo de agrupamento. Para extrair as informações de cada variável e atribuir às células foi utilizado o plugin de preenchimento de células do sistema TerraView. A operação de média calculou os valores de altitude, declividade, densidade de drenagem, porcentagem de cobertura de dossel para cada célula. A variável de distância geográfica referente às coordenadas de latitude e longitude foram obtidas a partir dos centróides das células e armazenada na tabela como atributos.

## **2.1 Exclusão de células**

Para este projeto, nem todas as células foram utilizadas, porque as áreas desmatadas não foram consideradas como ecorregião. Os efeitos do desmatamento na área de estudo foram excluídos da análise usando-se dados do Projeto Prodes de 1997 a 2009 (INPE, 2010) como referência. A metodologia adotada pelo Prodes mapeia sistematicamente o desmatamento das fitofisionomias florestais que incluem desde a Floresta Tropical Densa até a Savana Densa (INPE, 2010).

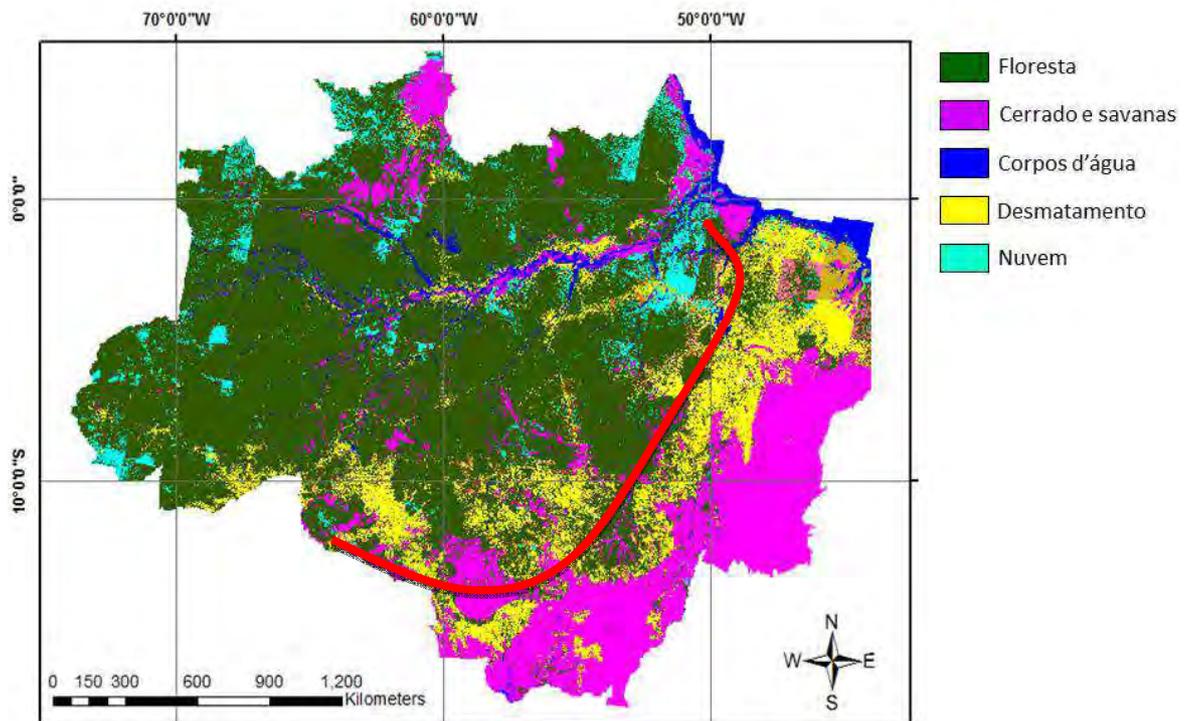


Figura 2.1.1 Mapa de desmatamento acumulado de 1997 a 2009 do PRODES (INPE, 2010), onde a região do arco do desmatamento está evidente por uma linha vermelha.

No entanto, as fisionomias de cerrado e savanas não são mapeadas pelo programa PRODES, e por isso, não há registro de desmatamento nas áreas abertas.

A terceira etapa consiste no agrupamento das regiões homogêneas a partir do algoritmo de rede neural do tipo Self-Organizing Map (SOM) implementada no programa Matlab, dando origem ao mapeamento das ecorregiões.

## 2.2 Mapa Auto-Organizável (Self Organizing Maps - SOM)

O SOM funciona da seguinte forma: Os neurônios são distribuídos numa grade bidimensional, onde cada neurônio está totalmente conectado a todas as entradas. O algoritmo responsável pela formação do Mapa Auto-Organizável inicializa os pesos sinápticos da grade, atribuindo-lhes números aleatórios. Assim nenhuma organização prévia é imposta ao arranjo dos neurônios pós-sinápticos (KOHONEN, 1990). A partir do momento que a grade é iniciada, há três processos básicos na formação do SOM: o processo de competição, cooperação e adaptação.

No processo de competição, os neurônios pós-sinápticos competem entre si para ver quem tem o maior produto interno entre os vetores  $m_{jx}$  para  $j = 1, 2, \dots, N$ .

O maior produto interno é matematicamente equivalente a minimizar a distância Euclidiana entre os vetores, assim o neurônio que obter a menor distância é o vencedor, também conhecido como BMU - Best-Matching Unit (KOHONEN, 1990). Se for usado o índice  $b_i$  para determinar o neurônio vencedor tem-se:

$$b = \underset{j}{\operatorname{arg\,min}}\{\|\mathbf{x}_i - \mathbf{m}_j(t)\|\} \quad (1)$$

Depois de ganhar a competição, o BMU torna-se o centro de uma vizinhança topológica de neurônios excitados, assim sua região de influência é determinada, iniciando o processo de cooperação (KOHONEN, 1990). Existem algumas funções que descrevem a influência do BMU em relação aos seus vizinhos, porém a mais utilizada é a função gaussiana, principalmente por apresentar um significado biológico coerente (LO et al., 1991). A função gaussiana está de acordo com a evidência neurobiológica, de que o neurônio ativado tende a excitar com maior intensidade os neurônios na sua vizinhança imediata e decai suavemente com a distância lateral (LO et al., 1991). Estudos mostram que a função gaussiana faz com que o algoritmo SOM convirja mais rapidamente que uma vizinhança topológica retangular (ERWIN et al., 1992; Lo et al., 1991).

Para o cálculo da vizinhança tem-se a seguinte fórmula:

$$h_{b_i j}(t) = e^{-\frac{\|\mathbf{r}_{b_i} - \mathbf{r}_j\|^2}{2\sigma^2(t)}} \quad (2)$$

Onde  $h_{b_i j}(t)$  é a função gaussiana de vizinhança em torno do neurônio vencedor;  $r_{b_i}$  e  $r_j$  são as posições das unidades  $b_i$  e  $j$  no mapa neural da rede SOM e  $\sigma(t)$  é o raio de vizinhança.

A rede neural foi treinada inicialmente com todos os neurônios do mapa neural centrados no neurônio vencedor e ao longo do processo de aprendizagem a área de influência diminuiu, até chegar ao próprio neurônio vencedor. Este procedimento faz com que o algoritmo SOM convirja (HAYKIN, 2001).

No processo adaptativo, os neurônios excitados aumentam seus valores individuais através de ajustes aplicados a seus pesos sinápticos. O neurônio vencedor possui influência sobre a sua vizinhança e permite que os pesos sinápticos dos neurônios

vizinhos ao neurônio vencedor sejam atualizados (KOHONEN, 1990). A atualização dos neurônios implica na aproximação dos vetores de peso sináptico aos vetores de entrada. A equação utilizada para atualização dos neurônios excitados depende do algoritmo de treinamento utilizado. O algoritmo por lote foi adotado, devido a maior rapidez no processamento quando comparado com o algoritmo sequencial (VESANTO, 2002; VESANTO et al., 2000). O algoritmo de treinamento por lote difere do treinamento seqüencial ao apresentar todos os vetores de entrada de uma única vez para rede antes que qualquer ajuste seja feito (KOHONEN, 2001). Além disso, o algoritmo por lote não exige o parâmetro da taxa de aprendizagem  $\alpha(t)$  e nem a apresentação aleatória dos vetores de entrada o que torna o resultado independente da ordem de apresentação dos vetores (VESANTO, 2002; KOHONEN, 2001). As características citadas acima foram decisivas para a escolha do algoritmo por lote na geração do mapeamento das ecorregiões.

Neste algoritmo, os vetores de peso são atualizados ao final de cada época. Em cada época, o conjunto de dados é particionado de acordo com as regiões de Voronoi ( $V_j$ ), onde cada região corresponde a uma unidade no mapa. Assim, cada vetor de entrada pertence a uma região no mapa neural, na qual este é mais próximo (Vesanto, 2002).

A região de Voronoi ( $V_j$ ) é calculada segundo a fórmula:

$$V_j = \{\mathbf{x}_i \mid \|\mathbf{x}_i - \mathbf{m}_j\| < \|\mathbf{x}_i - \mathbf{m}_k\| \forall k \neq j\} \quad (3)$$

Depois que as regiões de Voronoi são definidas o vetor médio dos vetores de entrada é calculado a partir do centróide da região de Voronoi segundo a fórmula:

$$\mathbf{n}_j = \frac{1}{N_j} \sum_{\mathbf{x}_i \in V_j} \mathbf{x}_i \quad (4)$$

onde  $N_j$  é o número de vetores de entrada em cada região de Voronoi  $V_j$ . (VESANTO, 2002).

Assim, os vetores de pesos são atualizados a partir da fórmula:

$$\mathbf{m}_j = \frac{\sum_{i=1}^M N_i h_{ij} \mathbf{n}_i}{\sum_{i=1}^M N_i h_{ij}} \quad (5)$$

Onde M é o número de neurônios do mapa neural.

Para estabelecer o mesmo intervalo de valores, as variáveis foram normalizadas entre 0 e 1 por uma transformação linear simples conhecida como range (VESANTO et al., 2000).

As rotinas do algoritmo SOM foram desenvolvidas em Matlab pelo Laboratório de informação e computação científica na Universidade Tecnológica de Helsinki (<http://www.cis.hut.fi/projects/somtoolbox/>) (VESANTO et al., 2000).

### **2.3 Identificação de agrupamentos**

O algoritmo k-médias foi utilizado para identificar os agrupamentos sobre o mapa (Jain et. al., 1999). Adotou-se como medida de proximidade a distância euclidiana. O número de agrupamentos K foi identificado de modo automático e dentre 100 simulações escolheu-se a configuração de agrupamentos que possui o menor erro quadrático ou soma das variações intracluster (JAIN et. al., 1999) e para este, calculou-se o respectivo índice de Davis-Bouldin (DAVIES; BOULDIN, 1979). O índice de Davies-Bouldin serviu de critério para indicar o melhor agrupamento obtido (VESANTO; ALHONIEMI, 2000). Esta métrica avalia se a partição dos dados foi adequada (DAVIES; BOULDIN, 1979): quanto menor o valor do índice, melhor será o particionamento dos agrupamentos resultantes. Portanto, neste trabalho, o índice Davies-Bouldin foi utilizado como critério de decisão do número de agrupamentos adequado. Para avaliar a qualidade do mapa resultante após o processo de aprendizagem este trabalho utilizou-se duas métricas conhecidas como o erro topológico e erro da quantização vetorial (KOHONEN, 2001; VESANTO et al., 2000).

### **2.4 Geovisualização**

Geovisualização é um conjunto de ferramentas e técnicas que permite a exploração de dados geoespaciais multivariados por meio de uma interface visual (MACEACHREN; KRAAK, 2001). Dentre as diversas opções de ferramentas de geovisualização do SOM toolbox (VESANTO et al., 2000) foi escolhido o plano de componentes.

Os planos de componentes são usados para analisar visualmente a contribuição de cada componente (variável de entrada) na formação dos agrupamentos no mapa neural (VESANTO et al., 2000). A partir dos planos de componentes é possível identificar o sentido em que os atributos variam no mapa neural. A relação entre cada variável pode ser identificada através da análise visual dos padrões formados pelos valores altos e baixos (VESANTO et al., 2000).

### **3 Resultados**

Este capítulo está dividido em cinco partes. A primeira parte descreve o banco de dados celular. A segunda detalha as configurações do algoritmo SOM. A terceira parte é referente à análise da ferramenta de geovisualização do SOM. A quarta parte analisa o mapeamento das ecorregiões da Amazônia Legal. Por fim, a quinta parte descreve os efeitos das mudanças climáticas sobre a biodiversidade.

#### **3.1 Banco de dados celular**

Para cobrir toda área de estudo foram criadas 60.100 células de 100 km<sup>2</sup>. Mas nem todas as células foram usadas para a análise.

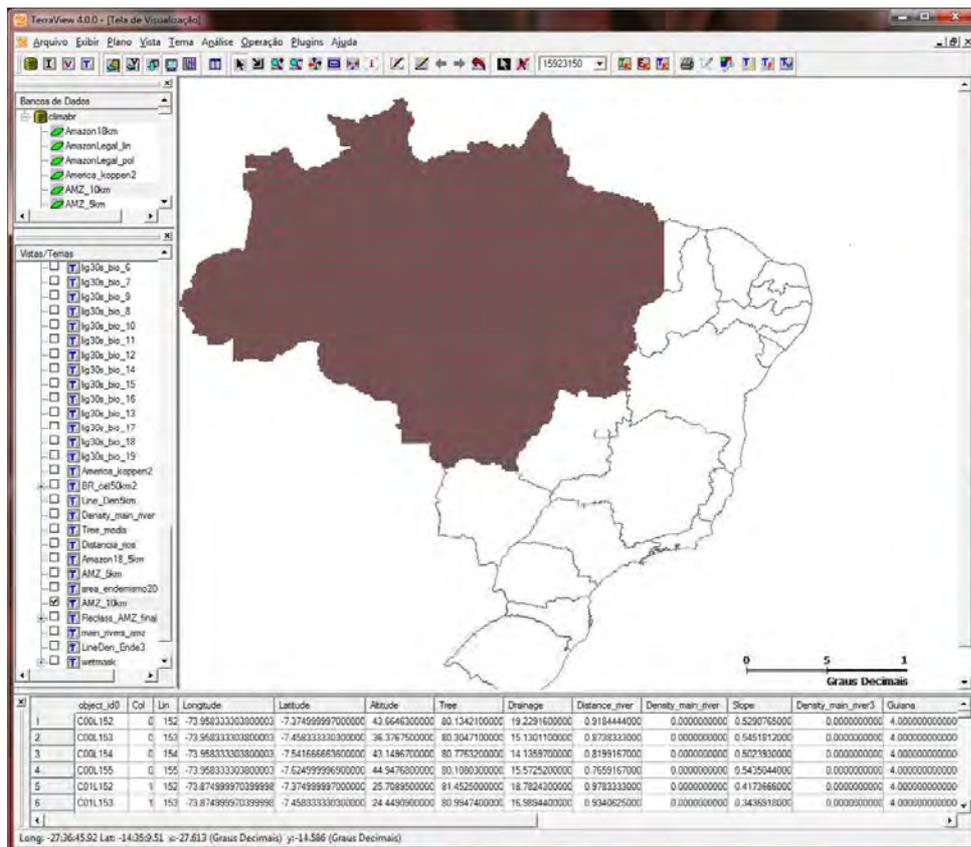


Figura 3.1.1 Plataforma do software TerraView 4.0. Alocação dos valores de cada variável sobre a base de dados celular. Na tabela abaixo são os valores de cada variável para cada célula.

Consideradas como não fazendo parte das ecorregiões, as áreas desmatadas foram excluídas da análise, somando um total de 9.626 células. Estas células representam 16% da área estudada.

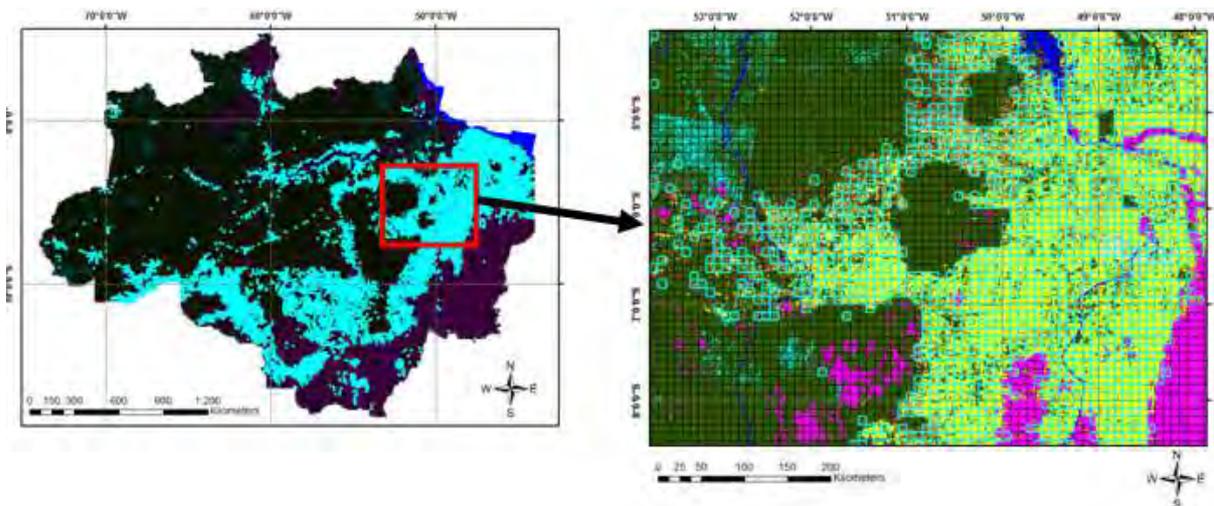


Figura 3.1.2 (a) Em ciano são as células desmatadas do mapeamento do PRODES (INPE, 2010) que foram excluídas das análises; (b) Zoom nas células selecionadas e posteriormente excluídas. Em margenta o Cerrado que não é mapeado pelo programa de monitoramento de desmatamento.

### 3.2 Configurações do algoritmo SOM

Os parâmetros escolhidos para a execução do algoritmo SOM durante o processo de treinamento foram: mapa bidimensional, hexagonal, função de vizinhança gaussiana, inicialização linear e aprendizagem em lote. Os parâmetros do algoritmo definidos a cada modelo foram: as dimensões do mapa neural, raio inicial e final da função de vizinhança.

Esses parâmetros aumentam a convergência da rede, além de proporcionar maior rapidez no processamento e permitir a replicabilidade do resultado. O mapa neural foi constituído por 1125 neurônios com dimensões de 45 x 25. O número de 1000 épocas foi definido por apresentar menor valor para o erro de quantização (0.0903) e o erro topológico (0.0267). O menor valor do índice Davis & Bouldin foi de 0.8347 com 60 classes (Figura 3.2.1). O gráfico da figura 3.2.1 mostra que os agrupamentos com 42, 56 e 60 classes os valores do índice atingiram mais baixos do gráfico.

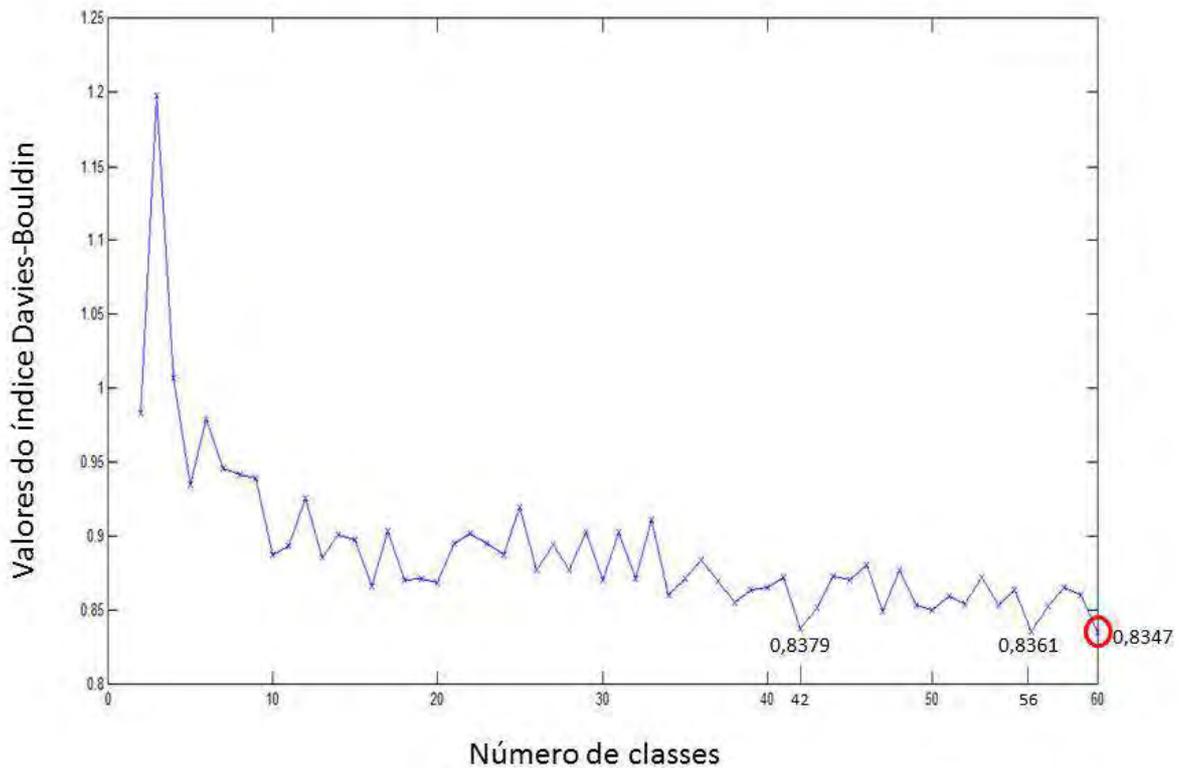


Figura 3.2.1 Gráfico do índice Davies-Bouldin. O círculo em vermelho mostra o agrupamento com o menor valor do índice.

### 3.2.1 Análise da ferramenta de geovisualização do SOM

Os planos de componentes resultantes do algoritmo SOM (Figura 3.2.1.1) permitem identificar visualmente como os valores de cada variável se distribuem neste espaço de atributos. Variáveis com distribuição de valores semelhantes no plano de componentes indicam possível dependência espacial (Ximenes, 2008; Arcoverde, 2008). Todas as variáveis que serão utilizadas para o mapeamento devem apresentar ausência da dependência espacial entre elas. Como todos os planos de componentes são diferentes pode-se inferir então, a ausência de dependência espacial entre as variáveis.

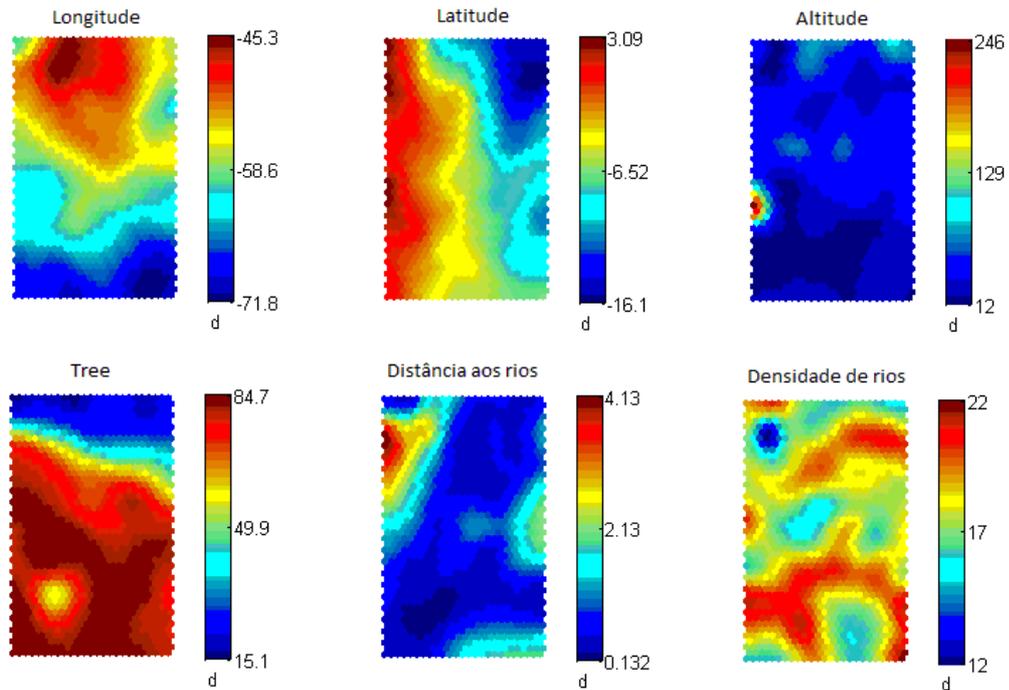


Figura 3.2.1.1 Planos de componentes das variáveis de longitude, latitude, altitude, porcentagem de cobertura de dossel (Tree), densidade de drenagem, distância aos principais rios e densidade de rios. Valores altos correspondem às divisas entre os agrupamentos e valores baixos aos neurônios similares que formam os agrupamentos.

O plano de componente da variável Tree mostra-se praticamente dominado por valores altos, isto significa que a maior parte da Amazônia Legal possui florestas com dossel denso. Enquanto isso, o plano de componente da variável altitude os valores máximos estão concentrados numa pequena região central do lado esquerdo, sendo o restante dominado por valores baixos (Figura 3.2.1.1).

### 3.3 Mapeamento das ecorregiões da Amazônia Legal

O mapa de ecorregiões resultante da aplicação do algoritmo SOM é apresentado na figura 3.3.2. Neste mapeamento foram identificadas 60 ecorregiões para toda a Amazônia Legal.

Algumas feições como as savanas de Roraima e as áreas alagadas são claramente visíveis no mapa. Ao visualizar o mapa (Figura 3.3.2) percebe-se a diferenciação das ecorregiões no sentido norte, sul, leste e oeste. Isto evidencia a

influência das variáveis de longitude e latitude. Outra contribuição importante foi da variável densidade de rios que delimitou principalmente as regiões alagadas no entorno dos rios Amazonas, Solimões, Negro, Juruá e Purus. A variável Tree (porcentagem de cobertura de dossel) foi importante para distinguir as fitofisionomias de áreas abertas como as savanas, campinas e o cerrado. A classe 0 (zero) corresponde às áreas de desmatamento que foram excluídas das análises para o mapeamento.

A figura 3.3.3 apresenta as ecorregiões propostas e as estradas pavimentadas em preto. Observa-se que as estradas estão localizadas justamente nas regiões desmatadas ou em regiões consideradas como as novas fronteiras do desmatamento na Amazônia. Com base na figura 3.3.3 é possível contemplar a questão do desmatamento no Cerrado. Como o PRODES não mapea o desmatamento no Cerrado não temos acesso a esta informação de forma direta. Mas a rede de estradas apresentada na figura 9 pode servir como indicativo de que estas áreas já estão desmatadas ou intensamente impactadas.

A figura 3.3.4 mostra o mapa de desmatamento acumulado de 1997 a 2010 do programa PRODES e as Unidades de Conservação Federais e Estaduais de proteção integral e uso sustentável espacialmente distribuídas.

## ECORREGIÕES DA AMAZÔNIA LEGAL

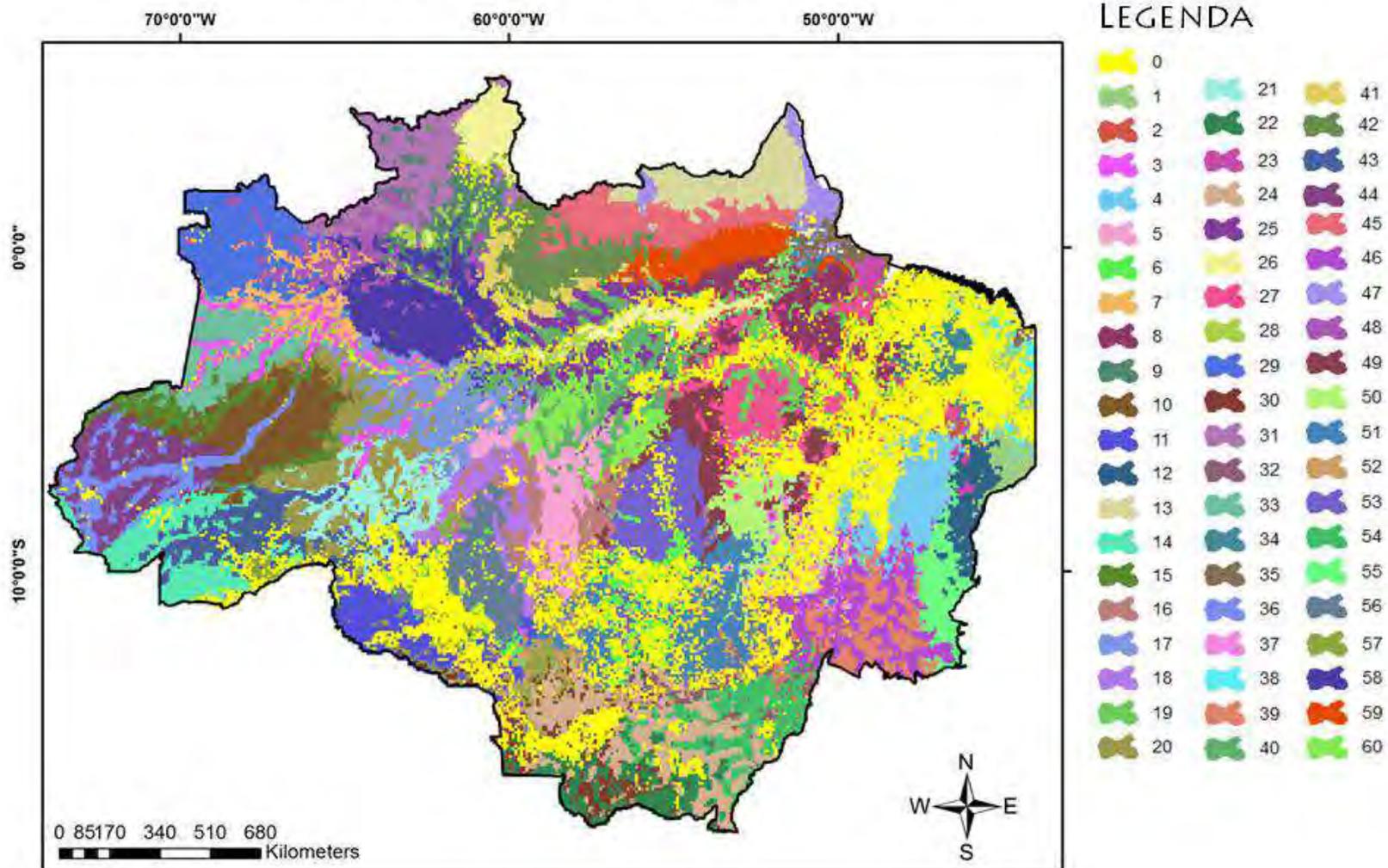


Figura 3.3.1 Resultados do modelo de mapeamento de ecorregiões para Amazônia legal.

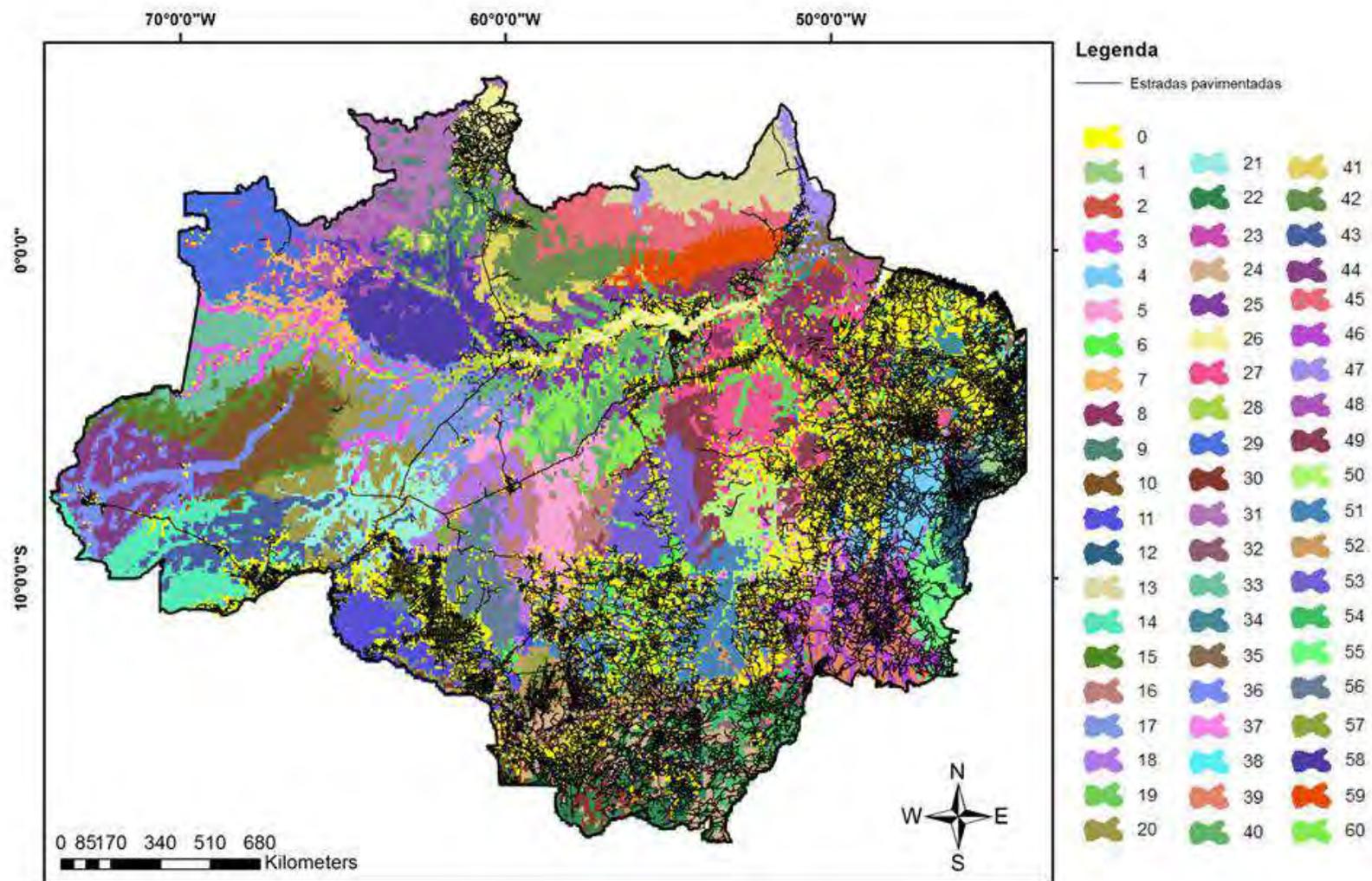


Figura 3.3.2 As ecorregiões mapeadas e as estradas pavimentadas em preto.

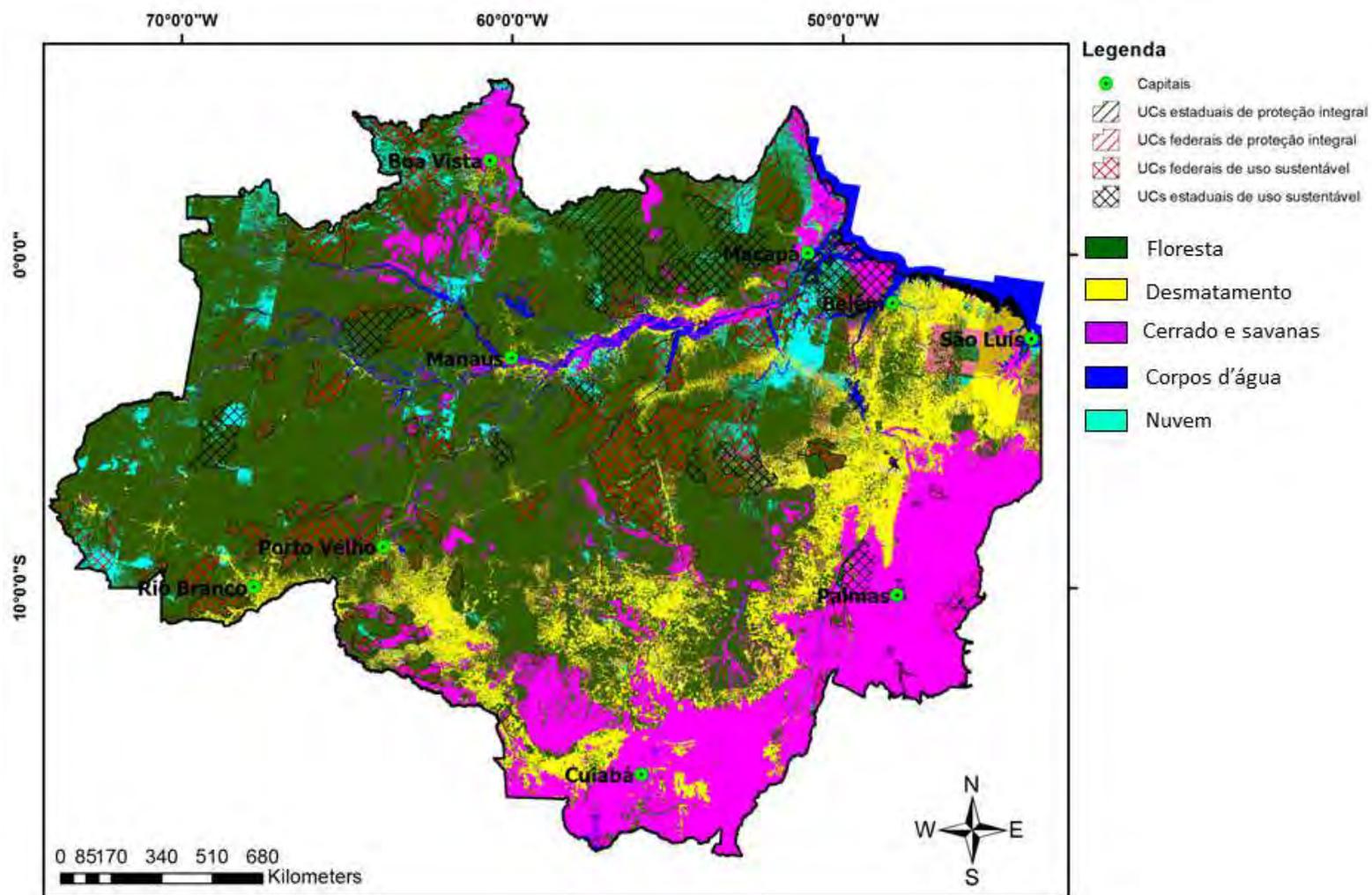


Figura 3.3.3 Mapa de desmatamento do programa PRODES e as Unidades de Conservações Federais e Estaduais de proteção integral e uso sustentável.

### 3.4 Efeitos das mudanças climáticas sobre a biodiversidade

Para visualizar um possível efeito das mudanças climáticas em regiões da Amazônia, o cenário A2, de altas emissões do Modelo de Projeção Regional ETA\_CCS (resolução 50 km) clima presente (1961 a 1990) e futuro (2070 a 2100) (2007; 2009) foram considerados. De modo a identificar os locais mais susceptíveis às alterações climáticas procedeu-se a subtração entre os modelos para temperatura e precipitação simulados para os períodos de 1990 e 2100 para os meses de janeiro e julho (Figura 3.4.1). As figuras 3.4.1 c e d mostram que as temperaturas dos meses janeiro e julho apresentam as maiores diferenças entre os anos de 1960 a 2100. Os círculos em preto destacam as regiões onde os efeitos das mudanças climáticas podem ser mais intensos. Dessa forma, estas regiões destacadas apresentam maior preocupação no que se refere aos impactos sobre a biodiversidade.

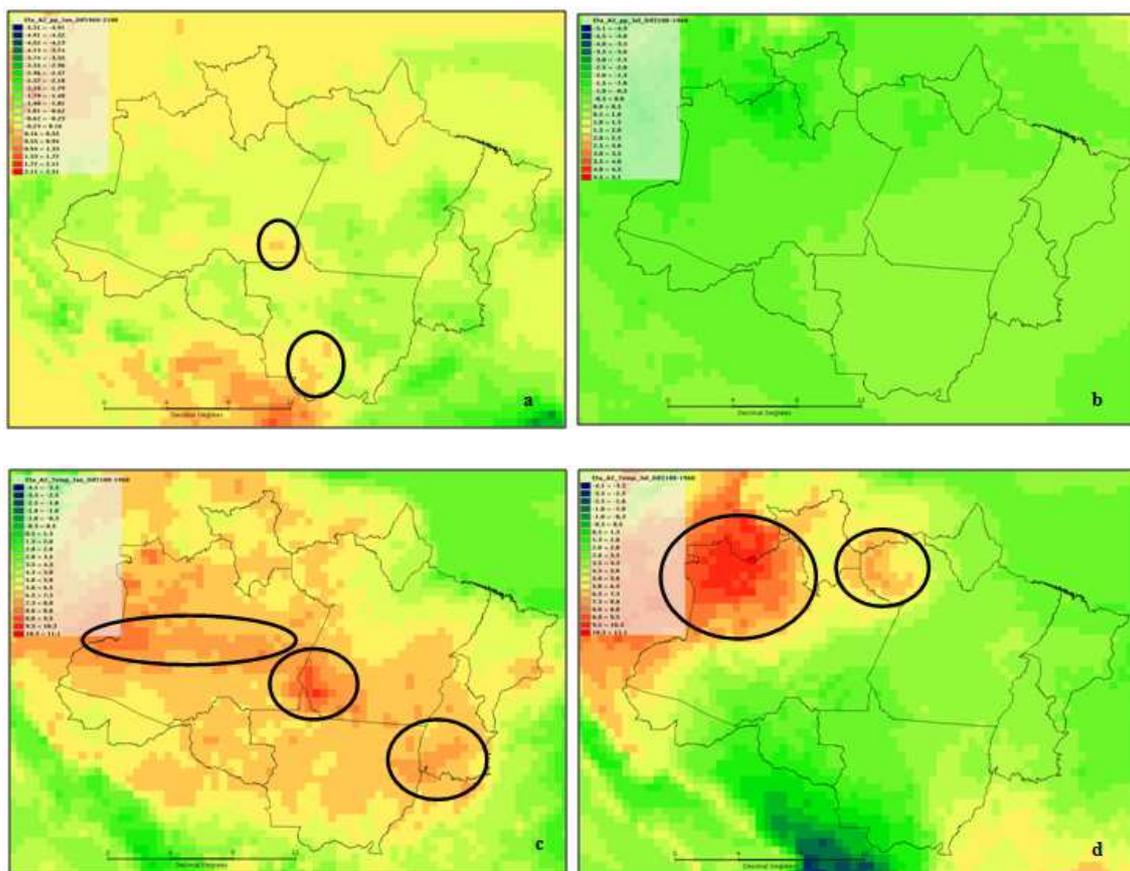


Figura 3.4.1. a. Diferença de precipitação (2100 -1960) simulada pelo modelo ETA A2 para o mês de janeiro. b. Diferença de precipitação (2100 -1960) simulada pelo modelo ETA A2 para o mês de julho. c. Diferença de temperatura (2100 -1960) simulada pelo modelo ETA A2 para o mês de janeiro. d. Diferença de

temperatura (2100 -1960) simulada pelo modelo ETA A2 para o mês de julho. Os círculos pretos estão indicando as regiões que sofrerão maiores efeitos das mudanças climáticas.

Enquanto isso, a precipitação de janeiro (Figura 3.4.1a) possui apenas duas pequenas regiões destacadas. Já o mês de julho (Figura 3.4.1b) permaneceu sem qualquer alteração perceptível, oferecendo um aspecto homogêneo para toda a área de interesse.

Os efeitos das mudanças climáticas sobre a biodiversidade pode ser analisada por meio dos modelos ETA cenário A2 (Figura 3.4.1) em contraste com a superfície de riqueza filogenética arbórea (figura 3.4.2) e o mapa de ecorregiões (Figura 3.4.3).

A Riqueza Filogenética de espécies arbóreas da região amazônica estão representados na Figura 3.4.2 (COSTA, 2011 inéd). Para percepção visual da distribuição espacial do fenômeno foi aplicado a razão de Kernel. O mapa de razão de Kernel foi obtido ponderando-se os valores de riqueza filogenética pelo número de indivíduos de cada inventário, aplicando-se uma função quártico, para cálculo de densidade e distância adaptativa (COSTA, 2011 inéd). Os modelos ETA confrontados com a riqueza filogenética oferecem uma primeira análise que numa das áreas com maior aumento de temperatura (diferenças de 8-9 Kelvin) encontram-se altos índices de riqueza filogenética. Estas regiões são as florestas abertas de terra firme (Region 3) e florestas densas terra firme baixas (Region 4) (Figura 3.4.3).

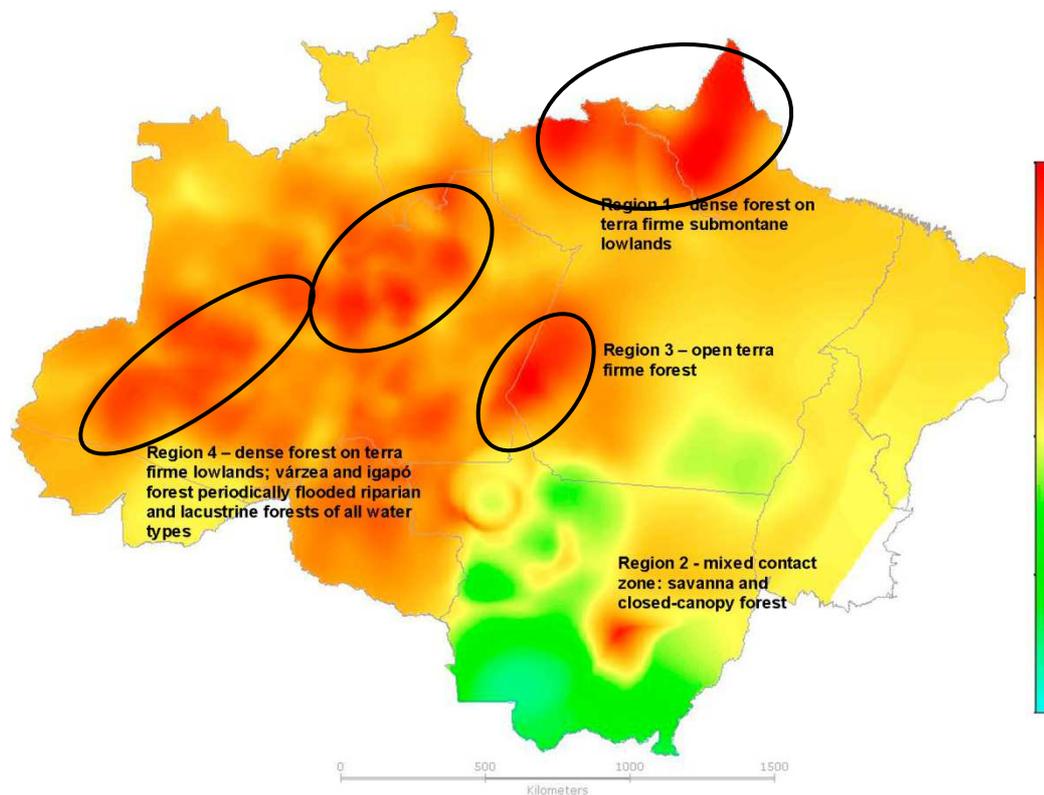


Figura 3.4.2 Destaque para áreas apontadas como “mais ricas” pela análise de razão de Kernel. Região 1 – dense forest on Terra Firme submontane lowlands. Região 2 - mixed contact zone: savanna and closed-canopy forest. Região 3 – open terra firme forest. Region 4 – dense forest on Terra Firme lowlands; Várzea and Igapó Forest periodically flooded riparian and lacustrine forests of all water types.

Os modelos ETA confrontados com o mapa de ecorregiões e as UCs oferecem uma segunda análise, onde áreas com maior aumento de temperatura encontram-se as ecorregiões desprotegidas ou parcialmente protegidas pelas UCs de Uso Sustentável.

Com base nos modelos ETA, a superfície de riqueza filogenética arbórea, as ecorregiões e a distribuição das Unidades de Conservação foram identificadas 4 regiões prioritárias para a conservação (figura 3.4.3) detalhadas a seguir:

Prior 1: Esta região apresenta alta diversidade filogenética e as ecorregiões estão ameaçadas pelo avanço do desmatamento. Além disso, a região está localizada numa das áreas com maior aumento de temperatura.

Prior 2: Esta região apresenta alta diversidade filogenética, porém parcialmente protegida com UCs de uso sustentável. A região também está localizada numa das áreas com maior aumento de temperatura.

Prior 3: Esta região apresenta alta diversidade filogenética e localizada também numa das áreas com aumento de temperatura. A região também está ameaçada pelos efeitos do desmatamento, pois a cidade de Manaus exerce influência sobre esta região.

Prior 4: Esta região possui valores baixos e intermediários de diversidade filogenética. Contudo está localizada numa das áreas com maior aumento de temperatura. Esta região é importante porque encontra-se próximo ao maior pico do Brasil, o famoso pico da Neblina, onde as ecorregiões encontram-se também parcialmente desprotegidas.

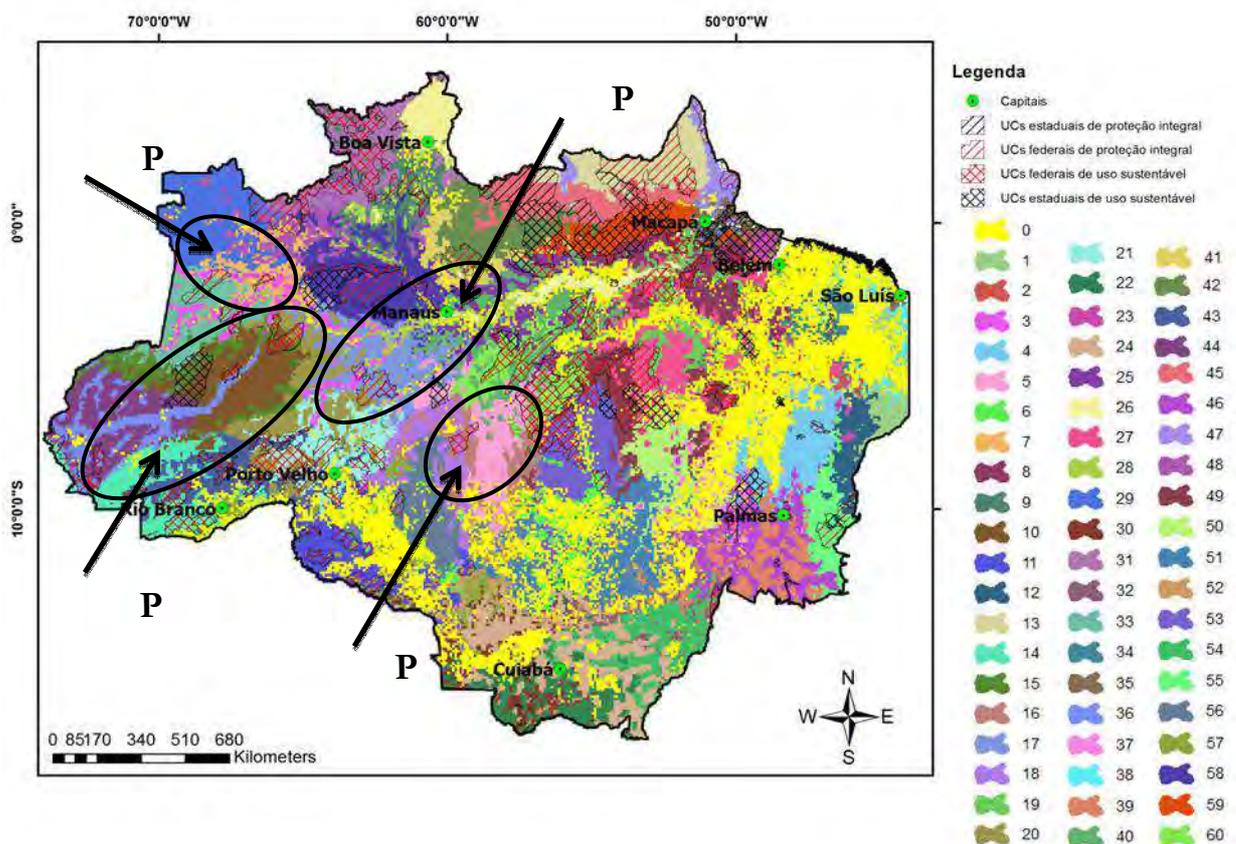


Figura 3.4.3 As Ecorregiões da Amazônia Legal e as Unidades de Conservações Federais e Estaduais de proteção integral e uso sustentável.

## 4 Conclusão

Este resultado pode ser considerado como o primeiro mapeamento das ecorregiões da Amazônia Legal delimitado por um método padronizado, quantitativo e semi-automático, sendo assim passível de reprodução.

A Amazônia Legal contendo 60 ecorregiões representando sua diversidade de ambientes, fornecendo assim informação relevante para estratégias de conservação da Amazônia.

Por este trabalho utilizar um método quantitativo e semi-automático diminui a interferência humana na delimitação das ecorregiões. Devido à falta de dados sistematizados e consistentes sobre a distribuição das espécies é viável propor a utilização das ecorregiões que descrevem de forma generalizada o padrão de distribuição das espécies como dado complementar. As ecorregiões terrestres identificadas a partir de métodos quantitativos neste trabalho podem auxiliar e complementar informações para o gerenciamento dos recursos florestais e no planejamento sistemático de conservação. O mapa de ecorregiões pode servir também como dado de entrada para futuros trabalhos de modelagem de distribuição de espécies.

Das variáveis ambientais utilizadas, pode-se afirmar que:

(1) Para o interflúvio Madeira-Purus as variáveis de latitude, longitude, densidade de rios, distância aos principais rios, altitude e porcentagem de cobertura de dossel serviram para representar a heterogeneidade da Amazônia.

(2) A densidade de drenagem gerada neste trabalho permitiu a delimitação das áreas sobre influência fluvial.

Do desenvolvimento metodológico proposto, pode-se afirmar que:

(1) O método proposto é flexível e eficiente porque aceita qualquer combinação de variáveis organizadas no espaço celular. As variáveis podem ser adicionadas, excluídas ou atualizadas rapidamente, identificando as variáveis ambientais mais adequadas para o mapeamento das ecorregiões.

(2) O método utilizado pode ser aplicado em outras regiões em diferentes escalas, e com diferentes abordagens de regionalização. Entretanto, os especialistas precisam avaliar os resultados derivados dos modelos que descrevem a área de estudo, porque todo o processo de seleção de variáveis e os limites que determinam as regiões necessitam do conhecimento de especialistas.

(3) Por suas características de redução da dimensionalidade e classificação de dados multivariados a rede neural do tipo SOM mostrou-se adequada para o mapeamento das ecorregiões. Para obter melhores resultados foi preciso realizar diversos testes e ajustes na rede neural. As heurísticas de Vesanto et al., (2000) utilizadas neste trabalho permitiram gerar bons resultados com menor interferência do usuário.

(4) A partir da análise dos planos de componentes foi possível identificar a ausência da dependência espacial entre variáveis que representam a heterogeneidade ambiental da Amazônia.

A edição manual das ecorregiões identificadas no mapeamento proposto faz-se necessária em algumas áreas onde há discordâncias no mapeamento resultante segundo a avaliação do especialista. Edições manuais e procedimentos para generalizar pequenas regiões precisariam ser realizados para publicação final do mapeamento.

## 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>>

BAILEY, R. G. Delineation of ecosystem regions. **Environmental management**, v. 7, n. 4, p. 365-373, 1983.

BAILEY, R. G. Identifying Ecoregion Boundaries. **Environmental Management**, v. 34, n. 1, p. S14-S26. 2005.

BROW, J.; LOMOLINO, M. V. **Biogeografia**. 2ª Edição. Funpec. 685p.

COOPS, N. C.; WULDER, M. A.; IWANICKA, D. An environmental domain classification of Canada using earth observation data for biodiversity assessment. **Ecological Informatics**, v. 4, p. 8-22, 2009.

COSTA, C. B. **Distribuição da diversidade filogenética na Amazônia a partir dos inventários florestais do Projeto RadamBrasil e os impactos dos cenários gerais de mudanças climáticas**. CENPES / BIOMA. MCT. Relatório parcial. 2011.

DAVIES, D. L.; BOULDIN, D. W. A cluster separation measure. **IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence**, v. PAMI-1, p. 224-227, 1979.

DINNERSTEIN, E., OLSON, D.M., GRAHAM, D.J., WEBSTER, A.L., PRIMM, S.A., BOOK BINDER, M.P. **Conservation assessment of the terrestrial ecoregions of Latin America and the Caribbean**. Washington: World Bank. 1995, 237 p.

ERWIN, E.; OBERMAYER, K. K.; SCHULTER, K. I. Self-Organizing Maps: stationary states, metastability and convergence rate. **Biological Cybernetics**, v. 67, p.35-45, 1992.

HANSEN, M.; DEFRIES, R. S.; TOWNSHEND, J. R. G.; CARROLL M.; DIMICELI, C.; SOHLBERG, R. A. Global Percent Tree Cover at a Spatial Resolution of 500 Meters: First Results of the MODIS Vegetation Continuous Fields Algorithm. **Earth Interactions**, v. 7, n. 10, p. 1-15, 2003.

HARGROVE, W. W.; HOFFMAN, F. M. Potential of multivariate quantitative methods for delineation and visualizations of ecoregions. **Environmental Management**, v. 34, n. 1, p. S39-S60, 2005.

HARGROVE, W. W.; HOFFMAN, F. M. Using multivariate clustering to characterize ecoregion borders. **Computers in Science & Engineering**, v. 1, p. 18-25, 1999.

- HAYKIN, S. S. **Redes neurais** – princípios e prática. 2. ed. Porto Alegre: Bookman Companhia, 2001. 400 p.
- HOST, G. E.; POLZER, P. L. MLADENOFF, D. J.; WHITE, M. A.; CROW, T. R. A quantitative approach to developing regional ecosystem classifications. **Ecological Applications**, v. 6, n. 2, p. 608-618, 1996.
- INPE. Projeto PRODES: **Monitoramento da Floresta Amazônica Brasileira por satélite, 2010**. Disponível em: <http://www.obt.inpe.br/prodes/>. Acesso: 29 Jan. 2011.
- JAIN, A.K.; DUIN, R.P.W.; MAO, J. Statistical Pattern Recognition: a review. **IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence**, v. 22, n.1, p. 4-37, 2000.
- JEPSON, P.; WHITTAKER, R. J. Ecoregions in context: a critique with special reference to Indonesia. **Conservation Biology**, v. 16, n. 1, 2002.
- KOHONEN, T. Self-organized formation of topologically correct feature maps. **Biological Cybernetics**, v. 43, p. 59–69, 1982.
- KOHONEN, T. The self-organizing map. **Proceedings of the IEEE**, v. 78, n. 9, p. 1464-1480, 1990.
- KOHONEN, T. **Self-organizing maps, springer series in information sciences**.3. ed. Berlin, Heidelberg: Springer, 2001. v. 30.
- LEATHWICK, J. R.; OVERTON, MCC. J.; MCLEOD, M. An environmental domain classification of New Zealand and its use as a tool for biodiversity management. **Conservation Biology**, v. 17, p. 1612–1623, 2003.
- LEHNER, B.; VERDIN, K.; JARVIS, A. **HydroSHEDS - technical documentation**, v. 1, p. 27, 2006. Disponível em: <[http://gisdata.usgs.net/HydroSHEDS/downloads/HydroSHEDS\\_TechDoc\\_v10.pdf](http://gisdata.usgs.net/HydroSHEDS/downloads/HydroSHEDS_TechDoc_v10.pdf)>.
- LO, Z.; FUJITA, M.; BAVARIAN, B. Analysis of neighborhood interaction in Kohonen neural networks. In: INTERNATIONAL PARALLEL PROCESSING SYMPOSIUM, 6., 1991, Anaheim, California, USA. **Proceedings...** Anaheim: IEEE Computer Society, 1991. ISBN 0-8186-9167-0p.
- LOVELAND, T. R.; MERCHANT, J. W. Ecoregions and ecoregionalization: geographical and ecological perspectives. **Environmental management**, v. 34, supp. 1, p. S1-S13, 2004.
- MACEACHREN, A. M.; KRAAK, M. Research challenges in geovisualization. **Cartography and Geographic Information Systems**, v. 28, p. 3-12, 2001.

NELSON, B.; ALBERNAZ, A.; SOARES-FILHO, B. **Estratégias de conservação para o programa ARPA**. Brasília: IBAMA, 2006. 69p. Relatório técnico.

NELSON, B. W.; FERREIRA, C. A. C.; SILVA, M. F.; KAWASAKI, M. L. Endemism centres, refugia and botanical collection density in Brazilian Amazonia. **Nature**, v. 345, p. 714 – 716, 1990.

OLIVEIRA, A. A.; NELSON, B. W. Floristic relationships of terra firme forests in the Brazilian Amazon. **Forest Ecology and Management**, v. 146, p. 169-179, 2001.

OMERNIK, J. M. Ecoregions of the Conterminous United States. **Annals of the Association of American Geographers**, v. 77, n. 1, p. 118-125, 1987.

OLSON, D.M., ET AL. Terrestrial ecoregions of the world: a new map of life on earth. **BioScience**, v. 51, p. 933-938, 2001.

PERES, C. A. Why we need megareserves in Amazonia. **Conservation Biology**, n. 19, v. 3, p. 728-733, 2005.

PISNICHENKO, I.A.; TARASOVA. T.A. 2007. **The climate version of the Eta regional forecast model**. São José dos Campos: INPE, 2008. (INPE ePrint sid.inpe.br/mtc-m17@80/2008/04.11.13.39). Disponível em: <<http://urlib.net/sid.inpe.br/mtc-m17@80/2008/04.11.13.39>>. Acesso em: 05 dez. 2012.

PISNICHENKO I.A.; TARASOVA. T. A. 2009. Climate version of the ETA regional forecast model. Evaluating the consistency between the ETA model and HadAM3P global model. **Theor. and Appl. Climatol.**, 99, No3-4, 255-272, doi: 10.1007/s00704-009-0139-4.

PHILLIPS, O. L.; HALL, P.; GENTRY, A.H.; SAWYER, S.A.; VASQUEZ, R. Dynamics and Species Richness of Tropical Rain-Forests. **Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America**, v. 91, n. 7, p. 2805-2809, 1994.

SALAZAR, L. F., NOBRE, C. A.; OYAMA, M. D. Climatic change consequences on the biome distribution in tropical South America. **Geophys. Res. Lett.**, v. 34, 2007.

SILVERMAN, B.W. **Density Estimation for statistics and data analysis**. New York: Chapman and Hall, 1986. 176 p.

TERBORGH, J.; ANDRESEN, E. The composition of Amazonian forests: patterns at local and regional scales. **Journal of Tropical Ecology**, v. 14, p. 645-664, 1998.

TERRAVIEW 4.0. São José dos Campos, SP: INPE, 2011. Disponível em: <[www.dpi.inpe.br/terraview](http://www.dpi.inpe.br/terraview)>. Acesso em: 26/02/2011.

TUOMISTO, H.; RUOKOLAINEN, K.; YLI-HALLA, M. Dispersal, environment, and floristic variation of western Amazonian forests. **Science**, v. 299, p. 241-244, 2003.

VESANTO, J.; HIMBERG, J.; ALHONIEMI, E.; PARHANKANGAS, J. Self-Organizing Map in Matlab: the SOM Toolbox. In: MATLAB DSP CONFERENCE, 1999, Espoo, Finland. **Proceedings...** Espoo, Finland, 1999, 1999. p. 35-40.

VESANTO, J.; HIMBERG, J.; ALHONIEMI, E.; PARHANKANGAS, J. **SOM Toolbox for Matlab 5**. Technical Report A57, Neural Networks Research Centre, Helsinki University of Technology, Helsinki, Finland, 2000.

VESANTO, J.; ALHONIEMI, E. Clustering of the self-organizing map. **IEEE Transactions on Neural Networks**, v. 11, n. 3, p. 586-600, 2000.

VESANTO, J. **Data exploration process based on the self-organizing Map**. Dissertation for the degree of Doctor of Technology. Helsinki University of Technology. Espoo, Finland, 2002. 96p.

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/mtc-m18@80/2008/08.18.14.02>>. Acesso em: 13 fev. 2011.

XIMENES, A. C.; AMARAL, S.; MONTEIRO, A. M. V.; VALERIANO, D. Self-Organized Map neural network approach for ecoregions mapping at Brazilian Amazon Forest. In: LATIN AMERICAN LANDSCAPE ECOLOGY CONFERENCE, 2009, Campos do Jordão. **Proceedings...** São José dos Campos, INPE, 2009.

XIMENES, A. C.; AMARAL, S. Mapeamento das ecorregiões do Distrito Florestal Sustentável da BR-163 na Amazônia Brasileira com uso de redes neurais. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 15., Curitiba. **Anais...** São José dos Campos: INPE, 2011. p.3094-3102.

ZHOU, Y.; NARUMALANI, S.; WALTMAN, W. J.; WALTMAN, S. W.; PALECKI, M. A. A GIS-based spatial pattern analysis model for ecoregion mapping and characterization. **International Journal of Geographic Information Science**, v. 17, p. 445-462, 2003.