

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL

INSTITUTO DE BIOCÊNCIAS

BACHARELADO EM CIÊNCIAS BIOLÓGICAS

Trabalho de Conclusão de Curso

Abordagens metodológicas em área de vida de pequenos mamíferos: um estudo de caso com *Thrichomys pachyurus* (Rodentia: Echimyidae) no Pantanal sul-matogrossense

Ismael Verrastro Brack

Orientador: Fernando Gertum Becker

Co-orientador: Walfrido Moraes Tomás

Co-orientador: Pâmela Castro Antunes

Porto Alegre, 10 de dezembro de 2013

AGRADECIMENTOS

Aos meus pais, Laura e Paulo, por todo o incentivo e apoio incondicional. Por serem meus professores, tanto na vida, quanto na faculdade. Por me transformarem num biólogo desde o momento em que nasci.

À minha irmã, Gabriela, pela parceria e por aguentar os aburridos “papos de biólogo” nas refeições.

A toda minha família, em especial à vó Consuelo, abuela Marta e particularmente ao abuelo Pepe (em memória), que sempre me incentivou.

À Mi, minha companheira de todos os momentos, pelo apoio, pela paciência, pelos conselhos e discussões. Pelo amor.

Ao meu orientador, Fritz, por ter topado essa empreitada diferente. Pela ajuda dedicada sempre que precisei.

Ao Walfrido, pela oportunidade excepcional no Pantanal, pelo grande incentivo e pelo aprendizado.

À Pâmela, pela oportunidade, pela ajuda, pelo aprendizado e pela credibilidade.

À galera do Pantanal, por tornar os campos na Nhumirim muito mais divertidos. Em especial ao Rafael PV pela parceria e por tornar os momentos em Corumbá menos entediantes. Ao Gustavo e Zucco pelo enorme aprendizado durante as conversas. Ao Gustavo pela ajuda nas análises.

À gurizada da bio, pela amizade, diversão e parceria ao longo desses anos. Em especial ao Claudinho, Paulo, Marcelão e Ronaldo pelas longas e viajantes discussões sobre... tudo. Com certeza foram muito enriquecedoras para nossa formação.

À Embrapa Pantanal, pelo apoio logístico, pela estrutura e pela bolsa.

Manuscrito formatado conforme
normas editoriais da revista
Mammalian Biology

Abordagens metodológicas em área de vida de pequenos mamíferos: um estudo de caso com *Thrichomys pachyurus* (Rodentia: Echimyidae) no Pantanal sul-matogrossense

Ismael Verrastro Brack^{a*}, Pâmela Castro Antunes^b, Luis Gustavo Rodrigues de Oliveira-Santos^b, Walfrido Moraes Tomás^c, Fernando Gertum Becker^a

^a *Laboratório de Ecologia da Paisagem, Departamento de Ecologia, Instituto de Biociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 91501-970, Porto Alegre, RS, Brasil.*

^b *Departamento de Ecologia, Instituto de Biologia, Universidade Federal do Rio de Janeiro, CEP 68020, 21941-590, Rio de Janeiro, RJ, Brasil.*

^c *Laboratório de Vida Selvagem, Embrapa Pantanal, CEP 79320-900, Corumbá, MS, Brasil.*

RESUMO

Apesar dos grandes avanços na tecnologia para biotelemetria, as técnicas para pequenos mamíferos ainda continuam limitadas. A captura-marcação-recaptura (CMR) ainda é o método de coleta de dados mais utilizado para estimar a área de vida de pequenos mamíferos. Além disso, apesar de métodos kernel (KDE) serem mais recomendados, o mínimo polígono convexo (MCP) é o estimador mais amplamente usado. Neste estudo, nós utilizamos dados de CMR e radiotelemetria de *Thrichomys pachyurus* em uma área florestal do Pantanal sul-matogrossense para avaliar as diferenças entre métodos de estimativa de área de vida para pequenos mamíferos, investigando se são equivalentes. Para isso, comparamos áreas de vida estimadas com dados de CMR e radiotelemetria e estimadas com MCP e KDE. CMR subestimou o tamanho da área de vida quando comparada com radiotelemetria. MCP e KDE estimaram diferentes tamanhos de área de vida, mostrando que não são métodos equivalentes. KDE com dados de radiotelemetria apresentou estimativas de área de vida mais confiáveis. Recomendamos, então, o uso de dados de radiotelemetria e de métodos kernel para estimar áreas de vida em estudos com pequenos mamíferos.

ABSTRACT

Despite the great advances in biotelemetry technology, these techniques for small mammals are still limited. Capture-mark-recapture (CMR) is the most often used method to estimate home ranges for small mammals. Likewise, while kernel methods (KDE) are considered to perform better, the minimum convex polygon (MCP) is the most widely used estimator. Here, we used trapping and radiotelemetry data of *Thrichomys pachyurus*, in a forested area of the Pantanal wetland, to assess the differences between estimation methods of home range for small mammals, and to investigate if they produce equivalent results. We compared home ranges based on data obtained by CMR and radiotelemetry, and estimated by MCP and KDE. CMR underestimated the home range size compared to radiotelemetry. Home ranges estimated by MCP and KDE differed significantly, indicating that they are not equivalent methods. KDE with telemetry data showed more reliable estimates of home range. Then, we recommend the use of radiotelemetry data and kernel methods to estimate the home range of small mammal

INTRODUÇÃO

Darwin (1872) já notara que os animais não se movem de maneira aleatória, mas sim restringem seus movimentos a determinados locais. Dos padrões resultantes desses processos de movimentação, que envolvem, por exemplo, busca por alimento, reprodução, caminhos de passagem e escape, cuidado com a prole e interações com outros indivíduos, resulta a área de vida (Burt, 1943; Powell, 2000). O tamanho, o formato e a intensidade de uso da área de vida de um animal são importantes aspectos que nos permitem acessar diversas informações ecológicas e de história de vida, como padrões de pareamento e reprodução, organização social, interações inter e intraespecíficas, forrageio e preferências alimentares, recursos-chave e limitadores e componentes importantes do hábitat (Powell, 2000).

O recente desenvolvimento de tecnologias envolvendo a biotelemetria, como o uso do sistema global de posicionamento (GPS), tem permitido enormes avanços na coleta de dados para estudos de uso de espaço, particularmente os que envolvem estimativas de área de vida (Kie et al., 2010; Tomkiewicz et al., 2010). Como consequência desses avanços, novos estimadores foram desenvolvidos para lidar com os grandes bancos de dados obtidos (p.ex. Brownian bridge kernel - Benhamou and Lambert, 2012; mechanistic models – Moorcroft et al., 2008; local convex hull – Getz et al., 2007). Porém, esse tipo de tecnologia ainda não está disponível para estudos com pequenos mamíferos, pelas limitações do tamanho reduzido desses animais (porém, veja Glasby and Yarnell, 2013). Na verdade, ainda é recente o desenvolvimento da conhecida tecnologia de radiotelemetria com transmissor VHF para pequenos mamíferos e não são muitos os estudos que a utilizam.

A maneira mais comum utilizada para se estimar a área de vida de pequenos mamíferos é através de dados de captura-marcação-recaptura (CMR), geralmente como um resultado secundário, acoplado aos clássicos estudos populacionais de pequenos mamíferos em grades de captura (Prevedello et al., 2008; Ribble et al., 2002). As principais limitações das estimativas feitas com dados de CMR são o tamanho e formato da grade de captura, assim como a distribuição e a distância entre as armadilhas (Gurnell and Gipps, 1989). Além disso, o uso de armadilhas, apesar de permitir a captura de um elevado número de indivíduos em uma população, algumas vezes não tem sucesso na obtenção de um número suficiente de localizações para cada indivíduo.

Por outro lado, a radiotelemetria permite um elevado número de localizações em um espaço muito mais curto de tempo e o tamanho da área de vida não é limitado *a priori*, como ocorre na CMR (Lira and Fernandez, 2009). Mesmo sendo reconhecido

como o método mais adequado para estimar a área de vida de pequenos mamíferos (Lira and Fernandez, 2009; Ribble et al., 2002), o uso da radiotelemetria pode apresentar algumas complicações. Uma delas é o alto custo do equipamento, que pode limitar o número de indivíduos a serem monitorados, trazendo à tona a questão sobre o quão representativos da população seriam esses poucos indivíduos (Lira and Fernandez, 2009). Além disso, o equipamento da telemetria poderia causar um efeito comportamental negativo, limitando a movimentação do animal e conseqüentemente o tamanho da área de vida (Jacob and Rudran 2003; Withey et al., 2001).

Tem sido discutido se CMR seria um método equivalente para estimar a área de vida de pequenos mamíferos. Estudos comparando CMR com radiotelemetria têm demonstrado que o primeiro tende a subestimar o tamanho da área de vida com relação ao segundo (Bergstrom, 1988; Bradshaw and Bradshaw, 2002; Lira and Fernandez, 2009; Ribble et al., 2002). Por outro lado, outros estudos encontraram resultados similares para os dois métodos (Jones and Sherman, 1983; Wolff, 1985).

Além dos métodos de obtenção de dados (CMR ou telemetria) de localização dos indivíduos, há discussão também sobre qual a melhor forma de estimar a área de vida. O mínimo polígono convexo (MCP), apesar de muitas críticas (Harris et al., 1990; Powell, 2000; Kernohan et al. 2001; Laver et al., 2008; Kie et al., 2010), é o estimador mais utilizado para calcular a área de vida (Laver et al., 2008; Harris et al., 1990). Nos estudos com pequenos mamíferos não é diferente, especialmente nos que utilizam CMR, já que o baixo número de localizações por indivíduo não permite o uso de um estimador mais sofisticado. O MCP é um dos mais antigos e simples métodos de estimativa de área de vida. Consiste em um desenho do menor polígono possível que abrange todas as localizações, conectando as mais externas (Mohr, 1947). As principais críticas envolvendo o MCP são que esse método ignora as informações internas de diferentes intensidades de uso, possui contornos externos bem grosseiros e pode incorporar grandes áreas nunca usadas pelo indivíduo (Powell, 2000). Além disso, as estimativas com MCP aparentemente não atingem uma assíntota, ou seja, são altamente correlacionadas com o número de localizações (Seaman and Powell, 1996; Worton, 1987). Ao mesmo tempo em que o MCP permite estimar áreas de vida com um baixo número de localizações (três ou cinco), um dos principais argumentos na sua utilização é o simples fato de ser o mais usado e, portanto, permitir comparações entre os estudos (Laver et al., 2008; Kernohan et al., 2001).

Enquanto isso, o uso da estimativa de probabilidade de densidade kernel (KDE; Worton, 1989) tem se tornado prevalente para estimar áreas de vida e atualmente é o

método mais recomendado (Laver et al., 2008; Powell, 2000; Kernohan et al., 2001), particularmente nos últimos anos, em se tratando de estudos de telemetria sem GPS (Kie et al., 2010). A KDE é um método não-paramétrico que produz uma distribuição de utilização que descreve a intensidade de uso de diferentes áreas por um animal (Powell, 2000). A partir disso, é definido um contorno de probabilidade para delimitar a área de vida (geralmente de 95% e para área núcleo ou centros de atividade, 50%), ou seja, a área mínima na qual o indivíduo tem determinada probabilidade de ocorrer (Worton, 1995). Uma das principais ressalvas com relação ao uso de KDE é a grande influência que a escolha do parâmetro de suavização (h) tem na estimativa da área de vida (Hemson et al., 2005; Seaman and Powell, 1996; Worton, 1989). Um parâmetro de suavização pequeno pode revelar melhor os contornos de uma área de vida, mas, por outro lado, pode dividir a área em múltiplos pontos separados (Powell, 2000). Com um alto valor de h , os detalhes dos contornos se perdem e a área pode ser superestimada.

O uso de técnicas diferentes para estimar áreas de vida pode prejudicar interpretações biológicas e dificultar comparações. Devemos utilizar métodos que, além de serem biologicamente apropriados, sejam objetivos e reproduzíveis (Laver and Kelly, 2008; Powell, 2012; Powell, 2000). Neste estudo, nós buscamos avaliar as diferenças entre métodos de estimativa de área de vida para pequenos mamíferos, investigando se são equivalentes. Para isso, comparamos estimativas de área de vida entre (a) diferentes metodologias de coleta de dados – CMR e radiotelemetria – e (b) diferentes estimadores – MCP e KDE – de uma população de um roedor no Pantanal sul-matogrossense (punarés; *Thrichomys pachyurus*).

METODOLOGIA

Espécie modelo e área de estudo

O pequeno mamífero estudado foi *Thrichomys pachyurus* (Rodentia; Echimyidae), um roedor de tamanho médio (150-520g), crepuscular-noturno e predominantemente terrestre. O gênero *Thrichomys* ocorre nas regiões de savana da América do Sul (Cerrado, Pantanal e Caatinga; Braggio and Bonvicino, 2004) e possui hábito alimentar basicamente frugívoro-folívoro (Oliveira and Bonvicino, 2006). *Thrichomys pachyurus* ocorre predominantemente em áreas florestais do Pantanal e adjacências (Antunes, 2009; Cáceres et al., 2007).

O estudo foi conduzido em uma área de floresta estacional semidecídua e cerrado na Reserva Particular do Patrimônio Natural (RPPN) da Fazenda Nhumirim (Empresa

Brasileira de Estudos Agropecuários - Embrapa Pantanal), no Pantanal da Nhecolândia, Mato Grosso do Sul, Brasil (18,95°S; 56,61°O). A região é caracterizada pela estacionalidade bem marcada, com uma estação chuvosa no verão e uma seca no inverno (Gonçalves et al., 2011). A grade de captura foi disposta em uma área florestal não inundável, sendo o sub-bosque composto principalmente por manchas de bromélia-caraguatá (*Bromelia balansae*), taquara (*Guadua* sp.) e palmeira acuri (*Attalea phalerata*).

Coleta de dados

As capturas ocorreram mensalmente, durante cinco noites consecutivas, entre julho de 2010 e junho de 2012. As capturas foram conduzidas em uma grade de captura de 200 m x 240 m (4,8 ha), com 143 pontos espaçados 20 m entre si. Cada ponto possuía duas armadilhas dispostas no solo, uma do tipo Sherman (alternadamente 30 x 08 x 09 cm ou 43 x 12,5 x 14,5 cm) e uma do tipo Tomahawk™ (45 x 16 x 15 cm), iscadas com uma rodela de banana com creme de amendoim. O esforço total de captura foi de 32890 armadilhas noite. Os animais capturados foram marcados com um brinco numerado para cada indivíduo. Alguns dos indivíduos capturados foram equipados com um colar transmissor VHF para a realização do monitoramento por radiotelemetria. Foi permitido um acréscimo de no máximo 5% do peso do animal. Esses indivíduos foram monitorados mensalmente entre abril de 2011 e agosto de 2012. As localizações foram obtidas, através da técnica *homing in on the animal* (White and Garrott, 1990), duas vezes por dia: um ponto diurno e um ponto noturno, abrangendo, ao longo do monitoramento, todos os horários do dia.

Comparações metodológicas

Para comparar as metodologias de coleta de dados – CMR e radiotelemetria – estimamos as áreas de vida através do mínimo polígono convexo com 100% dos pontos (MCP 100%), para indivíduos com mais de cinco localizações. Para testar se houve diferença entre as estimativas, utilizamos um teste *t*, com correção de Welch para variâncias desiguais. As estimativas foram logaritmizadas para obtenção de uma distribuição normal.

Quanto aos estimadores de área de vida, comparamos o MCP 100% e a estimativa de probabilidade de densidade kernel, condicionada a 95% da densidade (KDE 95%). Para isso, usamos apenas os dados de radiotelemetria de indivíduos com mais de 15

pontos. Para o cálculo da área de vida através de KDE 95%, empregamos um kernel fixo. Para o parâmetro de suavização do KDE, houve problema de convergência com o método da validação cruzada dos quadrados mínimos (h_{iscv} ; ver Hemson et al., 2005). As estimativas com o método ad hoc (h_{ref} ; Worton, 1995) tiveram muita variação e valores extremamente altos para alguns indivíduos (min = 4,8 m; max = 43 m), o que pode ser particularmente grave na escala das áreas de vida dos pequenos mamíferos. Para lidar com esse problema, preferimos não seguir a recomendação de Wauters et al. (2007) de excluir as visitas repetidas às tocas para evitar a perda de informação biológica na intensidade de uso. Portanto, optamos por empregar um único parâmetro de suavização (h) para todos os indivíduos, utilizando a média dos h da população, calculados a partir da estimativa ad hoc (média de $h_{\text{ref}} = 12,1$ m). Neste trabalho, denominamos esse método como parâmetro de suavização médio da população (h_{pop}). O método h_{pop} foi o que melhor ajustou visualmente o contorno de KDE à distribuição das localizações.

Utilizamos um teste t -pareado, com logaritmização das estimativas para obtenção de uma distribuição normal, para testar se houve diferença entre as estimativas de área de vida a partir dos dois estimadores. Alguns autores tem sugerido usar um contorno de 90% no KDE, por gerarem estimativas mais acuradas (Börger et al., 2006). Do mesmo modo, outros autores sugerem utilizar porcentagens do parâmetro de suavização para evitar superestimativas (Wauters et al., 2007; Kie et al., 2002). Então, para investigar se o resultado encontrado da comparação de MCP com KDE não foi um artefato da escolha do contorno ou do h , também realizamos nossas análises com um contorno de 90% e uma proporção de 0,7 do h_{pop} .

O tamanho da área de vida pode ser influenciado por características do delineamento amostral. Portanto, avaliamos as áreas de vida estimadas por cada método (por CMR, por radiotelemetria com MCP 100% e por radiotelemetria com KDE 95%), testando a relação entre o tamanho da área de vida e tempo de monitoramento e o número de localizações de cada indivíduo através da correlação de postos de Spearman. Todas as estimativas de área de vida foram calculadas no *software* R com o pacote *adehabitat* (Callege, 2006).

RESULTADOS

Monitoramos 24 indivíduos através de CMR e 21 indivíduos através da radiotelemetria. O tempo médio de monitoramento foi maior nos dados coletados por CMR, enquanto o número de localizações foi maior nos dados coletados com radiotelemetria (Tabela 1).

Tabela 1. Área de vida de *Thrichomys pachyurus* estimada a partir de três métodos diferentes: dados de CMR (com MCP), dados de radiotelemetria com o estimador MCP e dados de radiotelemetria com o estimador KDE.

	CMR	Radiotelemetria	
		MCP	KDE
Área de vida (ha) média ± d.p. (min-max)	0,22 ± 0,23 (0,02-0,94)	0,61 ± 0,69 (0,03-2,86)	0,87 ± 0,47 (0,42-2,35)
Nº de indivíduos	24	21	
Nº de localizações média ± d.p. (min-max)	10,58 ± 7,96 (5-32)	56,62 ± 37,3 (16-176)	
Tempo de monitoramento (dias) média ± d.p. (min-max)	152,3 ± 116,8 (5-505)	87,52 ± 85,39 (14-324)	

CMR = captura-marcação-recaptura; MCP = mínimo polígono convexo 100%; KDE = kernel 95%

Para os dados de CMR (MCP 100%), o tamanho da área de vida foi significativamente correlacionado com o tempo de monitoramento ($r=0,56$; $p<0,01$; Figura 1a) e com o número de localizações ($r=0,49$; $p=0,01$; Figura 1b). Para os dados de radiotelemetria, as áreas de vida estimadas a partir de MCP 100% foram significativamente correlacionadas com o tempo de monitoramento ($r=0,45$; $p=0,04$; Figura 1a), mas não com o número de localizações ($r=0,3$; $p=0,19$; Figura 1b). Para os dados de radiotelemetria com KDE 95%, o tamanho da área de vida não apresentou relação com o tempo de monitoramento ($r=0,34$; $p=0,13$; Figura 1a) e com o número de localizações ($r=0,21$; $p=0,35$; Figura 1b).

As áreas de vida estimadas a partir da radiotelemetria foram maiores que as estimadas por CMR ($t=-3,22$; $p<0,01$; Figura 2a), indicando que CMR pode subestimar o tamanho da área de vida. As estimativas de área de vida calculadas com KDE 95% foram, no geral, maiores que as estimativas calculadas com MCP 100% ($t=5,2$; $p<0,01$; Figura 2b), sugerindo que esses dois métodos podem gerar estimativas diferentes. A diferença entre MCP e KDE se manteve quando utilizado um contorno de 90% ($t=3,26$; $p<0,01$) e um parâmetro de suavização de $0,7 \cdot h_{pop}$ ($t=2,76$; $p=0,01$).

A área de vida de oito indivíduos foi monitorada através de ambos os métodos de coleta de dados – CMR e radiotelemetria (Figura 3, Anexo I). Desses, sete indivíduos apresentaram uma área de vida maior quando estimadas a partir de radiotelemetria. Quando as áreas de vida foram estimadas a partir de KDE 95%, as estimativas de radiotelemetria foram sempre maiores que as de CMR.

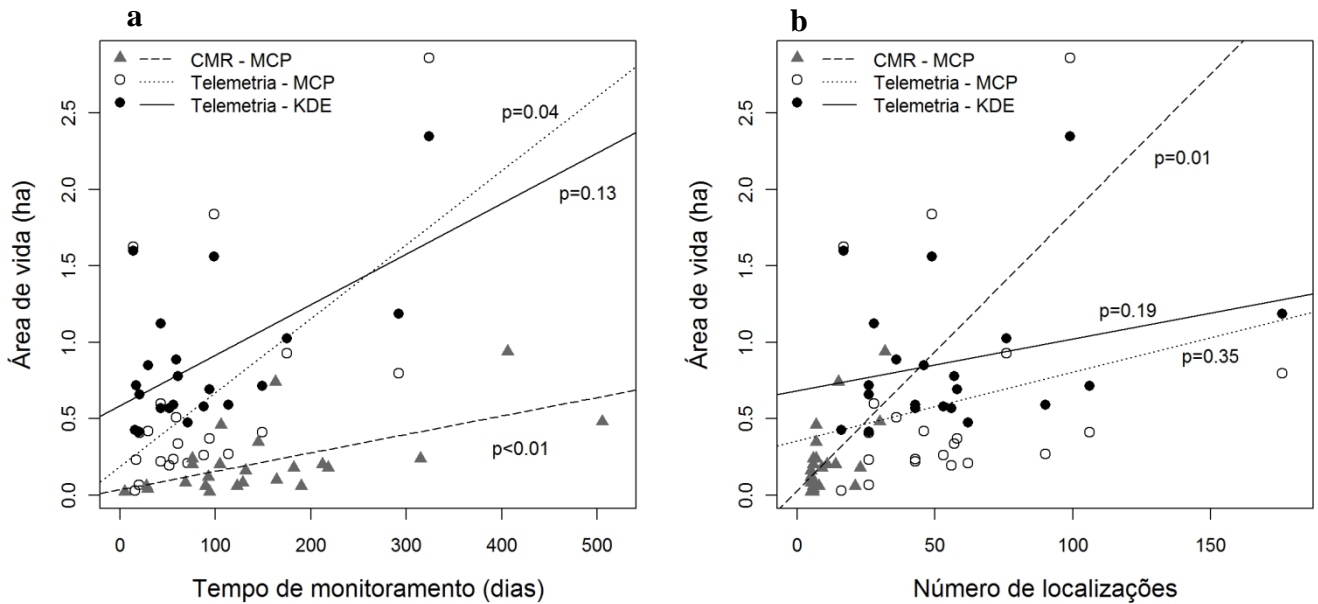


Figura 1. Correlação entre o tamanho da área de vida de *Thrichomys pachyurus* e (a) o tempo de monitoramento e (b) o número de localizações para estimativas com dados de CMR (calculadas com MCP), dados de radiotelemetria com o estimador MCP e dados de radiotelemetria com o estimador KDE. CMR = captura-marcação-recaptura; MCP = mínimo polígono convexo 100%; KDE = kernel 95%.

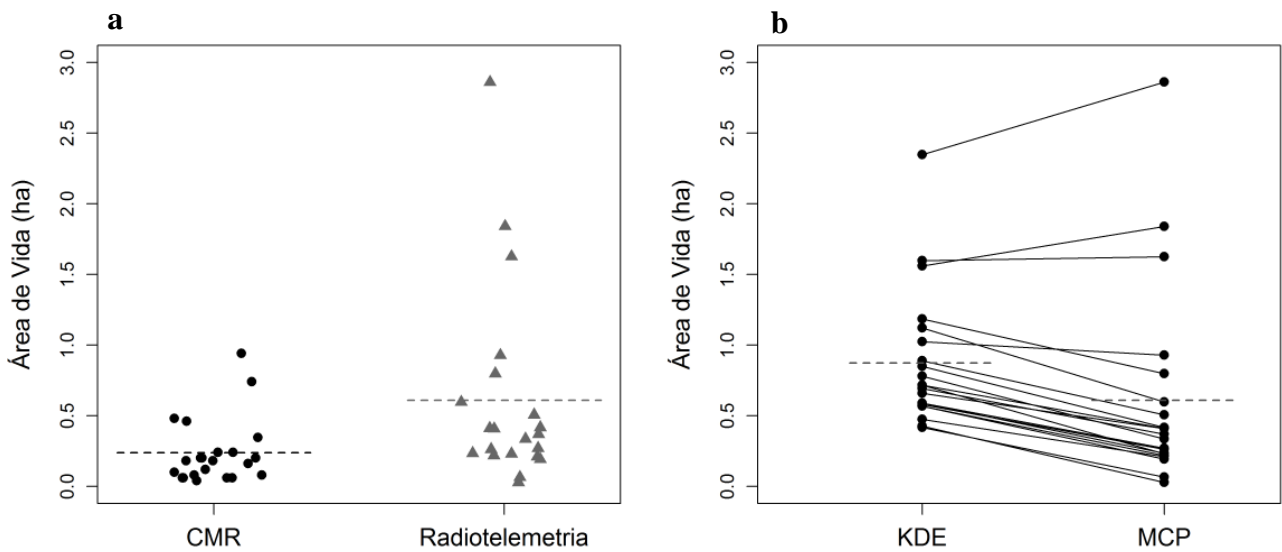


Figura 2. Comparação entre as áreas de vida de *Thrichomys pachyurus* estimadas (a) a partir de CMR e radiotelemetria e (b) a partir de MCP e KDE. CMR = captura-marcação-recaptura; MCP = mínimo polígono convexo 100%; KDE = kernel 95%. A linha tracejada indica a média.

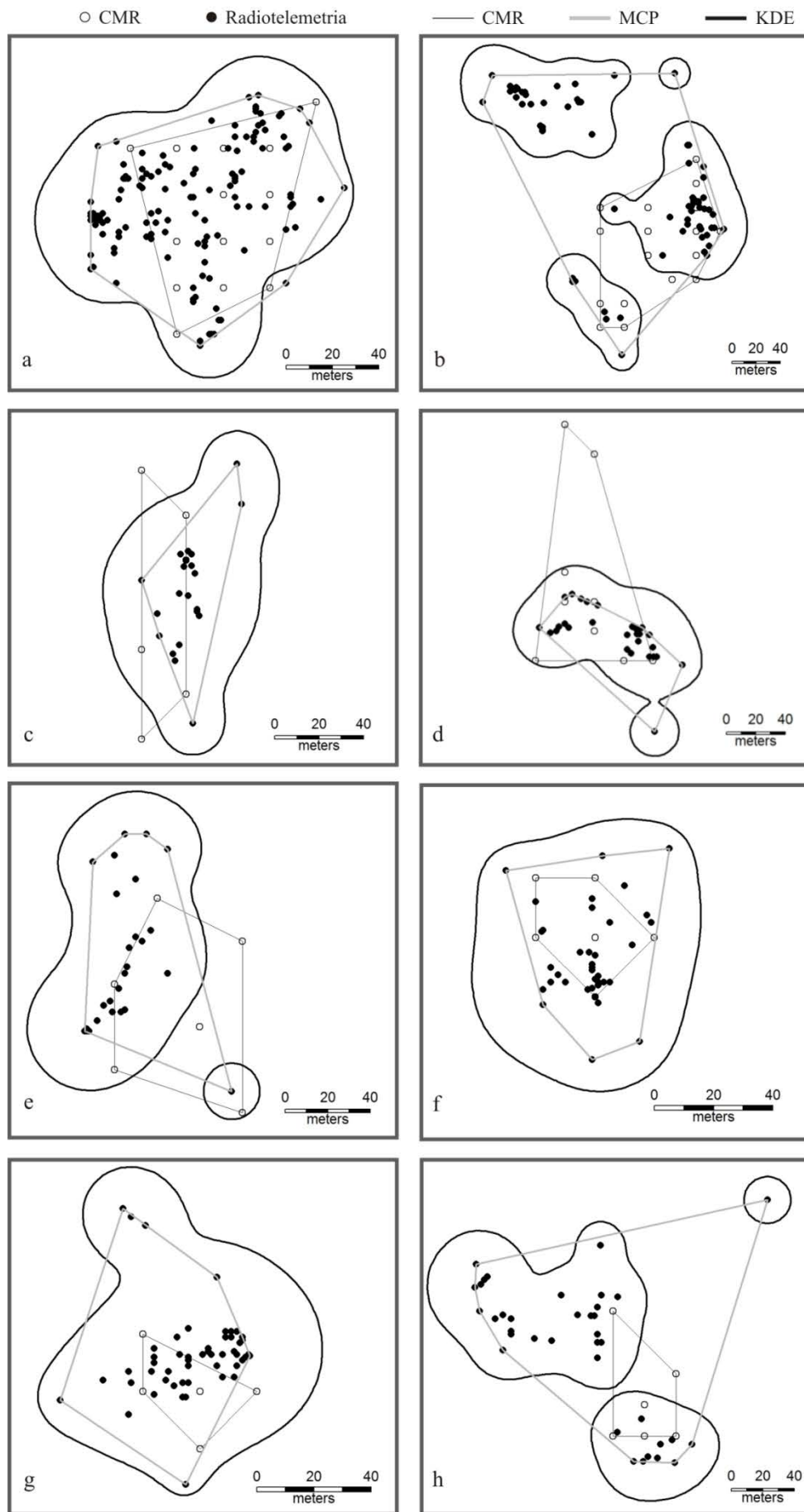


Figura 3. Representação da área de vida de oito indivíduos de *Trichomys pachyurus* estimadas a partir de dados de CMR (com MCP), a partir de dados de radiotelemetria com o estimador MCP e a partir de dados de radiotelemetria com o estimador KDE. CMR = captura-marcação-recaptura; MCP = mínimo polígono convexo 100%; KDE = kernel 95%. Os tamanhos das áreas de vida para cada indivíduo estão descritos no anexo I.

DISCUSSÃO

Existem poucos estudos que comparam diferentes métodos de estimativa de área de vida de pequenos mamíferos. Lira e Fernandez (2009) encontraram, para um marsupial (*Philander frenatus*) em uma área fragmentada de Mata Atlântica, que, quando usadas múltiplas grades de captura, as estimativas de CMR e radiotelemetria foram equivalentes. Enquanto isso, Ribble et al. (2002) encontraram uma diferença entre os dois métodos somente quando as densidades populacionais de duas espécies de *Peromyscus* (Rodentia: Cricetidae) foram baixas. Os resultados apresentados no presente estudo indicam que CMR não é um método adequado para estimar área de vida de *Thrichomys pachyurus*. Esse fato sugere que CMR pode não ser um método adequado para estimar área de vida de outros pequenos mamíferos. As estimativas de CMR subestimaram o tamanho da área de vida com relação aos dados de radiotelemetria, reforçando conclusões de alguns estudos anteriores (Bradshaw and Bradshaw, 2002; Ribble et al., 2002) e contrastando com os achados de outros (Jones and Sherman, 1983; Wolff, 1985).

Além disso, ao contrário do encontrado por Ribble et al. (2002) e Lira e Fernandez (2009), nossos resultados mostram uma influência do número de localizações (capturas) na estimativa de área de vida de CMR (apesar de o último ter encontrado $p=0,06$). Do mesmo modo, também encontramos efeito do tempo de monitoramento, ou seja, o intervalo entre a primeira e a última captura, no tamanho da área de vida. Esses resultados sugerem que CMR é um método em que a área de vida não é independente do esforço de obtenção de dados, não sendo, portanto, confiável para estimar a área de vida de pequenos mamíferos. Por fim, reconhecemos a utilidade da CMR para estudos comparativos entre padrões de movimentação (Oliveira-Santos et al., 2013), mas não para estimar áreas de vida.

Os estudos que compararam estimativas de área de vida calculadas a partir do mínimo polígono convexo (MCP) e de KDE, encontraram resultados diferentes para os dois estimadores e, de maneira geral, mostram uma maior estabilidade para KDE e variações imprevisíveis para MCP (Börger et al., 2006; Huck et al., 2008; Nilsen et al., 2008). Nilsen et al. (2008) demonstraram que em estudos comparativos de área de vida com uma espécie, ou espécies próximas, onde o tamanho das áreas não possui grande variação, a escolha do estimador (MCP ou KDE) pode ter grande influência no resultado, pois as estimativas ficam sujeitas ao comportamento imprevisível do MCP. Porém, em estudos macroecológicos ou de maior escala taxonômica, esse efeito fica

diluído na grande variação entre os locais ou grupos taxonômicos estudados (Nilsen et al., 2008).

Por outro lado, Wauters et al. (2007), até onde sabemos um dos únicos estudos comparando esses estimadores para pequenos mamíferos (com dados de radiotelemetria do esquilo-vermelho, *Sciurus vulgaris*), destacando a diferença de escala para áreas de vida de grandes animais, obtiveram resultados similares para os dois métodos. Nossos resultados mostram, em concordância com os outros estudos citados acima, que MCP e KDE podem fornecer estimativas de área de vida significativamente diferentes, inclusive para pequenos mamíferos, contrapondo os resultados de Wauters e colaboradores (2007). Essa conclusão é suportada já que nossos resultados não foram sensíveis à escolha do parâmetro de suavização (h) e do contorno de densidade no cálculo do kernel. Isto é, a diferença das estimativas de área de vida obtidas por KDE em relação às obtidas por MCP se manteve mesmo em situações em que a mudança em h e no contorno de densidade geraram tamanhos menores de área de vida com KDE ($0,7*h$ e contorno de 90%).

Além disso, utilizamos uma nova maneira para se calcular o parâmetro de suavização em KDE, o parâmetro de suavização médio da população (h_{pop}), que pode ser utilizado em outros estudos com pequenos mamíferos. Com isso, evitamos tanto a superestimativa gerada por h_{ref} , quanto a subestimativa e as falhas de não-convergência ou a perda de informações biológicas de h_{lscv} .

Também encontramos que, apesar de não haver efeito do número de localizações, o tempo de monitoramento influenciou as estimativas de área de vida de MCP. Já o KDE, não apresentou relação nem com o número de localizações, nem com o tempo de monitoramento, indicando ser um estimador mais confiável que MCP (Börger et al., 2006; Huck et al., 2008; Nilsen et al., 2008). É interessante destacar que KDE exibiu essa independência do esforço amostral, mesmo com um número relativamente baixo de localizações ou tempo curto de monitoramento para alguns indivíduos (por exemplo, 14 dias ou 16 pontos). Claro que sempre é desejável que seja feita uma amostragem padronizada entre os indivíduos (Börger et al., 2006; Girard et al., 2002), mas a realidade dos estudos de campo nem sempre permite isso, principalmente quando é usada a radiotelemetria clássica, como ocorre com os trabalhos com pequenos mamíferos. Portanto, é preferível que se utilize um método de estimativa de área de vida menos sensível ao esforço amostral, neste caso representado pelas estimativas de KDE.

Além de tudo, e talvez mais importante, a escolha de um modelo deve buscar representar o melhor possível a realidade biológica. É reconhecido que métodos kernel

são biologicamente intuitivos (Worton, 1989; Seaman and Powell, 1996; Powell, 2000). Por gerar uma distribuição de utilização, KDE assume que o indivíduo usa as áreas em diferentes intensidades. Também assume que o animal conhece, ou está familiarizado, com as áreas nos arredores dos seus movimentos, justamente porque seus sentidos tem uma distância de percepção que vai além do ponto exato onde ele está localizado (Powell, 2000). Mais além do significado biológico de área de vida, o MCP pode ser empregado em outros contextos, como, por exemplo, para delimitar uma área no manejo de espécies ameaçadas (Huck et al., 2008).

Aparentemente, as áreas de vida estimadas a partir de dados coletados com radiotelemetria e calculadas com o método de estimativa de densidade de probabilidade kernel (KDE), oferecem resultados mais confiáveis para estudos com área de vida de pequenos mamíferos. Deve ser levado em consideração que não existe um melhor método ou um método universal para calcular a área de vida de um animal (Fieberg and Börger, 2012; Powell and Mitchell, 2012) e que a escolha do mesmo é dependente da questão levantada e das condições dos dados, como tamanho amostral. Ainda assim, nós recomendamos o uso de dados de radiotelemetria e de métodos kernel para estimar áreas de vida em estudos descritivos e comparativos de ecologia e história de vida com pequenos mamíferos. Desse modo, sugerimos que se evite o uso de dados de CMR e estimativas com MCP. Além disso, o desenvolvimento de novas técnicas e estimadores envolvendo a telemetria com GPS ainda não está disponível para esses animais, mas assim que estiver, abrirá um enorme leque de novas possibilidades para entender como os pequenos mamíferos usam o espaço.

REFERÊNCIAS

- Antunes, P.C., 2009. Uso de habitat e partição do espaço entre três espécies de pequenos mamíferos simpátricos no Pantanal sul-mato-grossense, Brasil. M.Sc. Dissertation, Universidade Federal do Mato Grosso do Sul, Campo Grande, 50pp.
- Benhamou, S., Riotte-Lambert, L., 2012. Beyond the utilization distribution: identifying home range areas that are intensively exploited or repeatedly visited. *Ecol. Modell.* 227, 112–116.
- Bergstrom, B.J., 1988. Home ranges of three species of chipmunks (*Tamias*) as assessed by radiotelemetry and grid trapping. *J. Mammal.* 69, 190–193
- Börger, L., Franconi, N., De Michele, G., Gantz, A., Meschi, F., Manica, A., Lovari, S., Coulson, T., 2006. Effects of sampling regime on the mean and variance of home range size estimates. *J. Anim. Ecol.* 75, 1393–405.

- Bradshaw, S.D., Bradshaw, F.J., 2002. Short-term movements and habitat use of the marsupial honey possum (*Tarsipes rostratus*). *J. Zool.* 258, 343–348.
- Braggio, E., Boonvicino, C.R., 2004. Molecular divergence in the genus *Thrichomys* (Rodentia, Echimyidae). *J. Mammal.* 85, 316–320.
- Burt, W.H., 1943. Territoriality and home range concepts as applied to mammals. *J. Mammal.* 24, 346–352.
- Cáceres, N.C., Bornschein, M.R., Lopes, W.H., Percequillo, A.R., 2007. Mammals of the Bodoquena Mountains, southwestern Brazil: an ecological and conservation analysis. *Braz. J. Zool.* 24, 426–435.
- Callenge, C., 2006. The package “adehabitat” for the R software: a tool for the analysis of space and habitat use by animals. *Ecol. Modell.* 197, 516–519.
- Darwin, C., 1872. *The origin of species by means of natural selection or the preservation of favoured races in the struggle for life.* 6 ed. John Murray, London.
- Fieberg, J., Börger, L., 2012. Could you please phrase “home range” as a question? *J. Mammal.* 93, 890–902.
- Getz, W.M., Fortmann-Roe, S., Cross, P.C., Lyons, A.J., Ryan, S.J., Wilmers, C.C., 2007. LoCoH: nonparametric kernel methods for constructing home ranges and utilization distributions. *PLoS ONE* 2, e207.
- Girard, I., Ouellet, J., Courtois, R., 2002. Effects of sampling effort based on GPS telemetry on home-range size estimations. *J. Wildl. Manage.* 66, 1290–1300.
- Glasby, L., Yarnell, R.W., 2013. Evaluation of the performance and accuracy of Global Positioning System bug transmitters deployed on a small mammal. *Eur. J. Wildl. Res.* 59, 915–919.
- Gonçalves, H.C., Mercante M.A., Santos E.T., 2011. Hydrological cycle. *Braz. J. Biol.* 71, 241–253.
- Gurnell, J., Gipps, J.H.W., 1989. Inter-trap movement and estimating rodent densities. *J. Zool. (Lond.)* 217, 241–254.
- Hemson, G., Johnson, P., South, A., Kenward, R., Ripley, R., Macdonald, D., 2005. Are kernels the mustard? Data from global positioning system (GPS) collars suggests problems for kernel home-range analyses with least-squares cross-validation. *J. Anim. Ecol.* 74, 455–463.
- Huck, M., Davison, J., Roper, T.J., 2008. Comparison of two sampling protocols and four home-range estimators using radio-tracking data from urban badgers *Meles meles*. *Wildl. Biol.* 14, 467–477.
- Jacob, A.A., Rudran, R., 2003. Radiotelemetria em estudos populacionais. In: Cullen, Jr., L., Rudran, R., Valladares-Padua, C.B. (Eds.), *Metodos de estudos em Biologia da Conservacao e manejo da vida silvestre.* Editora da Universidade Federal do Parana, Curitiba, pp. 285–342.
- Jones, E.N., Sherman, L.J., 1983. A comparison of meadow vole home ranges derived from grid trapping and radio-telemetry. *J. Wildl. Manage.* 47, 558–561.

- Kernohan, B.J., Gitzen R.A., Millsaugh, J.J. Analysis of animal space use and movements. In: Millsaugh, J.J., Marzluff, J.M. (Eds.), *Radio Tracking and Animal Populations*. Academic Press, San Diego, pp. 125–166.
- Kie, J.G., Bowyer, R.T., Boroski, B.B., Nicholson, M.C., Loft, E.R., 2002. Landscape heterogeneity at differing scales: effects on spatial distribution of mule deer. *Ecology* 83, 530–544.
- Kie, J.G., Matthiopoulos, J., Fieberg, J., Powell, R. a, Cagnacci, F., Mitchell, M.S., Gaillard, J.-M., Moorcroft, P.R., 2010. The home-range concept: are traditional estimators still relevant with modern telemetry technology? *Philos. Trans. R. Soc. Lond. B. Biol. Sci.* 365, 2221–31.
- Laver, P.N., Kelly, M.J., 2008. A Critical Review of Home Range Studies. *J. Wildl. Manage.* 72, 290–298.
- Lira, P.K., Fernandez, F.A.D.S., 2009. A comparison of trapping- and radiotelemetry-based estimates of home range of the neotropical opossum *Philander frenatus*. *Mamm. Biol.* 74, 1–8.
- Mohr, C.O., 1947. Table of equivalent populations of North America small mammals. *Am. Midl. Nat.* 37, 223–249.
- Moorcroft, P.R., Barnett, A., 2008. Mechanistic home range models and resource selection analysis: a reconciliation and unification. *Ecology* 89, 1112–1119.
- Nilsen, E.B., Pedersen, S., Linnell, J.D.C., 2008. Can minimum convex polygon home ranges be used to draw biologically meaningful conclusions? *Ecol. Res.* 23, 635–639.
- Oliveira, J.A., Bonvicino C.R., 2006. Ordem Rodentia. In: Reis N.R., Peracchi A.L., Pedro W.A., Lima I.P. (Eds). *Mamíferos do Brasil*. UEL, Londrina, pp 347-406.
- Oliveira-Santos, L.G.R., Antunes, P.C., Zucco, C.A., Fernandez, F A., 2013. Suitable animal movement indexes or just geometric correlations? A comment on Püttker et al. 2012. *J. Mammal.* 94, 948-953.
- Powell, R.A., 2000. Animal home ranges and territories and home range estimators. In: Boitoni, L. and Fuller T.K., (Eds.). *Researches techniques in animal ecology: controversies and consequences*. Columbia University Press, New York, pp. 65-110.
- Powell, R.A., Mitchell, M.S., 2012. What is a home range? *J. Mammal.* 93, 948–958.
- Prevedello, J., Mendonça, A., Vieira, M., 2008. Uso do espaço por pequenos mamíferos: uma análise dos estudos realizados no Brasil. *Oecologia Bras.* 12, 610–625.
- Ribble, D., Wurtz, A., McConnell, E., Buegge, J., Welch, K., 2002. A comparison of home ranges of two species of *Peromyscus* using trapping and radiotelemetry data. *J. Mammal.* 83, 260–266.
- Seaman, D., Powell, R.A., 1996. An evaluation of the accuracy of kernel density estimators for home range analysis. *Ecology* 77, 2075–2085.

- Tomkiewicz, S.M., Fuller, M.R., Kie, J.G., Bates, K.K., 2010. Global positioning system and associated technologies in animal behaviour and ecological research. *Philos. Trans. R. Soc. Lond. B. Biol. Sci.* 365, 2163–76.
- Wauters, L.A., Preatoni, D.G., Molinari, A., Tosi, G., 2007. Radio-tracking squirrels: Performance of home range density and linkage estimators with small range and sample size. *Ecol. Modell.* 202, 333–344.
- White, G.C., Garrott, R.A., 1990. *Analysis of Wildlife Radio-Tracking Data*. Academic Press, London.
- Withey, J.C., Bloxton, T.D., Marzluff, J.M., 2001. In: Millspaugh, J.J., Marzluff, J.M. (Eds.), *Radio Tracking and Animal Populations*. Academic Press, San Diego, pp. 43-75.
- Wolff, J.O., 1985. The effects of density, food and interspecific interference on home range size in *Peromyscus leucopus* and *Peromyscus maniculatus*. *Can. J. Zool.* 63, 2657–2662
- Worton, B.J., 1987. A review of models of home range for animal movement. *Ecol. Modell.* 38, 277–298.
- Worton, B.J., 1995. Using Monte Carlo simulation to evaluate kernel-based home range estimators. *J. Wildl. Manage.* 59, 794–800.
- Worton, B.J., 1989. Kernel methods for estimating the utilization distribution in home-range studies. *Ecology* 70, 164–168.

ANEXO I

Tabela 2. Área de vida (ha) de oito indivíduos de *Thrichomys pachyurus* estimada a partir de três métodos diferentes: dados de CMR (com MCP), dados de radiotelemetria com o estimador MCP e dados de radiotelemetria com o estimador KDE.

Indivíduo	Número de pontos (CMR-Radiotelemetria)	Tempo de monitoramento (dias) (CMR-Radiotelemetria)	CMR	Radiotelemetria	
				MCP	KDE
a. <i>Tp</i> -M01	30-176	505-292	0,48	0,8	1,19
b. <i>Tp</i> -M02	32-99	406-324	0,94	2,86	2,35
c. <i>Tp</i> -M03	6-26	105-17	0,2	0,23	0,72
d. <i>Tp</i> -F01	15-30	163-46	0,74	0,42	0,85
e. <i>Tp</i> -M04	7-36	76-59	0,46	0,51	0,89
f. <i>Tp</i> -F02	6-53	164-88	0,1	0,26	0,58
h. <i>Tp</i> -F03	6-58	129-94	0,08	0,37	0,69
i. <i>Tp</i> -M05	7-49	76-99	0,24	1,84	1,56

CMR = captura-marcação-recaptura; MCP = mínimo polígono convexo 100%; KDE = kernel 95%. M = macho; F = fêmea. As áreas de vida estão representadas na figura 3.