



## **Armadilhas Fotográficas: métodos e técnicas para instalação em campo e tratamento de dados**

Wagner JPD\*, Pegoretti HF\*, Cardoso CL\*, Oiwa HJ\*, Rincon LM\*

*\*Universidade Federal de Santa Catarina - Blumenau.*

**Resumo.** As tarefas de monitoramento ambiental, com a utilização de armadilhas de captura fotográfica, vêm sendo facilitadas pelo avanço tecnológico de sistemas de várias áreas de pesquisa e desenvolvimento. Neste artigo, são exploradas técnicas e métodos para instalação deste tipo de equipamentos, bem como sistemas para extração, codificação, organização e análise de imagens obtidas em campo. Por meio de uma revisão bibliográfica sistematizada, abrangendo o período entre os anos de 2010 a 2018, foi possível verificar que o número de publicações vem crescendo a partir do ano de 2013, o que sugere a popularização de pesquisas envolvendo armadilhas fotográficas. Nem todas as informações coletadas na revisão bibliográfica foram utilizadas para o desenvolvimento deste trabalho. Os resultados demonstraram um esforço na comunidade científica em aprimorar as metodologias de pesquisas, assim como em desenvolver equipamentos mais robustos, confiáveis, adaptáveis e versáteis, com a combinação de sistemas complementares. Os principais desafios se referiram ao vandalismo, dificuldades para acesso em florestas densas, falhas na obtenção e tratamento de imagens, bem como nas dificuldades em transmitir dados em áreas isoladas.

**Palavras-chave.** *Armadilha fotográfica, Câmera remota, Monitoramento ambiental.*

**Abstract.** *Environmental monitoring tasks using digital camera-traps have been facilitated by the technological advancement of systems from various areas of research and development. In this paper, techniques and methods for installing this type of equipment are explored, as well as systems for extraction, coding, organization and analysis of field images. Through a systematized bibliographic review, covering the period from 2010 to 2018, it was possible to verify that the number of publications has been growing since 2013, suggesting the popularization of research involving camera traps. Not all of the information collected were used for the constitution of this paper. The outcomes demonstrated an effort in the scientific community to improve research methodologies so as to develop more robust, reliable, adaptable and versatile equipment by combining complementary systems. The main challenges related to vandalism, difficulties in accessing dense forests, failures to obtain and treat images, as well as difficulties in transmitting data in isolated areas.*

**Keywords.** *Camera trap, Remote camera, Environmental monitoring.*



**Introdução.** Sistemas tecnológicos são utilizados em diversas aplicações, monitorando e executando tarefas em tempo real, tornando o seu uso importante em soluções que necessitam acesso a áreas difíceis de explorar. As câmeras fotográficas automáticas, conhecidas também como armadilhas fotográficas, conformam-se como uma das soluções para monitoramento ambiental e pesquisas em Unidades de Conservação - UC's.

Uma armadilha fotográfica digital é uma máquina fotográfica acondicionada em uma caixa camuflada e estanque. O equipamento possui um sistema de detecção de movimento, possibilitando capturar imagens ou vídeos, dependendo da configuração [1].

Especialmente na observação de mamíferos de médio e grande porte, de espécies com hábitos noturnos, na identificação de indivíduos, na detecção de sexo, na detecção de filhotes de espécies ameaçadas de extinção, os equipamentos de captura fotográfica costumam oferecer resultados satisfatórios. Adicionalmente, o acesso remoto que este tipo de equipamento proporciona, dispensa a presença de um observador que, em geral, atrapalha e estressa os animais em observação [1–3].

A utilização de armadilhas fotográficas vem se popularizando, tendo em vista o aprimoramento tecnológico dos equipamentos e a redução de custo [3]. Diversas dificuldades, no entanto, são enfrentadas por pesquisadores para manter os equipamentos em campo, tais como adversidades climáticas de temperatura e umidade, a presença de fungos, impurezas e pequenos insetos no equipamento. Falhas eletrônicas também são relatadas, bem como problemas na obtenção de registros devido ao local de instalação [1].

Para evitar a ocorrência de falhas eletrônicas ocasionadas por problemas de instalação, para garantir um bom dimensionamento na quantidade de equipamentos em campo e para definir os melhores períodos de coleta de dados, vários parâmetros necessitam ser verificados, tendo em vista que os ambientes são particulares para cada estudo, assim como para cada espécie a ser estudada. Com o aprimoramento tecnológico dos equipamentos e com o desenvolvimento de protocolos adequados, visualizam-se oportunidades para aumentar a qualidade dos registros fotográficos e dos resultados de pesquisa.

Este artigo tem como objetivo aprofundar os conhecimentos sobre armadilhas fotográficas. Portanto, apresenta resultados parciais de projetos envolvendo técnicas de monitoramento ambiental e desenvolvimento de armadilhas fotográficas. Estes projetos, em andamento, estão sendo desenvolvidos no Departamento de Engenharia, Controle, Automação e Computação da Universidade Federal de Santa Catarina - campus Blumenau. São apresentadas discussões a respeito da utilização de armadilhas fotográficas, visando identificar os benefícios e limitações da utilização destes equipamentos para monitoramento ambiental.

Com a realização de uma revisão bibliográfica sistematizada, foram encontradas publicações a respeito de pesquisas empreendidas em 27 (vinte e sete) países. Os resultados, que são uma análise parcial das informações obtidas na revisão bibliográfica, demonstraram a importância do assunto, bem como os principais critérios para instalação, posicionamento, quantificação, tempo na ativa e sistemas complementares em pesquisas utilizando armadilhas fotográficas. Ainda, foram

destacados métodos para extração, codificação, organização e análise de imagens obtidas em campo, incluindo softwares desenvolvidos especialmente para essas tarefas e sistemas de transmissão de dados para acompanhamento e configuração em tempo real.

**1. Método de Pesquisa.** Inicialmente, uma pesquisa bibliográfica exploratória e uma entrevista com a bióloga Cíntia Gruener [4], foram realizadas visando uma aproximação com a realidade do objeto de estudo. O estudo dessa literatura possibilitou a busca das palavras chave ou termos de pesquisa para uma revisão bibliográfica a respeito de equipamentos do tipo armadilhas fotográficas utilizadas em monitoramento ambiental (Quadro 1 e Figura 1). É importante destacar que as palavras chaves foram escolhidas para suprir as necessidades do desenvolvimento de uma armadilha fotográfica, contudo, neste trabalho serão apresentados resultados parciais que visam a compreensão de como pesquisadores da área de monitoramento ambiental utilizam estes equipamentos e como tratam os dados obtidos.

A revisão utilizou recursos de pesquisa bibliográfica sistematizada, recomendados por Kitchenham [5]. Para os autores, uma revisão sistemática “é um meio de avaliar e interpretar toda a pesquisa disponível relevante para uma questão de pesquisa específica, área temática ou fenômeno de interesse” [5]. Três fases são recomendadas para conduzir a pesquisa: planejar, conduzir e relatar a revisão. Nessas três fases, as principais etapas incluem a identificação da necessidade de uma revisão, a especificação das perguntas de pesquisa, o desenvolvimento de um protocolo de revisão, a seleção de estudos primários, a avaliação da qualidade do estudo, a extração de dados e monitoramento, a síntese de dados, e o relatório principal. Muito embora as etapas pareçam seguir uma ordem cronológica, alguns processos envolvem o refinamento de atividades, num movimento iterativo.

Para orientar o estudo, foram formuladas as seguintes questões de pesquisa: Quais os principais métodos de utilização de armadilhas fotográficas em monitoramento ambiental? Quais ferramentas e técnicas de otimização no tratamento de dados mais recorrentes na literatura?

Para proceder à revisão bibliográfica sistemática, foi utilizada a ferramenta de pesquisa Google Acadêmico (<https://scholar.google.com.br>) e a base de dados *Web of Science*, com acesso via Periódicos/CAPES - Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (<http://www.periodicos.capes.gov.br>). As palavras-chave selecionadas na pesquisa exploratória foram combinadas, como ilustram as Quadro 1 e Figura 1. Os termos da primeira coluna foram combinados com os termos da coluna direita para iniciar a pesquisa do tipo avançada, oferecida pelos sites citados.

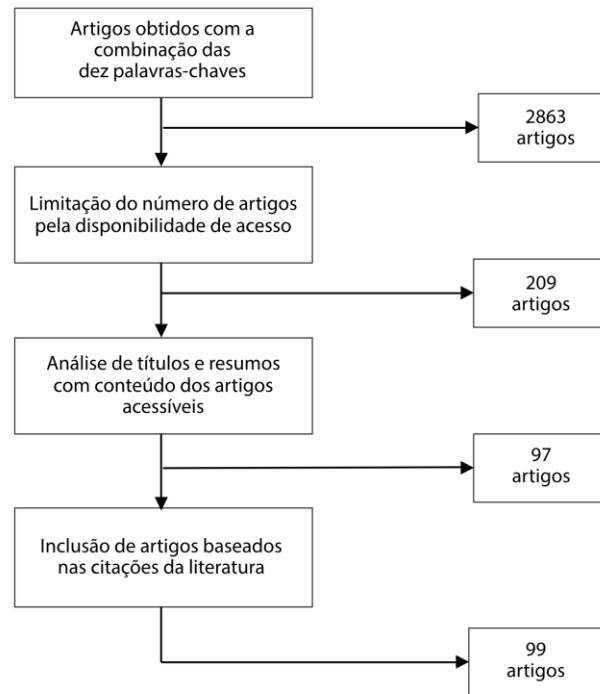


Raspberry Pi / Raspberry Pi	Armadilha Fotográfica / Camera Trap
	Câmera de Trilha / Trail Camera
Arduino / Arduino	Câmera Remota / Remote Camera
	Estimativa Populacional / Population Estimate
Microcontrolador / Microcontroller	Monitoramento Ambiental / Environmental Monitoring
	Sistemas Embarcados / Embedded Systems
	Câmera de Animais Selvagens / Wildlife Camera

**Quadro 1.** Palavras-chave utilizadas. Fonte: Autores.

A pesquisa foi realizada nos idiomas português e inglês para cada combinação. Com isso, foi obtido um total de 48 combinações de pesquisa (24 em português e 24 em inglês). O processo de busca identificou 2.863 publicações. O primeiro filtro limitou o período, abrangendo apenas artigos publicados entre 2010 e outubro de 2018 (mês em que foi finalizada a pesquisa com as combinações de palavras-chave). O segundo filtro aplicado envolveu a permanência de artigos de conteúdo gratuito, em especial para os acessos com IP identificado das instituições participantes do Portal CAPES (<http://www.periodicos.capes.gov.br>), que oferece as pesquisas na base *Web of Science*. Na ferramenta Google Acadêmico foram excluídas patentes e citações nos resultados de pesquisa, e na base *Web of Science* foram excluído artigos que divergiam do foco da pesquisa. Obtendo-se desta forma, 209 artigos.

Com o último filtro, houve a análise de títulos e resumos; a exclusão de publicações sem adesão ao interesse do estudo; e a exclusão de publicações em duplicata. Além disso, foram incluídas duas publicações baseadas na citação da literatura, resultando em 99 artigos. Um resumo destes procedimentos é apresentado na Figura 1, que inclui a quantidade de publicações resultantes para cada etapa.



**Figura 1.** Fluxograma com filtros utilizados. Fonte: Autores.

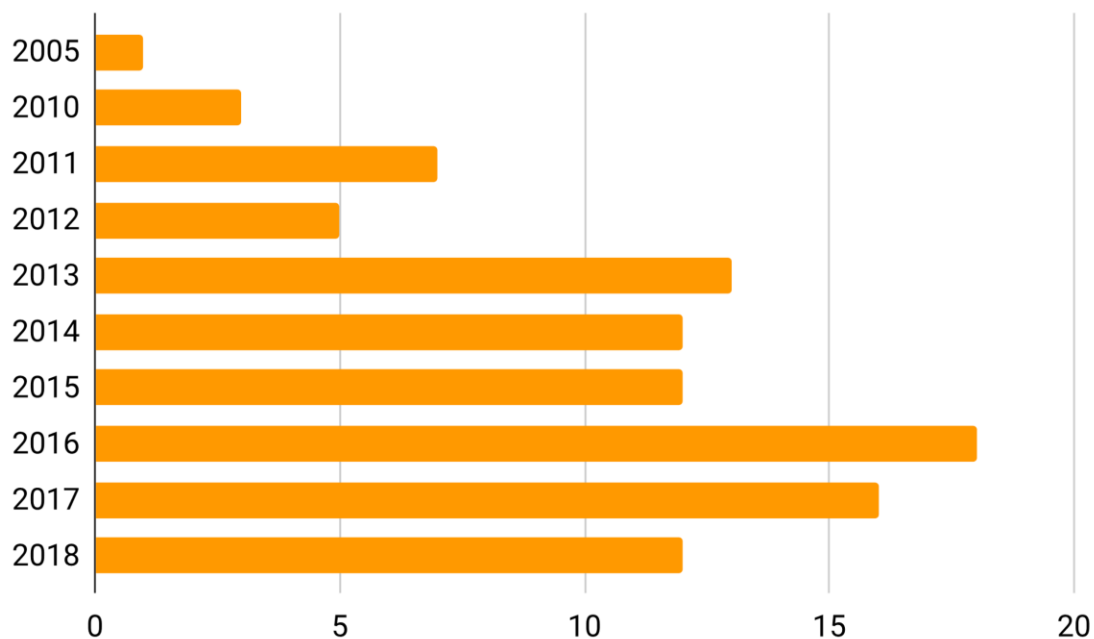
Visando organizar e objetivar a análise de dados, foram selecionados parâmetros de pesquisa, a partir dos principais temas abordados nos 99 artigos. No primeiro parâmetro, denominado - utilização do equipamento em campo – foram incluídos artigos que apresentam as diferentes maneiras de instalação dos equipamentos no ambiente natural, levando em conta critérios específicos. O segundo parâmetro, denominado - desenvolvimento de equipamentos – incluiu artigos que descrevem o processo de desenvolvimento de equipamentos com novas tecnologias. O terceiro parâmetro - transmissão de dados – abordou estudos que envolvem as técnicas para realizar a extração e a transmissão de dados dos equipamentos para posterior análise ou para análises em tempo real. O parâmetro – programação – envolveu publicações a respeito de programação no desenvolvimento de algoritmos, visão computacional, entre outros aspectos. No parâmetro - tratamento de dados – foram incluídos artigos que tratam da utilização de softwares e outras técnicas para análise, organização, armazenamento e extração de dados. O sexto e último parâmetro - sistemas similares – incluiu artigos que apresentam sistemas similares às armadilhas fotográficas nas tarefas de monitoramento ambiental.

Com a classificação dos artigos analisados nos seis parâmetros, foi possível obter uma representação cronológica e um panorama a respeito das principais publicações sobre uso de armadilhas fotográficas.

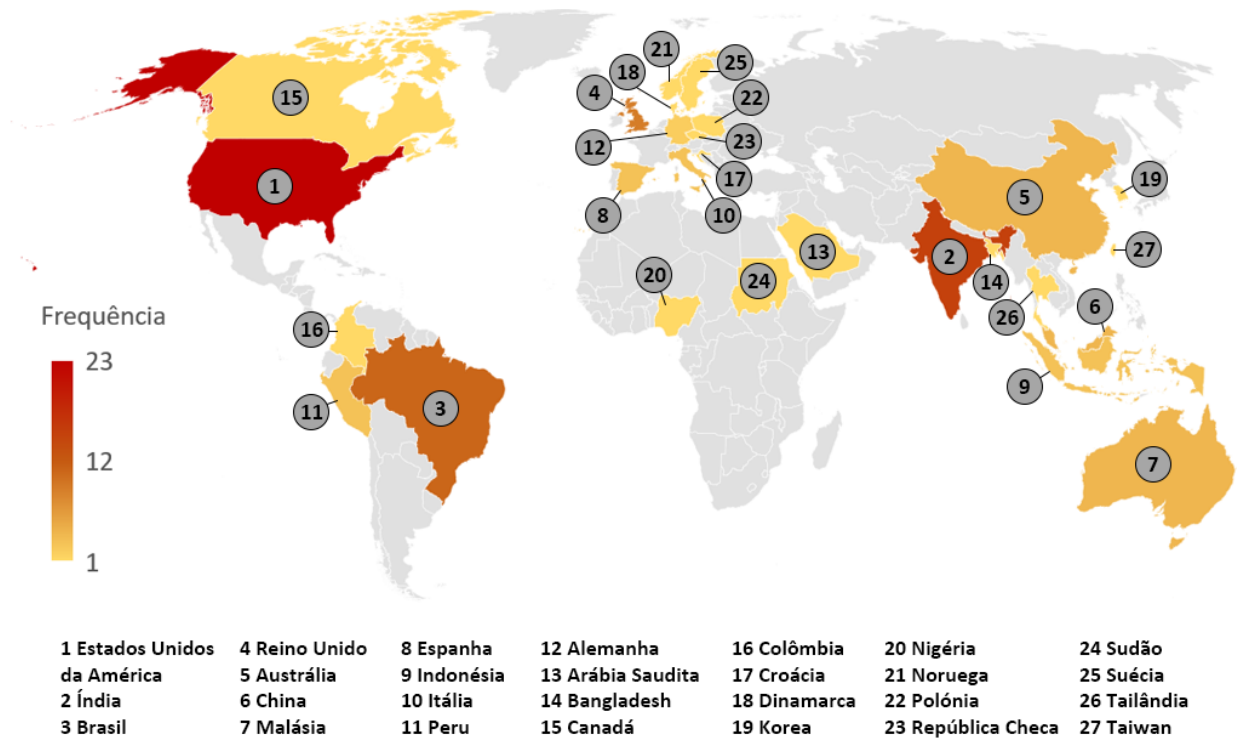
**2. Cenário atual de publicações:** Com a análise dos dados coletados na revisão bibliográfica sistematizada foi possível verificar que, no período entre os anos de 2010 e 2018, houve maior quantidade de publicações no ano de 2016, com 18 resultados. O Gráfico 1 permite também observar que o número de publicações vem crescendo a partir de 2013, o que sugere a popularização de pesquisas envolvendo armadilhas fotográficas. Neste gráfico, são apresentadas as duas publicações incluídas no último filtro, que se referem aos anos de 2005 e 2012.

O Gráfico 2 apresenta a frequência das publicações por países, durante o período definido, com o resultado de 27 países. Os países foram numerados em ordem ascendente sendo que, para Estados Unidos da América, foram encontrados 26 resultados, somando-se os dois artigos incluídos no último filtro de pesquisa.

Os quatro países que apresentaram mais resultados, representando 60% do total, foram Estados Unidos da América, Índia, Brasil, e Reino Unido. Observa-se que o Brasil possui grande representatividade, uma vez que a pesquisa foi realizada parcialmente no idioma português, tendendo a uma maior frequência de resultados. Para os Estados Unidos da América, dois autores se destacaram por estar presentes em conjunto, em quatro trabalhos científicos diferentes.



**Gráfico 1.** Quantidade de publicações por ano no período 2010 e 2018. Com a inclusão do ano 2005 devido a um artigo de citação da literatura utilizada. Fonte: Autores.



**Gráfico 2.** Frequência de publicações por país. Fonte: Autores.

**3. Discussão:** Procurando aprofundar um pouco mais os temas, neste artigo serão discutidas apenas as principais publicações que atenderam aos parâmetros de pesquisa “Utilização do equipamento” e “Tratamento de dados”. A justificativa para essa escolha foi baseada na necessidade inicial de conhecer as principais vantagens e limitações na utilização de armadilhas fotográficas em campo, os principais critérios de instalação e as estratégias mais adotadas para o tratamento dos dados obtidos. No total, foram obtidos 68 artigos dos parâmetros acima, sem exclusão de artigos duplicados entre os dois parâmetros.

**3.1 Critérios para instalação de armadilhas fotográficas:** O posicionamento geográfico se conforma como um critério importante na utilização de armadilhas fotográficas em pesquisas de campo, assim como a quantidade de locais de amostragem e o tempo em que os equipamentos permanecerão em atividade. Apesar de cada estudo realizado com a utilização de armadilhas fotográficas em diferentes habitats se apresentar como um caso único, algumas escolhas ou critérios contribuem para a obtenção de resultados mais confiáveis.

Em geral, não há uma padronização no posicionamento geográfico das câmeras. Locais aleatórios são escolhidos com a ajuda de equipamentos de GPS – *Global Positioning System*, assim como a distribuição de câmeras perto de trilhas, fontes de água e alimento [6–8].

Três categorias de configurações geográficas das armadilhas são apresentadas por Meek et al. [6], que consistem em alocações aleatórias, colocação sistemática com intervalos regulares e colocação tendenciosa. A primeira ocorre geralmente pelas limitações geográficas do local. A segunda é realizada em malhas uniformes, ou seja, em distâncias constantes. E a terceira foca em pontos para maximizar a detecção de uma determinada espécie em particular, perto de fontes de alimento e água. Para os autores, a distância entre as armadilhas deve ser executada de forma a obter um número relevante de indivíduos para as amostras e diminuir a zero a probabilidade de um indivíduo não ser capturado em foto.

Contudo, outras variações de posicionamento geográfico também se mostram satisfatórias, tais como nas pesquisas empreendidas por Bernard et al. [9] e Kays et al. [10]. Na *Imbak Canyon Conservation Area*, situada em Borneo/Malásia (<http://imbakcanyon-borneo.com.my>), as armadilhas foram dispostas em 13 campos de pesquisas espalhados pelo parque. A seleção dos locais foi feita para que o maior número de espécies de mamíferos terrestres pudesse ser capturado em foto. As câmeras foram armadas onde havia alta probabilidade da passagem de mamíferos de pequeno e grande porte [9].

Na ilha Barro Colorado no Panamá, um estudo revelou que as câmeras podem ser colocadas muito mais próximas umas das outras do que é tipicamente feito, podendo gerar dados independentes. Em vez de quilômetros de distância, as câmeras podem ser colocadas a uma distância mínima entre si de 25 metros. Neste caso, a diminuição da distância entre câmeras pode ser utilizada se a auto correlação espacial é irrelevante ou se as análises forem capazes de distinguir os indivíduos capturados [10].

Juntamente com o posicionamento geográfico de cada equipamento, está a quantidade de armadilhas utilizadas, que estabelecerão a área total coberta por cada estudo. O número de armadilhas fotográficas determinará se a pesquisa é robusta o suficiente para influenciar os dados existentes sobre determinada região [6]. Da mesma forma, representa a conciliação entre coletar os melhores dados possíveis, utilizar eficientemente o número de câmeras disponíveis, de acordo com os recursos financeiros disponíveis. Adicionalmente, a instalação de maior quantidade de equipamentos ao mesmo tempo confere ao estudo maior poder estatístico [7,10].





O programa denominado *Tropical Ecology Assessment and Monitoring Network - TEAM* – criado a partir de uma parceria entre as instituições *Conservation International*, *The Missouri Botanical Garden*, *The Wildlife Conservation Society* e *Smithsonian Institution*, desenvolveu uma metodologia própria para a colocação de armadilhas fotográficas em campo [11]. A metodologia é focada em maximizar e padronizar a análise dos resultados em todas as regiões estudadas, com a distribuição das armadilhas em malhas uniformes, para que haja uma câmera a cada 2km<sup>2</sup>.

No estudo realizado na *Imbak Canyon Conservation Area*, por Bernard et al. [9], 80 câmeras foram utilizadas para cobrir uma grande área, com uma força tarefa de 100 pessoas para implantar todas as armadilhas fotográficas ao mesmo tempo. Apesar dos problemas com acesso a determinados locais e com o mau funcionamento de alguns equipamentos, a pesquisa se mostrou satisfatória para criar um banco de dados inicial da composição da comunidade de mamíferos na região.

No caso da pesquisa realizada por Kays et al. [10], foram utilizadas apenas 20 armadilhas fotográficas. Contudo, a pesquisa durou 1 ano e os equipamentos foram utilizados várias vezes para poder cobrir uma área maior. Seus estudos geraram dados imparciais e únicos sobre as atividades dos animais e sua abundância na região.

O tempo em que cada equipamento ficará em ativa, representa os dias em que uma armadilha fotográfica fica armada e funcionando em um campo de amostragem. Esse tempo se difere do tempo da pesquisa, que consiste na duração da pesquisa como um todo.

Decidir o tempo que uma câmera ficará implantada se reflete na probabilidade de capturar determinada espécie e o número de locais de amostragem que poderão ser estudados [7,10]. Ao estender o período que uma armadilha fica na ativa, aumenta-se a precisão dos dados estimativos da passagem de animais pelo local [10].

Alguns estudos e regiões talvez exijam a retirada da armadilha fotográfica diariamente para evitar que o equipamento seja roubado ou vandalizado. Além disso, é importante conhecer a duração da bateria do equipamento utilizado [12]. O estudo de Kays et al. [10] mostrou que a duração das baterias era de aproximadamente 30 dias. Em contraponto ao estudo realizado por Prinz et al. [13], as baterias duravam 7 dias antes de serem trocadas.

O grupo *TEAM* recomenda que as câmeras permaneçam em campo por no mínimo 30 dias [11]. A pesquisa realizada no *Imbak Canyon Conservation Area* se difere na recomendação do grupo *TEAM* apenas nas armadilhas fotográficas próximas à assentamentos humanos e plantações. Neste caso, os equipamentos ficaram em atividade por apenas 10 dias para evitar furtos e depredação, enquanto as câmeras instaladas na floresta da Unidade de Conservação permaneceram por 60 dias [9]. O estudo realizado na ilha Barro Colorado utilizou uma metodologia diferente dos casos anteriores. As armadilhas fotográficas ficavam 8 dias em um campo de amostragem e, após retirada do cartão de memória para análise dos dados, os equipamentos eram movidos para uma nova localização [10].

Diferentes linhas de pesquisa integram organizações internacionais, universidades e agências nacionais que oferecem treinamento, auxiliam no projeto, na análise, no gerenciamento e no controle dos dados obtidos com armadilhas fotográficas em áreas protegidas [14]. Outra forma de obter resultados e realizar monitoramentos ambientais em grandes áreas é com o auxílio de voluntários. O programa *eMammal* utiliza voluntários para monitorar 32 parques em seis estados dos Estados Unidos da América com a possibilidade de expandir a área total pesquisada [15].

Outros equipamentos foram desenvolvidos em pesquisas com funcionalidades e atributos não convencionais para coletar dados sobre diversos ecossistemas. Destacaram-se na pesquisa bibliográfica empreendida, o sistema de coleta de amostra de pelos e peso corporal para animais de pequeno porte [16]; o sistema de disparo eletrônico que transforma câmeras digitais em um armadilha fotográfica [17]; a sincronização das armadilhas fotográficas para obtenção de fotos de ambos os lados dos animais que possuem padrões de pelagem [18]; e uma armadilha fotográfica subaquática capaz de ser controlada até mil e quinhentos metros de profundidade [19].

**3.2 Tratamento de imagens e vídeos coletados por armadilhas fotográficas:** Publicações de resultados de pesquisas, em geral, oferecem ao leitor um panorama detalhado a respeito do planejamento e da metodologia empregada para a coleta e o tratamento dos dados. Essa abordagem permite que qualquer aspecto possa ser replicado e os resultados comparados por outros pesquisadores. Na utilização de armadilhas fotográficas, a possibilidade de replicar estudos vêm sendo afetada pela rápida inovação tecnológica. Os fatores mais importantes são a variabilidade na performance dos equipamentos, a ampla gama de configurações de dispositivos, e as diversas maneiras de instalação dos equipamentos em campo, como visto no tópico anterior. De igual maneira, diferenças na codificação, no processamento e na análise também podem afetar a interpretação dos dados [6].

Para obter sucesso com o tratamento de dados de armadilhas fotográficas, alguns conceitos são relevantes para servir de base durante o processo de análise das imagens (neste trabalho, o termo imagem se refere tanto a imagens como a vídeos), entre eles, a definição de um evento e imagens em branco. O termo evento “se refere à presença de um animal, em uma ocasião única em uma localidade, que é detectado por um sensor e documentado por uma câmera” [6].

As imagens geradas pelos equipamentos nem sempre apresentam a detecção de animais. Muitas vezes não são geradas imagens visíveis ou possíveis de serem analisadas. Meek et al. [6] definem imagens em branco “como um *frame* ou uma sequência de *frames* que não contém animais”. Movimentações de origem diversas no campo de visão do sensor, ou a ocorrência de um *delay* na captura do animal, são fatos geradores das chamadas imagens em branco ou “falso positivo” [20].

Capturas de imagens falso-positivas impactam na redução do tempo operacional de câmeras e baterias, bem como no volume de dados a serem analisados. Sobre este aspecto, soluções para o processamento de imagens a bordo podem ser desenvolvidas, como sinalizado por Nazir et. Al. [20]. O equipamento *WiseEye*, desenvolvido para melhorar a confiabilidade da detecção, introduz um sensor de radar para confirmar detecções PIR – *Passive Infra-Red* – como possivelmente

verdadeiras e a capacidade do *Raspberry Pi* para processamento de imagens. A pesquisa utilizou subtração de fundo em tempo real, *on-board*, e eliminou todas as imagens falso-positivas gravadas pelo *WiseEye*. Os autores ressaltam que as duas abordagens oferecem potencial para pesquisas mais eficientes, bem como para o armazenamento e a extração de dados pós-coleta.

Na prática, quanto maior o tempo de coleta de dados, quanto maior a quantidade de eventos, de imagens em branco ou falso positivo, maior a quantidade de dados a serem analisados. Em geral, é feita uma triagem manual por biólogos, tornando-se uma tarefa demorada. As etapas seguintes de armazenar, catalogar e extrair os dados tornam-se um desafio reportado recorrentemente por vários pesquisadores [20].

A tarefa de organização e análise de imagens pode se tornar mais eficiente, com o desenvolvimento de sistemas tecnológicos de classificação e reclassificação de imagens com atualizações periódicas. O sistema desenvolvido por Thomassen [21], por exemplo, classificou e rotulou automaticamente imagens tiradas pelas câmeras de armadilhas fotográficas. Com a utilização de Redes Neurais de Convoluções (CNNs) e computadores *Raspberry Pi*, o projeto Observatório Ecológico Climático para a Tundra Ártica (COAT) implantou dezenas de câmeras no Leste de Finnmark, na Noruega, visando documentar os efeitos das mudanças climáticas nos ecossistemas animais.

Com outro tipo de abordagem, mas visando a simplificação nos métodos de arquivamento e extração de dados de armadilhas fotográficas, Sundaresan, Riginos e Abelson [22] sugerem softwares com capacidade de tornar mais intuitiva e inteligente a manipulação de imagens. A planilha do tipo *PhotoSpread*, desenvolvida por biólogos e engenheiros de computação da *Stanford University*, se configura como um aplicativo de código aberto para o gerenciamento de grandes conjuntos de imagens. As imagens podem ser marcadas com metadados ou informações sobre espécie, comportamento, número de indivíduos, etc. Programas comerciais de gerenciamento de fotos como o Picasa ou F-spot, oferecem recursos para aperfeiçoar a análise de imagens, também com atribuição de metadados. Especificamente quanto ao Picasa, os autores ressaltam o recurso da publicação *on-line* das fotos, permitindo o compartilhamento entre colaboradores/pesquisadores diferentes que estão identificando animais individuais em uma área de abrangência maior.

Em relação à extração de dados, é importante observar que os sistemas que requerem a retirada de cartões de memória periodicamente dos equipamentos instalados em campo para a recuperação de dados e posterior análise provocam interferências no *habitat* em observação. A utilização da tecnologia de internet sem fio possibilita, especialmente em casos de extrema proximidade entre equipamento e animal, a transmissão e o *upload* de arquivos para serviços de nuvem, que armazenam grande quantidade de dados. Uma das vantagens desse sistema é a possibilidade de reprogramar o equipamento, com base na análise em tempo real das imagens capturadas [13]. Complementarmente, pode ser realizado o tratamento imediato das imagens após serem obtidas pelo equipamento, e posteriormente enviadas via internet sem fio para um computador hospedeiro [23].

Muito embora a tecnologia de internet sem fio não esteja disponível na maioria das pesquisas de campo, há alternativas de utilização de *Raspberry Pi* programado para usar conexões de dados celulares 3G/4G [13] e de sistema de geração de imagens sem fio, escalável e de baixa potência [24]. Para tanto, os projetos de armadilhas fotográficas precisam acompanhar os mesmos avanços tecnológicos nas comunicações digitais, que outras áreas de monitoramento ambiental estão adotando [20].

Aprimoramentos observados na aquisição de dados para monitoramento ambiental vêm impulsionando várias áreas de estudo, provocando uma revolução tecnológica. A “tecnocologia” [25], direcionada à tecnologia física de ponta, proporciona a aquisição de novos volumes e novas formas de dados e vem acontecendo a partir de três conceitos: o *supersize*, em que se observa a expansão da prática contemporânea, o *step-change*, em que a tecnologia é utilizada para abordar questões que antes não eram possíveis e a mudança radical, quando se exploram perguntas não imaginadas anteriormente.

Nesse cenário, várias pesquisas avançam com a utilização de softwares que comparam padrões de imagens para identificação de indivíduos [26–28]; com o desenvolvimento de infraestrutura cibernética no compartilhamento de dados entre vários países, em tempo real [29]; com a combinação de imagens obtidas entre armadilhas fotográficas e modelos de captura-recaptura de animais [30]; com sensores de presença [31]; com reproduções de áudio [32]; e com captura de áudio em ninhos artificiais [13]. Coletas de dados via rádio também vêm sendo desenvolvidas, em que as armadilhas geram uma rede de rádio onde os dados são coletados por um veículo aéreo não tripulado [33].

**4. Considerações finais:** Com a pesquisa sistematizada, foi possível reunir informações sobre a utilização de armadilhas fotográficas e protocolos de tratamento de dados, publicadas por países de quase todos os continentes. Verificou-se que a instalação de armadilhas fotográficas em campo pode ser realizada aleatoriamente com o auxílio de equipamentos GPS, mas também pode depender de fatores relacionados tanto aos hábitos dos animais em estudo, quanto ao número de equipamentos ou ao montante de recursos disponíveis. Embora existam guias sugerindo o tipo adequado de equipamento e os meios para gerenciar e analisar os dados obtidos com armadilhas fotográficas [6], cada estudo se torna muito particular para cada tipo de resultado que se pretende obter.

Os resultados das pesquisas publicadas demonstram um esforço em aprimorar as metodologias de pesquisas com armadilhas fotográficas e o desenvolvimento de equipamentos mais robustos, confiáveis, adaptáveis e versáteis. O ritmo dessa evolução tecnológica vem sendo, em parte, determinado pelo ritmo com que os profissionais da ecologia e ciências ambientais adotam novas tecnologias [25].

Por outro lado, os resultados sugerem que, além das adversidades climáticas e falhas nos equipamentos, observadas por [1], os pesquisadores enfrentam problemas com vandalismo, com

dificuldades para acesso em florestas densas, com falhas na obtenção e tratamento de imagens, bem como nas dificuldades em transmitir dados em áreas isoladas. Sobre estes e outros aspectos comentados ao longo do artigo, percebem-se que estratégias podem ser desenvolvidas visando ampliar a margem de segurança, com a utilização de técnicas ou equipamentos combinados de detecção/alarmede roubo e vandalismo. O desenvolvimento de equipamentos de baixo custo também pode contribuir para rápida reposição de unidades danificadas bem como para cobrir uma área maior de monitoramento. A combinação de armadilhas fotográficas com sensores de presença, de temperatura e umidade, visão noturna, qualidade superior de imagem, sistema interno de pré-identificação de espécies, entre outros, possibilitam análises mais completas do comportamento dos animais, bem como de fatores externos intervenientes dos ecossistemas estudados.

### Referências bibliográficas

- (1) Srbek-Araujo AC, Chiarello AG. Armadilhas fotográficas na amostragem de mamíferos: considerações metodológicas e comparação de equipamentos. *Rev Bras Zool.* 2007;24(3):647–56.
- (2) Peres PHF, Polverini MS, Oliveira ML, Duarte JMB, Peres PHF, Polverini MS, et al. Accessing camera trap survey feasibility for estimating *Blastocerus dichotomus* (Cetartiodactyla, Cervidae) demographic parameters. *Iheringia Série Zool.* 27 de novembro de 2017;107(0).
- (3) Tobler MW, Carrillo-Percastegui SE, Leite Pitman R, Mares R, Powell G. An evaluation of camera traps for inventorying large-and medium-sized terrestrial rainforest mammals. *Anim Conserv.* 2008;11(3):169–78.
- (4) INSTITUTO CAETÉ-AÇU [Internet]. [citado 11 de agosto de 2019]. Available at: <http://institutocaete.eco.br/>
- (5) Kitchenham B, Charters S. Guidelines for performing Systematic Literature reviews in Software Engineering Version 2.3. *Engineering.* 2007;45(4ve):1051.
- (6) Meek PD, Ballard G, Claridge A, Kays R, Moseby K, O'Brien T, et al. Recommended guiding principles for reporting on camera trapping research. *Biodivers Conserv.* 2014;23(9):2321–43.
- (7) Rovero F, Meek PD, Paul M. “Which camera trap type type and and how how many many do do I need?” A review of camera features and study designs for a range of wildlife research applications. *Hystrix, Ital J Mammology.* 2013;24(February):148–56.
- (8) Sanderson J, Trolle M. Monitoring Elusive Mammals. *Am Sci.* 2005;93(2):148.
- (9) Bernard H, Hamid Ahmad A, Brodie J, Giordano AJ, Lakim M, Amat R, et al. Camera-Trapping Survey of Mammals in and Around Imbak Canyon Conservation. *Raffles Bull Zool.* 2013;61(2):861–70.



- (10) Kays R, Tilak S, Kranstauber B, Jansen PA, Carbone C, Rowcliffe MJ, et al. Monitoring wild animal communities with arrays of motion sensitive camera traps. eprint arXiv:10095718. 2010;
- (11) Fegraus EH, Lin K, Ahumada JA, Baru C, Chandra S, Youn C. Data acquisition and management software for camera trap data: a case study from the TEAM Network. *Ecol Inform.* 2011;6(6):345–53.
- (12) Meek P, Ballard G, Fleming PJS. An introduction to camera trapping for wildlife surveys in Australia. Vol. 14, NSW Department of Primary Industries. Orange, Australia: Invasive Animals Cooperative Research Centre; 2012. 2515–2525 p.
- (13) Prinz ACB, Taank VK, Voegeli V, Walters EL. A novel nest-monitoring camera system using a Raspberry Pi micro-computer. *J F Ornithol.* 2016;87(4):427–35.
- (14) Li S, Wang D, Gu X, McShea WJ. Beyond pandas, the need for a standardized monitoring protocol for large mammals in Chinese nature reserves. *Biodivers Conserv.* 2010;19(11):3195–206.
- (15) McShea WJ, Forrester T, Costello R, He Z, Kays R. Volunteer-run cameras as distributed sensors for macrosystem mammal research. *Landsc Ecol.* 2015;31(1):55–66.
- (16) Bosch S, Spiessl M, Müller M, Lurz PWW, Haalboom T. Mechatronics meets biology: Experiences and first results with a multipurpose small mammal monitoring unit used in red squirrel habitats. *Hystrix.* 30 de dezembro de 2015;26(2):169–72.
- (17) Rico-Guevara A, Mickley J. Bring your own camera to the trap: An inexpensive, versatile, and portable triggering system tested on wild hummingbirds. *Ecol Evol.* 2017;7(13):4592–8.
- (18) Simasathien C, Jansang A, Jaikaeo C, Kheawwan N, Phonphoem A, Duangchantrasiri S. Camera Trap Synchronization for Wildlife Monitoring System. *Int Conf Inf Converg Technol Smart Soc.* 2015;(May):1–4.
- (19) Berkenpas EJ, Henning BS, Shepard CM, Turchik AJ. The Driftcam: A buoyancy controlled pelagic camera trap. *Proc Ocean 2013.* 2013;1–6.
- (20) Nazir S, Newey S, Justin Irvine R, Verdicchio F, Davidson P, Fairhurst G, et al. WiseEye: Next Generation Expandable and Programmable Camera Trap Platform for Wildlife Research. 2017;
- (21) Thomassen S. Embedded analytics of animal images. [Norway]: The Arctic University of Norway; 2017.
- (22) Sundaresan SR, Riginos C, Abelson ES. Management and analysis of camera trap data:



alternative approaches. *Bull Ecol Soc Am.* 1 de abril de 2011;92(2):188–95.

- (23) Ahmad A, Muzakkir M, Nadzri M, Rosli IM, Amira A. Rapid Prototyping of Wireless Image Transmission for Wildlife ( Tiger ) Monitoring System - A Preliminary Study. 2017;10(2):75–9.
- (24) Paek J, Hicks J, Coe S, Govindan R. Image-based environmental monitoring sensor application using an embedded wireless sensor network. *Sensors (Switzerland).* 28 de agosto de 2014;14(9):15981–6002.
- (25) Allan BM, G. ND, Daniel I, Jeremy V, Pin KL, G. RE. Futurecasting ecological research: the rise of technoecology. *Ecosphere.* 2018;9(5):e02163.
- (26) Bolger DT, Morrison TA, Vance B, Lee D, Farid H. A computer-assisted system for photographic mark-recapture analysis. *Methods Ecol Evol.* outubro de 2012;3(5):813–22.
- (27) Zhang Z, He Z, Cao G, Cao W. Animal Detection from Highly Cluttered Natural Scenes Using Spatiotemporal Object Region Proposals and Patch Verification. *IEEE Trans Multimed.* 2016;18(10):2079–92.
- (28) Elias AR, Golubovic N, Krintz C, Wolski R. Where’s The Bear? 2017 IEEE/ACM Second Int Conf Internet-of-Things Des Implement. 2017;247–58.
- (29) Youn C, Chandra S, Fegraus EH, Lin K, Baru C. TEAM network: Building web-based data access and analysis environments for ecosystem services. In: *Procedia Computer Science.* 2011. p. 146–55.
- (30) Karanth KU, Nichols JD. Estimation of Demographic Parameters in a Tiger Population from Long-term Camera Trap Data BT - Camera Traps in Animal Ecology Methods and Analyses. In: *Camera Traps in Animal Ecology Methods and Analyses.* Tokyo: Springer Japan; 2011. p. 145–61.
- (31) Garrett Tietz, Webb A, Knutson D. Wildlife Deterrence Method Test Device. *Mechanical Engineering.* California Polytechnic State University; 2014.
- (32) Lendvai ÁZ, Akçay Ç, Weiss T, Hausmann MF, Moore IT, Bonier F. Low cost audiovisual playback and recording triggered by radio frequency identification using Raspberry Pi. *PeerJ.* 7 de abril de 2015;3:e877.
- (33) Camacho L, Baquerizo R, Palomino J, Zarzosa M. Deployment of a Set of Camera Trap Networks for Wildlife Inventory in Western Amazon Rainforest. Vol. PP, *IEEE Sensors Journal.* 2017. 1 p.