



**UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL**  
**INSTITUTO BIOCÊNCIAS**  
**PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ECOLOGIA**



**Dissertação de Mestrado**

**Entendendo o viés de detecção nos atropelamentos de  
fauna: avaliação de método, variação entre os  
observadores e atributos das carcaças**

**Paula Fabiana Pinheiro**

**Porto Alegre, junho de 2016.**

# **Entendendo o viés de detecção nos atropelamentos de fauna: avaliação de método, variação entre os observadores e atributos das carcaças**

**Paula Fabiana Pinheiro**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-graduação em Ecologia, do Instituto de Biociências da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, como parte dos requisitos para obtenção do título de Mestre em Ecologia.

**Orientador:** Dr. Andreas Kindel

**Comissão Examinadora**

Dr. Demétrio Luis Guadagnin (UFRGS)

Dr. Jan Karel Felix Mahler Jr.(FZB-RS)

Dr. Luiz Fernando Carvalho Perello (FZB-RS)

Porto Alegre, junho de 2016.

# Agradecimentos

Agradeço ao Programa de Pós Graduação em Ecologia pela formação e pelo suporte ao projeto e a CAPES pela bolsa concedida durante estes dois anos.

Aos Nerfs pelas discussões das análises, pela parceria nos campos, pelos contatos telefônicos da Avipal, pelo crescimento.

Aos companheiros de campo, principalmente Dandy e Matheus, que encararam o experimento pioneiro, numa forte chuva, sem chance de errar.

Aos meus amigões e colegas de mestrado Carolina Diegues e Matheus Etges. Muito obrigada por se fazerem presentes em uma das fases mais difíceis da minha vida e me apoiarem na realização do mestrado. Sempre adorei as nossas trocas de palavras, piadas, doces (que não foram bem trocas, porque eu nunca forneci, só comi). Quero vocês em minha vida para sempre.

Ao meu irmão Jota, por toda a parceria, pelos mil papos, pelo companheirismo, pelos momentos cozinha, pelos cines república. E principalmente por compreender as minhas ausências. Meu amigão, tu faz a diferença na vida das pessoas.

Ao meu amigo e orientador Andreas Kindel. É uma honra e uma satisfação trabalhar e conviver contigo. Eu aprendi muito. Às vezes pensamos que é triste acabar um trabalho e se afastar de quem nos ensina tanto. Mas tu irás comigo, para sempre, através dos teus ensinamentos, não só de ecologia, mas também sobre o que é ser humano, isso porque o exemplo é mais forte que todas as palavras.

Eu agradeço ao meu amigo tempo. Sim, ao tempo que passa, que não volta no espaço, mas sim nos atos. Ao tempo que leva, mas que também trás, decisões, alegrias, medos, progresso e regresso. Ao tempo que me inspira, permite e paralisa. Ao tempo que me inspira nas escolhas. Que me permite repeti-lo. E que me paralisa

ao olhar e saborear as pessoas. Ao tempo, que me tornou natureza. Ao tempo, que ao passar, me mostra que estou viva.

## Resumo

A detecção é um fator que afeta a magnitude estimada de fauna atropelada, informação relevante nos estudos e trabalhos de biologia da conservação. Em rodovias, a estimativa da detecção é afetada por diferentes elementos, como os tipos de pavimento; os atributos das carcaças; as particularidades dos diferentes observadores e o método utilizado para aferição. Nosso trabalho avalia essas questões, especifica o esforço amostral e corrige a estimativa de fauna atropelada em relação à detecção. Encontramos diferença na estimativa de detecção entre os diferentes pavimentos; entre as carcaças similares e contrastantes ao substrato; entre os diferentes observadores e verificamos que através do monitoramento a pé não se detecta a totalidade das carcaças. Esses resultados e a estimativa de fauna atropelada corrigida comprovam a importância da aferição da detecção antes e depois da pavimentação das rodovias, através de método experimental. Sendo que o experimento deve contemplar a implantação de diferentes carcaças e ser realizado pelas equipes que participaram dos monitoramentos de fauna.

**Palavras-chave** atropelamentos; biologia da conservação; monitoramento a pé; licenciamento; esforço amostral.

# Abstract

Detection is a factor that affects the estimated magnitude of the roadkill and is relevant information in biological conservation studies. In roads, the detection estimation is affected by many factors, such as type of paving, the carcasses traits, the particularities of different observers and the method used for measurement. Our study evaluates these questions, specify the sample effort and correct the roadkill magnitude in relation to detection. We found differences in the estimation of detection between the different kinds of paving, between carcasses similar to the paving and between those contrasting to the substrate. We also found differences between different observers and thus monitoring by walking does not detect all carcasses. These results and the roadkill magnitude corrected demonstrate the importance of the standardization of the detection before and after the paving of roads, via experimental methods. However, the experiment should include the implementation of different substrates and should be carried out by the teams that have already participated in the monitoring of fauna.

**Keywords** roadkill; conservation biology; monitoring walk; licensing; sampling effort.

# Sumário

Agradecimentos.....	iii
Resumo .....	v
Abstract .....	vi
Lista de Figuras .....	2
Lista de Tabelas .....	3
Introdução Geral .....	4
Entendendo o viés detecção nos atropelamentos de fauna: avaliação de método, variação entre os observadores e atributos das carcaças.....	7
Referências Bibliográficas .....	25

# Lista de Figuras

Figura 1: Proporções de detecção (média e DP) para cada classe de atributos das carcaças dispostas nas estradas do Parque Aparados da Serra. Letras diferentes indicam os pares que apresentaram diferença significativa ( $p=0,003$ ). RC) com reduzida proporção de tecido muscular e contrastante; ES) com elevada proporção de tecido muscular e semelhante ao substrato; EC) com elevada proporção de tecido muscular e contrastante; RS) com reduzida proporção de tecido muscular e semelhante ao substrato..... 16

Figura 2: Proporções de detecção (médias e DP) de cada equipe de monitoramento de carcaças, na estrada de terra RS-427 (branco), na rodovia pavimentada CS-012 (hachurado), ambas no Parque Aparados da Serra, e na BR-101 (cinza). As letras diferentes representam diferença entre as equipes ( $p \leq 0,05$ ). ..... 17

Figura 3: Proporções de detecção (médias e seus respectivos intervalos de confiança) de cada rodovia. A=CS-012; B= BR-101 e C=RS-427..... 18

MS 1: Figura da área de estudo. Trecho pavimentado da rodovia CS-012 (vermelho) e trecho de terra da estrada RS-427 (amarelo). Localizadas no interior e entorno dos Parques Nacionais Aparados da Serra e Serra Geral. Trecho da BR-101 sul, pavimentado, próximo à Palmares do Sul (azul). ..... 27

MS 2: Exemplo de carcaças implantadas nas rodovias RS-427 e CS-012 de acordo com as classes reconhecidas neste estudo. EC= com elevada proporção de tecido muscular e contrastante ao substrato; ES=com elevada proporção de tecido muscular e semelhante ao substrato; RS= com reduzida proporção de tecido muscular e semelhante ao substrato; RC= com reduzida proporção de tecido muscular e contrastante ao substrato. .... 28

MS 3: Script desenvolvido no software R para apurarmos o número de carcaças necessárias para aferirmos a proporção de detecção das equipes da rodovia BR101. Para demais rodovias foram trocados apenas os nomes dos objetos criados..... 29



## Lista de Tabelas

Tabela 1: Atributos das carcaças de animais silvestres utilizadas no estudo, com suas respectivas categorias e critérios de classificação. .... 11

Tabela 2: Proporção de carcaças de cada classe implantadas nas rodovias de ambos os experimentos de detecção, antes e após a retirada das carcaças das bases de dados. P=pequeno; M=médio; G=grande; ES=com elevada proporção de tecido muscular e semelhante ao substrato; RS= com reduzida proporção de tecido muscular e semelhante ao substrato; EC= com elevada proporção de tecido muscular e contrastante; RC= com reduzida proporção de tecido muscular e contrastante. .... 13

Tabela 3: Estimativa da magnitude da fauna atropelada, com base na proporção média de detecção total das rodovias e de cada classe de atributos para a RS-427 e a CS-012. IC=intervalo de confiança; N. Monit=número de carcaças encontradas nos monitoramentos; N. Corr=número de carcaças corrigido pela proporção de detecção; ES=com elevada proporção de tecido muscular e semelhante ao substrato; RS= com reduzida proporção de tecido muscular e semelhante ao substrato; EC= com elevada proporção de tecido muscular e contrastante ao substrato; RC= com reduzida proporção de tecido muscular e contrastante ao substrato. .... 19

# Introdução Geral

Desde as últimas décadas, muitos pesquisadores debatem assuntos sobre rodovias e seus impactos (Collinson *et al.*, 2014; Forman and Alexander, 1998). Mais recentemente, as autoridades dos departamentos de transporte tornaram-se mais conscientes dos efeitos das estradas, ferrovias e outras infraestruturas lineares sobre a vida silvestre (Coffin, 2007). No cenário nacional, a Lei 6.938, Política Nacional do Meio Ambiente, estabelece a necessidade de licenciamento ambiental para as atividades poluidoras (BRASIL, 1981). A resolução CONAMA nº 01/1986 que dispõe sobre critérios básicos e diretrizes gerais para a avaliação de impacto ambiental, determina que construção de estradas com duas ou mais faixas de rolagem dependerá de elaboração de Estudo de Impacto Ambiental (EIA) (BRASIL, 1986).

O processo histórico dos estudos e exigências sobre rodovias demonstra o crescente envolvimento com um empreendimento que realmente implica em diversas mudanças ambientais e consequências para fauna e flora. Os impactos das estradas sobre a fauna são diversos (Trombulak and Frissell, 2000), destacando-se o aumento da mortalidade de animais devido às colisões entre os veículos e os animais silvestres. A mortalidade por atropelamento atua como barreira para fluxo gênico e redução da abundância populacional (Jackson and Fahrig, 2011). Consequentemente, as estradas comprometem a persistência, a longo prazo, de algumas populações de animais silvestres (Fahrig and Rytwinski, 2009; Jaeger and Fahrig, 2004;).

Os estudos de ecologia de rodovias e o melhor entendimento dos impactos causados pelas estradas evidenciam a importância da mitigação dos efeitos provocados sobre a fauna e flora, tanto em empreendimentos de pavimentação como duplicação (Van Der Grift, 2013). A tomada de decisão sobre a mitigação dos efeitos das estradas envolve diversas informações - a espécie ou grupo alvo, a paisagem do entorno, a época dos atropelamentos e, não menos importante, o número de

atropelamentos encontrados na rodovia em questão (Lauxen, 2012). A magnitude da mortalidade é essencial para saber se as populações estudadas suportam tal mortalidade (Jaeger and Fahrig 2004). E mesmo quando se desconhece a probabilidade de persistência da população, é através da magnitude da mortalidade que se avalia se o número de atropelamentos é aceitável em termos éticos, econômicos e de segurança. Huijser *et al.* (2013) demonstram que a estimativa da magnitude de atropelamentos de capivaras em rodovias de São Paulo justifica a instalação de medidas de mitigação. Os custos de reparo dos veículos envolvidos nas colisões com 5,4 capivaras por quilômetro por ano se equivalem ao valor investido na instalação de cercas combinadas com passagens subterrâneas.

A estimativa de magnitude de fauna atropelada precisa ser corrigida pela detectabilidade dos observadores e pela remoção de carcaças, pois são os principais fatores que a afetam (Morrison, 2002; Prosser *et al.*, 2008; Slater, 2002). Segundo Gerow *et al.* (2010) as carcaças mais detectadas são as abundantes ou as favoráveis à detectabilidade. Este aspecto da detecção pode levar à distorção da magnitude da mortalidade. Em relação às consequências da remoção de carcaças, Prosser *et al.* (2008) afirmam que entre os intervalos de monitoramentos de fauna atropelada ocorrem atropelamentos que podem não compor a estimativa de magnitude de atropelamentos.

Reconhecida a importância de corrigir a magnitude de fauna atropelada pela taxa de remoção e pela proporção de detecção das carcaças, o Instituto Brasileiro de Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis (IBAMA) publica uma Instrução Normativa (IN) exigindo essa importante correção. A IN 13 de 2013 estabelece os procedimentos a serem adotados nas amostragens de fauna, inclusive fauna atropelada, exigidos nos estudos ambientais no processo de licenciamento ambiental de rodovias e ferrovias (BRASIL, 2013). Porém a IN 13 não especifica os métodos para aferição da proporção detectada e da taxa de remoção.

A detectabilidade pode ser afetada por diferentes fatores, como tamanho - carcaças maiores são mais detectadas (Morrison, 2002; Teixeira *et al.*, 2013); condições climáticas durante o monitoramento - monitoramentos realizados em condições climáticas desfavoráveis podem apresentar uma baixa proporção de detecção (Fowler and Flint, 1997); o método de amostragem utilizado - é necessário especificar o método utilizado de acordo com o grupo ou espécie alvo do monitoramento (Slater, 2002; Teixeira *et al.*, 2013). Todos esses aspectos são importantes e podem prejudicar a proporção de carcaças detectadas e provocar uma distorção na magnitude de fauna atropelada.

A carência de um método de aferição da detecção, a sabida influência de alguns fatores sob a detectabilidade e a importância de corrigir a magnitude de animais silvestres atropelados, nos motivou a testar alguns elementos importantes em relação à detectabilidade das carcaças. Essa dissertação foi organizada em um artigo, a ser submetido à revista *Environmental Management* e se propõe, através de uma abordagem experimental, subsidiar as pesquisas na área de ecologia de rodovias e os processos de licenciamento ambiental com informações relevantes a serem consideradas nas estimativas de mortalidade.

**Entendendo o viés de detecção nos  
atropelamentos de fauna: avaliação de método,  
variação entre os observadores e atributos das  
carcaças**

# Entendendo o viés detecção nos atropelamentos de fauna: avaliação de método, variação entre os observadores e atributos das carcaças<sup>1</sup>

Paula Fabiana Pinheiro<sup>2,8</sup>, Fernanda Zimmermann Teixeira<sup>3,8</sup>, Igor Pfeifer Coelho<sup>4,8</sup>, Isadora Beraldi Esperandio<sup>5,8</sup>, Larissa Oliveira Gonçalves<sup>6,8</sup>, Andreas Kindel<sup>7,8</sup>

<sup>2</sup> Programa de Pós-graduação em Ecologia, UFRGS, Av. Bento Gonçalves 9500, CEP 91501-970, CP 15007, Porto Alegre, RS, Brasil; paulafpinheiro@yahoo.com.br (autor para correspondência)

<sup>3</sup> Geomatics and Landscape Ecology Research Laboratory, Department of Biology, Carleton University, Ottawa, Ontario, Canada; fernandazeixeira@gmail.com

<sup>4</sup> Programa de Pós-graduação em Ecologia, UFRGS, Av. Bento Gonçalves 9500, CEP 91501-970, CP 15007, Porto Alegre, RS, Brasil; djakare@gmail.com

<sup>5</sup> Av. Bento Gonçalves 9500, CEP 91501-970, CP 15007, Porto Alegre, RS, Brasil; isadora\_e@yahoo.com.br

<sup>6</sup> Programa de Pós-graduação em Ecologia, UFRGS, Av. Bento Gonçalves 9500, CEP 91501-970, CP 15007, Porto Alegre, RS, Brasil; larissa.oligon@gmail.com

<sup>7</sup> Programa de Pós-graduação em Ecologia, UFRGS, Av. Bento Gonçalves 9500, CEP 91501-970, CP 15007, Porto Alegre, RS, Brasil; andreaskindel@gmail.com

<sup>8</sup> NERF - Núcleo de Ecologia de Rodovias e Ferrovias, Departamento de Ecologia, Instituto de Biociências, UFRGS, Av. Bento Gonçalves 9500, CEP 91501-970, CP 15007, Porto Alegre, RS, Brazil.

**Resumo:** A detecção é um fator que afeta as coletas de dados em ecologia, informação relevante nos estudos e trabalhos de biologia da conservação. Em rodovias, a estimativa da detecção pode ser afetada por diferentes elementos, como os tipos de pavimento; os atributos das carcaças; as particularidades dos diferentes observadores e o método utilizado para aferição. Nosso trabalho avalia esses fatores, especifica o esforço amostral e corrige a estimativa de fauna atropelada em relação à detecção. Encontramos diferença na estimativa de detecção entre os diferentes pavimentos; entre as carcaças similares e contrastantes ao substrato; entre os diferentes observadores e verificamos que através do monitoramento a pé não se detecta a totalidade das carcaças. Esses resultados e a estimativa de fauna atropelada corrigida, que é aproximadamente o dobro da original, comprovam a importância da aferição da detecção antes e depois da pavimentação das rodovias, através de método experimental. Sendo que o experimento deve contemplar a implantação de diferentes carcaças e ser realizado pelas equipes que participaram dos monitoramentos de fauna.

**Palavras-chave** ecologia de estradas; biologia da conservação; monitoramento a pé; licenciamento; esforço amostral.

## 1. Introdução

Um erro de amostragem comum e muitas vezes inevitável em trabalhos ecológicos é a não detecção da ocorrência de espécies. A probabilidade de detecção depende da densidade populacional, do comportamento dos indivíduos e da eficiência de métodos

---

<sup>1</sup> Artigo a ser submetido no periódico Environmental Management.

de amostragem e do esforço empregado, gerando comumente uma subestimativa da abundância das espécies, principalmente das raras (Bailey *et al.* 2004, Gu and Swihart, 2004). Este problema tem sido bastante discutido principalmente no contexto de conservação, pois os planos são embasados em estudos ecológicos de espécies raras e/ou ameaçadas e o viés de detecção nas estimativas populacionais não pode ser ignorado (Gu and Swihart, 2004; MacKenzie and Kendall, 2002; MacKenzie *et al.*, 2002; Nichols, 1992). Mais recentemente essa preocupação passou a fazer parte também dos estudos voltados à avaliação de impactos de infraestruturas como aerogeradores, linhas de transmissão e rodovias (Morrison, 2002; Rioux *et al.*, 2013; Teixeira *et al.*, 2013)

Em estudos de ecologia de rodovias, os principais fatores que enviesam as estimativas de magnitude de fauna atropelada são a remoção de carcaças e a detectabilidade (Slater, 2002). A detectabilidade pode ser afetada por atributos da carcaça como, tamanho (Morrison, 2002, Teixeira *et al.*, 2013), condições climáticas durante o monitoramento, quantidade de vegetação no acostamento, método de amostragem (Slater, 2002; Teixeira *et al.*, 2013) e capacidade dos observadores (Hobday and Minstrell, 2008). A correção da detectabilidade nas estimativas de magnitude de atropelamentos é importante para possibilitar a comparação entre os impactos gerados antes e depois de asfaltamento ou ampliação do número de pistas de uma estrada, a avaliação da eficiência das medidas de mitigação da mortalidade, e também para poder fazer generalizações e comparações de taxas de atropelamentos entre estradas.

Existem diferentes métodos para aferir o percentual da detectabilidade de carcaças ou ao menos considerar o fator de detecção nos estudos realizados. De La Zerda and Rosselli (2003) e Ponce *et al.* (2010) utilizaram a implantação de carcaças padronizadas, com conhecimento prévio do total de carcaças, para obter a proporção detectada pelos observadores do estudo. Algumas pesquisas avaliaram a detectabilidade assumindo a quantidade de carcaças encontradas em monitoramento a pé como a totalidade de carcaças disponíveis (Gerow *et al.*, 2010; Teixeira *et al.*, 2013). O método de marcação e recaptura (Hels and Buchwald, 2001; Lettink and Armstrong, 2003) também é utilizado para estimar a detecção dos observadores (Guinard *et al.*, 2012). Outra alternativa, é utilizar a proporção de detecção disponibilizada em publicações, mesmo que em áreas de estudos diferentes (Barrientos *et al.*, 2012; Rioux *et al.*, 2013).

Nós utilizamos uma abordagem experimental, na qual um número conhecido de carcaças de animais silvestres com diferentes atributos foi disposto nas rodovias, para avaliar os efeitos das seguintes questões sobre a detectabilidade: (I) diferenças entre

tipos pavimentos (asfalto e terra), (II) variações entre atributos das carcaças como volume de tecido muscular da carcaça e contraste com o substrato, (III) diferenças entre as equipes de observadores. Além disso, (IV) apuramos o esforço amostral necessário para obter a estimativa da detecção e (V) avaliamos o pressuposto de que o método de amostragem a pé tem detecção 100%. Como nas estradas de terra o substrato é mais heterogêneo, dificultando a visualização, esperamos uma detectabilidade menor nessas estradas quando comparadas às asfaltadas. Nossa expectativa foi que carcaças com maior proporção de tecido muscular e coloração contrastante com o pavimento fossem mais detectadas. Observadores podem diferir na experiência e/ou nível de concentração durante os monitoramentos e por isso esperamos diferenças de detecção entre as equipes. Embora seja claro que quanto maior o esforço amostral melhores as estimativas, nós estávamos interessados em estimar qual o número de carcaças recomendado para os experimentos de detecção e se este número varia dependendo da condição da estrada. Finalmente, avaliamos o pressuposto utilizado por alguns autores (Gerow *et al.*, 2010; Guinard *et al.*, 2015; Teixeira *et al.*, 2013) de que o monitoramento a pé resulta em detecção perfeita ou próxima da totalidade das carcaças. Com o intuito de ilustrar a importância da incorporação da detecção na magnitude de fauna atropelada, comparamos o número de animais atropelados observados e o número estimado, incorporando a proporção de detecção das equipes de observadores.

## **2. Material e Métodos**

### **2.1 Área de estudo**

As áreas de estudo deste projeto compreenderam trechos das rodovias CS-012 e RS-427, localizadas no entorno dos Parques Nacionais Aparados da Serra e Serra Geral, e da BR-101 sul, próximo à Palmares do Sul, no Rio Grande do Sul, Brasil (Material Suplementar 1).

Para os experimentos, utilizamos um trecho pavimentado de 13 km da rodovia CS-012 que possui duas faixas de rodagem e um fluxo médio diário de aproximadamente 155 veículos (TRAFx Vehicle Counter G3 instalado no período de agosto de 2014 a abril de 2015). O trecho de 16 km da RS-427 que utilizamos é de terra, com duas faixas de rodagem e fluxo médio diário de aproximadamente 298 veículos (agosto de 2014 a março de 2015). Em ambas as rodovias o fluxo é constituído principalmente por veículos de passeio.

O trecho estudado da rodovia BR-101 tem 30 km de extensão, é pavimentado e possui duas faixas de rodagem. Embora a velocidade máxima permitida seja de 80km/h, a velocidade média realizada deve ser até 50% superior (obs. pes.). O fluxo médio diário



de aproximadamente 991 veículos (março de 2013 a outubro de 2013) é constituído principalmente por veículos de passeio e transporte de cargas (grãos e madeira).

## 2.2 Coleta de dados

As carcaças utilizadas no experimento de detecção eram de animais silvestres dos diferentes grupos taxonômicos, coletadas previamente nas rodovias estudadas ou em outras na mesma região, com intuito de obter uma representatividade dos grupos taxonômicos, tamanhos e volumes de tecido muscular encontrados durante os monitoramentos dessas rodovias.

Previamente, nós classificamos as carcaças quanto ao tamanho e volume de tecido muscular, de acordo com as classes apresentadas na tabela 1. A determinação do contraste de cada carcaça com o pavimento foi realizada no momento de implantação da carcaça na rodovia (Material Suplementar 2). Após, agrupamos as carcaças de acordo com as classes: ElevTM+Semelh) com elevada proporção de tecido muscular e coloração semelhante ao substrato; RedTM+Semelh) com reduzida proporção de tecido muscular e coloração semelhante ao substrato; ElevTM+Contr) com elevada proporção de tecido muscular e coloração contrastante ao substrato; RedTM+Contr) com reduzida proporção de tecido muscular e coloração contrastante. Para o atributo tamanho, que foi utilizado apenas como fator nas análises e não na definição das classes, nós utilizamos como referencial a fauna silvestre conhecida no Rio Grande do Sul - Brasil na delimitação das categorias.

Tabela 1: Atributos das carcaças de animais silvestres utilizadas no estudo, com suas respectivas categorias e critérios de classificação.

<b>Atributo das carcaças</b>	<b>Categorias</b>	<b>Crítérios</b>
<b>Tamanho</b>	Pequena (P)	Maior dimensão da carcaça $\leq 15$ cm.
	Média (M)	Maior dimensão da carcaça $> 15$ e $\leq 35$ cm.
	Grande (G)	Maior dimensão da carcaça $>35$ cm.
<b>Volume tecido muscular</b>	Reduzido (RedTM)	predominam ossos, pele e pelos, independentemente do tamanho.
	Elevado (ElevTM)	Elevada proporção de tecido muscular, independentemente do estado de deterioração e tamanho da carcaça.
<b>Contraste</b>	Contrastante (Contr)	coloração geral da carcaça mais escura ou clara que o substrato.
	Semelhante (Semelh)	coloração com tons similares ao substrato.

Nós realizamos o experimento em dois momentos distintos, sendo que as carcaças foram mantidas congeladas até 24 horas antes dos experimentos e descongeladas em temperatura ambiente. A distribuição das carcaças foi realizada durante a madrugada, com quantidades de carcaças similares em cada pista das estradas e posição em relação ao fluxo (acostamento e pista de rolagem). Para cada carcaça que implantamos, registramos as suas características (tamanho, volume de tecido muscular e contraste) e as respectivas coordenadas geográficas, além da documentação fotográfica, para individualizá-las e possibilitar a conferência posterior. Após a distribuição das carcaças, seis equipes (duplas de observadores), que não conheciam os atributos e localização das carcaças, realizaram monitoramento de carro. Cada equipe registrava o animal encontrado, com maior especificidade possível, e o local através das coordenadas geográficas e tirava uma foto para registro da carcaça.

Em março de 2013, nós distribuimos 214 carcaças nas duas rodovias no entorno dos parques, 112 carcaças na estrada pavimentada (CS-012) e 102 na estrada de terra (RS-427). As equipes monitoraram a velocidade máxima de 40 km/h, independentemente uma da outra, com intervalos médios de 78 minutos (DP=14,7 minutos) entre elas. Em julho de 2013, nós distribuimos 140 carcaças na rodovia BR-101 seguindo o mesmo método amostral adotado nas estradas CS-012 e RS-427. O monitoramento foi realizado por outras seis equipes, que realizaram os mesmos procedimentos das equipes do experimento anterior, porém a velocidade máxima foi de 50 km/h. A adequação da velocidade de monitoramento foi devido ao maior fluxo de carros da BR-101 e à velocidade mínima permitida.

Em ambos experimentos de detecção, ao final de todos os monitoramentos realizados pelas equipes, verificamos a remoção das carcaças distribuídas. As carcaças removidas durante o dia do experimento foram desconsideradas das bases de dados das análises (Tabela 2), portanto o conjunto de carcaças consideradas foi igual para todas as equipes. A porcentagem de cada classe de carcaças, encontradas na Tabela 2, foi apurada em relação ao total de carcaças de cada rodovia, tanto para antes da retirada como para após a retirada. Realizamos a conferência da detecção de cada carcaça posteriormente, em laboratório, através do confronto entre as fotografias produzidas pelas equipes de monitoramento e pela equipe de distribuição de carcaças. Também foram utilizadas as anotações das equipes e as localizações das carcaças, sempre que necessário, para sanar qualquer dúvida. Os monitoramento de carro, em ambos experimentos, não foram realizados em momentos chuva, para não prejudicar a detectabilidade.

Além dos monitoramentos de carro, duas outras equipes realizaram monitoramento a pé em um trecho de 1 km em cada estrada do Parque Aparadas da Serra/Serra Geral (oito carcaças em cada trecho), totalizando dois trechos por equipe (quatro observações). Na BR-101, outras duas equipes monitoraram a pé dois trechos de 1 km (15 carcaças em um trecho e 27 no outro), distantes 10 km um do outro (4 observações).

Na incorporação da detecção na magnitude de fauna atropelada, para ilustrar a importância da correção pela detecção, utilizamos os dados de monitoramentos de fauna atropelada das rodovias das áreas de estudo deste trabalho. Nós apuramos a magnitude de atropelamentos encontrada nos monitoramentos de fauna atropelada realizados de setembro de 2012 a agosto de 2013, mensalmente na rodovia BR-101 (a 50 km/h) e quinzenalmente nas estradas RS-427 e CS-012 (a 30 km/h). A magnitude de atropelamento encontrado para cada rodovia foi utilizada como valor de mortalidade observado para a correção pela detecção, uma vez que o método de monitoramento foi o mesmo utilizado no experimento.

Tabela 2: Porcentagem de carcaças de cada classe implantadas nas rodovias de ambos os experimentos de detecção, antes e após a retirada das carcaças removidas por carniceiros ou tráfego das bases de dados. P=pequeno; M=médio; G=grande; ElevTM+Semelh=com elevada proporção de tecido muscular e semelhante ao substrato; RedTM+Semelh= com reduzida proporção de tecido muscular e semelhante ao substrato; ElevTM+Contr= com elevada proporção de tecido muscular e contrastante; RedTM+Contr= com reduzida proporção de tecido muscular e contrastante.

<b>Antes retirada</b>	<b>RS-427</b>			<b>CS-012</b>			<b>BR-101</b>		
<b>Categorias</b>	<b>P</b>	<b>M</b>	<b>G</b>	<b>P</b>	<b>M</b>	<b>G</b>	<b>P</b>	<b>M</b>	<b>G</b>
ElevTM+Semelh	2,9	3,9	3,9	11,6	7,1	4,5	8,6	8,6	7,1
RedTM+Semelh	18,6	2,9	2,0	14,3	3,6	0,9	14,3	15,0	1,4
ElevTM+Contr	15,7	12,7	6,9	13,4	7,1	5,4	11,4	15,7	3,6
RedTM+Contr	16,7	12,7	1,0	20,5	8,0	3,6	5,7	7,9	0,7
<b>NÚMERO TOTAL</b>	102			112			140		
<b>Após retirada</b>	<b>RS-427</b>			<b>CS-012</b>			<b>BR-101</b>		
<b>Categorias</b>	<b>P</b>	<b>M</b>	<b>G</b>	<b>P</b>	<b>M</b>	<b>G</b>	<b>P</b>	<b>M</b>	<b>G</b>
ElevTM+Semelh	5,2	3,4	5,2	11,5	8,3	5,2	7,1	10,1	10,1
RedTM+Semelh	15,5	3,4	3,4	10,4	4,2	1,0	15,2	17,2	2,0
ElevTM+Contr	17,2	19,0	6,9	12,5	7,3	6,3	8,1	11,1	4,0
RedTM+Contr	12,1	6,9	1,7	20,8	8,3	4,2	5,1	9,1	1,0
<b>NÚMERO TOTAL</b>	58			96			99		

### 2.3 Análise de dados

Para saber se a capacidade de detecção varia em pavimentos diferentes (questão I), comparamos a proporção de detecção das carcaças com monitoramento de carro das seis equipes nas estradas do Parque Aparados da Serra/Serra Geral (CS-012 asfaltada e RS-427 não asfaltada). Realizamos uma Análise de Variância (ANOVA) com permutações (Pillar and Orłóci, 1996), com desenho em bloco (equipes).

Para testar as diferenças na probabilidade de uma carcaça ser detectada em função de seus atributos (questão II), ou seja, volume de tecido muscular (reduzido e elevado) e contraste (semelhante e contrastante), utilizamos ANOVA com permutações (Pillar and Orłóci, 1996) com modelo de interação entre dois fatores (atributos e pavimento). O atributo tamanho não foi testado estatisticamente, apenas utilizado como bloco nesta análise, assumindo a diferença identificada por Teixeira *et. al.* (2013). Para responder a esta pergunta, utilizamos somente as carcaças dispostas nas estradas CS-012 (pavimentada, n=96) e RS-427 (não pavimentada, n=58). Para verificarmos se a retirada da base de dados daquelas carcaças removidas por carniceiros ou tráfego durante o experimento modificou a proporção de carcaças de cada classe e, potencialmente, influenciou na capacidade de detecção de cada equipe, comparamos os dados de antes e após as retiradas de carcaças (Tabela 2). Para isto realizamos um ANOVA de medidas repetida, considerando os fatores classe e tamanho, e utilizando as rodovias como repetições, e não encontramos diferença ( $p \geq 0.942$ ).

Para avaliar se há diferença na capacidade de detecção entre equipes que monitoraram de carro (questão III), dividimos as três estradas monitoradas em trechos de aproximadamente 4 km para aumentar o número de unidades amostrais (CS-012= 3 trechos e RS-427= 3 trechos, ambas na área de estudo Aparados da Serra/Serra Geral, e BR-101= 6 trechos). Contabilizamos a proporção de detecção de cada equipe em cada trecho e realizamos as análises com as equipes separadas por rodovias, CS-012 e RS-427 (Aparados da Serra/Serra Geral) e BR-101. Em ambas análises realizamos ANOVA com permutações (Pillar and Orłóci, 1996) utilizando os trechos como bloco.

O número de carcaças necessárias para aferirmos a proporção de detecção das equipes (questão IV), foi calculado com a proporção de detecção obtida através de reamostragem *bootstrap* com 100 aleatorizações das carcaças incluídas na amostra, para diferentes quantidades de carcaças (10, 20, 30, 40, 50, 60, 70, 80 e 90). Para isto utilizamos o script (Material Suplementar 3) elaborado no *software* R (R Core Team, 2015).

Para todas as análises de variância descritas acima utilizamos o software Multiv v.3.47b (Pillar, 2006) com 1000 iterações, utilizando distância euclidiana como medida de semelhança e alfa de 0,05.

Para calcularmos a mortalidade estimada corrigida pela detecção nós utilizamos os dados de atropelamentos e a proporção média de detecção com os intervalos de confiança, a partir da proporção de detecção de cada equipe, para cada rodovia (RS-427, CS-012 e BR-10). E ainda, realizamos as correções da estimativa de fauna atropelada com a proporção de detecção de cada classe de atributos para as estradas RS-427 e CS-012 para demonstrar que o uso de carcaças padronizadas não resulta na proporção de detecção da rodovia como um todo. Os cálculos de proporção de detecção e mortalidade estimada foram realizados com o pacote *carcass* do software R (Korner-Nievergel e. al., 2015). A proporção de detecção foi apurada com a função *search.ency* e a mortalidade estimada com a função *estimateN*, estipulando “p” (estimativa para a probabilidade de detecção) com a proporção de detecção da rodovia, considerando-a como único fator de correção da magnitude de mortalidade.

### 3. Resultados

Os percentuais de detecção médios para cada rodovia foram de 54,7% (DP=4,2%) para a CS-012, 49,5% (DP=10,4%) para a BR-101 e 25% (DP=8,1%) para a RS-427. A detectabilidade nas rodovias do Parque Aparados da Serra, RS-427 e CS-012 (questão I), foi significativamente maior no asfalto (SQ=0,2644; p=0,045).

A proporção média de detecção das carcaças variou entre as classes de atributos (questão II) (RedTM+Contr=0,57, ElevTM+Semelh=0,44, ElevTM+Contr=0,42 e RedTM+Semelh=0,24), apresentando diferença significativa apenas entre as classes RedTM+Contr e RedTM+Semelh (SQ=1,8146; p= 0.018, figura 1). A interação entre classes de atributos e pavimento não foi significativa (SQ=-0,31392; p=0.661), isto ocorre porque a detectabilidade é baixa em todas as classes na estrada RS-427 (Tabela 3).

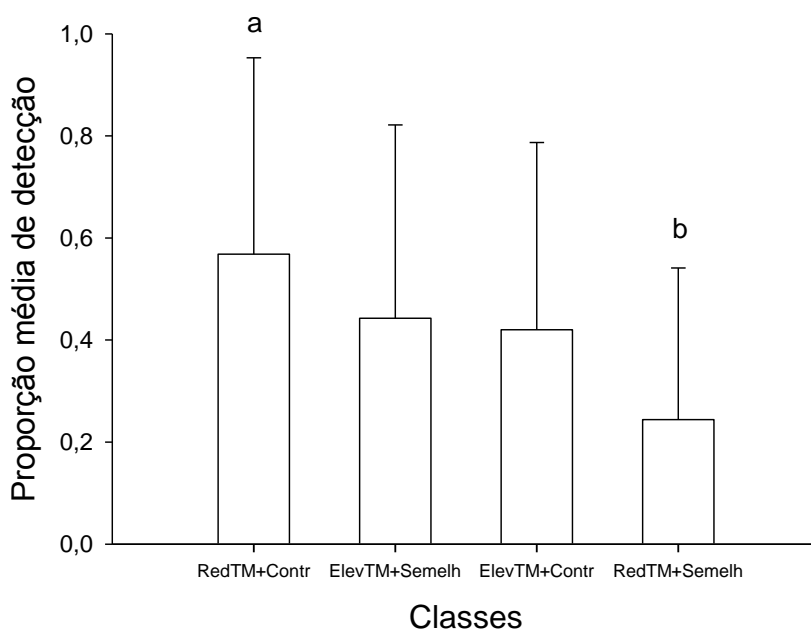


Figura 1: Proporções de detecção (média e DP) para cada classe de atributos das carcaças dispostas nas estradas do Parque Aparados da Serra. Letras diferentes indicam os pares que apresentaram diferença significativa ( $p=0,003$ ). RedTM+Contr) com reduzida proporção de tecido muscular e contrastante; ElevTM+Semelh) com elevada proporção de tecido muscular e semelhante ao substrato; ElevTM+Contr) com elevada proporção de tecido muscular e contrastante; RedTM+Semelh) com reduzida proporção de tecido muscular e semelhante ao substrato.

Na comparação das proporções de detecção das equipes (questão III), no Parque Aparados da Serra/Serra Geral, encontramos diferença entre as equipes somente na RS-427 ( $SQ=0,12629$ ;  $p=0,016$ ), a estrada de terra, sendo que a proporção de detecção média das equipes nessa estrada variou de 0,09 a 0,36. Já na rodovia CS-012, asfaltada, as médias das equipes variaram de 0,48 a 0,60 ( $SQ=0,028994$ ;  $p=0,568$ ). Entre as equipes que monitoraram a BR-101, também asfaltada, encontramos diferenças significativas ( $SQ=0,4131$ ;  $p=0,001$ ), sendo que as médias das equipes variaram de 0,30 a 0,63 (Figura 2).

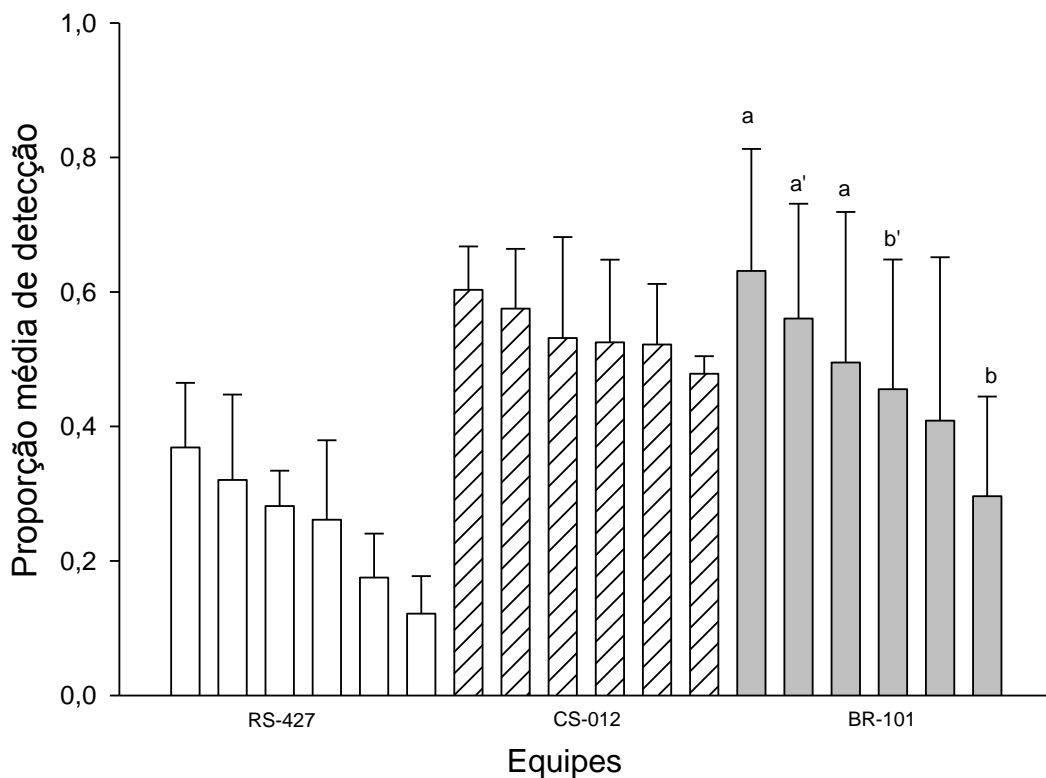


Figura 2: Proporções de detecção (médias e DP) de cada equipe de monitoramento de carcaças, na estrada de terra RS-427 (branco), na rodovia pavimentada CS-012 (hachurado), ambas no Parque Aparados da Serra, e na BR-101 (cinza). As letras diferentes representam diferença entre as equipes ( $p \leq 0,05$ ).

Em relação ao número de carcaças necessárias para aferirmos a detectabilidade das equipes (questão IV), verificamos que a média da proporção de detecção estabilizou com aproximadamente 40 carcaças em todas as rodovias (Figura 3). Esse resultado foi independente dos atributos das carcaças, já que nas aleatorizações da análise múltiplas combinações de atributos são selecionadas. Carcaças padronizadas poderão apresentar resultado diferente, pois os atributos das carcaças influenciam na detectabilidade. Carcaças mais difíceis de serem detectadas podem necessitar de um maior número de carcaças até estabilizar a média. O resultado encontrado nesta questão também evidencia que a retirada de carcaças removidas por carneiros ou tráfego das bases de dados não influenciou a estimativa da detectabilidade das equipes.

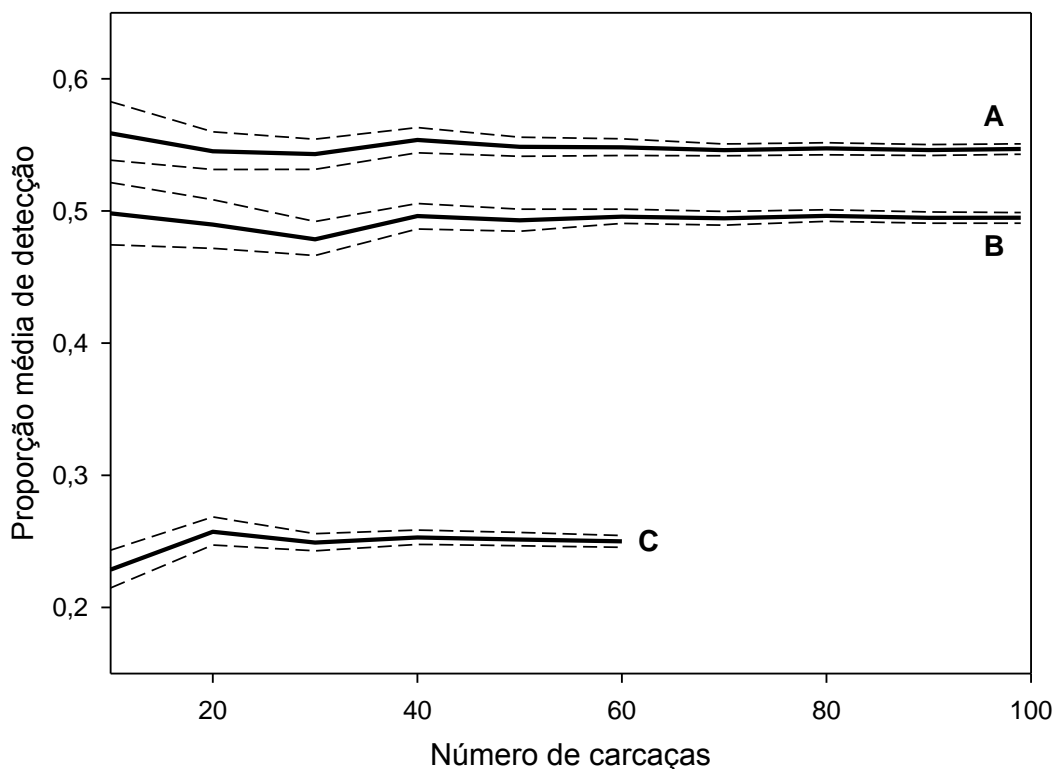


Figura 3: Proporções de detecção (médias e seus respectivos intervalos de confiança) de cada rodovia. A=CS-012; B= BR-101 e C=RS-427.

O levantamento das proporções de carcaças detectadas pelos observadores a pé (questão V) resultou em maior detecção que os observadores de carro, mas cabe salientar que através do método a pé as equipes não detectaram todas as carcaças. A média de detecção das oito amostragens foi de 68,9% (DP=17,5%), com proporções de detecção variando entre 50% (estrada de terra RS-427) e 83,3% (rodovia pavimentada BR-101).

A tabela 3 apresenta a estimativa de fauna atropelada, de cada rodovia, corrigida pela respectiva proporção de detecção. A mortalidade corrigida é superior à observada nos monitoramentos para todas as rodovias, porém destacamos os valores das rodovias CS-012 e RS-427. O valor observado da mortalidade da CS-012 é o triplo do valor da RS-427, após a correção da mortalidade, os valores tornam-se bastante similares (Tabela 3). Quanto às correções de fauna atropelada por classes, na CS-012 observamos que as classes RedTM+Contr (com reduzida proporção de tecido muscular e contrastante ao substrato) e RedTM+Semelh (com reduzida proporção de tecido muscular e semelhante ao substrato) apresentam valores bastante distintos. As correções da mortalidade pela classe RedTM+Semelh, em ambas rodovias, resulta em valores superiores às correções totais de mortalidade das rodovias (Tabela 3).



Aspecto que demonstra que o uso de carcaças padronizadas não representa a correção da mortalidade da rodovia como um todo.

Tabela 3: Estimativa da magnitude da fauna atropelada, com base na proporção média de detecção total das rodovias e de cada classe de atributos para a RS-427 e a CS-012. IC=intervalo de confiança; N. Obs.=número de carcaças encontradas nos monitoramentos; N. Corr=número de carcaças corrigido pela proporção de detecção; ElevTM+Semelh=com elevada proporção de tecido muscular e semelhante ao substrato; RedTM+Semelh= com reduzida proporção de tecido muscular e semelhante ao substrato; ElevTM+Contr= com elevada proporção de tecido muscular e contrastante ao substrato; RedTM+Contr= com reduzida proporção de tecido muscular e contrastante ao substrato.

Rodovias	Classes atributos	Detecção			N. Obs.	Estimativa de carcaças		
		IC inferior	Média	IC superior		IC inferior	N. Corr	IC superior
BR-101	-	0,414	0,495	0,582	1451	2509	2920	3521
RS-427	-	0,181	0,245	0,314	24	65	100	156
CS-012	-	0,504	0,547	0,586	77	120	141	167
RS-427	ElevTM+Semelh	0,168	0,271	0,409	24	54	92	169
	ElevTM+Contr	0,185	0,247	0,325		64	100	159
	RedTM+Contr	0,121	0,173	0,249		87	143	242
	RedTM+Semelh	0,097	0,166	0,266		82	150	298
CS-012	ElevTM+Semelh	0,586	0,657	0,728	77	100	117	140
	ElevTM+Contr	0,515	0,593	0,672		108	130	160
	RedTM+Contr	0,422	0,500	0,578		125	154	194
	RedTM+Semelh	0,220	0,310	0,415		179	251	372

#### 4. Discussão

O efeito da detecção sobre a estimativa de magnitude da mortalidade vem sendo estudado a algum tempo em vertebrados (Erickson *et al.*, 2005; Fowler and Flint, 1997) e mais recentemente em invertebrados (Skórka, 2016). Diferentes abordagens utilizando, por exemplo, objetos ou carcaças padronizados (Collinson *et al.*, 2014; De La Zerda and Rosselli, 2003) ou carcaças acumuladas previamente e dispostas experimentalmente na rodovia monitorada (Boves and Belthoff, 2012). Nós utilizamos essa abordagem experimental que resultou em uma série de recomendações a serem utilizadas no monitoramento da mortalidade de vertebrados em rodovias.

Até onde conhecemos este é o primeiro estudo que compara a detecção em diferentes pavimentos. A diferença de detecção entre rodovias de terra e asfaltadas demonstrou a grande importância de aferirmos a detectabilidade antes e depois do asfaltamento. Van der Grift *et al.* (2013) alertaram sobre a necessidade de avaliarmos a magnitude da mortalidade e o efeito das medidas de mitigação através de comparações no tempo

e espaço. Nossos resultados evidenciaram que essas comparações devem levar em consideração as diferenças de detecção. Estradas de terra possuem uma maior heterogeneidade no substrato, podendo dificultar a detecção. Mesmo que esperemos uma maior mortalidade com o asfaltamento da rodovia, em virtude do aumento da velocidade e/ou fluxo de veículos, estradas de terra com fluxo elevado, que justifique o asfaltamento, podem apresentar uma alta mortalidade quando corrigida pela estimativa de detecção. Em nosso trabalho, não levando em consideração a remoção de carcaças, apenas a detecção, a estimativa de mortalidade corrigida na estrada não pavimentada é aproximadamente o quádruplo da mortalidade observada nos monitoramentos. E a diferença entre a estrada pavimentada e a estrada não pavimentada diminui quando os números são corrigidos pela detecção (Tabela 3).

Nossa hipótese de que carcaças com maior volume de tecido muscular e contrastante com o substrato (classe ElevVTM+ Contr) seriam mais detectadas não foi corroborada. A diferença estatística que encontramos indica que o contraste da carcaça com o substrato é o aspecto mais importante na detectabilidade. Carcaças com reduzida proporção de tecido muscular (classes RedTM+Semelh e RedTM+Contr) se distinguiram na proporção de detecção pelo contraste com o substrato. As carcaças com elevada proporção de tecido muscular (classes ElevVTM+ Contr e ElevTM+Semelh) possuem proporção de detecção similares, pois a elevada proporção de tecido muscular colabora para a detecção destas carcaças. Essa conclusão independe do tamanho da carcaça, atributo que reconhecidamente afeta a detecção das carcaças (Hels and Buchwald, 2001; Morrison, 2002; Teixeira *et al.* 2013), pois esse atributo foi controlado nas análises (ver métodos). Nosso resultado evidencia que para obter estimativas representativas da detecção em um determinado monitoramento é importante utilizar carcaças com a variação de tamanho e de contrastes encontrada nos monitoramentos. Estudos que utilizam carcaças padronizadas, como Guinard *et al.* (2012) que utilizaram aves, ou ainda objetos padronizados, como Collinson *et al.* (2014) que utilizaram borrachas, podem superestimar a proporção de detecção ao acostumar os observadores com um padrão a ser detectado.

Embora tenhamos encontrado diferenças de detecção entre as equipes na estrada RS-427 e na rodovia BR-101, apenas na BR-101 foi possível identificar quais equipes diferiram entre si. No experimento dessa rodovia foram empregadas equipes distintas das adotadas nas outras rodovias. Além disso, o esforço amostral pode ter influenciado o resultado, pois na BR101 tínhamos seis trechos monitorados por equipe enquanto nas demais apenas três. Independentemente disso, existem variações na detecção entre as equipes e por isso recomendamos que sempre que houver

mudança na composição da equipe a detecção seja avaliada, pois os observadores podem diferir nas habilidades e comprometimento com o monitoramento.

Nosso estudo demonstrou que 40 carcaças são suficientes para apurarmos a detecção das equipes envolvidas nos monitoramentos. Com esta quantidade de carcaças a estimativa de detecção média é muito similar ao que se obteria com o dobro ou mais de esforço amostral. Este resultado é observado em todas as estradas avaliadas, ainda que o valor de detecção difira entre elas. É necessário considerar a remoção diária das carcaças na definição do número de carcaças a serem implantadas nos experimentos de aferição de detectabilidade, o que no nosso caso corresponde a 40% de carcaças adicionais na rodovia de menor remoção diária (CS-012) e duplicar o número de carcaças nas demais estradas (BR-101 e RS-427). Não deixamos de observar que a remoção diária de carcaças encontrada em nossos experimentos evidencia a importância de incluir esse fator na correção da magnitude de fauna atropelada.

Alguns autores assumem que o monitoramento a pé é capaz de detectar 100% das carcaças disponíveis e, assim, calcular a detectabilidade obtida pela observação do carro para aquela rodovia (Ruiz-Capillas *et al.*, 2015; Teixeira *et al.*, 2013). Nossos resultados não sustentam esse pressuposto e a alternativa que sugerimos é o uso de experimentos de detecção.

Nosso trabalho levantou diversos aspectos importantes sobre a detecção de carcaças a serem considerados na aferição da detectabilidade que foram demonstradas através das correções da magnitude da mortalidade. Ao corrigirmos o número de atropelamentos observados nas rodovias com a proporção de detecção das classes de carcaças que criamos, verificamos que a diferença relativa entre os grupos de carcaças difere substancialmente daquela obtida com os dados observados. Da mesma forma, as diferenças de mortalidade entre a rodovia pavimentada e não pavimentada reduziram drasticamente. Isso evidencia a importância da correção para definir prioridades tanto entre grupos faunísticos, sejam eles definidos por critérios taxonômicos ou funcionais, como entre estradas.

## **5. Conclusões**

Nosso estudo demonstrou que é fundamental estimar a detecção e que sempre que houver mudança na equipe de observadores ou na condição da estrada é necessário gerar uma nova estimativa, pois é necessário aferir a detecção da mesma forma que se realiza os monitoramentos. Apesar de algumas dificuldades, como a necessidade de acumular carcaças previamente e de ter pelo menos duas equipes para efetivar a estimativa de detectabilidade, existem boas razões para indicar a abordagem

experimental. Com o uso de carcaças de animais silvestres, com a quantidade e com variação de atributos previamente conhecidos, é possível gerar estimativas de detecção que permitem corrigir a mortalidade observada tanto para o conjunto de animais observados quanto para grupos funcionais ou taxonômicos pré-definidos. No Brasil, a partir da Instrução Normativa 13/13 (BRASIL, 2013), tornou-se obrigatória a estimativa da detecção nos processos de licenciamento ambiental de empreendimentos viários. Neste estudo nós evidenciamos uma série de procedimentos que devem ser adotados para qualificar estas estimativas.

### **Agradecimentos**

Agradecemos ao Instituto de Biociências por ceder o veículo, ao Parque Aparados da Serra e Serra Geral do ICMBio pelo apoio ao trabalho, ao PNUD pelo auxílio financeiro, à L.O. Ambiental também pelo auxílio financeiro e a todos que participaram dos experimentos no Aparados da Serra/Serra Geral e na BR-101: Alice Flores, Juan Andres Anza, Aline Salvador Vanin, Ana Cristina Soletti, Brenda Schmidt, Carolina Prauchner, Dandara Rodrigues Dorneles, Diana Letícia Krueger Pacheco, Elisa Viana Salengue, Fabiola Barcelos, Fernanda Capra, Giuliano Müller Brusco, Jorge Luiz Jesus Gonçalves, Magnus Machado, Maria Teresa Oliveira Gonçalves, Matheus Kingeski Ferreira, Moshin Jamú Sidi, Nicole da Rosa Oliveira, Nina Bogoni, Rodrigo Gay Ducati, Simone Baratto Leonardi, Thais Stefanski, Vinni Lima Puccinelli Fernandes.

### **Referências Bibliográficas**

Bailey, L. L., Simons, T. R., Pollock, K. H. 2004. Estimating site occupancy and species detection probability parameters for terrestrial salamanders. *Ecological Applications*, 14(3), 692-702. DOI: 10.1890/03-5012

Barrientos, R., Ponce, C., Palacín, C., Martín, C. A., Martín, B., Alonso, J. C. 2012. Wire marking results in a small but significant reduction in avian mortality at power lines: a BACI designed study. *PLoS One*, 7(3), e32569.

Boves, T. J., Belthoff, J. R. 2012. Roadway mortality of barn owls in Idaho, USA. *The Journal of Wildlife Management*, 76(7), 1381-1392.

BRASIL. INSTRUÇÃO NORMATIVA Nº 13, DE 19 DE JULHO DE 2013. Estabelece os procedimentos para padronização metodológica dos planos de amostragem de fauna exigidos nos estudos ambientais necessários para o licenciamento ambiental de rodovias e ferrovias. *Diário Oficial da União, Brasília, DF*. 23 julho. 2013. Seção 1, 62-67.

Collinson, W. J., Parker, D. M., Bernard, R. T., Reilly, B. K., Davies-Mostert, H. T. 2014. Wildlife road traffic accidents: a standardized protocol for counting flattened fauna. *Ecology and evolution*, 4(15), 3060-3071.

De la Zerda, S., Rosselli, L. 2003. Mitigación de colisión de aves contra líneas de transmisión eléctrica con marcaje del cable de guarda. *Ornitología colombiana*, 1(2003), 42-62.

Erickson, Wallace P.; Johnson, Gregory D.; Young, David P. Jr. 2005. A summary and comparison of bird mortality from anthropogenic causes with an emphasis on collisions. In: Ralph, C. John; Rich, Terrell D., editors 2005. Bird Conservation Implementation and Integration in the Americas: Proceedings of the Third International Partners in Flight Conference. 2002 March 20-24; Asilomar, California, Volume 2 Gen. Tech. Rep. PSW-GTR-191. Albany, CA: U.S. Dept. of Agriculture, Forest Service, Pacific Southwest Research Station: p. 1029-1042

Fowler, A. C., Flint, P. L. 1997. Persistence rates and detection probabilities of oiled king eider carcasses on St Paul Island, Alaska. *Marine Pollution Bulletin*, 34(7), 522-526.

Gerow, K., Kline, N. C., Swann, D. E., Pokorny, M. A. R. T. I. N. 2010. Estimating annual vertebrate mortality on roads at Saguaro National Park, Arizona. *Human-Wildlife Interactions*, 4(2), 283-292.

Gu, W., Swihart, R. K. 2004. Absent or undetected? Effects of non-detection of species occurrence on wildlife-habitat models. *Biological Conservation*, 116(2), 195-203.

Guinard, É., Julliard, R., Barbraud, C. 2012. Motorways and bird traffic casualties: carcasses surveys and scavenging bias. *Biological Conservation*, 147(1), 40-51.

Guinard, É., Prodon, R., Barbraud, C. 2015. Case study: a robust method to obtain defensible data on wildlife mortality. *Handbook of Road Ecology*, 96.

Hels, T., Buchwald, E. 2001. The effect of road kills on amphibian populations. *Biological conservation*, 99(3), 331-340.

Hobday, A. J., Minstrell, M. L. 2008. Distribution and abundance of roadkill on Tasmanian highways: human management options. *Wildlife Research*, 35(7), 712-726.

Korner-Nievergelt, F., Behr, O., Brinkmann, R., Etterson, M. A., Huso, M. M., Dalthorp, D, Niermann, I. 2015. Mortality estimation from carcass searches using the R-package carcass-a tutorial. *Wildlife Biology*, 21(1), 30-43.

Lettink, M., Armstrong, D. P. 2003. An introduction to using mark-recapture analysis for monitoring threatened species. *Department of Conservation Technical Series A*, 28, 5-32.

MacKenzie, D. I., Nichols, J. D., Lachman, G. B., Droege, S., Andrew Royle, J., Langtimm, C. A. 2002. Estimating site occupancy rates when detection probabilities are less than one. *Ecology*, 83(8), 2248-2255.

MacKenzie, D. I., Kendall, W. L. 2002. How should detection probability be incorporated into estimates of relative abundance?. *Ecology*, 83(9), 2387-2393.

Morrison, M. L. 2002. *Searcher bias and scavenging rates in bird/wind energy studies* (p. 5). NREL/SR-500–30876. Golden, Colorado: National Renewable Energy Laboratory.

Nichols, J. D. 1992. Capture-recapture models. *BioScience*, 42(2), 94-102.

Pillar, V. P. 2006. Multivariate exploratory analysis, randomization testing and bootstrap resampling, version 2.4. 2. *Departamento de Ecologia UFRGS, Porto Alegre*.

Pillar, V. D. P., Orlóci, L. 1996. On randomization testing in vegetation science: multifactor comparisons of relevé groups. *Journal of Vegetation Science*, 7(4), 585-592.

Ponce, C., Alonso, J. C., Argandona, G., García Fernández, A., Carrasco, M. 2010. Carcass removal by scavengers and search accuracy affect bird mortality estimates at power lines. *Animal Conservation*, 13(6), 603-612.

R Core Team 2015. R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. URL <https://www.R-project.org/>.

Rioux, S., Savard, J. P. L., Gerick, A. A. 2013. Avian mortalities due to transmission line collisions: a review of current estimates and field methods with an emphasis on applications to the Canadian electric network. *Avian Conservation and Ecology*, 8(2), 7.

Ruiz-Capillas, P., Mata, C., Malo, J. E. 2015. How many rodents die on the road? Biological and methodological implications from a small mammals' roadkill assessment on a Spanish motorway. *Ecological Research*, 30(3), 417-427.

Skórka, P. 2016. The detectability and persistence of road-killed butterflies: An experimental study. *Biological Conservation*, 200, 36-43.

Slater, F. M. 2002. An assessment of wildlife road casualties—the potential discrepancy between numbers counted and numbers killed. *Web Ecology*, 3(1), 33-42.

Teixeira, F. Z., Coelho, A. V. P., Esperandio, I. B., Kindel, A. 2013. Vertebrate road mortality estimates: effects of sampling methods and carcass removal. *Biological Conservation*, 157, 317-323.

Van der Grift, E. A., Van der Ree, R., Fahrig, L., Findlay, S., Houlahan, J., Jaeger, J. A., Olson, L. 2013. Evaluating the effectiveness of road mitigation measures. *Biodiversity and Conservation*, 22(2), 425-448.

## Referências Bibliográficas

BRASIL. INSTRUÇÃO NORMATIVA Nº 13, DE 19 DE JULHO DE 2013. Estabelece os procedimentos para padronização metodológica dos planos de amostragem de fauna exigidos nos estudos ambientais necessários para o licenciamento ambiental de rodovias e ferrovias. Diário Oficial da União, Brasília, DF. 23 julho. 2013. Seção 1, 62-67.

BRASIL. LEI 6.938/81. Dispõe sobre a Política Nacional do Meio Ambiente, seus fins e mecanismos de formulação e aplicação, e dá outras providências. Diário Oficial da União, Brasília, DF. 02 de setembro de 1981. Seção 1, pg. 16509.

BRASIL. RESOLUÇÃO CONAMA Nº 1/1986. Dispõe sobre critérios básicos e diretrizes gerais para a avaliação de impacto ambiental. Diário Oficial da União, Brasília, DF. 17 de fevereiro de 1986. Seção 1, pg. 2548-2549.

Coffin, A. W. 2007. From roadkill to road ecology: a review of the ecological effects of roads. *Journal of transport Geography*, 15(5), 396-406.

Collinson, W. J., Parker, D. M., Bernard, R. T., Reilly, B. K., Davies-Mostert, H. T. 2014. Wildlife road traffic accidents: a standardized protocol for counting flattened fauna. *Ecology and evolution*, 4(15), 3060-3071.

Fahrig, L., Rytwinski, T. 2009. Effects of roads on animal abundance: an empirical review and synthesis. *Ecology and society*, 14(1), 21.

Forman, R. T., Alexander, L. E. 1998. Roads and their major ecological effects. *Annual review of ecology and systematics*, 207-C2.

Fowler, A. C., Flint, P. L. 1997. Persistence rates and detection probabilities of oiled king eider carcasses on St Paul Island, Alaska. *Marine Pollution Bulletin*, 34(7), 522-526.

Gerow, K., Kline, N. C., Swann, D. E., Pokorny, M. A. R. T. I. N. 2010. Estimating annual vertebrate mortality on roads at Saguaro National Park, Arizona. *Human-Wildlife Interactions*, 4(2), 283-292

Huijser, M. P., Abra, F. D., Duffield, J. W. 2013. Mammal road mortality and cost-benefit analyses of mitigation measures aimed at reducing collisions with capybara (*Hydrochoerus hydrochaeris*) in São Paulo State, Brazil. *Oecologia Australis*, 17(1), 129-146.

Jackson, N. D., Fahrig, L. 2011. Relative effects of road mortality and decreased connectivity on population genetic diversity. *Biological Conservation*, 144(12), 3143-3148.

Jaeger, J. A., Fahrig, L. 2004. Effects of road fencing on population persistence. *Conservation Biology*, 18(6), 1651-1657.

Lauxen, M. D. S. 2012. A mitigação dos impactos de rodovias sobre a fauna: Um guia de procedimentos para tomada de decisão. <http://hdl.handle.net/10183/72378>.

Morrison, M. L. 2002. *Searcher bias and scavenging rates in bird/wind energy studies* (p. 5). NREL/SR-500–30876. Golden, Colorado: National Renewable Energy Laboratory.

Prosser, P., Natrass, C., Prosser, C. 2008. Rate of removal of bird carcasses in arable farmland by predators and scavengers. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 71(2), 601-608.

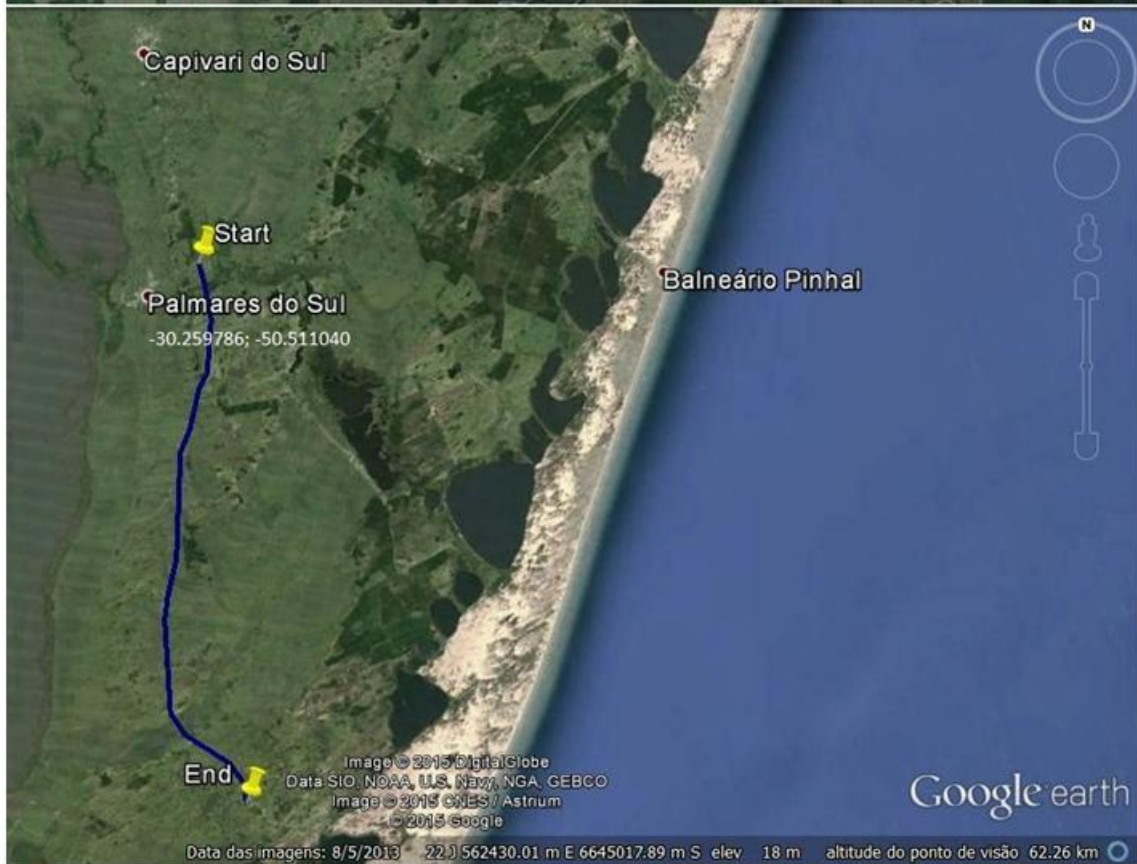
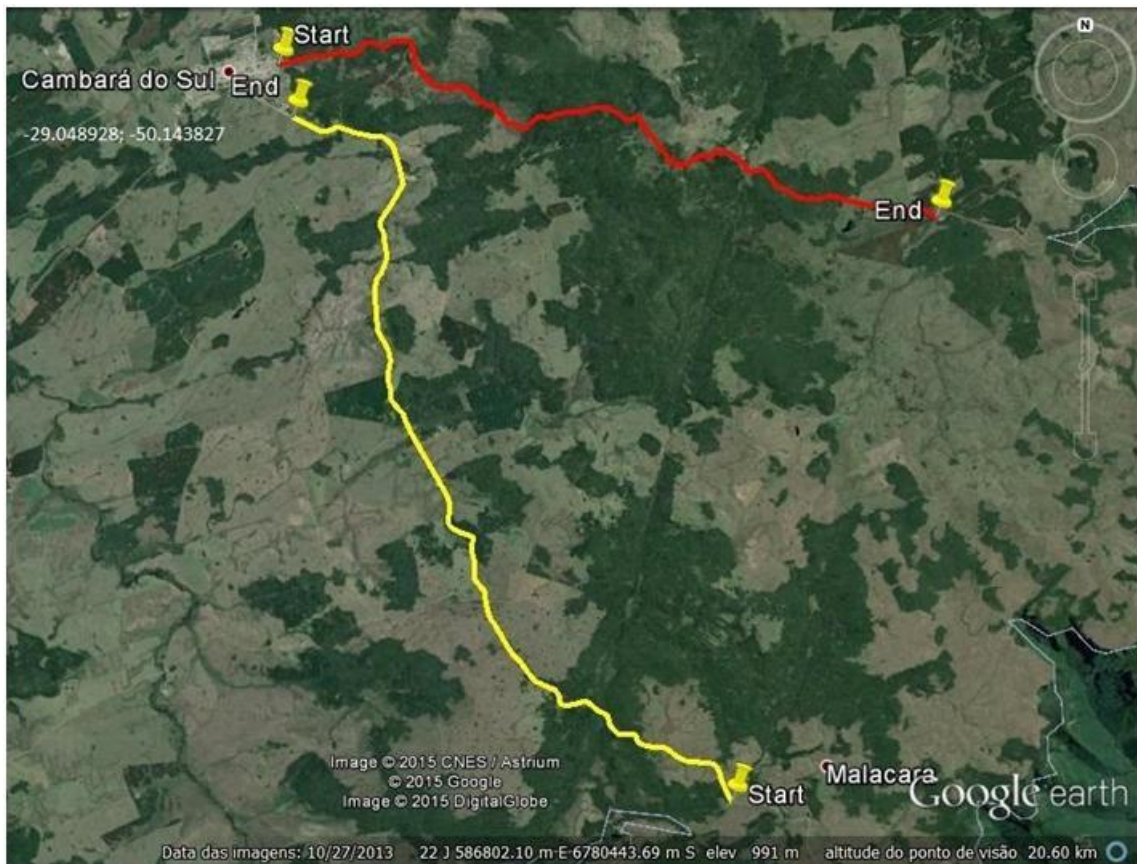
Slater, F. M. 2002. An assessment of wildlife road casualties—the potential discrepancy between numbers counted and numbers killed. *Web Ecology*, 3(1), 33-42.

Teixeira, F. Z., Coelho, A. V. P., Esperandio, I. B., Kindel, A. 2013. Vertebrate road mortality estimates: effects of sampling methods and carcass removal. *Biological Conservation*, 157, 317-323.

Trombulak, S. C., Frissell, C. A. 2000. Review of ecological effects of roads on terrestrial and aquatic communities. *Conservation biology*, 14(1), 18-30.

Van der Grift, E. A., Van der Ree, R., Fahrig, L., Findlay, S., Houlahan, J., Jaeger, J. A., Olson, L. 2013. Evaluating the effectiveness of road mitigation measures. *Biodiversity and Conservation*, 22(2), 425-448.





Material Suplementar 1: Figura da área de estudo. Trecho pavimentado da rodovia CS-012 (vermelho) e trecho de terra da estrada RS-427 (amarelo). Localizadas no

interior e entorno dos Parques Nacionais Aparados da Serra e Serra Geral. Trecho da BR-101 sul, pavimentado, próximo à Palmares do Sul (azul).



Material Suplementar 2: Exemplo de carcaças implantadas nas rodovias RS-427 e CS-012 de acordo com as classes reconhecidas neste estudo. EC= com elevada proporção de tecido muscular e contrastante ao substrato; ES=com elevada proporção de tecido muscular e semelhante ao substrato; RS= com reduzida proporção de tecido muscular e semelhante ao substrato; RC= com reduzida proporção de tecido muscular e contrastante ao substrato.



```

#Suficiencia amostral BR-101

library("carcass", lib.loc=~R/win-library/3.2")
library("lme4", lib.loc=~R/win-library/3.2")
library("Matrix", lib.loc=~R/win-library/3.2")
library("survival", lib.loc=~R/win-library/3.2")

dadosBR101<-read.table("DadosBR101.txt", h=T)

#ncar=número de carcaças testadas
ncar=10
visibility="A"

#montando a tabela para acrescentar os dados
DADOSEFICBR101=matrix(rep(NA,4*600),nrow=600)
DADOSEFICBR101[,1]=rep(1:100, each=6)
DADOSEFICBR101[,2]=visibility
colnames(DADOSEFICBR101)=c("person","visibility","detected","notdetected")
count=1

#sortear "ncar" dentro da tabela de dados
for(j in 1:100){
  sorteioBR101<- dadosBR101[sample(1:nrow(dadosBR101),ncar),]

# alimentar tabela com dados nas colunas detected e notdetected
  for (i in 1:6){
    DADOSEFICBR101[count,3]<-sum(sorteioBR101[,1+i])
    DADOSEFICBR101[count,4]<-ncar-sum(sorteioBR101[,1+i])
    count=count + 1
  }
}

write.table(DADOSEFICBR101,file="C:\\Temp\\BR101.txt")
BR101<-read.table("BR101.txt", h=T)
search.encyclopedia(BR101)

```

Material Suplementar 3: *Script* desenvolvido no software R para apurarmos o número de carcaças necessárias para aferirmos a proporção de detecção das equipes da rodovia BR101. Para demais rodovias foram trocados apenas os nomes dos objetos criados.