



Universidade do Estado do Rio de Janeiro

Centro Biomédico

Instituto de Biologia Roberto Alcântara Gomes

Aline Gaglia Alves

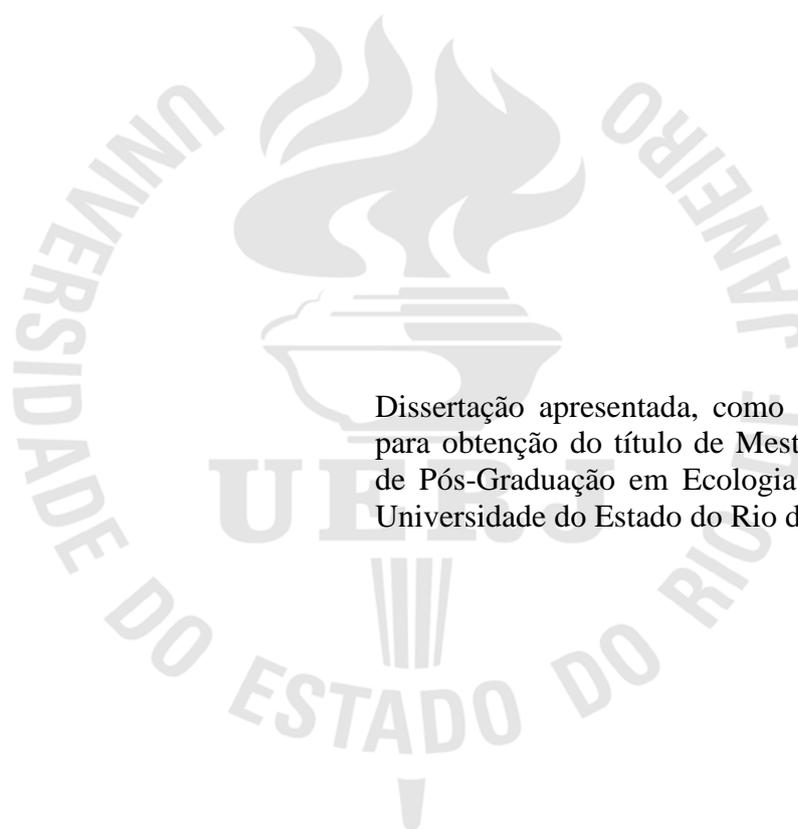
**Estradas e conectividade na Mata Atlântica: identificando áreas
prioritárias para aplicação de medidas de mitigação.**

Rio de Janeiro

2013

Aline Gaglia Alves

Estradas e conectividade na Mata Atlântica: identificando áreas prioritárias para aplicação de medidas de mitigação.



Dissertação apresentada, como requisito parcial para obtenção do título de Mestre, ao Programa de Pós-Graduação em Ecologia e Evolução, da Universidade do Estado do Rio de Janeiro.

Orientadora: Prof.^a Dra. Helena de Godoy Bergallo

Coorientadora: Prof.^a Dra. Simone Rodrigues de Freitas

Rio de Janeiro

2013

CATALOGAÇÃO NA FONTE
UERJ / REDE SIRIUS / BIBLIOTECA CTC-A

A474

Alves, Aline Gaglia.

Estradas e conectividade na Mata Atlântica: identificando áreas prioritárias para aplicação de medidas de mitigação / Aline Gaglia Alves. – 2013.

65 f. : il.

Orientadora: Helena de Godoy Bergallo.

Coorientadora: Simone Rodrigues de Freitas.

Dissertação (Mestrado) - Universidade do Estado do Rio de Janeiro.
Instituto de Biologia Roberto Alcântara Gomes.

Inclui bibliografia.

1. Essências florestais – Teses. 2. Vertebrado – Teses. 3. Mata Atlântica – Teses. 4. Estradas florestais - Teses. I. Bergallo, Helena de Godoy. II. Freitas, Simone Rodrigues de. III. Universidade do Estado do Rio de Janeiro. Instituto de Biologia Roberto Alcântara Gomes. IV. Título.

CDU 634:625:596

Autorizo, apenas para fins acadêmicos e científicos, a reprodução total ou parcial desta dissertação, desde que citada a fonte.

Assinatura

Data

Aline Gaglia Alves

Estradas e conectividade na Mata Atlântica: identificando áreas prioritárias para aplicação de medidas de mitigação.

Dissertação apresentada, como requisito parcial para obtenção do título de Mestre, ao Programa de Pós-Graduação em Ecologia e Evolução, da Universidade do Estado do Rio de Janeiro.

Aprovada em 02 de fevereiro de 2013.

Orientadora:

Prof.^a Dra. Helena de Godoy Bergallo
Instituto de Biologia Roberto Alcântara Gomes-UERJ

Banca Examinadora:

Prof.^a Dra. Simone Rodrigues de Freitas (Coorientadora)
Universidade Federal do ABC

Prof.^a Dra. Mariana Moncassim Vale
Universidade Federal do Rio de Janeiro

Prof. Dr. Marcus Vinicius Vieira
Universidade Federal do Rio de Janeiro

Rio de Janeiro

2013

DEDICATÓRIA

Ao Gui, meu amor loiro, que mesmo com tão pouca idade demonstrou maturidade e
companheirismo durante esses dois anos.

AGRADECIMENTOS

Especialmente e primeiramente à minha mãezinha que sem o apoio dela eu não teria conseguido chegar até aqui. O seu amor, carinho e dedicação comigo, com meu filho e com a minha casa foram preciosos nesta etapa da minha vida. Serei eternamente grata à você por todo amor e dedicação.

Ao meu pai pela inspiração, pelo exemplo de persistência e coragem e pela torcida de sempre.

À minha coorientadora Simone pela confiança, parceria e ensinamentos neste novo mundo que comecei a explorar. Seus resgates e incentivos foram fundamentais.

À minha querida orientadora Nena por um dia (muitos anos atrás...) ter aberto a porta e nunca ter desistido de mim. Obrigada pelo carinho, acolhimento e ensinamentos.

Ao meu querido Zucco pela força, exemplo de pesquisador e pelo aprendizado inevitável de quem convive com você. E, sobretudo agradeço pela ajuda fundamental com as análises deste trabalho.

Ao Henrique por tomar conta de tudo sempre e com muita solicitude. Só perde para minha mãe!

À minha amiga Carla Conde pelo incentivo, apoio e estudos iniciais que me inspiraram tanto.

À minhas amigas e parceiras de luta, Paula Martins e Liliane Seixas. Obrigada meninas por terem aturado meu cansaço e angústias, pelo incentivo constante e compreensão. Certamente, também não seria tão divertido se vocês não tivessem comigo. Valeu por todos os risos e conversas desses dois anos.

À Ecology por ter me apoiado na formação, especialmente a Helen e Flávia que foram sempre tão compreensivas com minha jornada dupla, ou melhor, tripla. E a Manu que segurou as pontas bravamente quando precisei sair para estudar.

À Vera por ter embarcado nessa comigo e pelo companheirismo de sempre.

À querida Lu e Riso que me socorreram com muita paciência e bom humor os meus problemas com o GIS.

À Sol da minha vida pela ajuda com a formatação e alegrando a minha alma com suas ideias modernas.

À Mariana Vale pela revisão e importantes considerações a este trabalho.

Aos meus queridos de laboratório e da pós que estiveram por ali por perto dando um super apoio: Natália Ardente, Raul, Flávia, Livia, Thiago, Hermano, Aline, Rodrigo, Marlon e Lélis.

Aos meus familiares e amigos que tiveram na minha torcida e sempre me incentivando. São muitos e a lista de agradecimentos seria enorme. Vocês estão no meu coração!

O dia se passou deleitosamente; deleite é, no entanto, um termo fraco para tais transportes de prazer. Tenho caminhado sozinho pela floresta brasileira; entre a multidão, é difícil dizer que conjunto de objetos é mais impressionante: a exuberância geral da vegetação inclui a vitória, a elegância das gramíneas, a novidade das plantas parasitas, a beleza das flores...o verde lustroso das folhagens, tudo tende àquele fim. Uma mistura das mais paradoxais de som e silêncio domina as partes menos ensolaradas da floresta. O barulho dos insetos é tão alto que à noite pode-se fazer ouvir mesmo em uma embarcação ancorada a centenas de jardas da praia. E, no entanto, dentro dos recessos da floresta, quando imersos nele, uma paz universal nos parece prevalente. Para uma pessoa com inclinação para a história natural, um dia como este traz um tipo de prazer mais agudo do que ela jamais poderá voltar a sentir.

Charles Darwin em O Diário do Beagle

RESUMO

ALVES, Aline Gaglia. *Estradas e conectividade na Mata Atlântica: identificando áreas prioritárias para aplicação de medidas de mitigação*. 2013. 65 f. Dissertação (Mestrado em Ecologia e Evolução) - Instituto de Biologia Roberto Alcântara Gomes, Universidade do Estado do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2013.

As rodovias podem representar um importante fator na fragmentação de habitat para espécies silvestres adaptadas a habitats de alta complexidade estrutural, como as florestas tropicais. As estradas reduzem a conectividade da paisagem e a capacidade da população regional em habitar todas as áreas adequadas e estes efeitos são mais significativos nas espécies que evitam a estrada, que são, muitas vezes, espécies de interior de florestas. A magnitude dos efeitos de barreira dependerá do comportamento e mobilidade destas espécies. Quando as estradas representam “ralos” (“sink”) ou barreiras para as populações, devido, respectivamente, aos atropelamentos ou à repulsa, medidas mitigadoras são indicadas para aumentar a conectividade entre as manchas de habitat separadas por essas estradas. A qualidade do habitat é um fator que deve ser considerado, mesmo com baixas frequências de atropelamentos nesses locais. O objetivo desse estudo foi propor dois métodos de seleção de áreas prioritárias para implantação de medidas mitigadoras dos efeitos das estradas sobre espécies de vertebrados florestais: Seleção Hierárquica Multivariada e Seleção Bivariada. A área de estudo foi o bioma Mata Atlântica, sendo recortado em paisagens hexagonais em três escalas diferentes (10.000, 1.000 e 100 km²), usando a extensão “Repeating Shapes” no programa ArcGIS 9.3. Em cada hexágono foram calculados: área de floresta e de Unidade de Conservação, densidade de estradas e de hidrografia. Apenas os hexágonos cobertos por no mínimo 45% pela Mata Atlântica, com mais de 50% de cobertura florestal e mais de 1% de Unidades de Conservação foram incluídos nas análises. Após esta seleção, no método Seleção Hierárquica Multivariada, foi feita uma análise de componentes principais (PCA) com as quatro variáveis medidas, para cada escala separadamente. Os hexágonos foram então ordenados segundo o posicionamento deles no 1º Eixo da PCA de forma hierárquica e da maior para menor escala de hexágonos. Para área de estudo o método de Seleção Bivariada foi construído um gráfico de pontos, para cada escala de hexágono, com as variáveis cobertura florestal e rios. Foram selecionados os hexágonos que estavam localizados no quadrante do gráfico que representasse maior densidade de rios e maior porcentagem de cobertura florestal. Posteriormente foi feita uma simulação para avaliar se os métodos eram capazes de recuperar escores tão alto quanto a ordenação seguindo apenas o posicionamento dos hexágonos no Eixo 1 da PCA, sem uma análise hierárquica. O método de Seleção Hierárquica Multivariada foi mais eficiente para escolha de áreas prioritárias do que a Seleção Bivariada tanto para a escala intermediária (1.000 km²) quanto para a menor escala (100 km²). Os cinco hexágonos de 100 km² mais prioritários estão localizados em São Paulo e Paraná, abrangendo quatro UCs (PARES de Jacupiranga, APA de Guaraqueçaba, APA Cananéia-Jacuípe e PARES da Ilha do Cardoso). Devido à simplicidade e fácil aplicabilidade do método, acredita-se que este pode ser uma opção interessante para escolha de áreas prioritárias para implantação de medidas mitigadoras dos efeitos de estradas.

Palavras-chave: Ecologia de estradas. Conservação da biodiversidade. Floresta tropical. Medidas mitigadoras. Vertebrados.

ABSTRACT

ALVES, Aline Gaglia. Roads and connectivity in the Atlantic Forest: identifying priority areas for implementation of mitigation measures. 2013 65 f. Thesis (MA in Ecology and Evolution) - Institute of Biology Roberto Alcantara Gomes, State University of Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2013.

Roads may represent an important factor in fragmentation of habitat for wild species adapted to habitats of high structural complexity as rainforests. Roads reduce landscape connectivity and the capacity of the regional population live in all suitable areas and these effects are most significant in species that avoid the road, which are often species dependent on forests. The magnitude of the barrier effects depend on the behavior and mobility of these species. When roads represent "sinks" or barriers for populations due, respectively, trampling or avoidance, mitigation measures are indicated to increase connectivity between habitat patches separated by these roads. The habitat quality is a factor that must be considered, even at low frequencies of road kill there. The goal of this study was to propose two methods of selecting priority areas for implementation of mitigation measures of roads effects on forest vertebrate species: Multivariate Hierarchical Selection and Bivariate Selection. The study area was the Atlantic Forest biome, being cut into hexagonal landscapes at three different scales (10,000, 1,000 and 100 km²), using the extension "Repeating Shapes" program in ArcGIS 9.3. In each hexagon was calculated: area of forest, protected areas, density of roads and hydrograph. Only hexagons covered by at least 45% by the Atlantic Forest, with over 50% forest cover and more than 1% of protected areas were included in the analyzes. After this using the Multivariate Hierarchical selection method, we performed a principal component analysis (PCA) with the four variables measured for each scale separately. The hexagons were then ordered according to their position in the first axis of PCA, using a hierarchical manner and the smaller scale of hexagons. For the Bivariate selection method we did a dot plot for each scale hexagon, with the variables forest cover and rivers. We selected hexagons that were located in the quadrant of the graph that represented higher density of rivers and larger percentage of forest cover. After that, we made a simulation to evaluate if the two methods were able to retrieve scores as high as the ordination following only the positioning of the hexagons on Axis 1 of the PCA, without a hierarchical analysis. For the study site, the Multivariate Hierarchical selection was more efficient for choosing priority areas than Bivariate Selection for both the intermediate scale (1000 km²) and to a lesser extent (100 km²). The five hexagons of 100 km² of highest priorities are located in São Paulo and Paraná, covering four protected areas (PARES of Jacupiranga, Guaraqueçaba APA, and APA Cananéia-Jacuípe and PARES Ilha do Cardoso). Due to simplicity and easy applicability of the method, we believe this may be an interesting option for selecting priority areas for implementation of mitigation measures of the effects of roads.

Keywords: Roads. Road ecology. Conservation of biodiversity. Tropical forest. Mitigation measures. Vertebrates.

LISTAS DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 -	Distribuição dos fragmentos florestais do bioma Mata Atlântica utilizados como referência para este estudo.....	20
Figura 2 -	Distribuição de estradas pavimentadas no bioma Mata Atlântica por Estado brasileiro.....	22
Figura 3 -	Esquema da análise multiescala hierárquica entre os hexágonos	26
Figura 4 -	Ilustrativo do método de Seleção Bivariada.....	27
Figura 1 -	Distribuição geral dos hexágonos selecionados no bioma Mata Atlântica	29
Figura 6 -	Componentes Principais para os hexágonos de 10.000 km ² selecionados para o bioma Mata Atlântica.....	30
Figura 7 -	Componentes Principais para os hexágonos de 1.000km ² selecionados para o bioma Mata Atlântica.....	31
Figura 8 -	Análise dos Componentes Principais para os hexágonos de 100 km ² selecionados para o bioma Mata Atlântica.....	31
Figura 9 -	Todos os oito hexágonos de 10.000 km ² selecionados para implantação de medidas mitigadoras dos efeitos de estradas para Mata Atlântica.....	36
Figura 10 -	Dez primeiros hexágonos de 1.000 km ² , dentro dos hexágonos de 10.000 km ² (142 e 155) selecionados como prioritários para implantação de medidas mitigadoras dos efeitos de estradas para Mata Atlântica pelo Método de Seleção Hierárquica Multivariada.....	37
Figura 11 -	Dez primeiros hexágonos de 100 km ² dentro dos hexágonos de 1.000 km ² (1300 e 1339) selecionados como prioritários para implantação de medidas mitigadoras dos efeitos de estradas para Mata Atlântica pelo Método de Seleção Hierárquica Multivariada.....	38
Figura 12 -	Detalhes dos cinco hexágonos de 10.000 km ² mais prioritários para implantação de medidas mitigadoras dos efeitos de estradas para Mata Atlântica pelo Método de Seleção Hierárquica Multivariada.....	39
Figura 13 -	Detalhes dos cinco hexágonos de 1.000 km ² mais prioritários para implantação de medidas mitigadoras dos efeitos de estradas para Mata Atlântica pelo Método de Seleção Hierárquica Multivariada.....	40

Figura 14 -	Detalhes dos cinco hexágonos de 100 km ² mais prioritários para implantação de medidas mitigadoras dos efeitos de estradas para Mata Atlântica pelo Método de Seleção Hierárquica Multivariada.....	41
Figura 15 -	Hexágono de 10.000 km ² , no 181, selecionados graficamente pelo quadrante que representa maior porcentagem de cobertura florestal e maior densidade de rios.....	42
Figura 16 -	Os sete hexágonos de 1000 km ² selecionados graficamente pelo quadrante que representa maior porcentagem de cobertura florestal e maior densidade de rios.....	43
Figura 17 -	Os 34 hexágonos de 100 km ² selecionados graficamente pelo quadrante que representa maior porcentagem de cobertura florestal e maior densidade de rios.....	45
Figura 18 -	Hexágono de 10.000 km ² (181) selecionado pelo método de Seleção Bivariada para implantação das medidas mitigadoras dos efeitos de estrada para o bioma Mata Atlântica.....	45
Figura 19 -	Distribuição espacial dos cinco hexágonos prioritários (1.000 km ²) determinados pelo método de Seleção Bivariada para implantação das medidas mitigadoras dos efeitos de estrada para o bioma Mata Atlântica, localizados no sul de São Paulo e norte do Paraná.....	46
Figura 20 -	Distribuição espacial dos cinco hexágonos prioritários (100 km ²) determinados pelo método de Seleção Bivariada para implantação das medidas mitigadoras dos efeitos de estrada para o bioma Mata Atlântica, na região da fronteira de São Paulo e Paraná e da fronteira de São Paulo e Rio de Janeiro.....	47
Figura 21 -	Frequência dos valores simulados para o somatório dos escores. A seta vermelha indica o valor observado para a Seleção Bivariada e a azul para a Seleção Hierárquica Multivariada dos hexágonos de 1.000 km ²	48
Figura 22 -	Frequência dos valores simulados para o somatório dos escores. A seta vermelha indica o valor observado para a Seleção Bivariada e a azul para a Seleção Hierárquica Multivariada dos hexágonos de 100 km ²	48

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 -	Densidade de estradas geral e apenas as pavimentadas (km/km ²) distribuídas na Mata Atlântica por estado.....	21
Tabela 2 -	Resultado da Análise dos Componentes Principais (PCA) para cada escala de hexágonos.....	32
Tabela 3-	Vinte primeiros hexágonos selecionados e priorizados no bioma Mata Atlântica para implantação de medidas mitigadoras dos efeitos de estradas, utilizando a Seleção Hierárquica Multivariada para os três tamanhos de áreas adotados (10.000, 1.000 e 100 km ²).....	33
Tabela 4 -	Valores das variáveis (Cobertura Florestal, Unidade de Conservação, Estradas e Rios) dos principais hexágonos selecionados pelo método de Seleção Hierárquica Multivariada para cada uma das três escalas	34
Tabela 5 -	Valores das variáveis (Cobertura Florestal, Unidade de Conservação, Estradas e Rios) dos principais hexágonos selecionados pelo Método de Seleção Bivariada para escala de 10.000 (no 181), 1.000 (7 hexágonos) e 100 km ² (10 primeiros)	44

SUMÁRIO

	INTRODUÇÃO.....	13
1	OBJETIVOS.....	18
1.1	Objetivos específicos.....	18
2	MATERIAL E MÉTODOS.....	19
2.1	Área de estudo.....	19
2.1.1	<u>Pressupostos do Modelo</u>	22
2.1.2	<u>Informações e mapas digitais usados</u>	23
2.1.3	<u>Recortando o bioma Mata Atlântica em pedaços hexagonais e quantificando as características de paisagem</u>	24
2.1.4	<u>Métodos de seleção de áreas prioritárias para implantar medidas mitigadoras do efeito das estradas</u>	24
2.1.4.1	Seleção multiescala dos hexágonos.....	24
2.1.4.2	Seleção Hierárquica Multivariada	25
2.1.4.3	Seleção Bivariada	26
2.1.5	<u>Teste de sensibilidade dos dois métodos</u>	27
3	RESULTADOS.....	29
3.1	Seleção Multiescala dos Hexágonos.....	29
3.2	Seleção Hierárquica Multivariada	30
3.3	Seleção Bivariada	42
3.4	Teste de sensibilidade dos dois métodos.....	48
4	DISCUSSÃO.....	49
	CONCLUSÃO.....	54
	REFERÊNCIAS.....	55
	ANEXO A – Apresentação das tabelas completas 2, 3 e 4	59

INTRODUÇÃO

Muitos são os impactos das estradas sobre o ambiente, dentre eles, vale destacar a morte de indivíduos por atropelamentos, modificações no comportamento animal e em seus padrões de movimentação, podendo levar ao isolamento populacional; fragmentação do habitat, efeitos de borda e perda de habitat; introdução de espécies exóticas, disseminação de doenças, modificações nos solos locais, escoamento e absorção da água e contaminação de ecossistemas aquáticos, aumento da acessibilidade de populações humanas, incluindo caçadores e coletores (e.g. Forman & Alexander 1998; Trombulak & Frissel 2000; Nagendra *et al.* 2003; Laurance *et al.* 2009). Além destes, Ree e colaboradores (2011) destacaram a interferência na qualidade estética e recreacional da paisagem no entorno das rodovias como impactos relevantes. Recentes estudos têm evidenciado os impactos causados na expansão das rodovias em florestas tropicais e, particularmente, nos países em desenvolvimento (Goosem 2007; Laurance *et al.* 2009).

As estradas e clareiras lineares (ex. linhas de transmissão, gasodutos, ferrovia, entre outros) podem funcionar como barreiras sobre os movimentos de animais, levando ao isolamento de populações e a redução de processos ecossistêmicos que dependem desses deslocamentos, como a polinização e a dispersão de sementes (Develey & Stouffer. 2001; Goosem *et al.* 2001; Goosem 2007; Fahrig & Rytwinski 2009; Fuentes-Montemayor *et al.* 2009). Para espécies silvestres adaptadas a habitats de alta complexidade estrutural, como as florestas tropicais, as rodovias podem representar um importante fator na descontinuidade do habitat, e a magnitude dos efeitos de barreira dependerá do comportamento e da capacidade de deslocamento das espécies em relação às estradas (Goosem *et al.* 2001). Forman & Alexander (1998) destacaram os efeitos de barreira como um dos maiores impactos ecológicos das estradas.

O uso dos recursos por um dado animal na paisagem depende da capacidade de deslocamento da espécie, da distância entre as manchas de habitat e do tipo de matriz que pode facilitar ou permitir o deslocamento entre manchas de habitat (Taylor *et al.* 1993). A conectividade da paisagem é importante, principalmente para os organismos que utilizam vários tipos de habitat para suas necessidades diárias e de vida e porque permitem movimentos para repovoar áreas que sofreram declínios populacionais e extinções ou para minimizar os efeitos negativos da endogamia (Forman *et al.* 2003). A redução da conectividade da paisagem florestal, causada principalmente pelo processo de fragmentação

por ações antrópicas, tem sido vista como um fator de preocupação, sobretudo na manutenção de populações silvestres e fluxos ecológicos (Taylor *et al.* 1993; Taylor *et al.* 2006; Saura e Pascual- Hortal 2007). Quando as estradas agem como barreiras aos movimentos da fauna, elas reduzem a conectividade da paisagem e a capacidade da população em habitar todas as manchas de habitat na região (Jaeger 2000). Estes efeitos são mais significativos nas espécies que evitam a estrada, que são, muitas vezes, espécies de interior de florestas (Develey & Stouffer 2001; Forman *et al.* 2003). Porém, estudos têm demonstrado que algumas espécies generalistas são menos suscetíveis aos efeitos de borda, a fragmentação e a perda de hábitat (Andrén 1994; Pardini *et al.* 2010). Para essas espécies generalistas, a conectividade da paisagem é maior já que diferentes tipos de matriz permitem seu deslocamento. Dessa forma, essas espécies são as que podem apresentar maiores taxas de atropelamento, uma vez que elas não evitam as estradas (Goosem *et al.* 2001; Forman *et al.* 2003).

Uma das características mais marcantes em fragmentos de florestas tropicais é o efeito de borda que consiste de alterações micro-climáticas e na vegetação da região mais externa do fragmento em contato mais direto com a matriz (Murcia 1995). O efeito de borda acarreta a redução da área-núcleo do fragmento, ou seja, da área de habitat florestal, especialmente para as espécies florestais mais sensíveis. Dessa forma, este efeito leva a limitações na disponibilidade de alimentos, abrigos e espaço, que são imprescindíveis para a sobrevivência e ao desempenho reprodutivo, podendo levar à redução no tamanho populacional, que somado à redução das taxas de movimento podem maximizar a probabilidade de extinção local (Grilo *et al.* 2012). Algumas populações animais apresentam o comportamento de evitar as estradas, seja devido a este efeito de borda, seja devido à poluição sonora, ou até mesmo evitando clareiras estreitas (< 30 m de largura) reduzindo a conectividade funcional, e, conseqüentemente, dificultando os fluxos biológicos (Taylor *et al.* 1993; Develey & Stouffer 2001; McGregor *et al.* 2008; Fahrig & Rytwinski 2009; Fuentes-Montemayor *et al.* 2009; Laurance *et al.* 2009;). Neste contexto, a conectividade funcional é interpretada como o grau em que a paisagem facilita ou impede o movimento dos indivíduos entre os fragmentos (Taylor *et al.* 1993; Gibbon *et al.* 2007) determinado pelo padrão de movimento de cada organismo, bem como pela conectividade estrutural desta paisagem, ou seja, pela distância entre as manchas, a densidade, complexidade, largura e qualidade das redes de corredores, bem como a densidade de trampolins e a permeabilidade da matriz (Metzger & Décamps 1997).

Em um cenário onde as estradas dividem uma população contínua em pequenas populações isoladas por várias gerações, espera-se um aumento na taxa de endocruzamento, e, por conseguinte, perda da variabilidade genética devido à deriva genética (Seiler 2001). Em curto prazo, a perda de variabilidade genética pode reduzir a aptidão individual. Em longo prazo, a redução da riqueza alélica deve limitar a habilidade das populações a responderem às mudanças devidas à ação de forças seletivas (Ellstrand & Ellan 1993). Embora seja esperado que as espécies mais dependentes de habitats florestais evitem não só as bordas das manchas de habitat, mas também as próprias rodovias, alguns indivíduos podem não ser capazes de atravessar as estradas, devido à colisão com veículos. Dessa forma, os eventos de colisão podem resultar na fragmentação populacional devido ao aumento na taxa de mortalidade (Goosem *et al.* 2001). Alguns trechos de rodovias, principalmente aqueles com manchas de habitats sustentáveis, com área e recursos suficientes para manter populações viáveis, associados às margens dessas estradas podem funcionar como sumidouros (“sinks”), atraindo a fauna para as rodovias (Grilo *et al.* 2012).

Muitos esforços para reconectar populações silvestres isoladas por rodovias têm sido voltados para a instalação de estruturas que permitam a passagem de fauna, sob ou sobre as estradas. As pontes aéreas e os túneis subterrâneos visam aumentar a conectividade funcional da paisagem aumentando a permeabilidade da matriz, facilitando o movimento dos animais através dela (Tischendorf & Fahrig 2000; Gibbon *et al.* 2007, Beckmann *et al.* 2010). Além do aumento da conectividade, as passagens visam reduzir a frequência de mortes de animais causadas por colisões com veículos, que podem representar graves acidentes (Huijser *et al.* 2009).

Os métodos de seleção dos locais para instalar essas passagens, em geral, dependem de dados de monitoramento de atropelamentos de fauna para identificar trechos da rodovia onde ocorrem maiores frequências de colisões animal-veículo (Coelho *et al.*, 2008; Cáceres *et al.* 2011; Cáceres *et al.* 2012; Dornas *et al.*, 2012). O uso de dados de mortalidade por colisão com veículo pode ser desvantajoso, especialmente quando coletados em um período de tempo limitado. Tais estudos não fornecem uma visão completa sobre a distribuição espacial dos movimentos de travessia em relação a malha viária. Outro método, disponível em um programa gratuito chamado LARCH (“Landscape ecological Analyses and Rules for the Configuration of Habitat”), desenvolvido pelo Instituto de Pesquisa Alterra, usa mapas de habitat, dados de capacidade de deslocamento e de área mínima de habitat da espécie analisada para selecionar e priorizar trechos da rodovia que representam “gargalos” ou locais

onde apenas a rodovia reduz a conectividade da paisagem, ou seja, uma barreira física promovida pelas estradas nos movimentos dos animais da espécie analisada (Van der Grift *et al.* 2002; Van der Grift & Pouwels 2006). Esses pontos de estrangulamento são avaliados, sobretudo, por meio de uma análise de viabilidade populacional.

As passagens de fauna construídas, principalmente, na América do Norte e Europa, vêm sendo avaliadas quanto à sua efetividade para conectar as populações de animais antes isoladas pela rodovia (Goosem *et al.* 2001). A maioria das avaliações da efetividade das passagens de fauna se restringe em um monitoramento dos animais que usam as passagens, mas poucos avaliam a efetividade das passagens considerando a viabilidade populacional (Lesbarrères & Fahrig 2012). Comparando as estruturas de travessia implantadas em locais onde ocorriam altos índices de atropelamentos, Van der Grift & Pouwels (2006) mostraram que as passagens menos efetivas foram aquelas localizadas onde a qualidade do hábitat era baixa. Para McLaren e colaboradores (2011), a falta de cobertura florestal associada a rodovias, mais do que a própria rodovia em si, tem sido um fator chave no efeito de barreira das estradas sobre o movimento de pequenos mamíferos terrestres. Dessa forma, a qualidade do habitat é um fator que deve ser considerado, mesmo com baixas frequências de atropelamentos nesses locais, que podem ser uma consequência da ausência de movimentos dos animais devido à barreira física causada pela estrada e não um indício de que os animais estão tendo sucesso na travessia (Van der Grift & Pouwels 2006). Para Grilo e colaboradores (2012) um maior entendimento integrado da relação entre atropelamentos e efeito de barreira poderá promover um manejo mais eficiente das rodovias e dos seus impactos.

A Mata Atlântica contém uma parcela significativa da diversidade biológica do Brasil e do mundo, com altos níveis de endemismo e presença de espécies ameaçadas (MMA 2007; SOS Mata Atlântica & INPE 2009). Ademais é um bioma considerado altamente ameaçado por possuir apenas 11 a 16% da cobertura vegetal original, e porque a maioria dos fragmentos florestais possui tamanhos menores que 50 ha (Ribeiro *et al.* 2009). Com muitos fragmentos pequenos e isolados e poucos fragmentos maiores, considerados áreas contínuas de floresta remanescente, ações de conservação, especialmente as que tangem restauração da conectividade estrutural e funcional, são fundamentais para este bioma. Para Freitas e colaboradores (2010), as estradas têm forte influência na dinâmica florestal na Mata Atlântica e, apesar da alta densidade de estradas, há poucos estudos sobre o efeito das estradas neste bioma. Enquanto os atropelamentos e outros efeitos indiretos das estradas vêm sendo debatidos no exterior há mais de 50 anos, no Brasil os estudos iniciaram timidamente há um

pouco mais de uma década e ainda estão voltados em diagnóstico dos efeitos e não em soluções e planejamentos (Bager *et al.* 2007). Diante do exposto se faz necessário uma análise de áreas prioritárias para aumento de conectividade entre populações de espécies florestais afetadas pelas estradas, que pode servir de base para o planejamento de estratégias de conservação e restauração da Mata Atlântica enfocando os impactos das rodovias.

Para Mata Atlântica os dados necessários para determinar a viabilidade populacional das espécies raramente estão disponíveis na literatura, e é difícil implantar um monitoramento de fauna atropelada em todas as rodovias do bioma, bem como aguardar o tempo necessário para o planejamento de implantação das medidas mitigadoras. Assim, especialmente para uma análise preliminar de grandes extensões, torna-se necessária a elaboração de um método que não dependa desses dados, mas que considere a qualidade do hábitat na paisagem.

1 OBJETIVOS

O objetivo desse trabalho é propor métodos, baseados em características da paisagem, a fim de selecionar áreas prioritárias para implantação de medidas mitigadoras do efeito das estradas sobre vertebrados de habitat florestal, visando aumentar a conectividade entre fragmentos florestais cortados por estradas no bioma Mata Atlântica.

1.1 Objetivos específicos

- Propor e avaliar dois métodos para selecionar as referidas áreas prioritárias: Seleção Hierárquica Multivariada e Seleção Bivariada;
- Avaliar a correlação entre as características da paisagem usadas nos dois métodos.

2 MATERIAL E MÉTODOS

2.1 Área de estudo

O estudo foi realizado para toda área de abrangência do bioma Mata Atlântica, que hoje ocupa aproximadamente 1.110.182 km², estendendo-se de 4° a 32° S, com elevação variando do nível do mar até 2.900 m (MMA 2007; Mantovani 2003; Ribeiro *et al.* 2009).

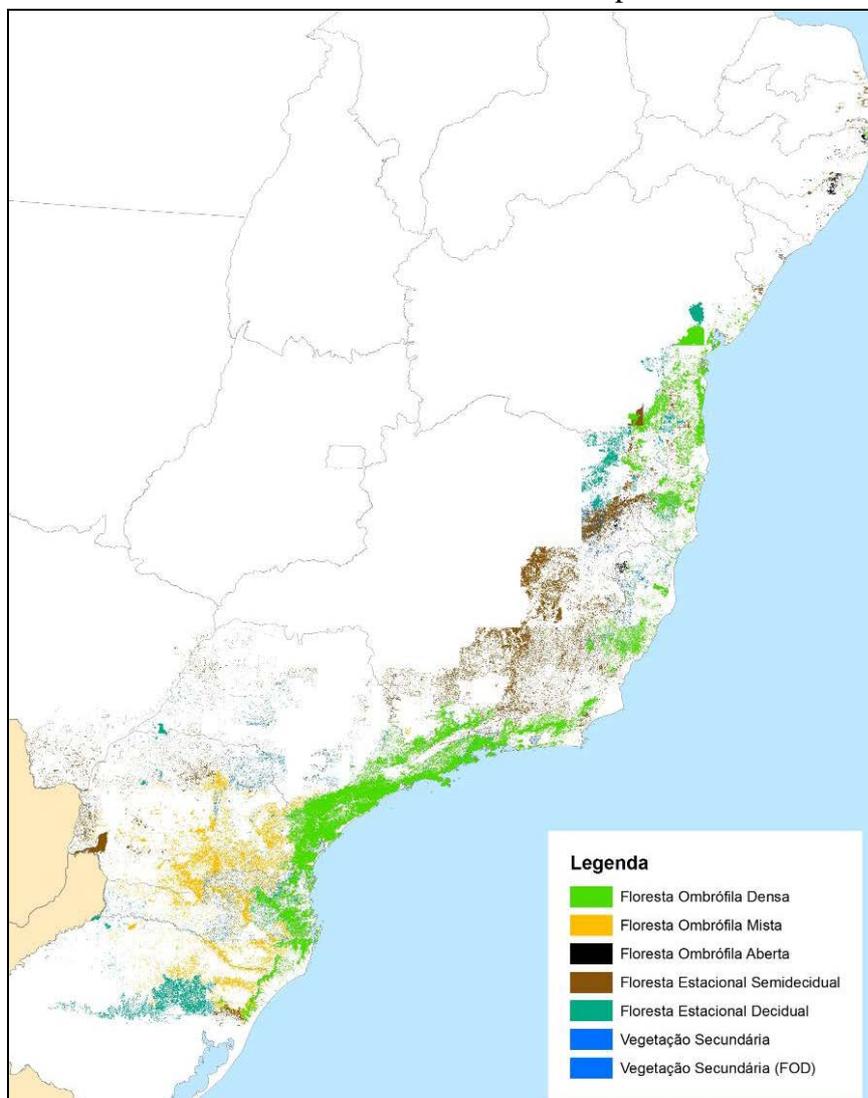
O bioma é composto por diversas fisionomias vegetais, tais como Florestas Ombrófilas (densa, aberta e mista) e Estacionais (semidecíduais e decíduais). A Floresta Ombrófila Densa ocupa a maior área de ocorrência das Florestas Ombrófilas, presente em toda a faixa litorânea, desde o Rio Grande do Norte até o Rio Grande do Sul. Já a Floresta Ombrófila Mista ou mata de Araucária, está presente em poucos e dispersos remanescentes nas serras do Mar e da Mantiqueira e no Planalto Meridional. Por último, a Floresta Ombrófila Aberta, que hoje ocupa com pouco mais de 9 % da sua área original, ocorre na faixa litorânea da Paraíba, Pernambuco e Alagoas, no nordeste/leste de Minas Gerais e centro sul do Espírito Santo (MMA 2007).

Ainda retratando as fisionomias florestais, as Florestas Estacionais abrangem regiões mais interiorizadas, afastadas da influência marítima. A Floresta Estacional Semidecidual é a fisionomia que originalmente ocupava a maior parte do bioma, ocorrendo em manchas isoladas no nordeste do país desde o Rio Grande do Norte até a Bahia; no Rio Grande do Sul; em grandes extensões na faixa leste abrangendo Minas Gerais, Espírito Santo e São Paulo; a oeste, no noroeste do Paraná, sul do Mato Grosso do Sul e oeste de São Paulo, se estendendo ainda numa estreita faixa pelo vale do Rio Paranaíba, na divisa de Goiás com Minas Gerais. É também considerada a fisionomia mais devastada do bioma restando pouco mais de 4% da sua distribuição original. Já a Floresta Estacional Decidual ocorre na Bahia e nordeste de Minas Gerais na faixa de transição com o Bioma Caatinga e no sul do país, no oeste de Santa Catarina, noroeste e centro do Rio Grande do Sul (MMA 2007) (Figura 1).

Esta diversa formação fitofisionômica, determinada pela proximidade da costa, relevo, tipos de solo e regimes pluviométricos permitiu a evolução de uma rica diversidade biológica, abrigando mais de 8.000 espécies endêmicas de plantas vasculares, anfíbios, répteis, aves e mamíferos (Myers *et al.* 2000). Devido a este elevado número de endemismos e grau de ameaça, sob a pressão de cerca de 70% da população brasileira este bioma é considerado um

dos vinte e cinco “hotspots” de biodiversidade (MMA 2007; Silva & Tabarelli 2000; Myers *et al.* 2000; Myers 2003).

Figura 2 - Distribuição dos fragmentos florestais do bioma Mata Atlântica utilizados como referência para este estudo.



Legenda: Vegetação Secundária (FOD) = vegetação secundária da Floresta Ombrófila Densa.

Nota: Classificação segundo os critérios utilizados pelo MMA, 2007.

Fonte: MMA, 2007.

Dos 152.152,71 quilômetros de estradas que cortam o bioma Mata Atlântica, 49,20% encontra-se pavimentada. Os estados de São Paulo, Minas Gerais e Paraná são os que possuem a maior densidade de estradas no geral (pavimentadas e não pavimentadas) e também quando tratamos apenas estradas pavimentadas (Tabela 1 e Figura 2). Contudo, proporcionalmente, Minas Gerais junto com o Mato Grosso do Sul e Rio Grande do Sul são os estados com menor densidade de estradas pavimentadas quando comparado ao total de

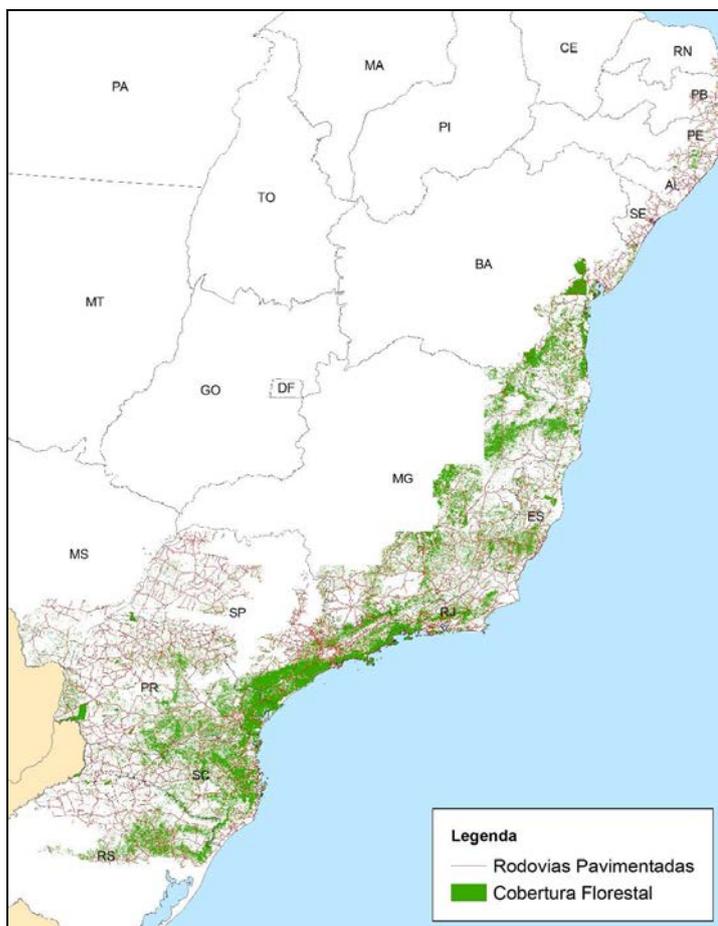
estradas na área de Mata Atlântica desses estados. Já São Paulo, Paraná e Rio Grande do Norte possuem a maior proporção de densidade de estradas.

Tabela 1 - Densidade de estradas geral e apenas as pavimentadas (km/km²) distribuídas na Mata Atlântica por estado.

Estado	Pavimentadas (km/km ²)	Geral (km/km ²)	Estradas Pavimentadas (%)
RN	285,29	410,10	69,57
SP	14.621,54	23.618,01	61,91
PR	13.760,01	23.921,64	57,52
AL	1.686,88	2.966,58	56,86
RJ	4.676,88	8.357,92	55,96
SC	6.679,36	12.138,07	55,03
SE	1.580,12	2.912,26	54,26
PE	2.280,62	4.243,74	53,74
PB	1.075,11	2.181,08	49,29
ES	3.712,76	7.563,56	49,09
BA	6.060,81	13.641,66	44,43
MG	10.157,64	26.335,97	38,57
RS	6.706,15	18.403,99	36,44
MS	1.702,67	5.458,14	31,19
Total geral	74.985,86	152.152,71	49,28

Fonte: IBGE, 2007.

Figura 3 - Distribuição de estradas pavimentadas no bioma Mata Atlântica por Estado brasileiro.



Fonte: IBGE, 2007.

2.1.1 Pressupostos do modelo

Os métodos propostos nesse estudo para selecionar áreas prioritárias que mitiguem os efeitos das estradas sobre espécies de vertebrados florestais foram construídos com base em um modelo destas áreas prioritárias que incluiu quatro variáveis: densidade de estradas, cobertura florestal, área das Unidades de Conservação (UC) e densidade de rios. A presença de estradas é necessária para compor o modelo já que o objetivo é mitigar seu efeito. A cobertura florestal foi incluída por representar o hábitat dessas espécies. Espera-se que áreas com maior porcentagem de florestas devam abrigar uma maior diversidade de espécies florestais e incrementar a conectividade funcional da paisagem, uma vez que pequenas manchas de hábitat podem influenciar na qualidade da matriz, facilitando a dispersão e/ou sobrevivência de algumas espécies (Laurance 2008). A presença de Unidade de Conservação é relevante, já que em áreas protegidas espera-se encontrar áreas com maior disponibilidade e

qualidade de recursos, especialmente para essas espécies mais restritas a ambientes florestais. E também porque as UCs têm como objetivo proteger a biodiversidade. Os rios foram considerados no nosso modelo, uma vez que podem representar disponibilidade de recursos e rotas preferenciais em florestas, especialmente na Mata Atlântica, onde a variação topográfica é elevada. Além disso, em muitos pontos em que os rios cruzam com estradas, os canais de drenagem já existentes podem ser mais facilmente readequados para serem usados como passagem de fauna, sendo um local potencial para aplicar essas medidas mitigadoras. Assim, espera-se que em áreas onde exista maior cobertura florestal, maior área de UCs, maior densidade de rios e tenham estradas sejam as áreas prioritárias para aplicar medidas mitigadoras do efeito das estradas sobre vertebrados florestais.

2.1.2 Informações e mapas digitais usados

Para realizar os métodos de seleção de áreas prioritárias foi utilizado o mapa de uso e cobertura do solo dos limites do bioma da Mata Atlântica (MMA 2007). Este mapa foi feito com base em imagens dos satélites Landsat 7, SPOT 4, CCD/CBERS de 1999 a 2005, tendo a escala de 1:250.000, com resolução espacial de 30 m. A classe “cobertura florestal” usada no presente trabalho foi o agrupamento das seguintes classes: Floresta Ombrófila Densa, Floresta Aberta e Floresta Mista, Floresta Estacional Decídua e Floresta Estacional Semidecídua, Vegetação Secundária e Vegetação Secundária da Floresta Ombrófila Densa Montana (Figura 1).

Os mapas digitais da malha rodoviária, da rede hidrográfica e das Unidades de Conservação de Proteção Integral e Uso Sustentável foram desenvolvidos pelo IBGE (2007) e são parte da Base Cartográfica Contínua do Brasil, ao Milionésimo (BCIM), tendo a escala de 1:1.000.000. Nas análises foram consideradas apenas as rodovias pavimentadas e em pavimentação.

2.1.3 Recortando o bioma mata atlântica em pedaços hexagonais e quantificando as características de paisagem

O bioma Mata Atlântica foi recortado em hexágonos, sendo que cada mapa foi recortado em polígonos hexagonais de três tamanhos (10.000, 1.000 e 100 km²), usando a extensão “Repeating Shapes” (Jenness 2012) no programa ArcGIS 9.3. A escolha do recorte em hexágonos se deu por esta forma ser mais simétrica e mais simples em relação ao vizinho mais próximo, o que evita uma ambiguidade como acontece em uma grade retangular. Além do hexágono ter um perímetro menor do que um quadrado de igual área, ele reduz o viés devido aos efeitos de borda (Birch *et al.* 2007). A análise multiescala teve por objetivo selecionar as áreas prioritárias desde a escala mais ampla até a de maior detalhe. Neste trabalho, os três tamanhos foram selecionados com base no número amostral de hexágonos a serem analisados e na extensão do bioma. Em futuros trabalhos em outras áreas de estudo, tamanhos diferentes e um maior número de escalas pode ser mais adequado.

Para cada hexágono, foram calculados a área de cobertura florestal e de Unidade de Conservação e o comprimento de estradas e de rios. Cada uma dessas medidas foi dividida pela área do hexágono, obtendo-se as seguintes variáveis: proporção de cobertura florestal (%), proporção de UC (%), densidade de estradas (km/km²) e densidade de rios (km/km²).

2.1.4 Métodos de seleção de áreas prioritárias para implantar medidas mitigadoras do efeito das estradas

2.1.4.1 Seleção Multiescala dos Hexágonos

Para seleção de hexágonos visando à implantação de medidas mitigadoras para os efeitos de estradas foram usados os seguintes critérios:

- Ter, no mínimo, 45% da área do hexágono dentro dos limites do bioma Mata Atlântica;
- Possuir, no mínimo, 50% de cobertura florestal;
- Possuir mais de 1% de Unidades de Conservação, tanto as de Proteção Integral como as de Uso Sustentável;
- Possuir estradas pavimentadas.

Os hexágonos que atenderam a todos os critérios acima foram então ordenados usando dois métodos: 1) Seleção Hierárquica Multivariada e 2) Seleção Bivariada.

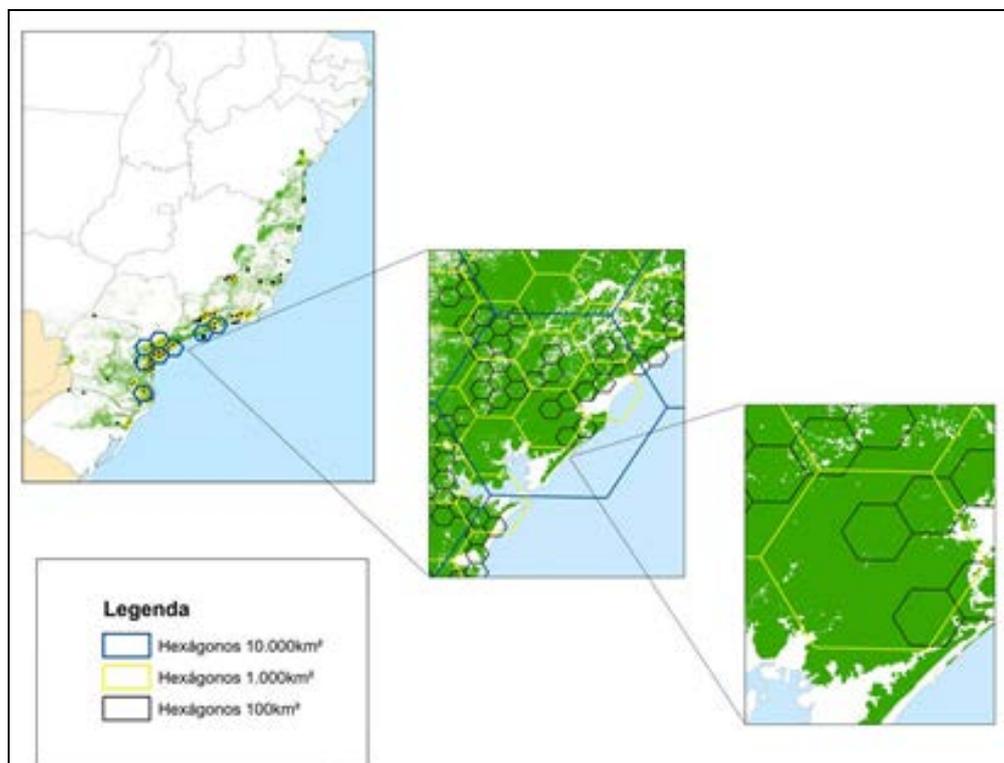
2.1.4.2 Seleção Hierárquica Multivariada

Em cada uma das três escalas, com os hexágonos selecionados pelos critérios descritos acima, foi feita uma Análise de Componente Principal (PCA) usando o software Systat 11 com as variáveis: proporção de cobertura florestal (%), proporção de UC (%), densidade de estradas (km/km²) e densidade de rios (km/km²). Para esta análise os dados em porcentagem foram convertidos para proporção e em seguida em arcosseno da raiz quadrada. Então, estes hexágonos foram ordenados de acordo com seu posicionamento (escores) no Eixo 1 da PCA. Esta ordenação foi determinada como ascendente ou descendente de acordo com a orientação da variável cobertura Florestal no gráfico de cada escala (10.000, 1.000 e 100 km²).

Por final foi realizada uma análise hierárquica, ou seja, os hexágonos foram ordenados hierarquicamente da maior até a menor escala. Em outras palavras, primeiro foi feita a ordenação dos hexágonos de 10.000 km² segundo o posicionamento deles no Eixo 1 da PCA. A partir desta ordenação, foram hierarquizados os hexágonos de 1.000 km² também de acordo com o posicionamento destes no Eixo 1 da PCA e, por último os de 100 km² a partir da ordenação destes de 1.000 km² (Figura 3).

Em cada escala, foi realizado o teste de Correlação de Pearson para avaliar a correlação entre os escores do Eixo 1 do PCA com as características da paisagem (variáveis).

Figura 4 - Esquema da análise multiescala hierárquica entre os hexágonos.



Nota: Os hexágonos de maior tamanho (10.000 km²) que preenchem os critérios são selecionados, e apenas aqueles de tamanho intermediário (1.000 km²), que preenchem os critérios, dentro destes são analisados. Em seguida, apenas aqueles de menor tamanho (100 km²), que também preenchem os critérios, são analisados para priorização das áreas.

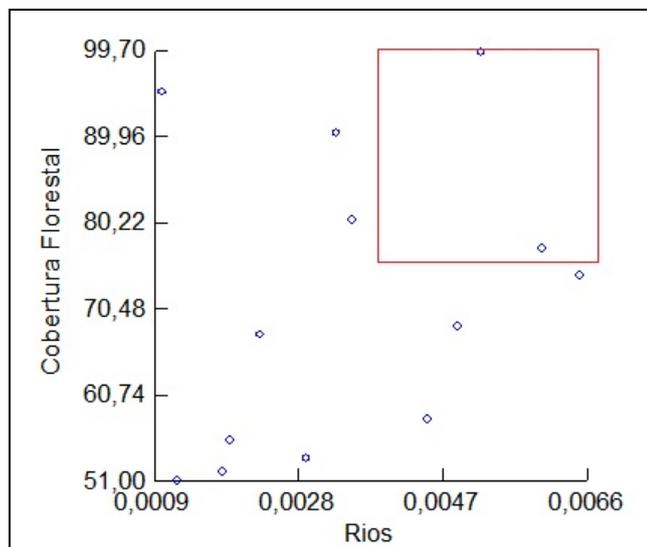
2.1.4.3 Seleção Bivariada

Para cada uma das três escalas de hexágonos foi construído um gráfico de pontos entre as variáveis cobertura florestal e densidade de rios, sendo as extremidades do gráfico determinada pelo valor máximo e mínimo registrado para cada um dos dois atributos. Cada gráfico foi dividido em quatro quadrantes, e os hexágonos que estivessem no quadrante que representasse a maior porcentagem de cobertura florestal com a maior densidade de rios foram selecionados (Figura 4).

Neste método as variáveis cobertura florestal e densidade de rios foram consideradas como as mais relevantes e determinantes para escolha de áreas prioritárias em detrimento das métricas de estradas e rios, uma vez que a primeira representaria o habitat dessas espécies e que áreas com maior porcentagem de florestas devam abrigar uma maior diversidade de

espécies. Já a densidade de rios pode representar disponibilidade de recursos e rotas preferenciais em florestas, especialmente na Mata Atlântica, onde a variação topográfica é elevada.

Figura 5 - Ilustrativo do método de Seleção Bivariada.



Nota: Pontos dentro do retângulo vermelho representariam os hexágonos selecionados.

2.1.5 Teste de sensibilidade dos dois métodos

Foi testada a probabilidade de ambos os métodos - Seleção Hierárquica Multivariada e Seleção Bivariada - selecionarem hexágonos na escala de 1.000 e 100 km² de forma tão eficientes quanto a ordenação do primeiro eixo da PCA, independentemente da hierarquia de escalas, com simulações de acordo com os seguintes passos:

- Foi calculado o somatório dos escores no eixo 1 da PCA de todos os hexágonos selecionados pelo método de Seleção Bivariada e este somatório foi definido como **valor observado** para este método em ambas as escalas.
- O método de Seleção Hierárquica Multivariada apresentou resultados em uma ordenação de todos os hexágonos que atenderam os critérios de corte. Assim foi definido também como **valor observado** para este método, o somatório dos escores no eixo 1 da PCA dos n hexágonos prioritários em cada escala, onde n corresponde ao número de hexágonos selecionados pelo método de Seleção Bivariada na respectiva escala.

- Foram geradas 10.000 amostras randômicas com reposição, de tamanho n para cada escala no software R 2.15 e, para cada amostra, foi calculado o somatório dos escores no eixo 1 da PCA.
- Os valores observados por ambos os métodos em cada escala foram confrontados com a distribuição de valores simulados. A probabilidade de o método obter seleção concordante com a PCA sem hierarquia de escala foi calculada como o número de vezes em que o valor simulado foi menor que o valor observado, dividido por 10.000. Em ambas as escalas, a ordenação do eixo 1 da PCA (de mais prioritário para menos prioritário) foi ascendente pois a variável cobertura Florestal foi maior quanto menor o valor do escore.

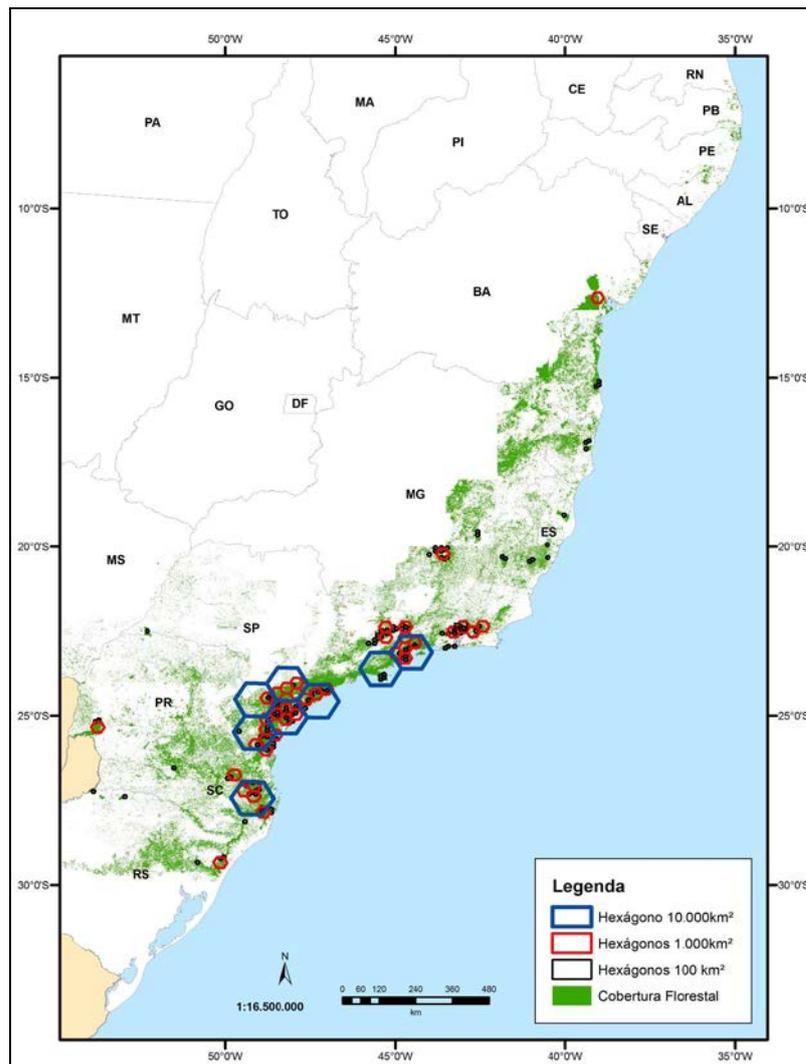
Devido ao pequeno número de hexágonos selecionados na maior escala (10.000 km²), o teste de sensibilidade não foi feito com essa escala de análise.

3 RESULTADOS

3.1 Seleção Multiescala dos Hexágonos

Foram selecionados oito hexágonos de 10.000 km², 41 de 1.000 km² e 162 de 100 km² com mais de 45% da área do hexágono dentro dos limites do bioma Mata Atlântica, com mais de 50% de cobertura florestal, com pelo menos 1% de Unidades de Conservação e com rodovias pavimentadas. De forma geral, os hexágonos maiores se concentraram na Serra do Mar, nos estados do Paraná, Santa Catarina, São Paulo e Rio de Janeiro, onde existe um maior contínuo florestal de Mata Atlântica (Figura 5).

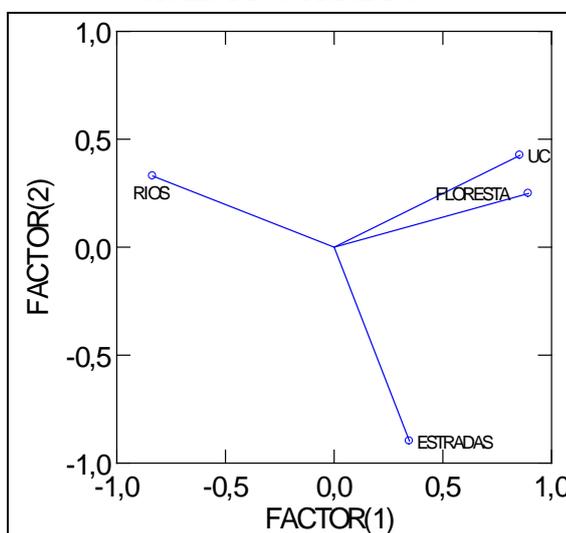
Figura 6 - Distribuição geral dos hexágonos selecionados no bioma Mata Atlântica.



3.2 Seleção Hierárquica Multivariada

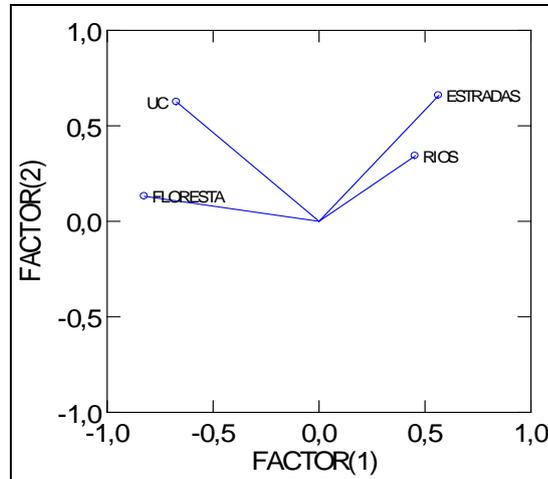
O primeiro eixo da Análise de Componentes Principais dos hexágonos de 10.000 km² retido para ordenação explicou 58,7% da variabilidade total dos dados. As variáveis cobertura florestal e Unidades de Conservação correlacionaram-se significativamente e positivamente com este eixo ($R=0,894$; $p=0,003$ e $R=0,855$; $p=0,007$, respectivamente). Já a variável rios correlacionou-se negativamente com este eixo ($R=-0,835$; $p=0,010$). As estradas correlacionaram-se negativamente com o Eixo 2 ($R=-0,898$; $p=0,002$) (Figura 6).

Figura 7 - Análise dos Componentes Principais para os hexágonos de 10.000 km² selecionados para o bioma Mata Atlântica



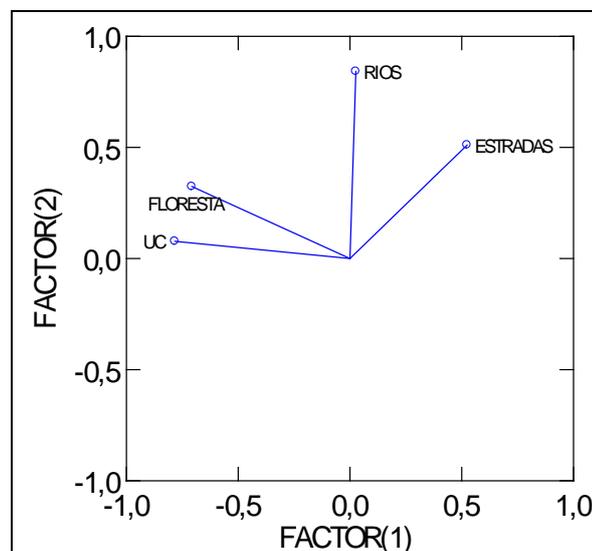
O primeiro eixo da Análise de Componentes Principais dos hexágonos de 1.000 km² explicou 41,4% da variabilidade total dos dados. As variáveis cobertura florestal e Unidades de Conservação apresentaram correlação significativa e negativa com este eixo ($R=-0,823$; $p=0,003$ e $R=-0,672$; $p<0,001$, respectivamente). Já as variáveis rios e estradas correlacionaram-se significativa e positivamente com este eixo ($R=0,454$; $p=0,003$ e $R=0,565$; $p<0,001$, respectivamente) (Figura 7).

Figura 8 - Análise dos Componentes Principais para os hexágonos de 1.000km² selecionados para o bioma Mata Atlântica



Na escala dos hexágonos de 100 km², o primeiro eixo da Análise de Componentes Principais explicou 34,7% da variabilidade total dos dados. As variáveis cobertura florestal e Unidades de Conservação correlacionaram-se negativamente com este eixo ($R = -0,707$; $p < 0,001$ e $R = -0,783$; $p < 0,001$, respectivamente). Já a variável estradas apresentou correlação significativa e positiva com este eixo ($R = 0,524$; $p < 0,001$). A variável rios correlacionou-se positivamente com o Eixo 2 ($R = 0,842$; $p < 0,001$) (Figura 8).

Figura 9 - Análise dos Componentes Principais para os hexágonos de 100 km² selecionados para o bioma Mata Atlântica



A medida que a escala de análise é detalhada, é possível observar que o poder explicativo do Eixo 1 foi reduzido e a correlação entre este eixo e as variáveis se modificou (Tabela 1). Na escala mais abrangente, hexágonos de 10.000 km², o Eixo 1 corresponde a maior cobertura florestal e maior proporção de Unidades de Conservação. Já na escala intermediária, hexágonos de 1.000 km², a relação é inversa e o Eixo 1 representa áreas com menor cobertura florestal e menor proporção de Unidades de Conservação. Por fim, na escala de maior detalhe, hexágonos de 100 km², a relação é semelhante da observada na escala intermediária e o Eixo 1 também representa áreas com menor cobertura florestal e menor proporção de Unidades de Conservação (Tabela 2).

Tabela 2 - Resultado da Análise dos Componentes Principais (PCA) para cada escala de hexágonos.

Variáveis	Eixo 1			Eixo 2		
	R	p	VTE (%)	R	p	VTE (%)
10.000 km²						
Cobertura Florestal	0,894	*0,003		0,249	0,552	
Unidade de Conservação	0,855	*0,007	58,67	0,426	0,293	28,96
Estradas	0,347	0,400		-0,898	*0,002	
Rios	-0,835	*0,010		0,330	0,425	
1.000 km²						
Cobertura Florestal	-0,823	**<0,001		0,131	0,414	
Unidade de Conservação	-0,672	**<0,001	41,36	0,624	**<0,001	23,96
Estradas	0,565	**<0,001		0,659	**<0,001	
Rios	0,454	*0,003		0,342	0,028	
100 km²						
Cobertura Florestal	-0,707	**<0,001		0,324	**<0,001	
Unidade de Conservação	-0,783	**<0,001	34,72	0,078	0,327	27,02
Estradas	0,524	**<0,001		0,511	**<0,001	
Rios	0,026	0,738		0,842	**<0,001	

Legenda: VTE (%): Porcentagem da Variância Total Explicada

A partir da ordenação dos oito hexágonos de 10.000 km² selecionados foram priorizados 29 hexágonos de 1.000 km², enquanto que 72 hexágonos de 100 km² foram priorizados a partir dos 29 de 1.000 km², segundo o posicionamento destes hexágonos do Eixo 1 da PCA (Tabela 3; Tabela 4; Figura 9 a Figura 14). Os hexágonos prioritários ficaram distribuídos nos Estados do Paraná, Santa Catarina, São Paulo e Rio de Janeiro.

Tabela 3 - Vinte primeiros hexágonos selecionados e priorizados no bioma Mata Atlântica para implantação de medidas mitigadoras dos efeitos de estradas, utilizando a Seleção Hierárquica Multivariada para os três tamanhos de áreas adotados (10.000, 1.000 e 100 km²).

Hexágonos (km ²)		
10.000	1.000	100
142	1300	12678
142	1300	12800
142	1300	12314
142	1300	12436
142	1300	13042
142	1339	13044
142	1339	13409
142	1299	12432
142	1299	12554
142	1299	12676
142	1299	12189
142	1338	12920
142	1338	12798
142	1338	12676
142	1338	13284
142	1338	12919
142	1338	13405
142	1416	13770
142	1416	13527
142	1416	13769
142	1416	13284
142	1416	13405

Nota: A tabela completa com todos os hexágonos selecionados em ordem de prioridade está no Anexo 1.

Tabela 4 - Valores das variáveis (Cobertura Florestal, Unidade de Conservação, Estradas e Rios) dos principais hexágonos selecionados pelo método de Seleção Hierárquica Multivariada para cada uma das três escalas.

Escala	Hexágono	Floresta (%)	UC (%)	Estradas (m/m ²)	Rios (m/m ²)	Escore (Eixo 1)	Escore Eixo 2
10.000 km ²	142	82,40	72,56	0,000060	0,000180	1,344	1,048
	155	81,30	40,74	0,000050	0,000170	0,940	0,696
	194	76,31	28,60	0,000060	0,000190	0,504	0,198
	129	60,26	22,26	0,000090	0,000170	0,303	-1,422
	79	60,88	8,06	0,000080	0,000160	0,017	-1,221
	181	69,89	5,23	0,000080	0,000240	-0,352	-0,793
	154	51,64	7,23	0,000030	0,000240	-1,236	0,994
	167	51,08	6,22	0,000050	0,000260	-1,521	0,500
1.000 km ²	1300	97,94	100,00	0,000024	0,000157	-2,528	0,917
	1339	67,44	99,09	0,000068	0,000160	-0,702	1,190
	1299	87,49	19,55	0,000043	0,000139	-0,659	-0,821
	1338	87,65	67,47	0,000085	0,000210	-0,524	1,108
	1416	89,38	39,66	0,000068	0,000208	-0,450	0,394
	1378	83,74	44,93	0,000068	0,000213	-0,242	0,447
	1182	66,52	58,98	0,000118	0,000076	-0,068	0,467
	1496	88,81	100,00	0,000046	0,000195	-1,575	1,418
1536	91,58	24,05	0,000055	0,000172	-0,659	-0,286	
1457	76,09	8,79	0,000049	0,000181	0,170	-0,855	
100 km ²	12678	99,81	100,00	0,000076	0,000200	-2,238	0,664
	12800	97,34	100,00	0,000111	0,000280	-1,740	1,362
	12314	98,10	90,98	0,000069	0,000150	-1,669	0,020
	12436	79,46	100,00	0,000030	0,000070	-1,464	-1,484
	13042	88,73	100,00	0,000144	0,000240	-1,142	0,940
	13044	69,19	100,00	0,000158	0,000070	-0,487	-0,818
	13409	81,04	49,63	0,000227	0,000290	0,458	1,513
	12432	96,43	34,70	0,000082	0,000100	-0,698	-0,506
	12554	96,01	53,52	0,000127	0,000140	-0,680	0,129
	12676	87,74	74,08	0,000153	0,000190	-0,419	0,478

Nota: A tabela completa com todos os hexágonos selecionados em ordem de prioridade por escala de hexágono está no Anexo 1.

O hexágono em menor escala (100 km²), “12678”, definido com o mais prioritário pelo método de Seleção Hierárquica Multivariada está localizado entre os estados do Paraná e São Paulo, possui 99,8% de cobertura florestal e sua área é totalmente representada por duas Unidades de Conservação (UC), ambas cortadas pela BR-101. Uma das UCs é de proteção integral, Parque Estadual (PARES) de Jacupiranga, uma das maiores reservas paulistas, com área aproximada de 150 mil hectares, enquanto que a outra é uma UC federal, a Área de Proteção Ambiental (APA) de Guaraqueçaba. O PARES de Jacupiranga também está presente em uma porção do hexágono “12800”, localizado em SP, possui 97,3% da sua área coberta por floresta e totalmente protegido por UCs. Além do PARES de Jacupiranga, a APA

Cananéia-Iguapé-Peruíbe ocupa uma porcentagem da área desse mesmo hexágono, que também é atravessada pela BR-101. Assim como o hexágono “12800”, o “12314” também possui 91,0% da sua área protegida por estas duas Unidades de Conservação. Esses três hexágonos também apareceram como primeiros colocados na ordenação pelo escore do Eixo 1 da PCA, ou seja, independentes do critério de análise hierárquica (Figura 14).

A APA Cananéia-Iguapé-Peruíbe também está presente na área do hexágono “12436”, além desta o PARES da Ilha do Cardoso também está representada parcialmente pelo mesmo hexágono, contudo está fora do hexágono de 1.000 km² selecionado (1300) e dentro do hexágono de 10.000 km² selecionado (142) (Figura 9 a Figura 11).

O quinto hexágono de maior detalhe prioritário pelo método de Seleção Hierárquica Multivariada, “13042”, também é 100% ocupado pelo PARES de Jacupiranga, cortado pela BR-101/SP-230.

Figura 10 - Todos os oito hexágonos de 10.000 km² selecionados para implantação de medidas mitigadoras dos efeitos de estradas para Mata Atlântica.

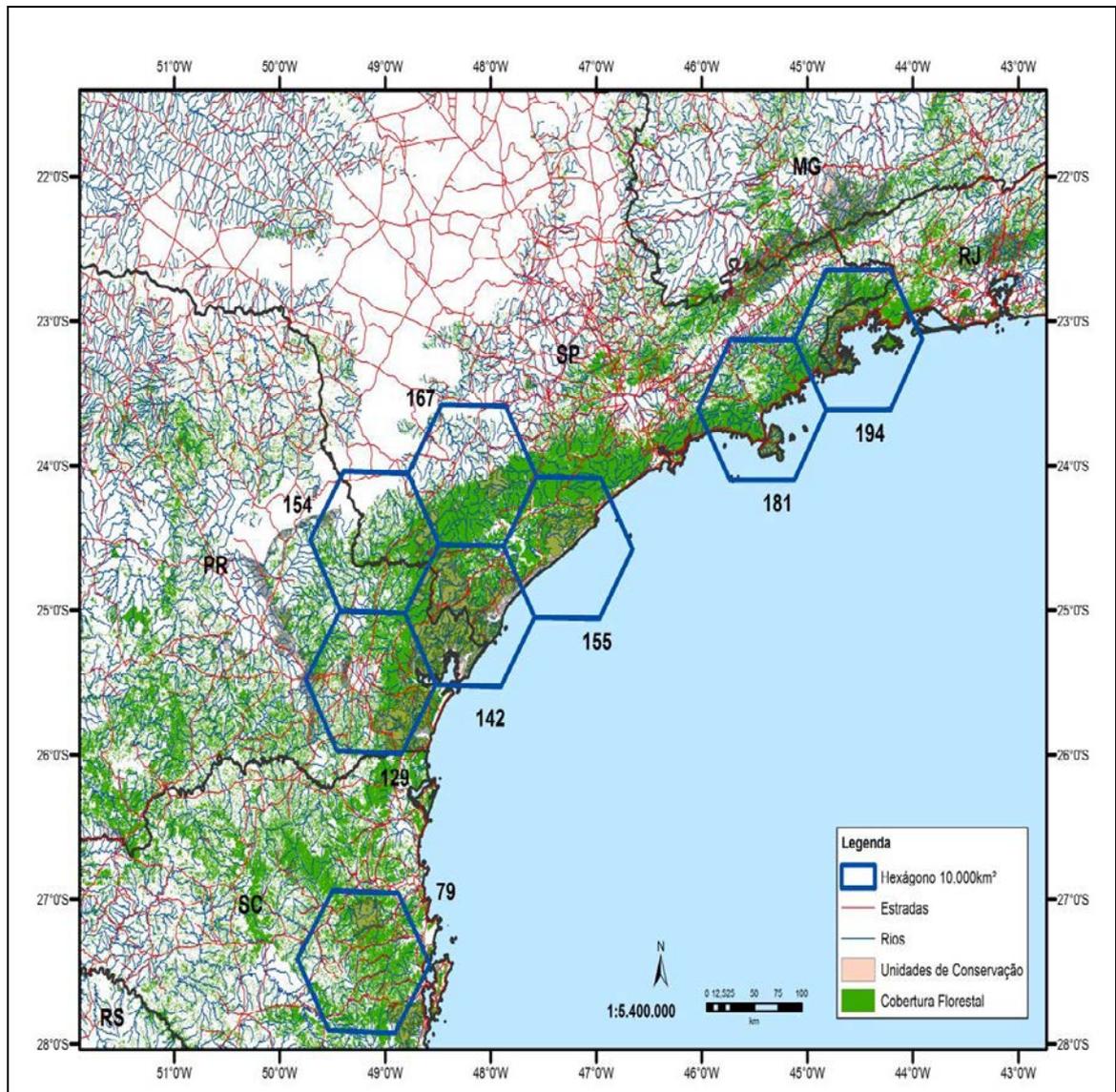


Figura 11 - Dez primeiros hexágonos de 1.000 km², dentro dos hexágonos de 10.000 km² (142 e 155) selecionados como prioritários para implantação de medidas mitigadoras dos efeitos de estradas para Mata Atlântica pelo Método de Seleção Hierárquica Multivariada.

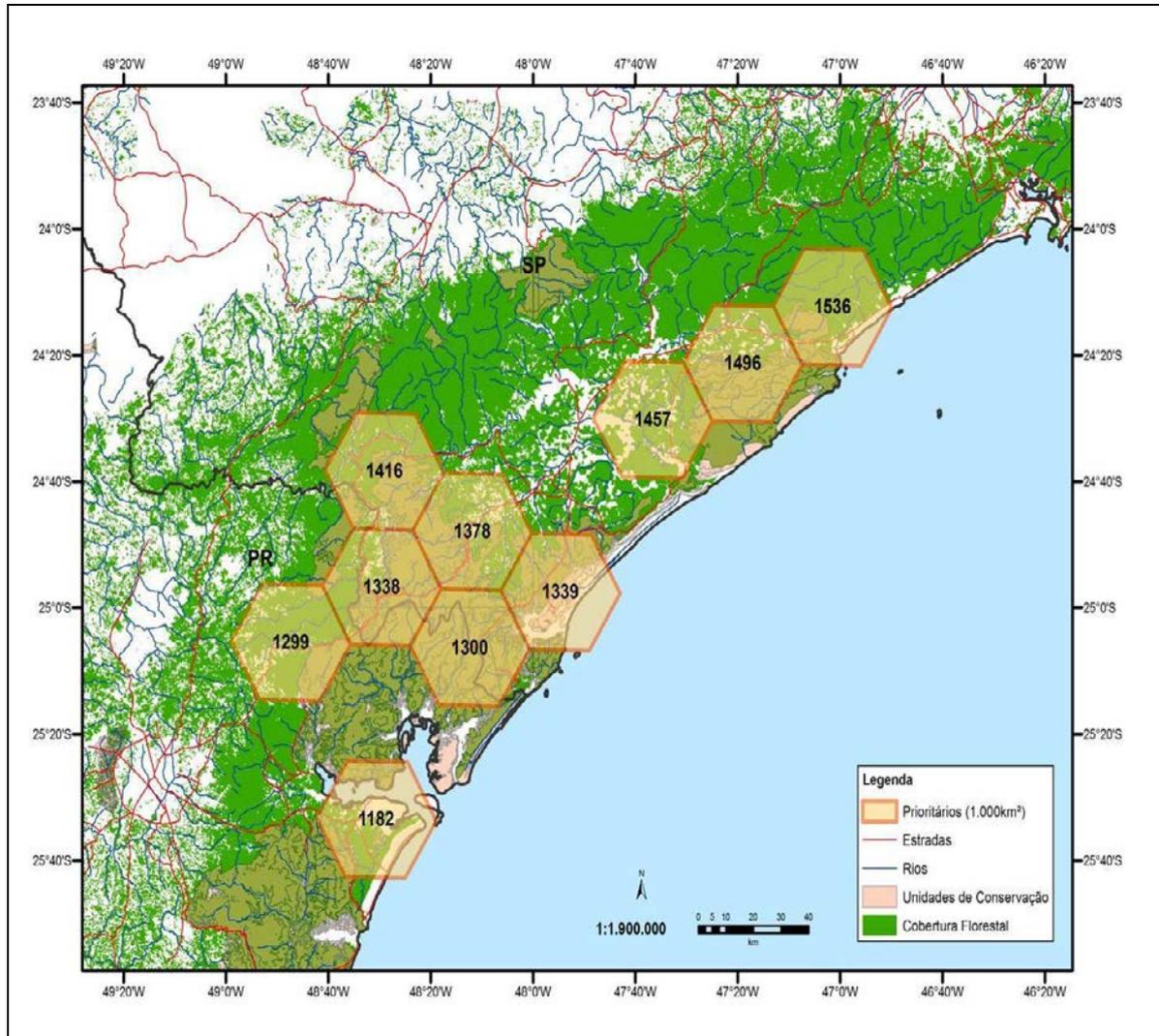


Figura 12 - Dez primeiros hexágonos de 100 km² dentro dos hexágonos de 1.000 km² (1300 e 1339) selecionados como prioritários para implantação de medidas mitigadoras dos efeitos de estradas para Mata Atlântica pelo Método de Seleção Hierárquica Multivariada.

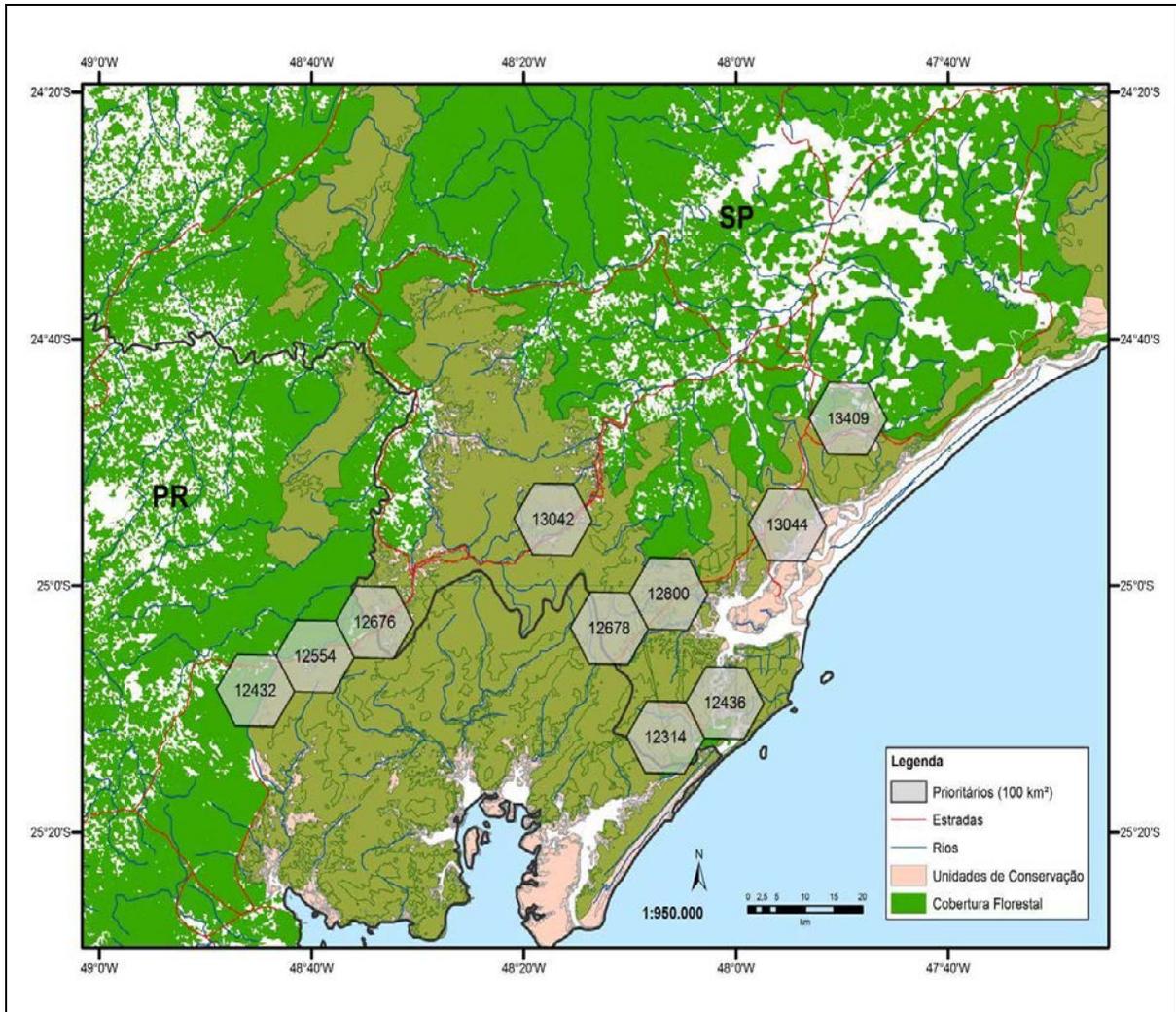


Figura 13 - Detalhes dos cinco hexágonos de 10.000 km² mais prioritários para implantação de medidas mitigadoras dos efeitos de estradas para Mata Atlântica pelo Método de Seleção Hierárquica Multivariada.

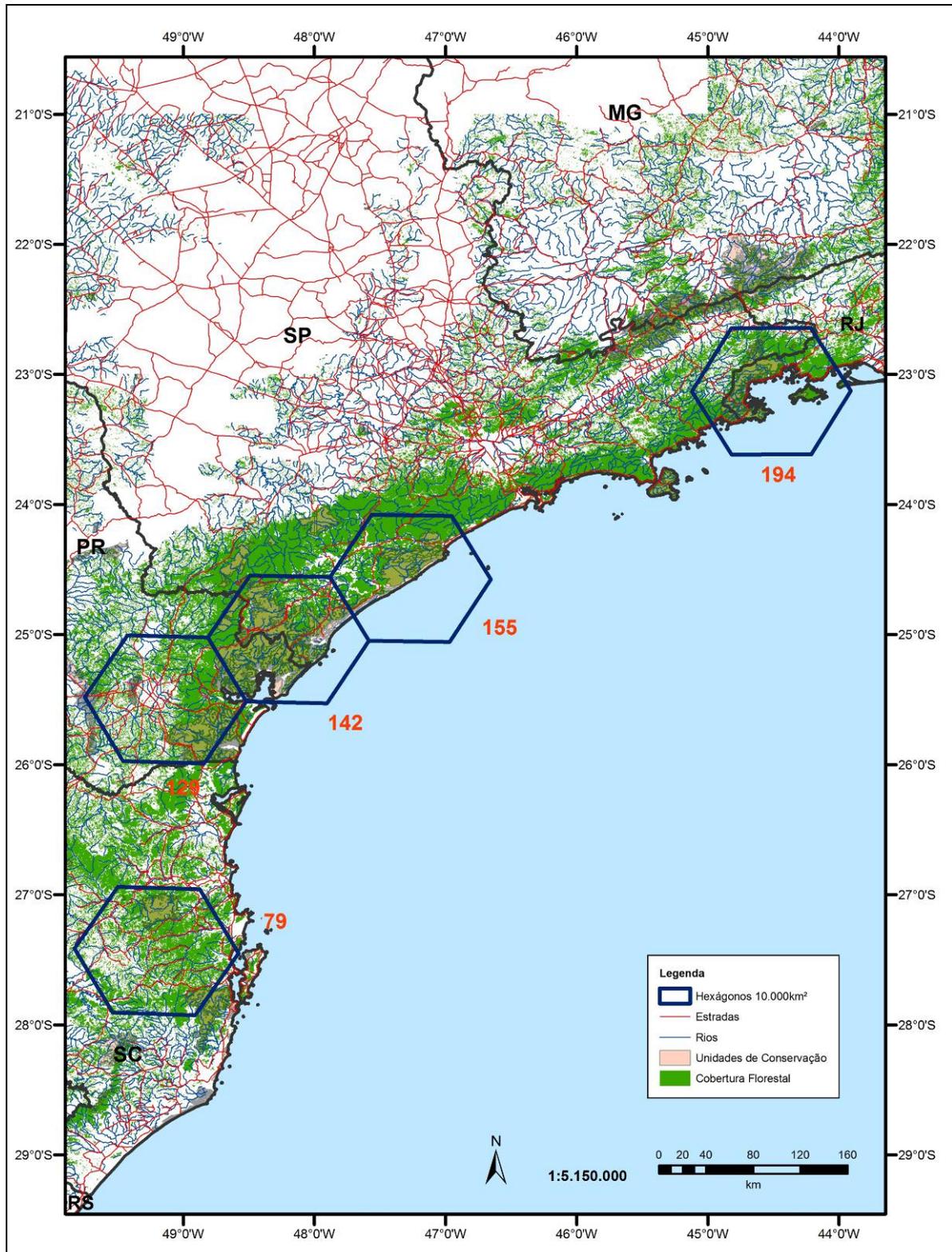
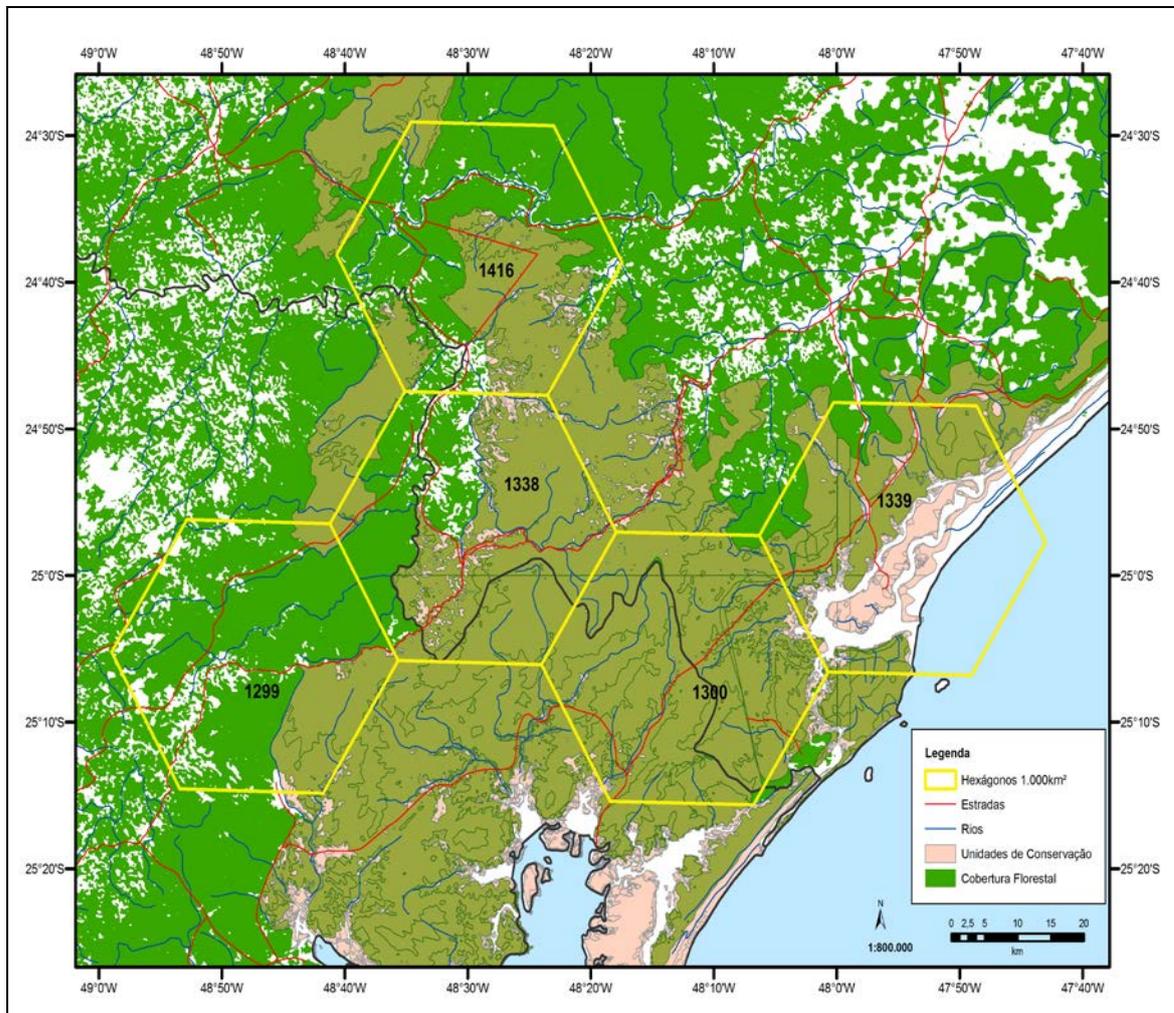
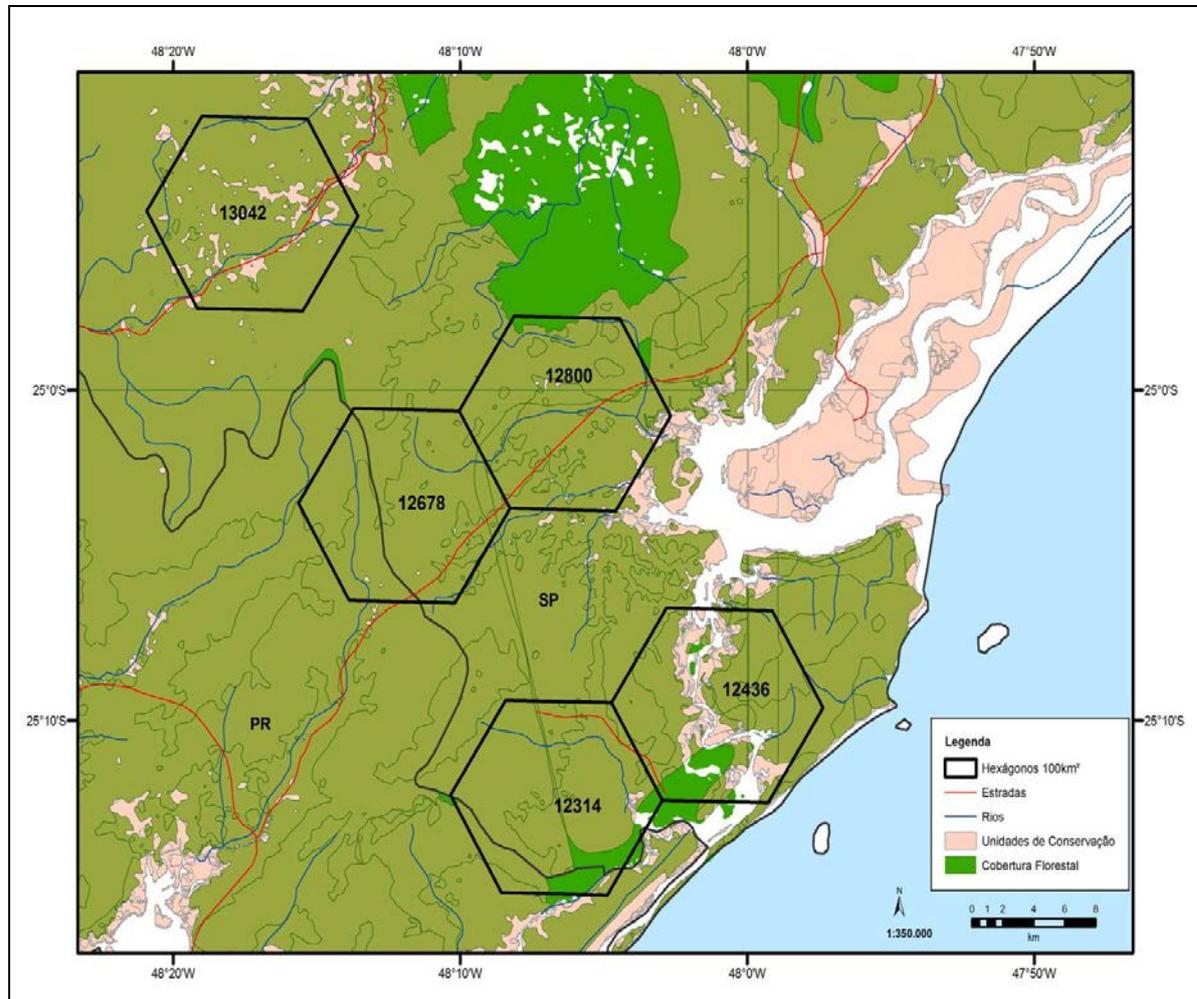


Figura 14 - Detalhes dos cinco hexágonos de 1.000 km² mais prioritários para implantação de medidas mitigadoras dos efeitos de estradas para Mata Atlântica pelo Método de Seleção Hierárquica Multivariada.



Nota: (A)- Hexágonos 1494, 1416, 1338 e 1378; (B) – Hexágono 1774.

Figura 15 - Detalhes dos cinco hexágonos de 100 km² mais prioritários para implantação de medidas mitigadoras dos efeitos de estradas para Mata Atlântica pelo Método de Seleção Hierárquica Multivariada.



3.3 Seleção Bivariada

Foi selecionado apenas um hexágono, n° 181, na escala de 10.000 km² pelo método de Seleção Bivariada, sete de 1.000 km² e 34 hexágonos de 100 km² (Figura 15 a Figura 20; Tabela 5).

Dentre os selecionados pelo método de Seleção Bivariada, o hexágono “15731” (da escala 100 km²) possui a maior porcentagem de Cobertura Florestal (99,8%) e quase totalmente coberto pelo Parque Estadual da Ilha Bela (SP).

Figura 16 - Hexágono de 10.000 km², no 181, selecionados graficamente pelo quadrante que representa maior porcentagem de cobertura florestal e maior densidade de rios

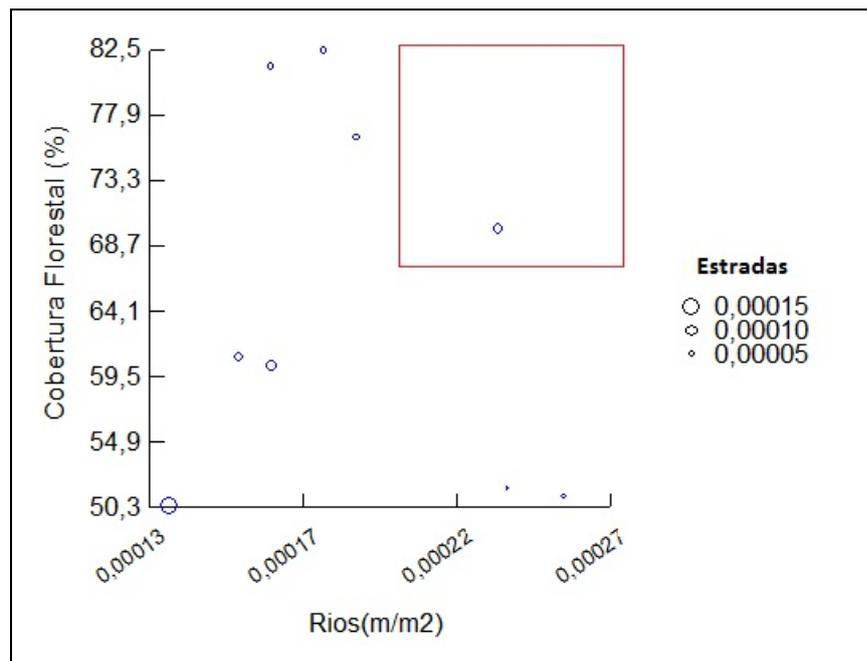


Figura 17 - Os sete hexágonos de 1000 km² selecionados graficamente pelo quadrante que representa maior porcentagem de cobertura florestal e maior densidade de rios.

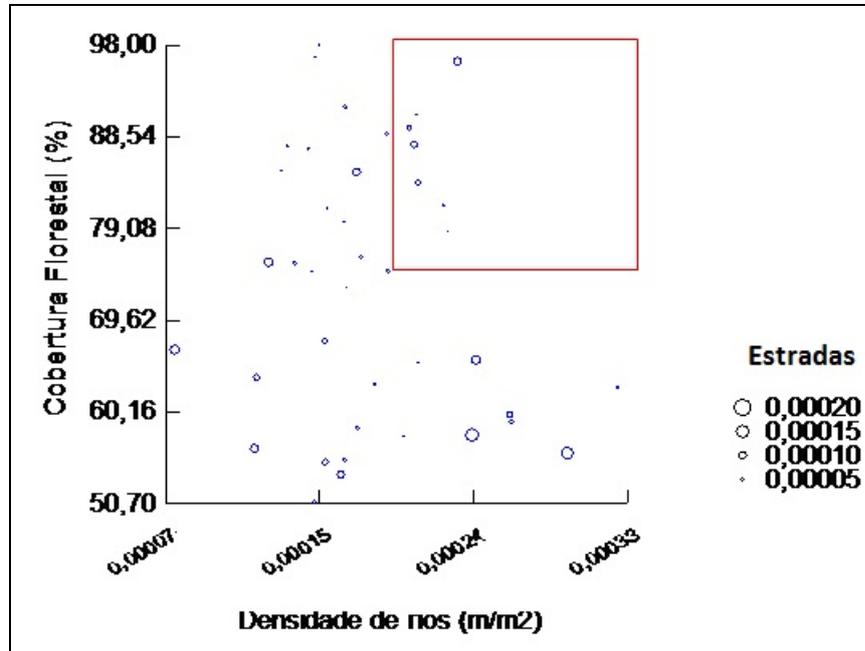


Figura 18 - Os 34 hexágonos de 100 km² selecionados graficamente pelo quadrante que representa maior porcentagem de cobertura florestal e maior densidade de rios

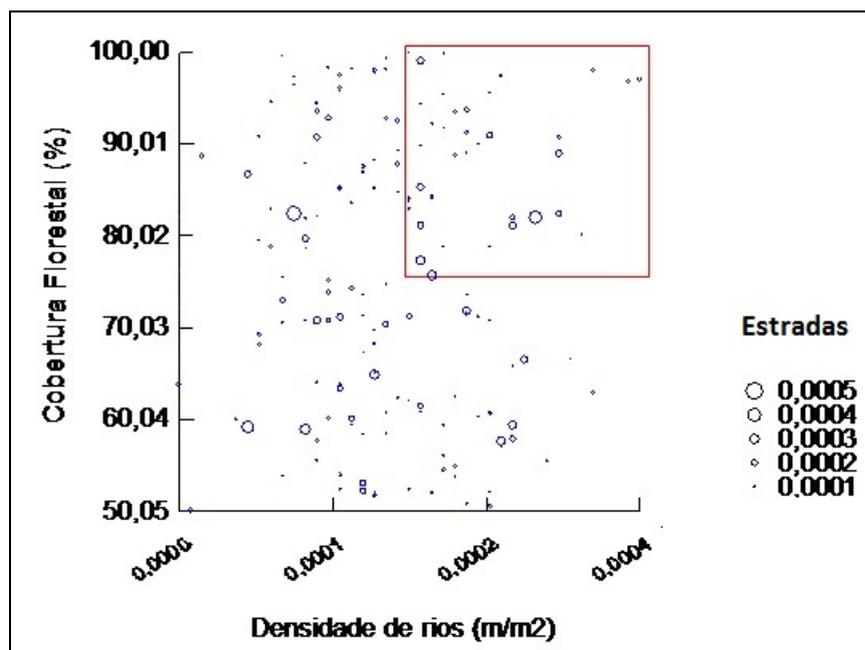


Tabela 5 - Valores das variáveis (Cobertura Florestal, Unidade de Conservação, Estradas e Rios) dos principais hexágonos selecionados pelo Método de Seleção Bivariada para escala de 10.000 (nº 181), 1.000 (7 hexágonos) e 100 km² (10 primeiros).

Escala	Hexágono	Floresta (%)	UC(%)	Estradas (m/m ²)	Rios (m/m ²)	Escore (Eixo 1)	Escore (Eixo 2)
10.000 km ²	181	69,89	5,23	0,000083	0,000236	-0,352	-0,793
	1774	96,24	87,51	0,000103	0,000235	-0,981	2,092
	1494	90,74	19,27	0,000033	0,000212	-0,560	-0,535
	1416	89,38	39,66	0,000068	0,000208	-0,450	0,394
1.000 km ²	1338	87,65	67,47	0,000085	0,000210	-0,524	1,108
	1378	83,74	44,93	0,000068	0,000213	-0,242	0,447
	1852	81,39	55,87	0,000049	0,000227	-0,352	0,381
	1534	78,67	8,54	0,000001	0,000229	-0,283	-1,746
100 km ²	15731	99,76	92,06	0,000081	0,000230	-1,842	0,887
	17070	98,93	20,72	0,000237	0,000210	-0,027	1,370
	17800	98,00	64,74	0,000133	0,000360	-0,896	2,250
	12800	97,34	100,00	0,000111	0,000280	-1,740	1,362
	12920	96,93	100,00	0,000165	0,000400	-1,425	3,505
	17435	96,72	64,54	0,000137	0,000390	-0,760	2,736
	25339	95,44	84,98	0,000064	0,000270	-1,363	0,835
	13769	95,33	25,40	0,000014	0,000230	-0,950	-0,074
	14749	94,31	41,83	0,000079	0,000210	-0,651	0,331
	15974	93,60	78,06	0,000174	0,000250	-0,637	1,236

Nota: A tabela completa está no Anexo 1.

Figura 19 - Hexágono de 10.000 km² (181) selecionado pelo método de Seleção Bivariada para implantação das medidas mitigadoras dos efeitos de estrada para o bioma Mata Atlântica.

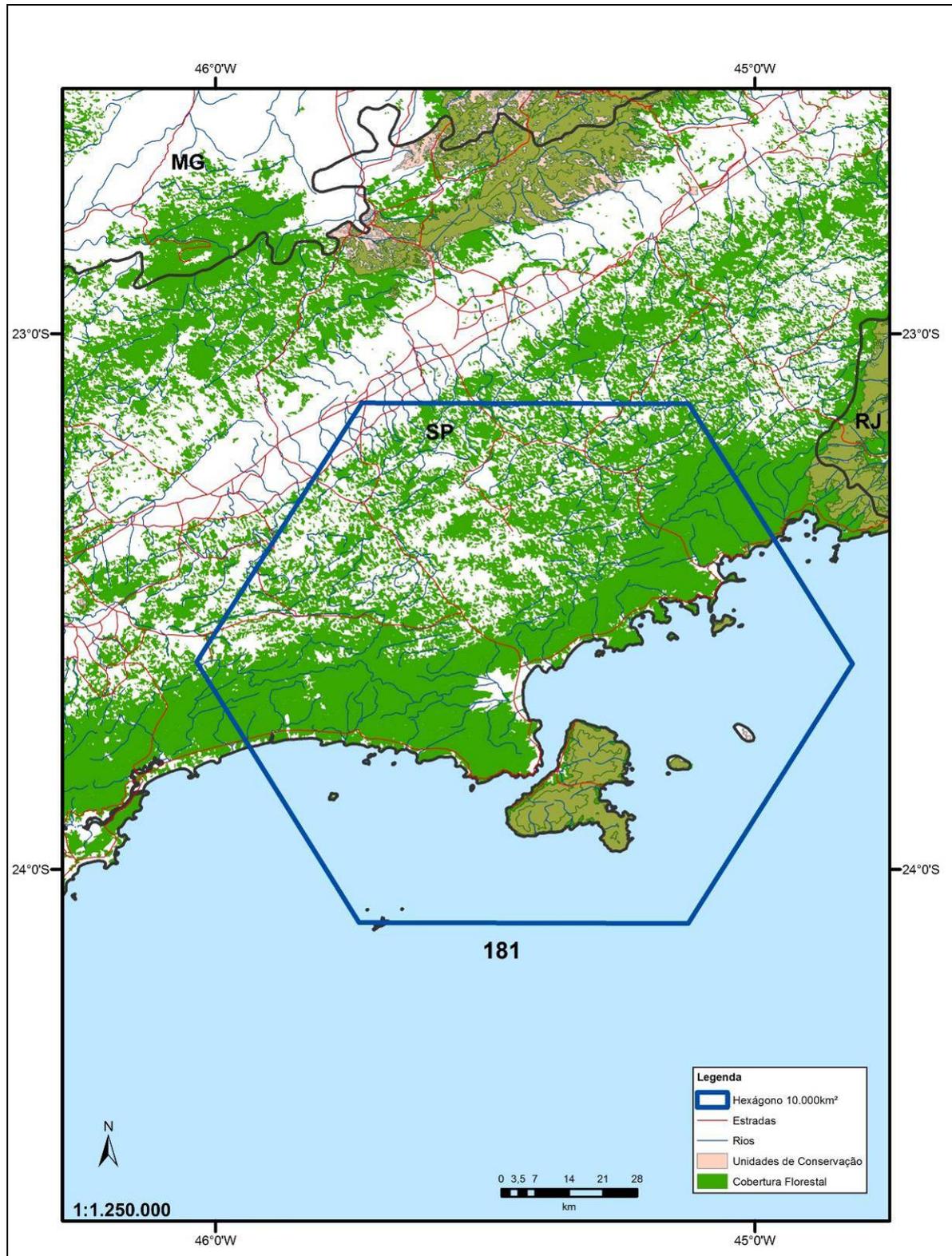


Figura 20 - Distribuição espacial dos cinco hexágonos prioritários (1.000 km²) determinados pelo método de Seleção Bivariada para implantação das medidas mitigadoras dos efeitos de estrada para o bioma Mata Atlântica, localizados no sul de São Paulo e norte do Paraná.

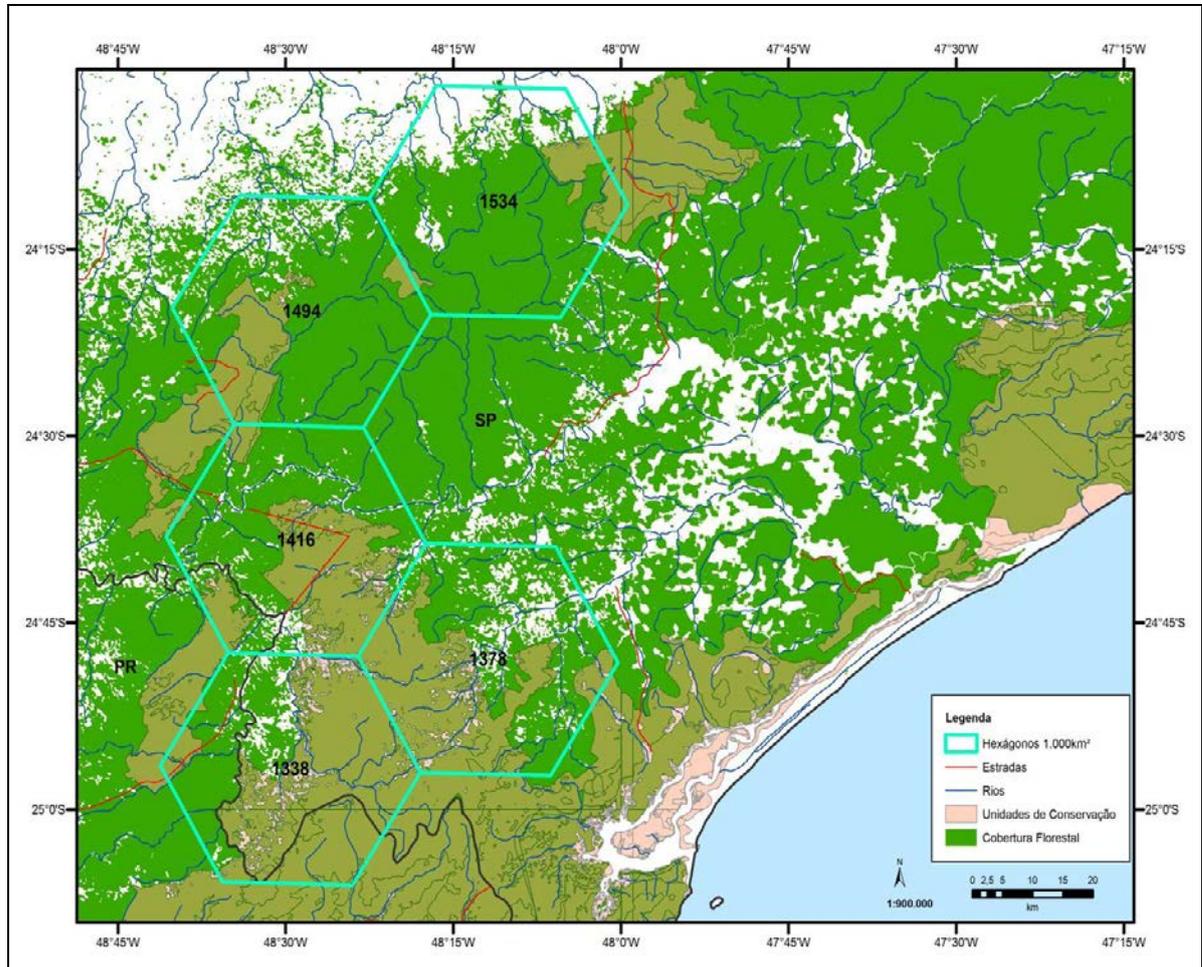
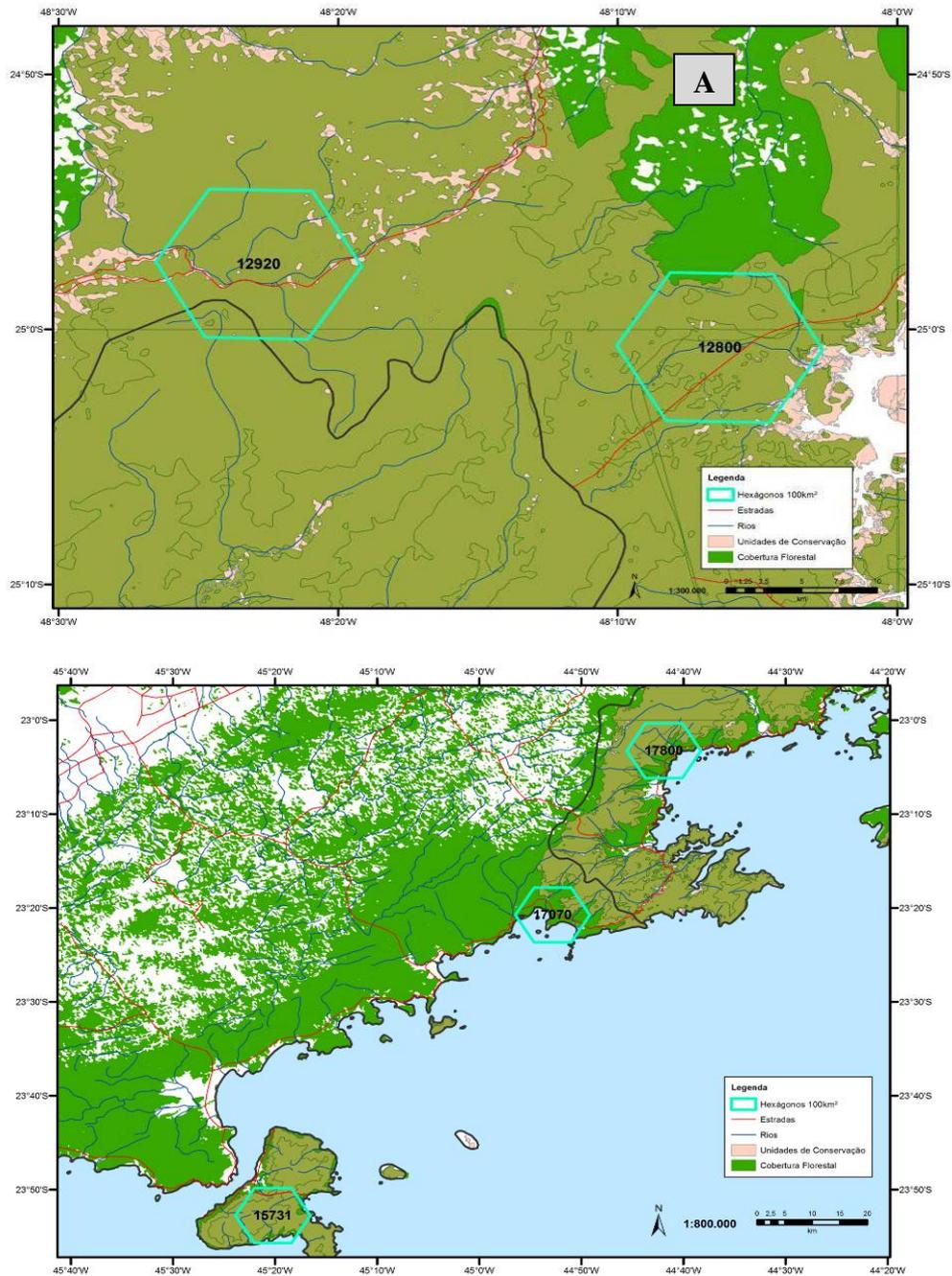


Figura 21 - Distribuição espacial dos cinco hexágonos prioritários (100 km²) determinados pelo método de Seleção Bivariada para implantação das medidas mitigadoras dos efeitos de estrada para o bioma Mata Atlântica, na região da fronteira de São Paulo e Paraná e da fronteira de São Paulo e Rio de Janeiro.



Legenda: (A)- hexágonos 12920 e 12800; (B)- Hexágonos 15731, 17070 e 17800.

3.4 Teste de sensibilidade dos dois métodos

Para os hexágonos de 1000 km² o método de Seleção Biavariada não apresentou probabilidade significativa de selecionar hexágonos tão eficientes quanto pelo método de ordenação pelo escore do 1º eixo da PCA ($p= 0,824$). Já o método de Seleção Hierárquica Multivariada obteve uma probabilidade significativa de selecionar hexágonos tão eficientes quanto os primeiros selecionados pela ordenação com o 1º Eixo da PCA ($p=0,017$) (Figura 21).

Já para o hexágono de 100 km², a Seleção Bivariada apresentou probabilidade significativa ($p=0,037$), porém o método de Seleção Hierárquica Multivariada apresentou maior eficiência para seleção dos hexágonos ($p=0,003$) (Figura 22).

Figura 22 - Frequência dos valores simulados para o somatório dos escores. A seta vermelha indica o valor observado para a Seleção Bivariada e a azul para a Seleção Hierárquica Multivariada dos hexágonos de 1.000 km².

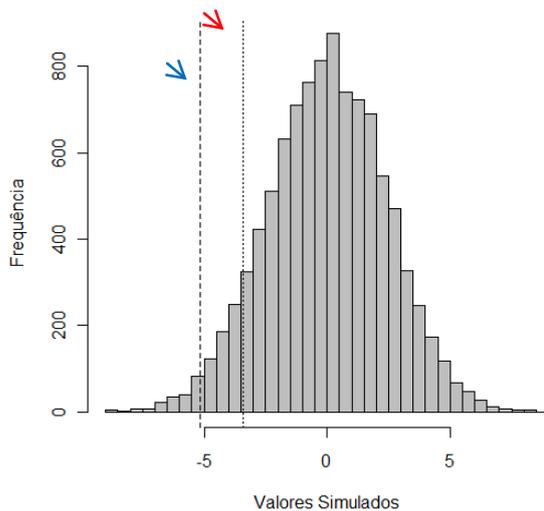
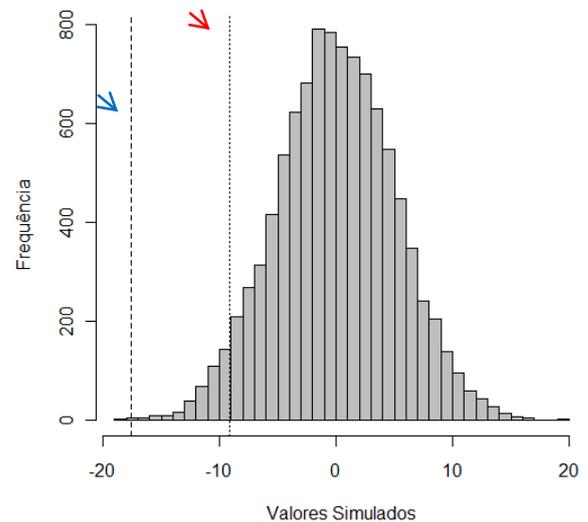


Figura 23 - Frequência dos valores simulados para o somatório dos escores. A seta vermelha indica o valor observado para a Seleção Bivariada e a azul para a Seleção Hierárquica Multivariada dos hexágonos de 100 km².



4 DISCUSSÃO

Os resultados obtidos para o bioma Mata Atlântica com o método de Seleção Hierárquica Multivariada demonstraram que é um método simples, utilizando variáveis da paisagem de fácil acesso, e com o uso deste as áreas prioritárias para implantação de medidas mitigadoras dos efeitos de estradas sobre espécies florestais foram mais eficientemente selecionadas do que com o método de Seleção Bivariada, independentemente do critério de análise hierárquica.

O método de Seleção Hierárquica Multivariada foi capaz de recuperar escores tão altos quanto aqueles hierarquizados pelo Eixo 1 da PCA, mostrando que o método de escolhas iniciando por áreas maiores e a priorização sendo realizada em escalas menores pode ser uma opção funcional, objetiva e simples de ser aplicada. Os resultados observados pela ordenação dos escores gerados pela Análise dos Componentes Principais para cada escala de hexágono, independente da análise hierárquica, bem como a correlação das variáveis com o 1º Eixo, correspondeu ao esperado pelos pressupostos do modelo, ou seja, que as variáveis selecionadas fossem correlacionadas entre si, e que onde houvesse mais cobertura florestal, haveria mais Unidade de Conservação, mais rios e menos estradas. Já os resultados obtidos com a Seleção Bivariada mostraram que, principalmente para os hexágonos de tamanho intermediário (1.000 km²), este método não é a melhor opção (quando comparado ao primeiro) para seleção de áreas prioritárias visando implantação de medidas mitigadoras dos efeitos de estradas. Possivelmente porque a cobertura florestal sozinha pode não caracterizar a desconectividade da paisagem em função das estradas e outras variáveis. A Unidade de Conservação e rios, assim como a própria densidade de estradas na área podem se ajustar melhor no modelo de priorização das áreas.

Ao analisar o resultado gerado com os dois métodos observou-se que dos sete hexágonos indicados como prioritários pelo método de Seleção Bivariada três foram também selecionados pelo método de Seleção Hierárquica Multivariada (1338; 1416; 1378), e também estão entre os dez mais prioritários indicados por este último. Já dos 34 hexágonos de 100 km² selecionados pela Seleção Bivariada, 24 foram também selecionados pelo segundo método e, destes, apenas três estavam entre os dez hexágonos mais prioritários indicados por este método (12800; 13042; 12409). O hexágono “15731” apontado como um dos cinco mais prioritários pela Seleção Bivariada com maior porcentagem de cobertura vegetal não foi

selecionado pelo método de Seleção Hierárquica Multivariada porque o hexágono de 1000 km² (1617) não apresentou sua superfície coberta por mais que 45 % de Mata Atlântica.

Ainda assim, o método de Seleção Hierárquica Multivariada constitui um método simples de seleção de áreas prioritárias para instalação de medidas mitigadoras dos efeitos de estrada. Uma vez que este método considera variáveis da paisagem e não só pontos de atropelamentos como indicação para instalação de medidas de conexão para populações de espécies florestais isoladas pelas estradas.

Isso pode ser visto como positivo, uma vez que os pontos sem adensamento de registros de atropelamentos não indicam que os indivíduos estão atravessando a estrada com sucesso, podendo ali representar um trecho de barreira total para as populações florestais (Van der Grift & Pouwels 2006). Além disso, nosso método avalia áreas com características ambientais boas para presença de espécies florestais, como sugerido também por Van der Grift & Pouwels (2006).

A qualidade do hábitat neste estudo foi inferida como percentual presente de cobertura florestal, presença de áreas protegidas e densidade de rios, contudo a conectividade entre as manchas de hábitats não foi integrada ao modelo, como é o caso, por exemplo, com estudos que utilizam o software LARCH. Neste método, a conectividade funcional para as espécies-chaves do modelo é calculada a partir das informações de história de vida das espécies, como área de vida, longevidade, maturidade sexual e número de descendentes por geração e, depois é calculada a qualidade das manchas de hábitat.

Apesar de esse ser um método mais completo e promissor de análise de desconectividade das populações-chave causadas por estradas, as informações de história de vida das espécies nem sempre estão disponíveis na literatura e o programa, apesar de ser gratuito, ainda gera problemas computacionais que requer assistência técnica, a qual só está disponível na Universidade de Alterra, Holanda. Já o método de Seleção Hierárquica Multivariada não requer informações científicas sobre espécies selecionadas para o modelo, além de poder ser facilmente executado com programas de geoprocessamento (p. ex. ArcGis) e estatística da escolha do analista (p. ex. R). Dessa maneira, acreditamos que a Seleção Hierárquica Multivariada pode ser um método simples para escolha de áreas prioritárias para mitigação dos efeitos de estradas sobre populações de animais silvestres florestais, levando em consideração variáveis da paisagem facilmente disponíveis.

Somado a isto, os métodos de seleção de medidas mitigadoras devem atender a maior gama possível de grupo de espécies, devido a alta diversidade encontrada nos trópicos e, especialmente no caso da Mata Atlântica, com 1361 espécies de vertebrados terrestres, sendo

2,1% endêmicos desse bioma (Myers *et al.* 2000). No caso do *software* LARCH a escolha de espécies guarda-chuvas para serem usadas no modelo precisariam ser discutidas com cautela e ainda sim, as espécies escolhidas e com dados disponíveis para modelagem poderiam não ser representativa das demais. Já para o modelo de seleção das áreas prioritárias que utilizam os “blackspots” como método, ou seja, aquele que utiliza como indicação dos locais para instalação das medidas mitigadoras os trechos das rodovias que apresentam o maior adensamento de animais atropelados, as espécies mais comuns no entorno da rodovia seriam as atendidas por estas medidas de conexão, já que as espécies mais comuns e com maior massa corporal são aquelas que tendem a usar as estradas, salvo aquelas que evitam as estradas, ou que possuem adaptações diferenciais (p. e. as espécies arborícolas, as de hábitos diurnos e que evitam as estradas ou as de locomoção rápida) (Cáceres *et al.* 2010; Cáceres 2011). Dessa forma, as medidas mitigadoras, implantadas em trechos de maior adensamento de animais atropelados, poderiam atender somente determinado grupo de espécies e outros ainda continuarem isolados pela estrada.

No nosso modelo algumas áreas relevantes para conservação na Mata Atlântica não foram selecionadas como prioritárias pelo método hierárquico de análise, como foi o caso da região serrana do Rio de Janeiro, que abriga os maiores contínuos florestais do estado e protegidos por Unidades de Conservação como Parque Nacional (PARNA) da Serra dos Órgãos, Parque Estadual dos Três Picos, Reserva Biológica do Tinguá e APA Petrópolis. Nesta região houve bastante representação de hexágonos selecionados em escalas intermediárias (100 e 1.000 km²), entretanto como não houve hexágono de 10.000 km² nesta região que satisfizessem os critérios mínimos indicados por este método, os hexágonos menores não foram tratados como prioritários na análise hierárquica proposta.

Apesar do estado do Rio de Janeiro possuir 20,3% da sua cobertura florestal original, os remanescentes estão dispersos na paisagem de forma fragmentada e aproximadamente 85% deles são menores que 50 ha (Fidalgo *et al.* 2009). Provavelmente, este fato pode explicar a não seleção de hexágonos de 10.000 km² com representatividade relevante requerida pelo nosso modelo. Contudo, esses fragmentos de Floresta Ombrófila Densa nas Escarpas e Reversos da Serra do Mar foram apontados por Tanizaki-Fonseca e colaboradores (2009) como um importante polo para ações de conservação, além de abrigar uma rica diversidade biológica, muitos exemplares de espécies endêmicas e ameaçadas de extinção (Bergallo *et al.* 2009).

Uma situação similar aconteceu na área do Parque Nacional de Iguaçu, um importante fragmento florestal que ocupa uma área de 170.000 ha no estado do Paraná. Este hexágono foi

excluído da seleção de prioritários provavelmente por dois fatores principais: i) também por não possuir cobertura florestal suficiente nos hexágonos de 10.000 km², e ii) a maioria das estradas que corta este parque consta no banco de dados como “sem toponímia”, e portanto não entraram nas nossas análises. O hexágono de 1.000 km² “1173” apenas foi selecionado porque a porção oeste deste é atravessada pela BR-163/PR-182. Já os hexágonos de 100 km² selecionados nesta mesma região (11797 e 11919) são cortados pela BR-267 que margeia o limite norte do parque. Mesmo que esta região não tenha sido selecionada pelo modelo, as estradas que cortam e margeiam o Parque precisam ser revistas durante as tomadas de decisão para instalação de medidas mitigadoras dos efeitos destas estradas, uma vez que podem ser utilizadas pelos animais que habitam essa Unidade de Conservação.

Uma terceira região potencialmente relevante que também ficou excluída dos hexágonos prioritários foi a região da APA da Serra da Mantiqueira, que ocupa uma área de 422.000 ha entre os estados do Rio de Janeiro, São Paulo e Minas Gerais. Nesta região foram selecionados três hexágonos de 1.000 km² e 18 de 100 km².

Sendo assim, podemos inferir que em regiões muito fragmentadas, como é o caso da Mata Atlântica, a seleção hierárquica iniciada com uma escala grande, como o hexágono de 10.000 km², tem que ser vista com ressalvas, já que os fragmentos são pequenos e em sua maioria esparsos e, por isso, importantes regiões podem ser excluídas da seleção final de áreas prioritárias. Assim os tomadores de decisão podem escolher trabalhar com escalas intermediárias de hexágonos em sua área de interesse.

Após a seleção das áreas prioritárias, seja pelo modelo aqui apresentado ou por qualquer outro, é necessário que o tomador de decisão revise criticamente tanto as áreas selecionadas quanto as não selecionadas, e avalie com base em estudos científicos ou mesmo em conhecimento empírico a exclusão ou inclusão das áreas. Para Margules & Pressey (2000) há muitos pontos de vista sobre os métodos de identificação de áreas prioritárias para conservação e o planejamento é cheio de incertezas, podendo estas serem reduzidas, mas nunca eliminadas. Então, cabe aos gestores aprender a lidar com estas incertezas em todas as etapas do processo de seleção de áreas prioritárias.

A presença de rios, áreas alagadas e lagoas são fatores importantes para o planejamento das medidas mitigadoras dos efeitos de estradas, uma vez que podem funcionar como caminhos preferenciais de mamíferos, além de serem habitats para alguns, o que torna as estradas sensíveis nestes pontos. Adicionalmente, os dutos de drenagem (“culverts”) podem ser facilmente modificados e adaptados para passagem de animais de várias taxa. Não só as passagens subterrâneas são as medidas indicadas para minimizar os impactos das estradas

sobre a fauna. Passagens aéreas, espelhos e refletores, sinais de alerta, redutores de velocidade, cercas, bem como atividades de educação ambiental nas rodovias têm sido implantadas em todo o mundo (Forman *et al.* 2003; Grilo *et al.* 2010).

Uma vez selecionadas as áreas que devem receber medidas mitigadoras dos impactos ecológicos das estradas, uma análise mais detalhada deve ser realizada para se avaliar os locais e quais medidas deverão ser tomadas. A localização e o tipo de medida aplicável deve considerar primeiro, além da sensibilidade da área, o padrão de movimentação das espécies alvo e, por último, os dados de atropelamentos, uma vez que os locais de atropelamento podem não coincidir com os locais que preferidos de travessia dos animais (Neumann *et al.* 2012).

O hábitat presente nas margens das rodovias é outro fator que tem sido apontado em diversos estudos e deve ser considerado durante o planejamento de medidas mitigadoras, uma vez que este pode maximizar ou minimizar a “repulsa” dos animais a estrada (Goosem *et al.* 2007; McLaren *et al.* 2011). O tráfego rodoviário é também prejudicial para a vida silvestre em áreas protegidas (Garriga *et al.* 2012), mesmo sendo este, muitas vezes mais controlado. Mas não só as estradas que atravessam as Unidades de Conservação merecem atenção especial, pois aquelas que as margeiam também podem interromper importantes fluxos ecológicos, sobretudo para UCs isoladas, como é o caso do Parque Nacional de Iguaçu. As medidas de mitigação das estradas podem ser implantadas concomitantemente com outras medidas de restauração florestal e, conseqüentemente da biodiversidade.

O planejamento da malha viária, bem como a reestruturação da mesma, deve ser elaborado de forma interdisciplinar, considerando as investigações científicas a cerca da fragmentação populacional causada pelas rodovias, as soluções tecnológicas para um melhor projeto (desenho) das estradas, estruturas para aumentar a conectividade funcional da paisagem. O planejamento deve incluir também, a participação dos gestores para decisão harmônica de onde os recursos financeiros devem ser priorizados. Assim, é esperado que modelos simples, como o método de Seleção Hierárquica Multivariada, aqui apresentado, que considera variáveis da paisagem relevantes para diagnosticar áreas com potencial biodiversidade, possam contribuir para determinar áreas prioritárias durante o processo de tomadas de decisões para implantação de ações de conservação.

CONCLUSÃO

- Para o bioma Mata Atlântica o método de Seleção Hierárquica Multivariada mostrou-se um método mais simples e mais eficiente que o de Seleção Bivariada.
- Quando comparado ao método mais frequentemente utilizado, como os estudos que utilizam os adensamentos de atropelamentos, este método considera mais a conectividade funcional que os demais, uma vez que considera a qualidade do hábitat como pressuposto chave.
- Devido a limitação da disponibilidade de dados de viabilidade populacional e capacidade de deslocamento das espécies florestais isoladas pelas estradas, como proposto pelo *software* LARCH, os métodos propostos representam uma medida interessante e abrangente do ponto de vista da aplicabilidade para biomas tropicais com alta diversidade de espécies.
- Independente do método escolhido pelo tomador de decisão, uma análise mais minuciosa posterior deve ser realizada após a pré-seleção das áreas, já que se trata de uma análise preliminar ampla.
- Nas áreas selecionadas, sugere-se que estruturas já existentes, tais como dutos de drenagem (“culverts”) sejam modificadas e adaptadas para passagem de animais, otimizando os custos com o replanejamento da estrutura das estradas, cujos impactos devem ser mitigadas.
- Por fim, acreditamos que o método de Seleção Hierárquica, que considera variáveis da paisagem relevantes para diagnosticar áreas com esperada alta biodiversidade, possa contribuir para determinar áreas prioritárias durante o processo de tomadas de decisões para implantação de ações de conservação voltadas para mitigação de impactos das estradas sobre vertebrados de hábitat florestal, por se tratar de um método simples e de fácil aplicabilidade.

REFERÊNCIAS

- Andrén H. 1994 Effects of habitat fragmentation on birds and mammals in landscapes with different proportions of suitable habitat: a review. *Oikos* 71-3: 355-366.
- Bager A, Piedras SRN, Martin TS, Hóbus Q. 2007. Fauna Selvagem e Atropelamento - Diagnóstico do Conhecimento Brasileiro *In: Áreas Protegidas, repensando as escalas de atuação*. Porto Alegre: Armazém Digital, 49-62.
- Beckmann, J.P.; Clevenger, A.P.; Huijser, M.P. & Hilty, J.A. 2010. Safe passages: highways, wildlife, and habitat connectivity. Island Press, Washington. 396p.
- Bergallo HG, Esbérard CEL, Geise L, Grelle CEV, Vieira MVV., Gonçalves PR, Paglia A, Attias N. 2009. Mamíferos endêmicos e ameaçados do Estado do Rio de Janeiro: diagnóstico e estratégias para a conservação. *In: Estratégias e ações para a conservação da biodiversidade no Estado do Rio de Janeiro/ Bergallo H.G., Fidalgo E. C.C., Rocha C.F.D. e outros*. Rio de Janeiro. Instituto Biomas, 344 il, mapas.
- Birch CPD, Oom SP, Beecham JA. 2007. Rectangular and hexagonal grids used for observation, experiment and simulation in ecology. *Ecological Modelling* 206: 346-359.
- Cáceres NC, Hannibal W, Freitas D R, Silva E L, Roman C, Casella J. 2010. Mammal occurrence and roadkill in two adjacent ecoregions (Atlantic Forest and Cerrado) in south-western Brazil. *Sociedade Brasileira de Zoologia* 27(5): 709-717.
- Cáceres, N.C. 2011. Biological characteristics influence mammal road kill in na Atlantic Forest- Cerrado interface in south-western Brazil. *Italian Journal of Zoology* iFirst:1-11.
- Cáceres NC, Casela J, Santos GC. 2012. Variação espacial e sazonal atropelamentos de mamíferos no bioma cerrado, rodovia BR 262, Sudoeste do Brasil. *Mastozool. neotrop.*, Mendoza, 19 (1). Disponível em http://www.scielo.org.ar/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0327-93832012000100003&lng=es&nrm=iso. Acesso em: 12 de nov. 2012.
- Coelho, IP; Kindel A, Coelho AVP. 2008. Roadkills of vertebrate species on two highways through the Atlantic Forest Biosphere Reserve, southern Brazil. *European Journal of Wildlife Research*, 54: 689-699.
- Develey PF, Stouffer PC. 2001. Effects of roads on movements by understory birds in mixed-species flocks in central Amazonian Brazil. *Conservation Biology* 15: 1416-1422.
- Dornas, RAP., Kindel A., Bager A., Freitas SR. 2012. Avaliação da mortalidade de vertebrados em rodovias no Brasil. Pp. 139-152. *In: Bager, A. (ed.). Ecologia de Estradas: tendências e pesquisas*. Ed. UFLA, Lavras. 139-152p.
- Ellstrand NC, Ellan DR. 1993. Population genetic consequences of small population sizes: implication for plant conservation. *Annual Review on Ecological Systematics*, 24:217-242.
- Fahrig L, Rytwinski T. 2009. Effects of roads on animal abundance: an empirical review and synthesis. *Ecology and Society* 14: 21.

Fidalgo E CC, Uzêda MC, Bergallo HG, Costa TCC, Abreu MB. 2009. Distribuição dos remanescentes vegetais no Estado do Rio de Janeiro. *In: Estratégias e ações para a conservação da biodiversidade no Estado do Rio de Janeiro/ Bergallo HG, Fidalgo E. CC, Rocha CFD. et al* outros. Rio de Janeiro. Instituto Biomas, 344 il, mapas.

Gibbon SI F, Putland DA, Goldizen AW. 2007. The importance of funcional connectivity in the conservation of a ground-dwelling mammal in na urban Australian landscape. *Landscape Ecology* 22:1513-1525.

Forman RTT, Alexander LE. 1998. Roads and their major ecological effects. *Annu. Rev. Ecol. Syst.*, 29: 207-231.

Forman RTT, Sperling D, Bissonette, JA, Clevenger AP, Cutshall CD, Dale VH, Fahrig L, France R, Goldman CR, Heanue K, Jones JA, Swanson FJ, Turrentine T, Winter TC. 2003. *Road ecology: science and solutions*. Island Press, Washington. 481p.

Freitas S R, Hawbaker TJ, Metzger JP. 2010. Effects of roads, topography and land use on forest cover dynamics in the Brazilian Atlantic Forest. *Forest Ecology and Management*, 259: 410-417.

Fuentes-Montemayor E, Cuarón AD, Vázquez-Domínguez E, Benítez-Malvido J, Valenzuela-Galván D, Andresen E. 2009. Living on the edge: roads and edge effects on small mammal populations. *Journal of Animal Ecology* 78: 857-865.

Garriga N, Santos X, Montori A, Richter- Boix A, Franch M, Llorente GA. 2012. Are protected areas truly protected? The impact of road traffic on vertebrate fauna. *Biodivers. Conserv.* 21: 2761-2774.

Goosem M, Izumi Y, Turton S. 2001. Efforts to restore habitat connectivity for na upland tropical rainforest fauna: A trial of underpasses below road. *Ecol. Manage. Restor.* 2: 196–202.

Goosem M. 2007. Fragmentation impacts caused by roads through rainforests. *Current Science* 93 (11): 1587-1595.

Grilo C, Sousa J, Ascensão F, Matos H, Leitão I, Pinheiro P, Costa M, Bernardo J, Reto D, Lourenço R, Santos- Rei M, Revilla E. 2012. Individual Spatial Responses towards Roads: Implications for Mortality Risk. *Plos ONE* 7 (9) e43811.

Grilo C, Bissonette JA, Cramer PC. 2010. *In: Highways: construction, Management and Maintenance.* Samantha R. Jones 73-114.

Huijser MP, Duffield JW, Clevenger AP, Ament RJ, McGowen PT. 2009. Cost-benefit analyses of mitigation measures aimed at reducing collisions with large ungulates in the Unites States and Canada: a decision support tool. *Ecology and Society*, 14: 15.

IBGE, Base Continua ao Milionésimo 2007. Disponível em: <<http://www.ibge.gov.br/home/download/geociencias.shtm>>. Acesso em: 19 nov. 2011.

Jaeger JAG. 2000. Landscape division, splitting index, and effective mesh size: new measures of landscape fragmentation. *Landscape Ecology*, n.15, p.115-130.

Jennes J. 2012. Repeating Shapes for ArcGIS. Disponível em: <<http://www.jennessent.com>>. Acesso em: 19 nov. de 2012.

Laurance WF, Goosem M, Laurance SGW. 2009. Impacts of roads and linear clearings on tropical forests. *Trends in Ecology and Evolution* 24: 659-669.

Laurance W. 2008. Theory meets reality: How habitat fragmentation research has transcended island biogeographic theory. *Biological Conservation* 141: 1731-1744.

Lesbarrères D., Fahrig L. 2012. Measures to reduce population fragmentation by roads: what has worked and how do we know? *Trends in Ecology and Evolution* 27 (7): 374-380.

Mantovani W. 2003. A degradação dos biomas brasileiros. In: W.C. Ribeiro (ed.). *Patrimônio ambiental brasileiro* 367- 439.

Margules CR, Pressey RL. 2000. Systematic conservation planning. *Nature* 405: 243-253.

McGregor RL, Bender DJ, Fahrig L. 2008. Do small mammals avoid roads because of the traffic? *Journal of Applied Ecology* 45: 117-123.

McLaren AAD, Fahrig L, Waltho N. 2011. Movement of small mammals across divide highways with vegetated medians. *Can. J. Zool.* 89:1214-1222.

Metzger JP, Décamps H. 1997. The structural connectivity threshold: an hypothesis in conservation biology at the landscape scale. *Acta Ecologica* 1146-609.

MMA, Ministério do Meio Ambiente, 2007. Levantamento da Cobertura Vegetal Nativa do Bioma Mata Atlântica. Relatório Final. Disponível em: <http://mapas.mma.gov.br/mapas/aplic/probio/datadownload.htm?/>. Acesso em: 10 set. 2010.

Murcia C. 1995. Edge effects in fragmented forests: implications for conservation. *TREE Reviews*, 10: 58-62.

Myers N, Mittermeier RA, Mittermeier CG, Fonseca GABF, Kent J. 2000. Biodiversity hotspots for conservation priorities. *Nature* 403:853-858.

Myers N. 2003. Biodiversity Hotspots Revisited. *BioScience* 53 (10): 916-917.

Myers N., Mittermeier R. A., Mittermeier C. G., Fonseca G. A. B., Kent J. 2000. Biodiversity hotspots for conservation priorities. *Nature*.403: 853–858.

Nagendra H, Southworth J, Tucker C. 2003. Accessibility as a determinant of transformation in western Honduras: linking pattern and process. *Landscape Ecology* 18:141-158.

Neumann W, Ericsson G, Dettki H, Bunnefeld N, Keuler NS et al. 2012. Difference in spatiotemporal patterns of wildlife road-crossings and wildlife vehicle collisions. *Biol Conserv* 145:70–78.

Pardini R, Bueno A A, Gardner T A, Prado PI, Metzger JP. 2010. Beyond the fragmentation threshold hypothesis: Regime shifts in Biodiversity across fragmented landscapes. *PlosOne* 5 (10) e13666.

- Ree R, Jaeger JAG, Grift EA, Clevenger AP. 2011. Effects of Roads and Traffic on Wildlife Populations and Landscape Function: Road Ecology is Moving toward Larger Scales. *Ecology Society* 16 (1):48.
- Ribeiro MC, Metzger JP, Martensen AC, Ponzoni FJ, Hirota MM. 2009. The Brazilian Atlantic Forest: How much is left, and how is the remaining forest distributed? Implications for conservation. *Biological Conservation* 142: 1141-1153.
- Saura S, Pascual- Hortal L. 2007. A New habitat availability index to integrate connectivity in landscape conservation planning: Comparison with existing indices and application to a case study. *Landscape and Urban Planning* 83: 91-103.
- Seiler A. 2001. Ecological Effects of Roads - a review. Introductory Research Essay Department of Conservation Biology SLU. 9, 40pp.
- Silva JMC, Tabarelli M. 2000. Tree species impoverishment and the future flora of the Atlantic forest of northeast Brazil. *Nature* 404: 72-74.
- SOS Mata Atlântica, INPE (Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais). 2009. Atlas dos Remanescentes florestais da Mata Atlântica: período de 2005 a 2008 - relatório parcial. 156p.
- Tanizaki-Fonseca K, Lorenzon MCA., Gonçalves PR, Filho JDB, Cruz ESS, Rahy IS. 2009. Região Serrana de Economia Diversificada. In: Estratégias e ações para a conservação da biodiversidade no Estado do Rio de Janeiro/ Bergallo HG, Fidalgo E CC, Rocha CFD et al. Rio de Janeiro. Instituto Biomass, 344 il, mapas.
- Taylor PD, Fahrig L, Henein K, Merriam G. 1993. Connectivity is a vital element of landscape structure. *Oikos* 68: 571-573.
- Taylor P D, Fahrig L, With K A. 2006. Landscape connectivity: a return to the basics. *Conservation Biology* 14: 30 – 42.
- Tischendorf L, Fahrig L. 2000. On the usage and measurement of landscape connectivity. *Oikos* 90:7-19.
- Trombulak SC, Frissel CA. 2000. Review of ecological effects of roads on terrestrial and aquatic communities. *Conservation Biology*, 14 (1): 18-30.
- Van der Grift E, Pouwels R. 2006. Restoring habitat connectivity across transport corridors: identifying high-priority locations for de-fragmentation with the use of expert-based model. In: Davenport, J. and Davenport, J. *The Ecology of Transportation: Managing Mobility for the Environment*, 10: 205–231.
- Van der Grift E, Reijnen R, Van der Veen M, Pelk M. 2002. Restoring habitat connectivity across roads: where to begin? *Natuurplanbureau Werkdocument* 9: 31-45.

ANEXO A – Apresentação das tabelas completas 2, 3 e 4.

Hexágonos selecionados e priorizados no bioma Mata Atlântica para implantação de medidas mitigadoras dos efeitos de estradas, utilizando a Seleção Hierárquica Multivariada para os três tamanhos de áreas adotados (10.000, 1.000 e 100 km²). (continua)

	10.000	Hexágonos (km ²)	
		1.000	100
	142	1300	12678
	142	1300	12800
	142	1300	12314
	142	1300	12436
	142	1300	13042
	142	1339	13044
	142	1339	13409
	142	1299	12432
	142	1299	12554
	142	1299	12676
	142	1299	12189
	142	1338	12920
	142	1338	12798
	142	1338	12676
	142	1338	13284
	142	1338	12919
	142	1338	13405
	142	1416	13770
	142	1416	13527
	142	1416	13769
	142	1416	13284
	142	1416	13405
	142	1416	13648
	142	1416	13892
	142	1416	13891
	142	1378	13042
	142	1378	13164
	142	1182	10975
	142	1182	11339
	142	1182	11218
	142	1182	11097
	155	1496	14383
	155	1496	14749
	155	1496	14626
	155	1496	14627
	155	1536	14628
	155	1536	14749
	155	1536	14750
	155	1457	14383
	155	1457	14018
	155	1457	13775
	155	1495	-
	155	1417	13287
	155	1417	13409
	155	1417	13530

(continuação)

10.000	Hexágonos (km ²)	
	1.000	100
194	1774	17071
194	1774	17435
194	1774	17314
194	1774	17070
194	1774	17557
194	1891	18166
194	1891	18045
194	1852	17922
194	1852	17800
194	1852	17557
194	1930	-
194	1812	17070
194	1812	17435
194	1812	17556
129	1299	12432
129	1299	12554
129	1299	12676
129	1299	12189
129	1065	10487
129	1065	10367
129	1065	10366
129	1065	10245
129	1182	10975
129	1182	11339
129	1182	11218
129	1182	11097
129	1221	11339
129	1221	11338
129	1221	11946
129	1221	12189
129	1221	11703
129	1221	11460
129	1103	10730
129	1103	10487
129	1103	10608
79	791	7813
79	791	7814
79	791	7084
79	791	7206
79	791	7328
79	791	7569
79	713	6963
79	713	7084
79	713	7206
79	713	6962
79	597	5749
79	597	5871
79	597	5993
79	597	5992
79	752	7569
79	752	6962
181	1812	17070
181	1812	17435
181	1812	17556

(conclusão)

10.000	Hexágonos (km ²)	
	1.000	100
154	1494	14255
154	1494	14498
154	1416	13770
154	1416	13527
154	1416	13769
154	1416	13284
154	1416	13405
154	1416	13648
154	1416	13892
154	1416	13891
154	1299	12432
154	1299	12554
154	1299	12676
154	1299	12189
154	1455	13769
154	1455	14255
154	1455	14133
154	1455	14498
167	1494	14255
167	1494	14498
167	1416	13770
167	1416	13527
167	1416	13769
167	1416	13284
167	1416	13405
167	1416	13648
167	1416	13892
167	1416	13891
167	1534	15109
167	1573	15109
167	1495	-
167	1417	13287
167	1417	13409
167	1417	13530

Valores das variáveis (Cobertura Florestal, Unidade de Conservação, Estradas e Rios) dos principais hexágonos selecionados pelo método de Seleção Hierárquica Multivariada para cada uma das três escalas. (continua)

Escala	Hexágono	Floresta (%)	UC(%)	Estradas (m/m ²)	Rios (m/m ²)	Escore (Eixo 1)	Escore Eixo 2
10.000 km ²	142	82,40	72,56	0,000060	0,000180	1,344	1,048
	155	81,30	40,74	0,000050	0,000170	0,940	0,696
	194	76,31	28,60	0,000060	0,000190	0,504	0,198
	129	60,26	22,26	0,000090	0,000170	0,303	-1,422
	79	60,88	8,06	0,000080	0,000160	0,017	-1,221
	181	69,89	5,23	0,000080	0,000240	-0,352	-0,793
	154	51,64	7,23	0,000030	0,000240	-1,236	0,994
	167	51,08	6,22	0,000050	0,000260	-1,521	0,500
	1.000 km ²	1300	97,94	100,00	0,000024	0,000157	-2,528
1339		67,44	99,09	0,000068	0,000160	-0,702	1,190
1299		87,49	19,55	0,000043	0,000139	-0,659	-0,821
1338		87,65	67,47	0,000085	0,000210	-0,524	1,108
1416		89,38	39,66	0,000068	0,000208	-0,450	0,394
1378		83,74	44,93	0,000068	0,000213	-0,242	0,447
1182		66,52	58,98	0,000118	0,000076	-0,068	0,467
1496		88,81	100,00	0,000046	0,000195	-1,575	1,418
1536		91,58	24,05	0,000055	0,000172	-0,659	-0,286
1457		76,09	8,79	0,000049	0,000181	0,170	-0,855
1495		74,62	2,58	0,000059	0,000195	0,514	-0,841
1417		65,48	4,86	0,000115	0,000245	1,434	0,404
1774		96,24	87,51	0,000103	0,000235	-0,981	2,092
1891		87,28	18,13	0,000043	0,000151	-0,580	-0,790
1852		81,39	55,87	0,000049	0,000227	-0,352	0,381
1930		50,83	10,65	0,000066	0,000154	0,917	-0,895
1812		62,61	3,34	0,000046	0,000325	1,749	0,171
1065		75,45	38,17	0,000066	0,000143	-0,219	-0,207
1221		84,83	25,88	0,000100	0,000178	0,003	0,411
1103		63,67	33,43	0,000081	0,000122	0,213	-0,292
791		84,94	52,96	0,000026	0,000135	-1,094	-0,603
713		75,54	3,37	0,000110	0,000128	0,553	-0,385
597		81,06	56,11	0,000036	0,000161	-0,760	-0,238
752		54,93	2,64	0,000079	0,000160	1,102	-0,901
1494		90,74	19,27	0,000033	0,000212	-0,560	-0,535
1455		79,75	15,67	0,000037	0,000171	-0,215	-0,915
1534	78,67	8,54	0,000001	0,000229	-0,283	-1,746	
1573	65,23	26,67	0,000025	0,000212	0,203	-0,784	

(continuação)

Escala	Hexágono	Floresta (%)	UC(%)	Estradas (m/m ²)	Rios (m/m ²)	Escore (Eixo 1)	Escore Eixo 2
	12678	99,81	100,00	0,000076	0,000200	-2,238	0,664
	12800	97,34	100,00	0,000111	0,000280	-1,740	1,362
	12314	98,10	90,98	0,000069	0,000150	-1,669	0,020
	12436	79,46	100,00	0,000030	0,000070	-1,464	-1,484
	13042	88,73	100,00	0,000144	0,000240	-1,142	0,940
	13044	69,19	100,00	0,000158	0,000070	-0,487	-0,818
	13409	81,04	49,63	0,000227	0,000290	0,458	1,513
	12432	96,43	34,70	0,000082	0,000100	-0,698	-0,506
	12554	96,01	53,52	0,000127	0,000140	-0,680	0,129
	12676	87,74	74,08	0,000153	0,000190	-0,419	0,478
	12189	82,10	41,27	0,000067	0,000120	-0,225	-0,789
	12920	96,93	100,00	0,000165	0,000400	-1,425	3,505
	12798	86,61	100,00	0,000228	0,000060	-0,748	-0,242
	13284	62,06	65,70	0,000024	0,000200	-0,224	-0,798
	12919	84,01	36,98	0,000100	0,000200	-0,049	0,118
	13405	78,78	39,23	0,000102	0,000270	0,119	0,607
	13770	95,76	78,94	0,000023	0,000140	-1,597	-0,588
	13527	89,23	82,64	0,000033	0,000190	-1,236	-0,259
	13769	95,33	25,40	0,000014	0,000230	-0,950	-0,074
100 km ²	13648	92,73	9,88	0,000133	0,000180	0,153	0,304
	13892	93,46	3,26	0,000130	0,000240	0,284	0,773
	13891	91,17	8,19	0,000158	0,000250	0,385	0,959
	13164	85,22	66,63	0,000229	0,000210	0,095	0,965
	10975	97,42	100,00	0,000116	0,000140	-1,751	0,243
	11339	94,39	98,23	0,000124	0,000120	-1,356	-0,021
	11218	90,64	57,93	0,000199	0,000120	-0,151	0,181
	11097	53,04	1,49	0,000209	0,000160	1,947	-0,216
	14383	97,20	100,00	0,000025	0,000100	-2,273	-0,784
	14749	94,31	41,83	0,000079	0,000210	-0,651	0,331
	14626	71,50	11,98	0,000111	0,000250	0,770	0,314
	14627	73,52	4,81	0,000095	0,000160	0,780	-0,498
	14628	94,52	93,45	0,000120	0,000080	-1,236	-0,432
	14018	81,83	2,83	0,000109	0,000110	0,644	-0,698
	13775	70,77	9,28	0,000172	0,000130	1,087	-0,352
	13287	90,65	68,26	0,000149	0,000330	-0,448	1,735
	13530	75,64	1,88	0,000288	0,000220	1,659	1,046
	17071	92,74	100,00	0,000188	0,000130	-1,157	0,378
	17435	96,72	64,54	0,000137	0,000390	-0,760	2,736
	17314	90,85	93,80	0,000210	0,000270	-0,642	1,550

(conclusão)

Escala	Hexágono	Floresta (%)	UC(%)	Estradas (m/m ²)	Rios (m/m ²)	Escore (Eixo 1)	Escore Eixo 2
	17070	98,93	20,72	0,000237	0,000210	-0,027	1,370
	17557	77,25	71,77	0,000281	0,000210	0,508	1,092
	18166	91,64	32,68	0,000075	0,000230	-0,418	0,373
	18045	59,16	3,06	0,000370	0,000060	2,443	-0,109
	17922	98,26	74,87	0,000096	0,000130	-1,279	0,001
	17800	98,00	64,74	0,000133	0,000360	-0,896	2,250
	17556	60,80	4,99	0,000117	0,000270	1,250	0,327
	10487	82,90	93,39	0,000096	0,000080	-0,861	-0,861
	10367	92,16	57,30	0,000110	0,000220	-0,576	0,564
	10366	92,44	71,39	0,000164	0,000190	-0,539	0,651
	10245	68,16	9,83	0,000115	0,000070	0,887	-1,267
	11338	98,02	38,21	0,000147	0,000170	-0,550	0,553
	11946	85,14	55,54	0,000119	0,000170	-0,236	0,041
	11703	79,61	13,62	0,000223	0,000110	0,946	-0,099
	11460	81,08	3,26	0,000218	0,000210	1,139	0,704
	10730	97,72	100,00	0,000114	0,000170	-1,779	0,494
100 km ²	10608	72,96	32,65	0,000169	0,000090	0,638	-0,646
	7813	82,00	17,43	0,000069	0,000000	0,071	-2,683
	7814	72,08	1,54	0,000015	0,000000	0,357	-3,402
	7084	86,88	7,80	0,000116	0,000160	0,368	-0,107
	7206	84,30	11,96	0,000125	0,000220	0,429	0,384
	7328	68,25	14,33	0,000121	0,000170	0,849	-0,325
	7569	71,11	6,22	0,000116	0,000260	0,931	0,405
	6963	85,01	16,39	0,000121	0,000140	0,292	-0,265
	6962	63,33	4,74	0,000196	0,000140	1,503	-0,276
	5749	88,16	77,10	0,000033	0,000170	-1,112	-0,457
	5871	84,70	79,53	0,000035	0,000190	-1,000	-0,348
	5993	54,88	35,22	0,000129	0,000240	0,949	0,117
	5992	70,72	4,82	0,000244	0,000120	1,492	-0,082
	14255	98,10	28,37	0,000097	0,000180	-0,655	0,337
	14498	82,93	4,65	0,000113	0,000200	0,584	0,105
	14133	89,92	6,84	0,000109	0,000260	0,256	0,735
	15109	88,00	69,71	0,000032	0,000130	-1,019	-0,816

Valores das variáveis (Cobertura Florestal, Unidade de Conservação, Estradas e Rios) dos principais hexágonos selecionados pelo Método de Seleção Bivariada para escala de 10.000 (n° 181), 1.000 (7 hexágonos) e 100 km².

Escala	Hexágono	Floresta (%)	UC(%)	Estradas (m/m ²)	Rios (m/m ²)	Escore (Eixo 1)	Escore (Eixo 2)	
10.000 km ²	181	69,89	5,23	0,000083	0,000236	-0,352	-0,793	
	1774	96,24	87,51	0,000103	0,000235	-0,981	2,092	
	1494	90,74	19,27	0,000033	0,000212	-0,560	-0,535	
	1416	89,38	39,66	0,000068	0,000208	-0,450	0,394	
	1.000 km ²	1338	87,65	67,47	0,000085	0,000210	-0,524	1,108
		1378	83,74	44,93	0,000068	0,000213	-0,242	0,447
		1852	81,39	55,87	0,000049	0,000227	-0,352	0,381
1534		78,67	8,54	0,000001	0,000229	-0,283	-1,746	
100 km ²	15731	99,76	92,06	0,000081	0,000230	-1,842	0,887	
	17070	98,93	20,72	0,000237	0,000210	-0,027	1,370	
	17800	98,00	64,74	0,000133	0,000360	-0,896	2,250	
	12800	97,34	100,00	0,000111	0,000280	-1,740	1,362	
	12920	96,93	100,00	0,000165	0,000400	-1,425	3,505	
	17435	96,72	64,54	0,000137	0,000390	-0,760	2,736	
	25339	95,44	84,98	0,000064	0,000270	-1,363	0,835	
	13769	95,33	25,40	0,000014	0,000230	-0,950	-0,074	
	14749	94,31	41,83	0,000079	0,000210	-0,651	0,331	
	15974	93,60	78,06	0,000174	0,000250	-0,637	1,236	
	13892	93,46	3,26	0,000130	0,000240	0,284	0,773	
	10367	92,16	57,30	0,000110	0,000220	-0,576	0,564	
	18166	91,64	32,68	0,000075	0,000230	-0,418	0,373	
	13891	91,17	8,19	0,000158	0,000250	0,385	0,959	
	17314	90,85	93,80	0,000210	0,000270	-0,642	1,550	
	14133	89,92	6,84	0,000109	0,000260	0,256	0,735	
	19022	89,70	67,04	0,000020	0,000210	-1,140	-0,254	
	11216	88,92	1,56	0,000080	0,000250	0,323	0,425	
	19266	88,90	95,69	0,000222	0,000330	-0,548	2,132	
	13042	88,73	100,00	0,000144	0,000240	-1,142	0,940	
	13164	85,22	66,63	0,000229	0,000210	0,095	0,965	
	7206	84,30	11,96	0,000125	0,000220	0,429	0,384	
	12919	84,01	36,98	0,000100	0,000200	-0,049	0,118	
	37151	83,94	78,11	0,000083	0,000220	-0,655	0,239	
	19146	82,36	66,02	0,000205	0,000330	0,129	1,839	
	19023	81,96	68,63	0,000378	0,000310	0,913	2,647	
	19513	81,94	11,48	0,000180	0,000290	0,770	1,221	
	11460	81,08	3,26	0,000218	0,000210	1,139	0,704	
	13409	81,04	49,63	0,000227	0,000290	0,458	1,513	
	19024	80,11	68,94	0,000066	0,000350	-0,462	1,235	
13405	78,78	39,23	0,000102	0,000270	0,119	0,607		
13041	78,77	67,28	0,000025	0,000230	-0,704	-0,264		
17557	77,25	71,77	0,000281	0,000210	0,508	1,092		
13530	75,64	1,88	0,000288	0,000220	1,659	1,046		