

**UNIVERSIDADE DO VALE DO RIO DOS SINOS – UNISINOS  
UNIDADE ACADÊMICA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM BIOLOGIA  
NÍVEL DOUTORADO**

**TAMARA JUSTO FALAVIGNA**

**AVIFAUNA NOS PARQUES EÓLICOS DO EXTREMO SUL DO BRASIL**

**São Leopoldo**

**2019**

Tamara Justo Falavigna

AVIFAUNA NOS PARQUES EÓLICOS DO EXTREMO SUL DO BRASIL

Tese apresentada como requisito parcial para  
obtenção do título de Doutora em Biologia pelo  
programa de Pós - Graduação em Biologia da  
Universidade do Vale do Rio dos Sinos –  
UNISINOS

Área de concentração: Diversidade e Manejo de  
Vida Silvestre

Orientadora: Prof<sup>ª</sup>. Dra. Maria Virginia Petry

São Leopoldo

2019

F177a Falavigna, Tamara Justo.  
Avifauna nos parques eólicos do extremo sul do Brasil / por  
Tamara Justo Falavigna. -- São Leopoldo, 2019.

102 f. : il., mapas color. ; 30 cm.

Com: artigos “Análise dos efeitos dos parques eólicos na avifauna: avaliação das características técnicas e ambientais; Changes in bird species composition after a wind farm installation: a case study in South America; Colisão de aves em parques eólicos de ambientes subtropicais da América do Sul: análise de risco, relações com a estrutura de geração dos parques, a paisagem e variáveis climáticas”.

Tese (doutorado) – Universidade do Vale do Rio dos Sinos,  
Programa de Pós-Graduação em Biologia, São Leopoldo, RS, 2019.  
Área de concentração: Diversidade e Manejo de Vida Silvestre.  
Orientação: Profª Drª Maria Virginia Petry, Escola Politécnica.

1.Impacto ambiental – Avaliação – Rio Grande do Sul. 2.Energia eólica – Rio Grande do Sul. 3.Desenvolvimento sustentável. 4.Aves – Aspectos ambientais. 5.Aves – Mortalidade. I.Petry, Maria Virginia.  
II.Título.

CDU 504.03(816.5)  
504.03(816.5):621.548  
504.03(816.5):598.2

Catálogo na publicação:  
Bibliotecária Carla Maria Goulart de Moraes – CRB 10/1252

## AGRADECIMENTOS

Agradeço à minha orientadora e amiga Profa. Dra. Maria Virginia Petry, primeiro por aceitar o desafio de ingressar no mundo dos ventos, segundo, por confiar que eu seria capaz de chegar até o fim com sucesso. Sou grata também pela oportunidade de trabalhar com sua equipe no continente gelado, foi uma das experiências mais incríveis que tive.

À Celulose Irani S/A pelo apoio financeiro do projeto e, em especial, ao Péricles Pereira Druck que acreditou e acredita no desenvolvimento eólico como forma de mudança ambiental e social. E, ao Ruy Michel Filho, por ter acompanhado de perto o desenvolvimento do projeto.

À FEPAM, em especial aos biólogos Cleonice Kazmirczak e Luciano Messa da Divisão de Geração de Energia, pelo empenho em disponibilizar o acesso aos relatórios de monitoramento de fauna dos parques eólicos.

Ao Éberson José Thimming Silveira da Secretaria de Minas e Energia por sempre disponibilizar informações com muita presteza.

Ao meu marido, Rogério Krüger, que abraçou junto comigo este desafio, aceitando com paciência e amor as minhas ausências, o meu nervosismo e acima de tudo, cuidando do nosso filho. Ao meu filhote, Arthur, que ilumina os meus dias, agradeço o amor que recebo, porque me dá forças pra querer ser alguém melhor.

Ao meu colega e amigo Dr. Daniel Pereira pela parceria que já vem desde a graduação, pelas discussões valorosas e colaboração para os capítulos II e III. Ao Dr. David Santos de Freitas pela análise estatística e colaboração no capítulo I.

Aos meus colegas do Laboratório de Ornitologia e Animais Marinhos, Luiz Liberato Costa Corrêa, Gustavo Francisco Aver, Renata De Boni Dal Corno, Júlia Victória Grohmann Finger, Victória Renata Fontoura Benemann, Antônio Coimbra de Brum, César Rodrigo dos Santos, Douglas Ribeiro da Silva, Renata Brentano e a todos que permanecem e/ou passaram pelo laboratório. Ao Luiz Carlos de Almeida Barboza, bolsista de IC do projeto, pelo comprometimento com a compilação dos dados que exigiu muita dedicação, concentração e disposição.

Aos professores (as), pesquisadores (as) que aceitaram participar como membros avaliadores de minha tese, sou grata por suas presenças e considerações. Além disso, agradeço a todos os professores (as), pesquisadores (as), amigos (as) e familiares, que de forma direta ou indireta contribuíram para minha conquista. Por fim, sou grata a Deus por todas as oportunidades recebidas na minha vida.

*“Talvez não tenha conseguido fazer o melhor, mas lutei para que o melhor fosse feito.*

*Não sou o que deveria ser, mas Graças a Deus, não sou o que era antes”.*

**Marthin Luther King**

## RESUMO

Definitivamente a energia eólica está inserida à matriz energética mundial e existem políticas públicas para a continuidade do seu desenvolvimento. O Brasil também aderiu ao uso desta fonte e o Rio Grande do Sul (RS) ocupa o quarto lugar em potência instalada, explorando, aproximadamente 1,7% do seu potencial eólico, em 18 complexos em operação comercial. Uma questão central observada no discurso em apoio à energia eólica é a busca pelo desenvolvimento sustentável, uma vez que a fonte oferece benefícios ambientais, como: redução da necessidade de fontes não renováveis, como carvão e petróleo, com conseqüente redução da emissão dos gases de efeito estufa, redução do uso da água e redução da destruição de habitat. Entretanto, a instalação deste tipo de energia representa também a geração de impactos negativos, especialmente sobre a comunidade de aves pela colisão com as turbinas eólicas. A avaliação deste impacto é comumente feita através dos registros de fatalidade e muitos modelos foram desenvolvidos para prever este risco, na tentativa de equilibrar os riscos e os benefícios em prol da minimização dos efeitos ambientais adversos. Assim, os objetivos do presente estudo foram: (i) avaliar a riqueza, composição de espécies e mortalidade de aves nos parques eólicos em operação no RS, comparando três regiões de implantação; (ii) verificar como as características técnicas dos parques eólicos, fatores ambientais e a paisagem afetam a taxa de mortalidade; (iii) avaliar três fases de um parque eólico: pré-implantação, implantação e operação quanto a composição de espécies de aves, guildas de ambiente e mortalidade e (iv) adaptar e aplicar um índice de risco de colisão. Desta forma, foram obtidos dados secundários de avifauna oriundos de relatórios de monitoramento de fauna submetidos à agência ambiental do RS de 11 parques eólicos em operação localizados em três regiões: Coxilha de Santana, Litoral Norte e Litoral Sul. Foram registradas 315 espécies de aves em todos os parques eólicos, sendo a maioria residente, insetívora e de área aberta. A composição de espécies é diferente nas três regiões, no entanto para os óbitos não existe diferença entre as regiões. As características técnicas dos parques e os fatores ambientais avaliados não possuem relação com as espécies que morreram, no entanto quando a estrutura da paisagem é acrescentada este padrão se modifica. A taxa média de mortalidade observada foi 0,494 ind./turbina/ano e a taxa de mortalidade estimada foi 1,154, sendo semelhante com resultados encontrados em outros parques eólicos nos Estados Unidos e Espanha. A avaliação da composição de espécies nas três fases de um parque eólico mostrou que a fase de pré-implantação é diferente dos quatro anos de operação, indicando um possível impacto da operação do parque sobre a avifauna. Os resultados obtidos demonstram que se deve ter cuidado ao analisar os efeitos dos parques

eólicos sobre as aves, especialmente na ausência de estudos de longo prazo para confirmar as tendências de impacto. O índice de risco proposto considerou apenas características morfológicas e etológicas das espécies. Contudo, as colisões que foram registradas e avaliadas neste estudo estão acontecendo, na sua maioria, com espécies que apresentam de médio a baixo risco de colisão e o que estaria explicando as colisões não seriam as espécies em si, mas a estrutura da paisagem e algumas características dos parques eólicos. Assim, é fundamental o desenvolvimento de estudos para aprimorar ou criar um novo índice, testando a inclusão de diferentes fatores como a estrutura da paisagem, frequência de ocorrência e ocupação do espaço aéreo, a fim de conduzir a resultados mais próximos da realidade, buscando a melhor conservação da avifauna nas instalações eólicas.

**Palavras-chave:** Impacto ambiental. Energia renovável. Colisão. Taxa de mortalidade.

## ABSTRACT

Wind energy has definitely been integrated into the world energy matrix and there are public policies for the continuity of its development. Brazil also adhered to the use of this source and Rio Grande do Sul (RS) occupies the fourth place in installed capacity, exploring approximately 1.7% of its wind potential in 18 wind farms in commercial operation. A main issue observed in the discourse in support of wind energy is the search for sustainable development, since the source offers environmental benefits, such as: reducing the need for non-renewable sources, like coal and oil, with a consequent reduction of water use and reduction of habitat destruction. However, the installation of this type of energy also represents a generation of negative impacts, especially on the community of birds by the collision with the wind turbines. The assessment of this impact is commonly done through fatality records and many models have been deployed to predict this risk in an attempt to balance the risks and benefits in order to minimize adverse environmental effects. Thus, the objectives of this work were: (i) to evaluate the species composition, richness and bird mortality in the wind farms in RS, comparing the regions of implantation; (ii) to verify how the technical characteristics of the wind farms, environmental factors and landscape affect the mortality rate; (iii) to evaluate three phases of a wind farm: pre-construction, construction and operation regarding the composition of bird species, environment guilds and mortality, and (iv) propose a collision risk index. In this way, secondary avifauna data were obtained from fauna monitoring reports submitted to the RS environmental agency of 11 operating wind farms located in three regions: Coxilha de Santana, North Coast and South Coast. A total of 315 bird species were registered in all wind farms, the majority being resident, insectivorous and from open area. The species composition is different in the three regions, however, for mortality this pattern is not repeated. The technical characteristics of the wind farms and the evaluated environmental factors do not have relation with the species that died, although when the landscape structure is added this pattern changes. The average mortality rate observed was 0.494 individual/turbine/year and the mortality rate estimated was 1.154, being similar with results found in other wind farms in the United States and Spain. The evaluation of the composition of species in the three phases of a wind farm showed that the pre-construction phase is different from the four years of operation, indicating a possible impact of the operation of the wind farm on the bird community. The results show that care must be taken when analyzing the effects of wind farms on birds, especially in the absence of long-term studies to confirm impact trends. The proposed risk index considered only morphological and ethological characteristics of the species. However, the collisions that were



recorded and evaluated in this study are mostly occurring with species that present medium to low collision risk and what would explain the collisions would not be the species themselves, but the structure of the landscape and some characteristics of wind farms. Thus, it is fundamental to develop studies to improve or to unravel a new index, testing the inclusion of different factors, in order to lead to results closer to reality, seeking the best conservation of avifauna in wind farms.

**Key-words:** Environmental impact. Renewable energy. Collision. Mortality

## SUMÁRIO

<b>1 APRESENTAÇÃO .....</b>	<b>9</b>
<b>2 MARCO TEÓRICO.....</b>	<b>11</b>
<b>3 REFERÊNCIAS .....</b>	<b>19</b>
<b>4 CAPÍTULO I .....</b>	<b>25</b>
<b>ANÁLISE DOS EFEITOS DOS PARQUES EÓLICOS NA AVIFAUNA: AVALIAÇÃO DAS CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS E AMBIENTAIS .....</b>	<b>25</b>
Resumo .....	26
1. Introdução.....	27
2. Material e Métodos.....	28
3. Resultados.....	31
4. Discussão .....	38
5. Conclusão .....	40
Referências .....	41
<b>5 CAPÍTULO II.....</b>	<b>47</b>
<b>CHANGES IN BIRD SPECIES COMPOSITION AFTER A WIND FARM INSTALLATION: A CASE STUDY IN SOUTH AMERICA .....</b>	<b>47</b>
Abstract.....	48
1. Introduction .....	48
2. Material and Methods.....	50
3. Results .....	51
4. Discussion.....	56
5. Conclusions .....	58
References .....	58
<b>6 CAPÍTULO III .....</b>	<b>69</b>
<b>COLISÃO DE AVES EM PARQUES EÓLICOS DE AMBIENTES SUBTROPICAIS DA AMÉRICA DO SUL: ANÁLISE DE RISCO, RELAÇÕES COM A ESTRUTURA DE GERAÇÃO DOS PARQUES, A PAISAGEM E VARIÁVEIS CLIMÁTICAS .....</b>	<b>69</b>
Resumo .....	70
1. Introdução.....	71
2. Material e Métodos.....	72
3. Resultados.....	75
4. Discussão .....	76
5. Conclusão .....	80
Referências .....	80
<b>7 CONSIDERAÇÕES FINAIS.....</b>	<b>101</b>

## 1 APRESENTAÇÃO

A presente tese é pré-requisito para a obtenção do título de Doutora em Biologia pela Universidade do Vale do Rio dos Sinos. A fonte eólica está inserida na matriz elétrica mundial de forma definitiva, não sendo diferente no Brasil. Desta forma, considerando o potencial de geração de energia eólica que o Brasil e, especialmente, o Rio Grande do Sul (RS) possui, a rápida expansão desta atividade no estado (2005, três parques eólicos e 0,15 GW; 2018, 76 parques eólicos e 1,8 GW) e a carência atual de conhecimento científico que enfatizem os impactos gerados sobre a fauna estadual, são necessários estudos que permitam avaliar e determinar os impactos desta atividade sobre a fauna, especialmente sobre o grupo das aves, uma vez que só assim pode-se determinar quais ações mitigadoras e compensatórias devem ser desenvolvidas e aplicadas para o território gaúcho com sucesso, a partir de informações técnico-científicas que permitam orientar políticas públicas relacionadas à instalação de parques eólicos no RS.

A tese será apresentada com um marco teórico que traz o estado da arte da energia eólica no mundo, no Brasil e no RS. Além de trazer uma ampla revisão bibliográfica das pesquisas realizadas sobre o impacto dos parques eólicos na avifauna. Na sequência serão apresentados os três capítulos em formato de artigos científicos, e, que, portanto, seguirão as normas de formatação de cada periódico escolhido.

**O Capítulo I**, “Análise dos efeitos dos parques eólicos na avifauna: avaliação das características técnicas e ambientais”, faz uma abordagem espacial da riqueza, composição de espécies e os registros de óbitos de aves nos parques eólicos em operação no Rio Grande do Sul, comparando três regiões eólicas onde os parques estão implantados: Coxilha de Santana, Litoral Norte e Litoral Sul e avaliando como as características dos parques eólicos e fatores ambientais afetam a taxa de mortalidade. Este manuscrito será submetido à revista “Environmental Impact Assessment Review” e será apresentado seguindo as normas de formatação do periódico.

**O Capítulo II**, “Changes in bird species composition after a Wind farm installation: a case study in South America”, faz uma abordagem temporal da composição de espécies de aves em três fases de um parque eólico: pré-implantação, implantação e operação e avalia a fatalidade de aves pela colisão com as turbinas eólicas na fase de operação do parque. Este

manuscrito está submetido à revista “Environmental Impact Assessment Review” e será apresentado seguindo as normas de formatação do periódico.

O Capítulo III, “Colisão de aves em parques eólicos de ambientes subtropicais da América do Sul: análise de risco, relações com a estrutura de geração dos parques, a paisagem e variáveis climáticas”, faz uma abordagem da previsibilidade da colisão, avaliando a influência de fatores como a estrutura de geração dos parques eólicos, a estrutura da paisagem e variáveis climáticas sobre os registros de colisões de aves, bem como também adapta e aplica um índice de risco de colisão para os parques eólicos avaliados. Este manuscrito será submetido à revista “Environmental Impact Assessment Review” e será apresentado seguindo as normas de formatação do periódico.

Por fim, será apresentado o tópico “Considerações Finais”, que traz uma análise global dos capítulos apresentados, bem como traz algumas sugestões e recomendações para o melhor encaminhamento dos termos de referência utilizados pelo órgão ambiental do estado do Rio Grande do Sul.

## 2 MARCO TEÓRICO

O rápido crescimento da população humana e o aumento da demanda por energia *per capita* têm elevado o número de projetos de geração de energia e nas mudanças do uso da terra, quer seja por impactos diretos como o alagamento de uma área para a construção de uma represa, quer seja por impactos indiretos como a fragmentação de habitat e rompimento de corredores de migração. (DEGREGORIO et al., 2014). O que se sabe, é que o resultado do aumento da infraestrutura humana, particularmente associado com a extração e o desenvolvimento de energia, representa uma grande ameaça para as populações de vida selvagem. (LIOR, 2008).

Assim, a preocupação com as questões ambientais e a busca pela mitigação das mudanças climáticas levaram diversos países a uma corrida pelo desenvolvimento e inserção de tecnologias de energias renováveis na sua matriz elétrica. Dentre as tecnologias, a energia eólica oferece potencial para a redução das emissões de gases de efeito estufa, sendo o principal uso dessa tecnologia em grandes parques eólicos, continentais (*onshore*) ou marinhos (*offshore*), conectados à rede principal de energia. (AWEA, 2016). Segundo o Painel Intergovernamental para as Mudanças Climáticas (IPCC), o potencial técnico de aproveitamento da energia eólica é maior que a produção mundial de eletricidade, apesar de distribuído de maneira não uniforme entre os países. Considerando barreiras políticas, econômicas e tecnológicas, a energia dos ventos poderia suprir até 20% da demanda mundial de energia elétrica até 2050. (IPCC, 2011).

O aumento crescente no número de parques eólicos é inevitável frente à responsabilidade legal internacional em reduzir as emissões de CO<sub>2</sub>. A fonte eólica apresenta um grande crescimento de participação na matriz energética mundial e vem obtendo sucesso, tendo crescido quase 15 vezes entre 2000 e 2011. (SIMAS, 2012). Já é considerada uma das grandes histórias de sucesso no uso de recursos renováveis, com parques eólicos bem estabelecidos em todo o mundo. (GWEC, 2015). A capacidade instalada mundial em 2017 atingiu 539,1 GW, sendo os 10 países com maior produção eólica: China (188,4 GW), Estados Unidos (89,1 GW), Alemanha (56,1%), Índia (32,8 GW), Espanha (23,2 GW), Reino Unido (18,9 GW), França (13,7 GW), Brasil (12,8 GW), Canadá (12,2 GW) e Itália (9,5 GW). (GWEC, 2017).

Para se ter uma ideia de como a fonte eólica vem crescendo no mundo, tem-se os exemplos dos Estados Unidos e da Comunidade Europeia. A fonte eólica representa 22%, 11% e 4,7% do abastecimento de energia elétrica na Espanha, Reino Unido e Estados Unidos, respectivamente. (GWEC, 2015). Nos Estados Unidos, a energia eólica deve contribuir para a estratégia nacional de atender a crescente demanda de energia elétrica. O Departamento de Energia desenvolveu um cenário para que 20% da energia elétrica americana sejam de fonte eólica até 2030. (DOE, 2008). Já a Comunidade Européia determinou que até 2020 pelo menos 20% da energia necessária seja proveniente de fontes renováveis. (GWEC, 2015). O Reino Unido está comprometido com 15%, sendo a energia eólica a principal estratégia para se atingir essa meta, tendo como proposta a construção de 7.000 turbinas *offshore* até 2020. (MASDEN et al., 2010; FURNESS et al., 2016).

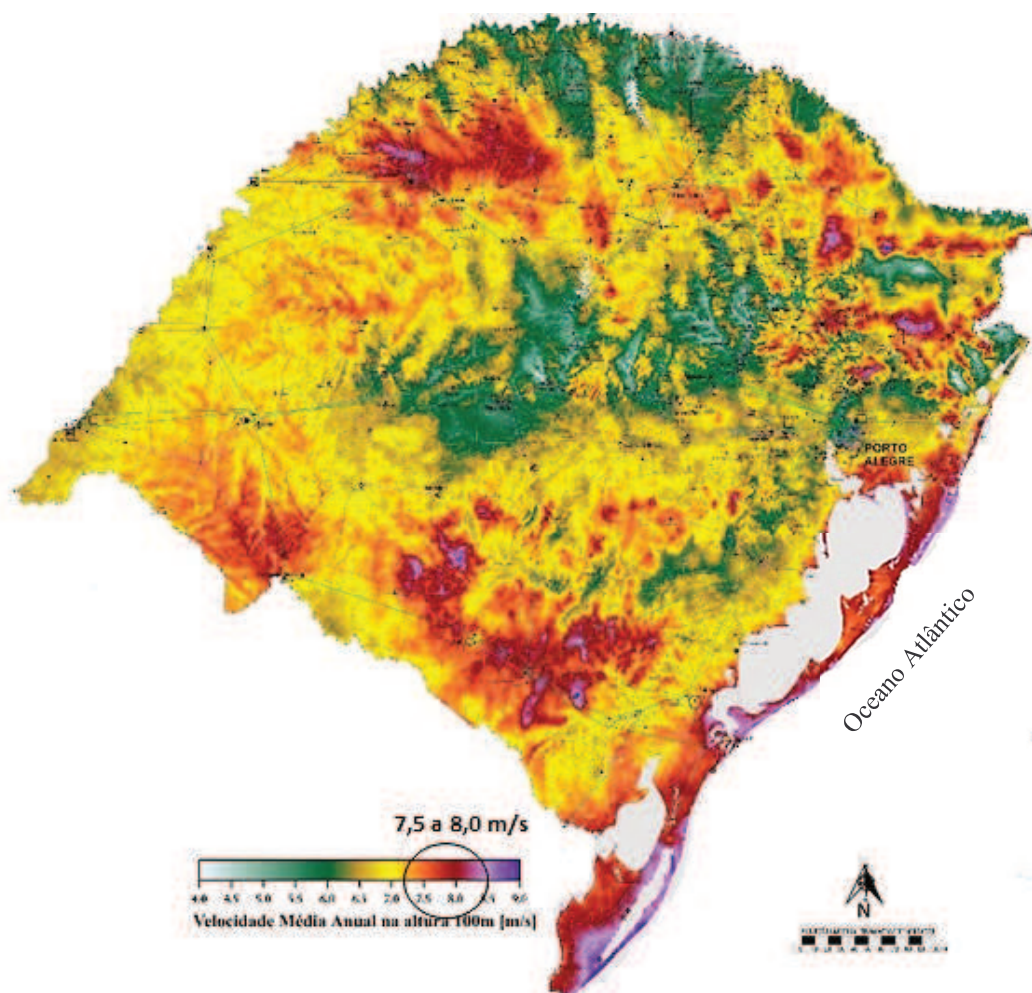
No Brasil a energia eólica teve início na década de 1990 com o início da operação comercial da primeira turbina eólica de 225 kW instalado no arquipélago de Fernando de Noronha, Pernambuco (PE). No entanto, o primeiro grande complexo eólico do Brasil foi instalado apenas em 2005 no município de Osório, Rio Grande do Sul, com 75 turbinas eólicas de 2,0 MW cada, totalizando 150 MW. Atualmente, são 568 parques eólicos em operação no Brasil, com capacidade instalada de 14,34 GW, o que representa 9% da matriz elétrica brasileira. (ABEEOLICA, 2018a). Esta capacidade instalada pode abastecer 25 milhões/mês de residências ou cerca de 75 milhões de habitantes/mês. (ABEEOLICA, 2018b). Os cinco primeiros estados no ranking brasileiro em capacidade instalada são: Rio Grande do Norte (RN) com 3,9 GW, Bahia (BA) com 3,5 GW, Ceará (CE) com 2,1 GW, Rio Grande do Sul (RS) com 1,8 GW e Piauí (PI) com 1,5 GW. (ABEEOLICA, 2018a).

Até o momento os empreendimentos de geração de energia eólica têm seguido as áreas indicadas como mais favoráveis nos Atlas Eólicos de cada Estado. O Atlas Eólico é um importante instrumento para políticas públicas e para o incentivo ao investimento, uma vez que indica as regiões com maior potencial de vento e os respectivos potenciais de geração de energia a partir dessa fonte. (CAMARGO-SCHUBERT et al., 2014).

O primeiro Atlas Eólico do Rio Grande do Sul estimava um potencial de 15,8 GW. (CAMARGO-SCHUBERT, 2002). Em 2014 o atlas foi atualizado e os novos valores confirmaram a importância da energia eólica na matriz energética do estado (Figura 1), que está estimada *onshore*, a 100 m de altura, em 103 GW. As regiões com os melhores ventos no Rio

Grande do Sul são o Litoral, a Campanha e a Coxilha e Santana, com velocidade média de ventos de 8 m/s. (CAMARGO-SCHUBERT et al., 2014). O estado explora, atualmente, aproximadamente 1,7% desse potencial, com 18 complexos eólicos, que correspondem a 76 parques eólicos, em operação comercial, distribuídos em nove municípios, que estão localizados na sua maioria no litoral norte, litoral sul e campanha. (RIO GRANDE DO SUL, 2018a).

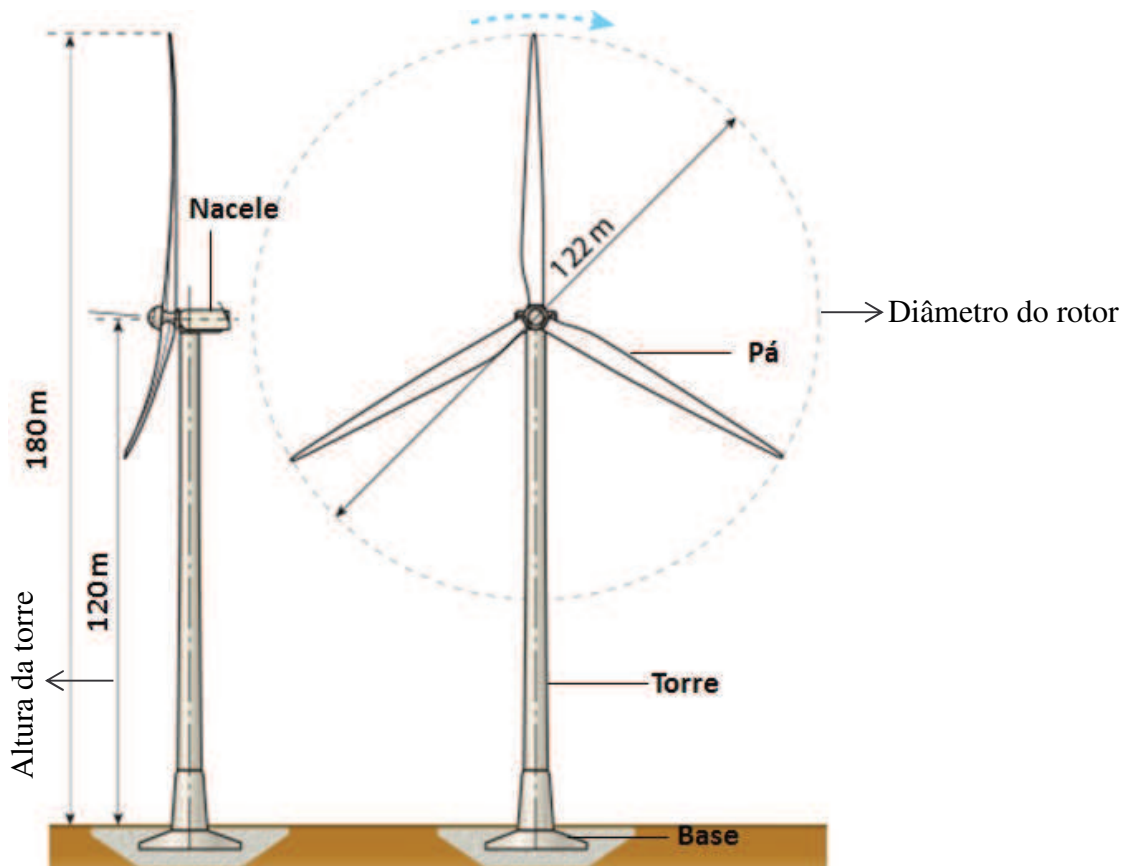
**Figura 1.** Mapa do potencial eólico do Rio Grande do Sul medido a 100 m de altura. As cores representam a velocidade do vento em m/s. Fonte: Camargo-Schubert et al., 2014.



De uma forma geral, os complexos eólicos instalados no Brasil e, especialmente, no RS compreendem um conjunto de parques constituídos por turbinas eólicas, subestação coletora, vias de acesso, pátios de manobras para os guindastes, guarita e área administrativa e de controle operacional. O funcionamento da turbina eólica (Figura 2) é simples. Os ventos que

passam pelo equipamento promovem o movimento de rotação das pás. Este movimento é transferido, através de um eixo, para o interior da nacela onde está localizado o gerador de energia elétrica. A máquina é projetada para emitir baixos índices de ruído e é capaz de produzir eletricidade com velocidades de vento a partir de 4 m/s (*cut-in*), atingindo sua capacidade nominal em velocidades próximas a 12 m/s e interrompendo a sua geração em velocidades de vento superiores a 25 m/s (*cut-out*). A energia elétrica produzida pelo movimento de rotação do gerador é conduzida por cabos para uma subestação coletora e depois para a subestação da distribuidora de energia que a enviará para o sistema de transmissão de energia.

**Figura 2.** Esquema de uma turbina eólica apresentando as principais dimensões.  
Fonte: <http://www.windpower.org> modificado pela autora.



Com relação à legislação ambiental, em 2014 foi publicada a Resolução CONAMA nº 462 (BRASIL, 2014) que estabeleceu critérios e procedimentos para o licenciamento ambiental de empreendimentos de geração de energia elétrica a partir de fonte eólica. Essa resolução



definiu que caberá ao órgão licenciador de cada Estado o enquadramento quanto ao impacto ambiental dos empreendimentos de geração de energia eólica, considerando o porte, a localização e o baixo potencial poluidor da atividade. No Rio Grande do Sul, a Fundação Estadual de Proteção Ambiental (FEPAM) elaborou o zoneamento ambiental eólico sob as Portarias FEPAM nº 118/2014, nº 121/2014 e nº 14/2018 (Rio Grande do Sul, 2014a, 2014b e 2018b), que regulamenta a referida resolução CONAMA e direciona o licenciamento ambiental desta atividade no estado, exigindo no decorrer do processo de licenciamento monitoramentos de fauna.

Definitivamente a energia eólica está inserida à matriz energética mundial e existem políticas públicas para a continuidade do seu desenvolvimento. Uma questão central observada no discurso em apoio à energia eólica é a busca pelo desenvolvimento sustentável, uma vez que a fonte oferece benefícios ambientais, como: redução da necessidade de fontes não renováveis, como carvão e petróleo, com consequente redução da emissão dos gases de efeito estufa, redução do uso da água e redução da destruição de habitat. Além disso, otimiza o sistema de geração de energia elétrica e gera empregos de forma direta e indireta em diversos setores. (SIMAS, 2012). E ainda, 99% de uma área usada em um parque eólico pode ser utilizada para outros fins, como uso de atividades agropastoris. (DUTRA, 2007).

Entretanto, a instalação deste tipo de energia representa também a geração de impactos negativos, especialmente sobre as aves (ERICKSON et al., 2005; MARQUES et al., 2014; WANG et al., 2015), pela colisão com as turbinas eólicas (FERRER et al., 2012; HERRERA-ALSINA et al., 2013; ASCHWANDEN et al., 2018) e linhas de transmissão. (RIOUX et al., 2013). Neste contexto, há uma necessidade emergente de equilibrar os riscos e os benefícios em prol da minimização dos efeitos ambientais adversos. (TAPIA et al., 2005). Compreender como essas estruturas afetam as populações de vida selvagem, especialmente aquelas em declínio, é importante para reduzir futuras perdas de biodiversidade e maximizar os esforços efetivos de conservação. (HOVICK et al., 2014).

É amplamente conhecido que as aves são vulneráveis a colisões com estruturas feitas pelo homem, formando o grupo com o maior número de espécies afetadas pela ação antrópica, sendo um problema para a conservação de muitas espécies, especialmente aquelas em situação de vulnerabilidade. (DREWITT; LANGSTON, 2008). A colisão com as turbinas eólicas causa menor índice de mortalidade de aves quando comparado com outras estruturas humanas, como

prédios ou até mesmo tráfego de veículos em rodovias. (ERICKSON et al., 2005; CALVERT et al., 2013; HOVICK et al., 2014).

Os efeitos das estruturas antrópicas podem variar muito, dependendo da distribuição espacial e temporal, e também variar entre as espécies. (DE LUCAS et al., 2008; FERRER et al., 2012). Por isso é necessário avaliar o impacto dessas estruturas em diversas espécies, regiões, variações sazonais e em diferentes estágios de vida, para uma melhor compreensão dos efeitos diretos e indiretos sobre a vida selvagem. (BELAIRE et al., 2014). No entanto, apesar dos contínuos esforços para mitigar os efeitos negativos das estruturas antrópicas sobre a vida selvagem, o que se percebe é o declínio acelerado em muitas espécies de aves silvestres. (PEARCE-HIGGINS et al., 2009).

A avaliação do impacto dos parques eólicos nas populações de aves é comumente feita por meio de registros de fatalidade por colisão. Estudos apontam que a taxa geral de mortalidade apresenta uma relação diretamente proporcional ao volume de migração local, e que fatores específicos como a sazonalidade e condições climáticas podem influenciar os óbitos. (LANGSTON; PULLAN, 2003). Características técnicas como a altura das turbinas eólicas, diâmetro do rotor, tipo de turbina e posição das mesmas também influenciam nos impactos. (LANGSTON; PULLAN, 2003, DEVEREUX et al., 2008; DE LUCAS et al., 2008). Vários trabalhos apresentam que o risco é maior em áreas que são usadas por muitas aves, como as rotas de migração, áreas de dormitório ou reprodução. (HÜPPOP et al., 2006; DREWITT; LANGSTON, 2008; VILLEGAS-PATRACA et al., 2014). Além disso, aves grandes, com menor manobrabilidade, como é o caso dos cisnes, gansos ou urubus, têm também maior probabilidade de colidirem com as turbinas eólicas (DE LUCAS et al., 2008) e o risco também pode ser maior dependendo da hora do dia ou época do ano. (HÜPPOP et al., 2006).

Algumas espécies de aves são, potencialmente, mais susceptíveis a colisões com estruturas de parques eólicos do que outras, por possuírem características etológicas e morfológicas específicas. As aves de hábitos carnívoros e/ou necrófagos, como por exemplo: os Accipitriformes, Cathartiformes e Falconiformes passam longos períodos voando e atingem grandes altitudes (SICK, 1997), favorecendo o risco de colisões. (MACKINNON et al., 2001; LEHMAN et al., 2007). As espécies gregárias são amplamente apontadas, em relação às de comportamento solitário, como vulneráveis a colisões. (HENDERSON et al., 1996; JANSS, 2000). Aves com maior massa corporal (superior a 250 g) são mais susceptíveis a colisões,

embora aves com qualquer massa possam colidir com as turbinas eólicas. (BEVANGER, 1998; JANSSE, 2000; BEVANGER; BROSETH, 2001). As espécies de topo de cadeia alimentar, os rapineiros, tem ótima acuidade visual e ao detectar uma presa se lançam sobre ela em um voo rápido, assim podendo colidir com os mais diversos obstáculos. (LEHMAN et al., 2007). Aves de hábitos migratórios são mais susceptíveis a colisões, comparando com as residentes, pois não convivem diariamente com o obstáculo e/ou desconhecem a sua existência num primeiro momento, diferente daquelas residentes, que acompanharam o seu surgimento. (HENDERSON et al., 1996).

A maioria das pesquisas está focada no impacto dos parques eólicos sobre as aves de rapina ou as de grande porte (acima de 250 g), especialmente aquelas que têm interesse para a conservação. (LARSEN; GUILLEMETTE, 2007; MARTÍNEZ-ABRAÍN et al., 2012; REID et al., 2015). No entanto, as aves pequenas (menos de 250 g) também estão sendo afetadas e as informações são limitadas sobre as taxas de colisão ou distúrbios causados. (GARCÍA et al., 2015; BASTOS et al., 2016; FARFÁN et al., 2017; GÓMEZ-CATASÚS et al., 2018). Os métodos comumente usados para registrar os óbitos pela colisão com as turbinas eólicas podem subestimar o efeito direto dos parques eólicos sobre as aves de pequeno porte (ATIENZA et al., 2011), devido à sua baixa detectabilidade e alta taxa de desaparecimento de carcaça (ERICKSON et al., 2014) ou, simplesmente, existe menos interesse sobre estas espécies em comparação com as espécies mais carismáticas. Além disso, a probabilidade de colisão depende de um conjunto de fatores morfológicos e etológicos, alguns mais preponderantes a uma ou outra espécie, condições climáticas, estação do ano, localização do parque eólico ou características técnicas das turbinas. (BARRIOS; RODRIGUEZ, 2004; DREWITT; LANGSTON, 2008; DE LUCAS et al., 2012).

Para identificar o grau de risco de colisões das aves com estruturas antrópicas são usados índices de suscetibilidade à colisão. Para estradas existem diversos estudos que investigam a morte de aves por atropelamento. (KOCIOLEK et al., 2010; RAMOS et al. 2011). Para aeroportos, LUIGI et al. (2010) criaram um índice para identificar o risco de colisão de aves com as aeronaves, e a partir do índice fizeram diversas proposições para minimizar este risco. Para o risco de colisão das aves com as turbinas eólicas, recentemente, MASDEN & COOK (2016) revisaram os modelos de risco de colisão disponíveis. Existem diversos modelos com abordagens diferentes, tais como: radar, imagens térmicas, observação e recuperação de

carcaças. (BAND et al., 2007; KORNER-NIEVERGELT et al., 2013; NEW et al., 2015; VASILAKIS et al., 2017).

Atualmente, os estudos sobre colisão com turbinas eólicas ganharam outra dimensão, o uso de radar. Está sendo combinado o uso de dados que avaliam a intensidade de movimento das aves, obtidos a partir de radar com dados de busca ativa por carcaças. (WELCKER et al., 2017; ASCHWANDEN et al., 2018). Marques et al. (2014) realizaram uma revisão sobre as causas da mortandade de aves por colisões em turbinas eólicas e relataram que 60% dos artigos eram provenientes da Europa, principalmente da Espanha e do Reino Unido, e 33% dos Estados Unidos, demonstrando que existe pouco conhecimento sendo gerado no resto do mundo. O Brasil ocupa a oitava posição no ranking mundial de energia eólica (GWEC, 2017), mas apenas um estudo que caracterizou a composição e dinâmica ecológica das espécies de aves residentes e migratórias presentes na área de um parque eólico no Piauí (GUZZI et al., 2015) foi publicado até o momento.

Desta forma, considerando que a implantação e operação de parques eólicos ainda é recente no Brasil, quando comparada com outros países, que a estimativa é que no ano de 2026 sejam 28,4 GW de potência instalada no país (BRASIL, 2017) e que não existem linhas de pesquisas dedicadas ao estudo dos impactos destes empreendimentos, é importante identificar e quantificar os efeitos que estes parques estão causando nos ambientes onde são implantados, especialmente sobre a avifauna. Estes dados poderão orientar estratégias de implantação, prevenção e controle de problemas relacionados à instalação de parques eólicos no Brasil. Além de munir o órgão licenciador com informações científicas que contribuam para que os técnicos tenham maior segurança ao conceder licenças, bem como determinar condições e restrições das mesmas. Assim, o objetivo geral da tese é avaliar como a avifauna é afetada pelos parques eólicos em operação no Rio Grande do Sul e propor medidas de conservação.

### 3 REFERÊNCIAS

- ABEEÓLICA – Associação Brasileira de Energia Eólica. **Dados Mensais – Novembro 2018**. Disponível em: <http://abeeolica.org.br/wp-content/uploads/2018/11/Numeros-ABEEolica-Novembr.pdf>. Acesso em 09 dezembro 2018. 2018a.
- ABEEÓLICA – Associação Brasileira de Energia Eólica. **InfoVento nº 7 – Atualizado em 05/11/18**. Disponível em: [http://abeeolica.org.br/wp-content/uploads/2018/11/InfoventoPT\\_Online\\_8.pdf](http://abeeolica.org.br/wp-content/uploads/2018/11/InfoventoPT_Online_8.pdf). Acesso em 11 dezembro 2018. 2018b.
- ASCHWANDEN, J.; STARK, H.; PETER, D.; STEURI, T.; SCHMID, B.; LIECHTI, F. Bird collisions at wind turbines in a mountainous area related to bird movement intensities measured by radar. **Biological Conservation**, v. 220, p. 228-236, 2018.
- ATIENZA, J.C.; MARTÍN FIERRO, I.; INFANTE, O.; VALLS, J.; DOMÍNGUEZ, J. **Directrices para la evaluación del impacto de los parques eólicos en aves y murciélagos (versión 3.0)**. SEO/BirdLife, Madrid, 2011.
- AWEA – American Wind Energy Association. Disponível em: <http://www.awea.org/Resources/Content.aspx?ItemNumber=8884>. Acesso em 28 setembro 2016.
- BAND, W.; MADDERS, M.; WHITFIELD, D.P. Developing field and analytical methods to assess avian collision risk at wind farms. **In:** de Lucas M, Janss FEG, Ferrer M, editors. *Birds and Wind Farms Risk Assessment and Mitigation*. First. Madrid: Quercus; pp. 259±275, 2007.
- BARRIOS, L.; RODRIGUEZ, A. Behavioural and environmental correlates of soaring-bird mortality at on-shore wind turbines. **Journal of Applied Ecology**, v. 41, p. 72–81, 2004.
- BASTOS, R.; PINHANÇOS, A.; SANTOS, M.; FERNANDES, R.F.; VICENTE, J.R.; MORINHA, F.; HONRADO, J.P.; TRAVASSOS, P.; BARROS, P.; CABRAL, J.A. Evaluating the regional cumulative impact of wind farms on birds: how can spatially explicit dynamic modelling improve impact assessments and monitoring? **Journal of Applied Ecology**, v. 53, p. 1330–1340, 2016.
- BELAIRE, J.A.; KREAKIE, B.J.; KEITT, T.; MINOR, E. Predicting and mapping potential whooping crane stopover habitat to guide site selection or wind energy projects. **Conservation Biology**, v. 2, p. 541–550, 2014.
- BEVANGER, K. Biological and conservation aspects of bird mortality caused by electricity power lines: a review. **Biological Conservation**, v. 86, p. 67-76, 1998.
- BEVANGER, K.; BROSETH, H. Bird collisions with power lines - an experiment with ptarmigan (*Lagopus* spp.). **Biological Conservation**, v. 99, p. 341-346, 2001.
- BRASIL, Ministério de Minas e Energia, Empresa de Pesquisa Energética. **Plano Decenal de Expansão de Energia 2026**. Brasília: MME/EPE, 2v.: il. 2017.

- BRASIL. Resolução CONAMA nº 462, de 24 de julho de 2014. Estabelece procedimentos para o licenciamento ambiental de empreendimentos de geração de energia elétrica a partir de fonte eólica em superfície terrestre, altera o art. 1º da Resolução CONAMA n.º 279, de 27 de julho de 2001, e dá outras providências. Disponível em: <http://www.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=703>. 2014.
- CALVERT, A.M.; BISHOP, C.; ELLIOT, R.D.; KREBS, E.A.; KYDD, T.M.; MACHTANS, C.S.; ROBERTSON, G.J. A synthesis of human-related avian mortality in Canada. **Avian Conservation Ecology**, v. 8, n. 2, p.11, 2013.
- CAMARGO-SCHUBERT, E. A. **Atlas eólico: Rio Grande do Sul**. Porto Alegre: SEMC, 2002.
- CAMARGO-SCHUBERT, E. A.; ELETROSUL, C. E. **Atlas eólico: Rio Grande do Sul**. Porto Alegre: SDPI: AGDI, 2014.
- DE LUCAS, M.; FERRER, M.; BECHARD, M.J.; MUÑOZ, A.R. Griffon vulture mortality at Wind farms in southern Spain: distribution of fatalities and active mitigation measures. **Biological Conservation**, v. 147, p. 184–189, 2012.
- DE LUCAS, M.; JANSSE, G.F.E.; WHITFIELD, D.P.; FERRER, M. Collision fatality of raptors in wind farms does not depend on raptor abundance. **Journal of Applied Ecology**, v. 45, p. 1695–1703, 2008.
- DEGREGORIO, B.A.; WEATHERHEAD, P.J.; SPERRY, J.H. Power lines, roads, and avian nest survival: effects on predator identity and predation intensity. **Ecology and Evolution**, v. 4, p. 1589–1600, 2014.
- DEVEREUX, C.L.; DENNY, M.J.H.; WHITTINGHAM, M.J. Minimal effects of wind turbines on the distribution of wintering farmland birds. **Journal of Applied Ecology**, v. 45, p. 1689–1694, 2008.
- DOE - UNITED STATES DEPARTMENT OF ENERGY. **20% Wind energy by 2030. Increasing wind energy's contribution to U.S. electricity supply**. DOE/GO-102008-2567, 2008.
- DREWITT, A.L.; LANGSTON, R.H.W. Collision effects of wind-power generators and other obstacles on birds. **Annals of New York Academy Sciences**, v. 1134, p. 233-266, 2008.
- DUTRA, R.M. **Propostas de políticas específicas para energia eólica no Brasil após a primeira fase do PROINFA**. Tese (Doutorado em Ciências em Planejamento Energético) – Universidade Federal do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro, 2007.
- ERICKSON, W.P.; JOHNSON, G.D.; YOUNG JR. D. P. A summary and comparison of bird mortality from anthropogenic causes with an emphasis on collisions. **USDA Forest Service Gen. Tech. Rep. PSWGTR-191**, p. 1029-1042, 2005.
- ERICKSON, W.P.; WOLFE, M.M.; BAY, K.J.; JOHNSON, D.H.; GEHRING, J.L. A Comprehensive Analysis of Small-Passerine Fatalities from Collision with Turbines at Wind Energy Facilities. **PLoS One**, v. 9,n. 9, p. e107491, 2014.

- FARFÁN, M.A.; DUARTE, J.; REAL, R.; MUÑOZ, A.R.; FA, J.E.; VARGAS, J.M. Differential recovery of habitat use by birds after wind farm installation: A multi-year comparison. **Environmental Impact Assessment Review**, v. 64, p. 8–15, 2017.
- FERRER, M.; DE LUCAS, M.; JANSS, G.F.E.; CASADO, E.; MUÑOZ, A.R.; BECHARD, M.J.; CALABUIG, C.P. Weak relationship between risk assessment studies and recorded mortality in Wind farms. **Journal of Applied Ecology**, v. 49, p. 38-46, 2012.
- FURNESS, R.W.; TRINDER, M.; MacARTHUR, D.; DOUSE, A. A Theoretical Approach to Estimating Bird Risk of Collision with Wind Turbines Where Empirical Flight Activity Data Are Lacking. **Energy and Power Engineering**, v. 8, p. 183-194, 2016.
- GARCIA, D.A.; CANAVERO, G.; ARDENGHI, F.; ZAMBON, M. Analysis of wind farm effects on the surrounding environment: Assessing population trends of breeding passerines. **Renewable Energy**, v. 80, p. 190-196, 2015.
- GÓMEZ-CATASÚS, J.; GARZA, V.; TRABA, J. Wind farms affect the occurrence, abundance and population trends of small passerine birds: The case of the Dupont's lark. **Journal of Applied Ecology**, v. 00, p. 1–10, 2018.
- GUZZI, A.; GOMES, D.N.; SANTOS, A.G.S.; FAVRETTO, M.A.; SOARES, L.M.S.; CARVALHO, R.A.V. Composição e dinâmica da avifauna da usina eólica da praia da Pedra do Sal, Delta do Parnaíba, Piauí, Brasil. **Iheringia, Série Zoologia**, v. 105, n. 2, p. 164-173, 2015.
- GWEC – Global Wind Energy Council. **Global Wind Report – Annual Market Update 2015**. 2015. Disponível em: [http://www.gwec.net/wp-content/uploads/vip/GWEC-Global-Wind-2015-Report\\_April-2016\\_22\\_04.pdf](http://www.gwec.net/wp-content/uploads/vip/GWEC-Global-Wind-2015-Report_April-2016_22_04.pdf). Acesso em 17 junho 2018. 2015.
- GWEC – Global Wind Energy Council. **Global Wind Report – Annual Market Update 2017**. 2017. Disponível em: <http://files.gwec.net/files/GWR2017.pdf?ref=Website>. Acesso em 17 junho 2018.
- HENDERSON, I.G.; LANGSTON, R.H.W.; CLARK, N.A. The response of common terns *Sterna hirundo* to powerlines: an assessment of risk in relation to breeding commitment, age and wind speed. **Biological Conservation**, v. 77, p. 185-192, 1996.
- HERRERA-ALSINA, L.; VILLEGAS-PATRACA, R.; EGUIARTE, L.E.; ARITA, H.T. Bird Communities and wind farms: a phylogenetic and morphological approach. **Biodiversity Conservation**, v. 22, p. 2821-2836, 2013.
- HOVICK, T. J.; ELMORE, R. D.; DAHLGREN, D. K.; FUHLENDORF, S. D.; ENGLE, D. M. Evidence of negative effects of anthropogenic structures on wildlife: a review of grouse survival and behavior. **Journal of Applied Ecology**, v. 51, p. 1680-1689, 2014.
- HÜPPOP, O.; DIERSCHKE, J.; EXO, K.M.; FREDRICH, E.; HILL, R. Bird migration studies and potential collision risk with offshore wind turbines. **Ibis**, v. 148, p. 90–109, 2006.

- IPCC. **Special Report on Renewable Energy Sources and Climate Change Mitigation**. Disponível: [http://srren.ipcc-wg3.de/report/IPCC\\_SRREN\\_Full\\_Report.pdf](http://srren.ipcc-wg3.de/report/IPCC_SRREN_Full_Report.pdf). Acesso em 27 maio 2015, 2011.
- JANSS, G. F. E. Avian mortality from power lines: a morphologic approach of a species-specific mortality. **Biological Conservation**, v. 95, p. 353-359, 2000.
- KOCIOLEK, A. V.; CLEVINGER, A. P.; CLAIR, C. C. ST; PROPPE, D. S. Effects of Road Networks on Bird Populations. **Conservation Biology**, v. 25, n. 2, p. 241-249, 2010.
- KORNER-NIEVERGELT, F.; BRINKMANN, R.; NIERMANN, L; BEHR, O. Estimating bat and Bird mortality occurring at Wind energy turbines from covariates and carcass searches using mixture models. **PLoS One**, v. 8, n. 7, p. e67997, 2013.
- LANGSTON, R.H.W.; PULLAN, J.D. Wind farms and birds: an analysis of the effects of wind farms on birds, and guidance on environmental assessment criteria and site selection issues. Report T-PVS/Inf, 2003. 12. BirdLife International to the Council of Europe, Bern Convention on the Conservation of European Wildlife and Natural Habitats RSPB/BirdLife in the UK. Disponível em: [http://migratorysoaringbirds.undp.birdlife.org/sites/default/files/BirdLife\\_Bern\\_windfarms.pdf](http://migratorysoaringbirds.undp.birdlife.org/sites/default/files/BirdLife_Bern_windfarms.pdf). Acesso em 25 de junho 2018, 2003.
- LARSEN, J.K.; GUILLEMETTE, M. Effects of wind turbines on flight behaviour of wintering common eiders: implications for habitat use and collision risk. **Journal of Applied Ecology**, v. 44, p. 516-622, 2007.
- LEHMAN, R.N.; KENNEDY, P.L.; SAVIDGE, J.A. The state of the art in raptor electrocution research: A global review. **Biological Conservation**, v. 136, p. 159-174, 2007.
- LIOR, N. Energy resources and use: the present situation and possible paths to the future. **Energy**, v. 33, p. 842-857, 2008.
- LUIGI, G.; FONSECA, V.S; MOURA, F.H.; IOB, A. Metodologia de controle e redução da incidência de aves em aeroportos no Brasil. p. 441-456. **In:** Von Mater, S.; F. C. Straube; I. A. Accordi, V. Q. Piacentini & J. F. Cândido Junior (Org). *Ornitologia e Conservação: Ciência Aplicada, Técnicas de Pesquisa e Levantamento*. Rio de Janeiro: Ed. Technical Books, 2010.
- MACKINNON, B.; SOWDEN, R.; DUDLEY, S. (Eds.). **An Aviation Industry Guide to the Management of Wildlife Hazards Transport Canada's Wildlife Control Procedures Manual**, 2001.
- MARQUES, A.T.; BATALHA, H.; RODRIGUES, S.; COSTA, H.; PEREIRA, M.J.R.; FONSECA, C.; MASCARENHAS, M.; BERNARDINO, J. Understanding bird collisions at wind farms: An updated review on the causes and possible mitigation strategies. **Biological Conservation**, v. 179, p. 40-52, 2014.
- MARTÍNEZ-ABRAÍN, A.; TAVECCHIA, G.; REGAN, H.M.; JIMÉNEZ, J.; SURROCA, M.; ORO, D. Effects of wind farms and food scarcity on a large scavenging bird species



- following an epidemic of bovine spongiform encephalopathy. **Journal of Applied Ecology**, v. 49, p. 109–117, 2012.
- MASDEN, E. A.; FOX, A.D.; FURNESS, R.W.; BULLMAN, R.; HAYDON, D.T. Cumulative impact assessments and bird/wind farm interactions: developing a conceptual framework. **Environmental Impact Assessment Review**, v. 30, p. 1-7, 2010.
- MASDEN, E.A.; COOK, A. Avian collision risk models for Wind energy impact assessments. **Environmental Impact Assessment Review**, v. 56, p. 43-49, 2016.
- NEW, L.; BJERRE, E.; MILLSAP, B.; OTTO, M.C.; RUNGE, M.C. A collision risk model to predict avian fatalities at wind facilities: an example using golden eagles, *Aquila chrysaetos*. **PLoS One**, v. 10, n. 7, e0130978, 2015.
- PEARCE-HIGGINS, J.W.; STEPHEN, L.; LANGSTON, R.H.W.; BAINBRIDGE, I.P.; BULLMAN, R. The distribution of breeding birds around upland wind farms. **Journal of Applied Ecology**, v. 46, p. 1323–1331, 2009.
- RAMOS, C. C. O.; LIMA JR., D. P.; ZAWADZKI, C. H.; BENEDITO, E. A biologia e a ecologia das aves e um fator importante para explicar a frequência de atropelamentos? **Neotropical Biology and Conservation**, v. 6, n. 3, p. 201-212, 2011.
- REID, T.; KRÜGER, S., WHITFIELD, D.P. & AMAR, A. Using spatial analyses of bearded vulture movements in southern Africa to inform wind turbine placement. **Journal of Applied Ecology**, v. 52, p. 881–892, 2015.
- RIO GRANDE DO SUL. Portaria FEPAM nº 118, de 01 de dezembro de 2014. Dispõe acerca da regulamentação do art. 3º da resolução CONAMA 462/2014 e estabelece os critérios, exigências e estudos prévios para o licenciamento ambiental de empreendimentos de geração de energia a partir da fonte eólica, no Estado do Rio Grande do Sul, 2014a.
- RIO GRANDE DO SUL. Portaria FEPAM nº 121, de 09 de dezembro de 2014. Altera a redação do parágrafo 2º do artigo 3º da Portaria FEPAM nº 118/2014 que dispõe acerca da regulamentação do art. 3º da resolução CONAMA 462/2014 e estabelece os critérios, exigências e estudos prévios para o licenciamento ambiental de empreendimentos de geração de energia a partir da fonte eólica, no Estado do Rio Grande do Sul, 2014b.
- RIO GRANDE DO SUL. **Potência Instalada de Energia Eólica no Rio Grande do Sul**. Secretaria de Minas e Energia do Estado do Rio Grande do Sul – SME, 4pp, 2018a.
- RIO GRANDE DO SUL. Portaria FEPAM nº 14, de 09 de fevereiro de 2018. Introduz alteração na Portaria FEPAM nº 118/2014, que dispõe acerca da regulamentação do art. 3º da resolução CONAMA 462/2014 e estabelece os critérios, exigências e estudos prévios para o licenciamento ambiental de empreendimentos de geração de energia a partir da fonte eólica, no Estado do Rio Grande do Sul, 2018b.
- RIOUX, S.; SAVARD, J.O.L.; GERICK, A.A. 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**, v. 8, n. 22, p. 7, 2013.

- SICK, H. **Ornitologia Brasileira**. Editora Nova Fronteira, Rio de Janeiro, 862p, 1997.
- SIMAS, M. S. **Energia eólica e desenvolvimento sustentável no Brasil: estimativa da geração de empregos por meio de uma matriz insumo-produto ampliada**. Dissertação (Mestrado em Ciências) – Programa de Pós-Graduação em Energia da Universidade de São Paulo. São Paulo, 2012.
- TAPIA, L.; FONTÁN, L.; GARCÍA-ARRESE, A.; NIETO, C.; MACÍAS, F. Metodología para La evaluación de los efectos sinérgicos generados por parques eólicos sobre la avifauna: un caso práctico em el LIC “Serra do Xistral” (Galicia; Noroeste de España). **Ecología**, v. 19, p. 301-312, 2005.
- VASILAKIS, D.P.; WHITFIELD, D.P.; KATI, V. A balanced solution to the cumulative threat of industrialized wind farm development on cinereous vultures (*Aegypius monachus*) in south-eastern Europe. **PLoS One**, doi:10.1371/journal.pone.0172685, 2017.
- VILLEGAS-PATRACA, R.; CABRERA-CRUZ, S.A.; HERRERA-ALSINA, L. Soaring Migratory Birds Avoid Wind Farm in the Isthmus of Tehuantepec, Southern Mexico. **PLoS ONE**, v. 9, n. , e92462. doi:10.1371/journal.pone.0092462, 2014.
- WANG, S.; WANG, S.; SMITH, P. Ecological impacts of wind farms on birds: Questions, hypotheses, and research needs. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 44, p. p. 599-607, 2015.
- WELCKER, J.; LIESENJOHANN, M.; BLEW, J.; NEHLS, G.; GRÜNKORN, T. Nocturnal migrants do not incur higher collision risk at wind turbines than diurnally active species. **Ibis**, v. 159, p. 366–373, 2017.

#### **4 CAPÍTULO I**

### **ANÁLISE DOS EFEITOS DOS PARQUES EÓLICOS NA AVIFAUNA: AVALIAÇÃO DAS CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS E AMBIENTAIS**

## **Análise dos efeitos dos parques eólicos na avifauna: avaliação das características técnicas e ambientais**

**Tamara Justo Falavigna<sup>a\*</sup>, David Santos de Freitas<sup>b</sup>, Maria Virginia Petry<sup>a</sup>**

<sup>a</sup>Laboratório de Ornitologia e Animais Marinhos (LOAM), Programa de Pós-Graduação em Biologia, Universidade do Vale do Rio dos Sinos (UNISINOS), Av. Unisinos, 950, São Leopoldo - RS, 93020-190, Brasil

<sup>b</sup>Instituição Educacional São Judas Tadeu, Porto Alegre, RS, Brasil

E-mail addresses: tfalavigna@gmail.com (T.J. Falavigna), dsf.doct@gmail.com (D.S. Freitas), vpetry@unisinos.br (M.V. Petry)

\* Corresponding author. Phone number: 55 51 997304274

### **Resumo**

Os parques eólicos estão sendo implantados com sucesso em todo o mundo. No Brasil a fonte eólica contribui com 9% da matriz elétrica brasileira e a região Sul ocupa o 4º lugar na produção desta energia. Em geral, os parques eólicos tem baixo impacto ambiental. No entanto, os impactos sobre a avifauna, principalmente aqueles causados pela colisão com as turbinas eólicas são muito estudados. O objetivo do presente trabalho foi avaliar a riqueza, composição de espécies e os registros de óbitos de aves nos parques eólicos em operação no extremo sul do Brasil. Desta forma, foram obtidos dados secundários de avifauna oriundos de relatórios de monitoramento de fauna submetidos à agência ambiental do estado do Rio Grande do Sul de 11 parques eólicos em operação, distribuídos em três regiões do Estado. Os dados foram analisados quanto à riqueza, composição de espécies e mortalidade, comparados entre regiões e avaliados conforme as características dos parques. No total foram registradas 315 espécies de aves, o que representa 45% do total de espécies citadas para o Estado. 9,8% das espécies estavam presentes em todos os parques eólicos, enquanto 20% só foram registradas em um parque. Além disso, 87% das espécies são residentes e 13% são migratórias. Os parques eólicos ocupam tamanhos de área diferentes e quanto maior a área, maior é a riqueza de espécies, independente da região. A composição de espécies é diferente nas três regiões. Durante o período de um ano, morreram por colidir com as turbinas eólicas um total de 129 aves, classificadas em 43 espécies. Dos 11 parques eólicos analisados, 10 apresentaram taxa de mortalidade observada menor ou igual a 0,3 indivíduo/turbina/ano, e apenas um apresentou taxa superior a 3,0 indivíduos/turbina/ano. Não houve diferença na mortalidade entre as regiões e as características técnicas dos parques eólicos e os fatores ambientais avaliados não possuem relação com as espécies que morreram. O presente estudo traz informações relevantes sobre os efeitos desta indústria sobre a avifauna no Estado e poderá orientar estratégias de implantação, prevenção e controle de problemas relacionados à instalação desses parques.

**Palavras Chave:** Impacto ambiental, Energia renovável, Turbinas eólicas, Colisão, Mortalidade

## 1. Introdução

A energia eólica está inserida à matriz energética mundial de forma definitiva e existem políticas públicas para a continuidade do seu desenvolvimento. No Brasil a energia eólica é reponsável por 9% da energia elétrica produzida com 14,34 GW de capacidade instalada em 568 parques eólicos e mais de 7.000 turbinas eólicas em 12 estados (Abeeólica, 2018). O cenário para 2026 é que a fonte eólica quase dobre a sua participação, apresentando um papel ainda mais relevante na matriz energética do país (Brasil, 2017). No estado do Rio Grande do Sul são 18 complexos eólicos em operação, totalizando 1,8 GW instalados, concentrados em três regiões (Abeeólica, 2018).

A geração eólica, por ser uma fonte renovável, pode contribuir para reduzir a necessidade do uso de fontes não renováveis como carvão, gás e nuclear, sendo amplamente utilizada em todo o mundo como fonte alternativa de energia com baixa emissão de CO<sub>2</sub> (Wang et al., 2015). No entanto, apesar de ser considerada de baixo impacto, um dos maiores impactos causados e conhecido é a mortalidade de aves pela colisão com as turbinas eólicas. Assim, muitos estudos vem sendo conduzidos com a finalidade de identificar e quantificar esses efeitos, permitindo que sejam criadas medidas adequadas de mitigação e conservação para as espécies afetadas (Ferrer et al., 2012; Pearce-Higgins et al., 2009, 2012; Furness et al., 2016) e manter o desenvolvimento desta tecnologia.

As aves estão presentes nos mais variados ambientes e no mundo são 10.711 espécies, sendo 6.456 da ordem Passeriformes (Gill and Donsker, 2018). O Brasil é o segundo país em número de espécies de aves, ficando atrás apenas da Colômbia, com 1.919 espécies, distribuídas em 33 ordens e 103 famílias, sendo Passeriformes também a ordem mais representativa. Além disso, o país conta com o maior número de aves globalmente ameaçadas (Piacentini et al., 2015). Para o estado do Rio Grande do Sul (RS) são citadas 704 espécies. Dada essa enorme biodiversidade de aves e a crescente implantação de parques eólicos no país, estudos sobre a avifauna que avaliem riqueza, composição de espécies, abundância, características morfológicas e etológicas são fundamentais para que sejam autorizadas novas instalações de empreendimentos eólicos.

A avaliação do impacto dos parques eólicos nas populações de aves é comumente feita através dos registros de fatalidade por colisão. Estudos apontam que a taxa geral de mortalidade apresenta uma relação diretamente proporcional ao volume de migração local, e que fatores específicos como a sazonalidade e condições climáticas podem influenciar os óbitos (Villegas-Patracca et al., 2014). Características técnicas como a altura das turbinas eólicas, diâmetro do rotor, tipo de turbina e posição das mesmas também influenciam nos impactos (Devereux et al., 2008; De Lucas et al., 2008). Vários trabalhos apresentam que o risco é maior em áreas que são usadas por muitas aves, como rotas migratórias ou rotas locais de voo, áreas de dormitório, alimentação ou reprodução (Drewitt and Langston, 2008; Villegas-Patracca et al., 2014). Além disso, aves grandes, com menor manobrabilidade, como é o caso dos cisnes, gansos ou urubus, têm maior probabilidade de colidirem com as turbinas eólicas (De Lucas et al., 2008) e o risco pode ser maior dependendo da hora do dia ou época do ano, como é o caso dos migrantes diurnos ou noturnos (Hüppop et al., 2006). As aves de hábitos carnívoros e/ou necrófagos, como por exemplo, os Accipitriformes, Cathartiformes e Falconiformes passam longos períodos voando e atingem grandes altitudes (Sick, 1997), favorecendo o risco de colisões (Mackinnon et al., 2001; Lehman et al., 2007). As espécies gregárias são amplamente apontadas como vulneráveis a colisões, em relação às de comportamento solitário (Henderson et al., 1996; Janss, 2000). Segundo Höttker et al. (2006), as menores taxas de colisão estão associadas com estruturas instaladas em áreas de campo, quando comparadas a parques instalados em áreas montanhosas. Mas não é suficiente associar

o risco de colisões apenas com o ambiente, sem levar em consideração as espécies presentes, sua abundância, comportamento e o uso do habitat (Drewitt and Langston, 2008).

Grande parte dos estudos está focada no impacto que os parques eólicos tem sobre as aves de rapina ou as de grande porte (acima de 250 g), especialmente aquelas que têm interesse para a conservação (Martínez-Abraín et al., 2012; Reid et al., 2015). Entretanto, as aves pequenas (menos de 250 g) também morrem pela colisão. Mas, as informações sobre as taxas de colisão ou distúrbios causados são escassas (García et al., 2015; Bastos et al., 2016; Farfán et al., 2017; Gómez-Catasús et al., 2018), pois os métodos comumente utilizados para registrar as mortes podem subestimar o efeito direto dos parques eólicos sobre este grupo de aves (Atienza et al., 2011), devido à sua baixa detectabilidade e alta taxa de desaparecimento de carcaça (Erickson et al., 2014). Além disso, a probabilidade de colisão, tanto de aves pequenas quanto grandes, pode depender de fatores como condições climáticas, estação do ano, localização do parque eólico e características técnicas das turbinas (Barrios and Rodriguez, 2004; Drewitt and Langston, 2008; De Lucas et al., 2012).

A maioria das propostas de parques eólicos no Reino Unido situa-se em áreas com montanhas, devido à alta disponibilidade do recurso eólico, mas estas áreas são importantes para a conservação das aves que ocupam esses locais (GWEC, 2015). Pearce-Higgins et al. (2012) compilaram os dados disponíveis sobre mudanças temporais nas populações de aves em parques eólicos do Reino Unido, para verificar se existia evidência de declínio na abundância de aves nidificantes nas instalações eólicas. Como resultado, houve pouca evidência de declínio populacional de qualquer espécie na pós-construção, sugerindo pela primeira vez que a construção de parques eólicos pode ter maiores impactos sobre as aves do que a operação dos mesmos. No entanto, esses estudos podem subestimar, por exemplo, o risco de colisão de alguma espécie, devido a falta de registro na área (Furness et al., 2016). No sul da Espanha, Ferrer et al. (2012) analisaram a relação entre a predição de risco de acordo com o Estudo de Impacto Ambiental (EIA) e o registro da mortandade de aves nos parques eólicos após entrarem em operação, e concluíram que há uma fraca relação entre os estudos e a mortalidade registrada nos parques eólicos. Por outro lado, estas informações podem indicar e subsidiar medidas que visem reduzir o impacto em relação à fauna e evitar a implantação em áreas sensíveis.

Desta forma, considerando que a implantação e operação de parques eólicos ainda é recente no Brasil, quando comparada com outros países, e que não existem análises sobre os efeitos desta atividade na avifauna local, o objetivo deste trabalho foi avaliar a riqueza, composição de espécies e os registros de óbitos de aves em 11 parques eólicos em operação no extremo sul do Brasil, comparando três regiões e avaliando como as características técnicas desses parques e fatores ambientais tem influência nas fatalidades por colisão.

## **2. Material e Métodos**

### **2.1. Área de estudo**

A área de estudo abrange oito municípios do Rio Grande do Sul, Brasil, que pertencem a três regiões eólicas (Rio Grande do Sul, 2014a): Coxilha de Santana, Litoral Norte e Litoral Sul onde existem 11 parques eólicos operando (Tabela 1). Os municípios do Litoral Norte e Sul estão inseridos na área de influência da rota migratória Atlântica, que se estende ao longo da costa brasileira do Amapá ao Rio Grande do Sul, enquanto os municípios da região da Coxilha de Santana estão sob a influência da rota Brasil Central (ICMBio, 2016). Além disso, nestas regiões existem IBAs (Important Bird Area), por abrigar espécies de aves

ameaçadas de extinção (Bencke et al., 2006). Para o Estado são registradas 704 espécies de aves (Franz et al., 2018), sendo que destas, cerca de 100 espécies estão inseridas em alguma categoria de ameaça de extinção e 36 se encontram como “quase-ameaçadas” conforme o Decreto Estadual n° 51.797 (Rio Grande do sul, 2014b).

Todos os municípios estão inseridos em alguma ecorregião terrestre (Life, 2015) e de água doce (Abell et al., 2008). O município da região da Coxilha de Santana (Santana do Livramento) está inserido na ecorregião terrestre campos sulinos e na ecorregião de água doce do Baixo Uruguai. Os municípios do Litoral Norte (Osório, Palmares do Sul, Tramandaí e Xangri-lá) estão inseridos nas ecorregiões terrestres campos sulinos, florestas costeiras da serra do mar, florestas do interior do Paraná/Paranaíba e restingas da Costa Atlântica e nas ecorregiões de água doce da Laguna dos Patos e do Tramandaí-Mampituba. Os municípios do Litoral Sul (Chuí, Rio Grande e Santa Vitória do Palmar) estão inseridos nas ecorregiões terrestres campos sulinos e restingas da Costa Atlântica e na ecorregião de água doce Laguna dos Patos. O clima é classificado como subtropical úmido, oceânico sem estação seca com verão quente. A temperatura média anual é entre 18 e 20°C e a pluviosidade média anual 1300-1600 mm (Alvares et al., 2013). Estas regiões caracterizam-se, principalmente, por áreas de formação pioneira, de estepe e tensão ecológica. Todas estas fitofisionomias estão inseridas no Bioma Pampa e compostas principalmente por áreas de campo, com a presença de áreas úmidas e ambiente florestal, normalmente associado à presença de água, bem como áreas com monoculturas (IBGE, 2004; Boldrini et al., 2010).

**Tabela 1.** Dados dos 11 parques eólicos em operação no Rio Grande do Sul, Brasil.

Parque Eólico	Coordenadas	Município	Região Eólica
WF1	-30.289215 / -50.308909	Palmares do Sul	Litoral Norte
WF2	-30.069641 / -50.181125	Tramandaí	Litoral Norte
WF3	-29.978117 / -50.294382	Osório	Litoral Norte
WF4	-29.778102 / -50.071368	Xangri-lá	Litoral Norte
WF5	-30.447873 / -50.386153	Palmares do Sul	Litoral Norte
WF6	-33.517978 / -53.242087	Santa Vitória do Palmar	Litoral Sul
WF7	-33.673080 / -53.383292	Chuí	Litoral Sul
WF8	-32.219980 / -52.204164	Rio Grande	Litoral Sul
WF9	-32.416468 / -52.347902	Rio Grande	Litoral Sul
WF10	-30.8973280 / -55.6819400	Santana do Livramento	Coxilha de Santana
WF11	-30.845582 / -55.686526	Santana do Livramento	Coxilha de Santana

## 2.2. Procedimentos metodológicos

O trabalho foi desenvolvido a partir da obtenção de dados secundários de avifauna, oriundos dos relatórios de monitoramento de fauna (ABG, 2016; Ardea, 2015, 2017; Bioimagens, 2017; Biometria, 2016, 2017; Biopampa, 2016; Hidrobrasil, 2015; Maia, 2015; Napeia, 2016a, 2016b) submetidos à agência ambiental do Estado do Rio Grande do Sul, Fundação Estadual de Proteção Ambiental Henrique Luiz Roessler – FEPAM, como condicionantes das licenças ambientais de operação. Foram selecionados 11 parques eólicos que entraram em operação até janeiro de 2016 e possuíam 12 meses completos de

monitoramento de fauna. Os dados de registro de ocorrência das espécies (riqueza) apresentados nos relatórios foram conferidos quanto às premissas: (i) dados coletados apenas na área de influência direta do empreendimento; (ii) coleta de dados com pelo menos um ano e quatro estações (verão, outono, inverno e primavera); (iii) monitoramento das aves deve ter ocorrido pelo método de pontos fixos (Bibby et al., 1997) e (iv) apresentar lista da composição das espécies. A partir do atendimento das premissas, os dados de avifauna foram compilados, tabulados e sistematizados para cada parque eólico. A nomenclatura das espécies e a ordenação sistemática seguiu a BirdLife (2017), assim como os seus nomes populares. Cada espécie foi classificada quanto à guilda de ambiente em: área aberta (OA), banhado (WT), borda de floresta (FE) ou floresta (FO) (Stotz et al., 1996) e quanto à guilda alimentar em preferencialmente: carnívora, frugívora, granívora, herbívora, insetívora, necrófaga, nectarívora, omnívora ou piscívora (Azpiroz, 2001). Além disso, foram classificadas quanto ao status de ocorrência em residente (R), migrante do norte (VN), migrante do sul (VS), vagante do sul (VA'S) e desconhecido (D) (Piacentini et al., 2015). O status de conservação internacional seguiu IUCN (2017), o nacional seguiu a Portaria nº MMA 444 (Brasil, 2014) e o regional seguiu o Decreto Estadual nº 51.797 (Rio Grande do Sul, 2014b).

Os dados de fatalidade também foram obtidos dos relatórios de monitoramento de fauna citados anteriormente. Todos os estudos utilizaram a busca ativa por carcaças de aves mortas ao redor das turbinas eólicas num raio de até 100 m. Para fins de comparação, foram utilizados os registros de óbitos de um ano de monitoramento. Foram considerados os dados brutos sem correção e os registros determinados até o nível taxonômico de espécie. A taxa de mortalidade observada foi calculada através da razão do número total de aves mortas em um ano pelo número total de turbinas no parque eólico, sendo expressa por “ind./turbina/ano”. Para a taxa de mortalidade estimada foi aplicada a correção proposta por Erickson et al. (2007).

As espécies que morreram pela colisão com as turbinas eólicas também foram classificadas quanto à guilda de ambiente (Stotz et al., 1996), guilda alimentar (Azpiroz, 2001), status de ocorrência (Piacentini et al., 2015) e status de conservação (Brasil, 2014, Rio Grande do Sul, 2014b, IUCN, 2017), seguindo o mesmo padrão das espécies registradas. Além disso, as espécies foram classificadas conforme a guilda funcional (elaborado pelos autores) em: carnívoro de área aberta (COA), granívoro de área aberta (GOA), granívoro florestal (GFO), herbívoro de banhado (HWT), insetívoro de área aberta (IOA), insetívoro de voo de área aberta, (IFOA) insetívoro de borda florestal (IFE), insetívoro florestal (IFO), necrófago de área aberta (SOA), omnívoro de área aberta (OOA), omnívoro de banhado (OWT), piscívoro de banhado (PWT) e piscívoro marinho (PMA).

Informações sobre as características técnicas dos parques eólicos como: número total de turbinas, altura da torre, diâmetro do rotor e tamanho da área foram obtidas a partir das licenças ambientais dos 11 parques eólicos. Os dados de precipitação média e velocidade média dos ventos foram obtidos através de consulta ao Instituto Nacional de Meteorologia – INMET, que cedeu dados de quatro estações meteorológicas que estão próximas aos parques eólicos.

### 2.3. Análise dos dados

A análise de coordenadas principais (PCoA), com índice de similaridade de Jaccard, foi utilizada para ordenar os parques eólicos conforme a composição de espécies e foi aplicada a Two-way PERMANOVA com 1000 permutações, para avaliar a diferença entre as regiões (Coxilha de Santana, Litoral Norte e Litoral Sul). Foi feita regressão linear simples



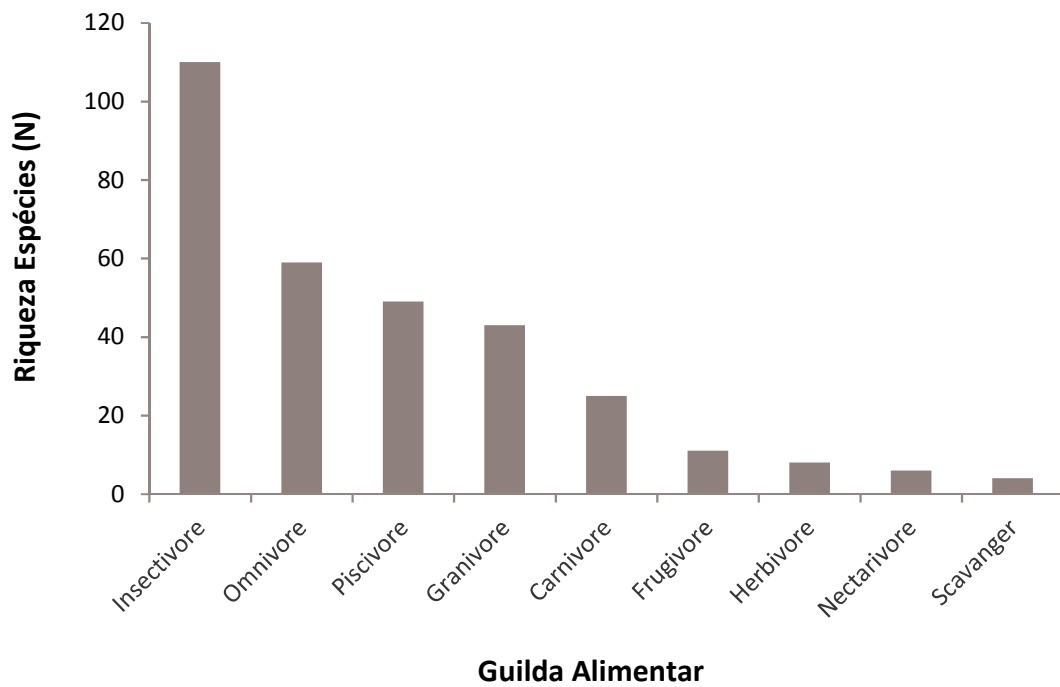
para testar a relação entre as áreas dos parques eólicos e a riqueza de espécies. A análise de correspondência canônica (CCA) foi aplicada para ordenar e verificar a influência das características dos parques eólicos (número total de turbinas, altura da torre, diâmetro do rotor e tamanho da área) e fatores ambientais (uso do solo, precipitação média e velocidade média dos ventos) sobre a mortalidade das espécies de aves pela colisão com as turbinas eólicas. Da mesma forma, a CCA foi aplicada para as guildas funcionais, a fim de testar se as espécies agrupadas pela sua função no ambiente daria uma resposta mais efetiva na mortalidade. Para comparar a diferença de mortalidade entre as regiões foi aplicada uma Two-way PERMANOVA com 1000 permutações. Todas as análises foram determinadas por meio do *Software Past* (Hammer et al., 2001), versão 2.16, com um intervalo de confiança de 95%.

### 3. Resultados

#### 3.1. Composição de espécies

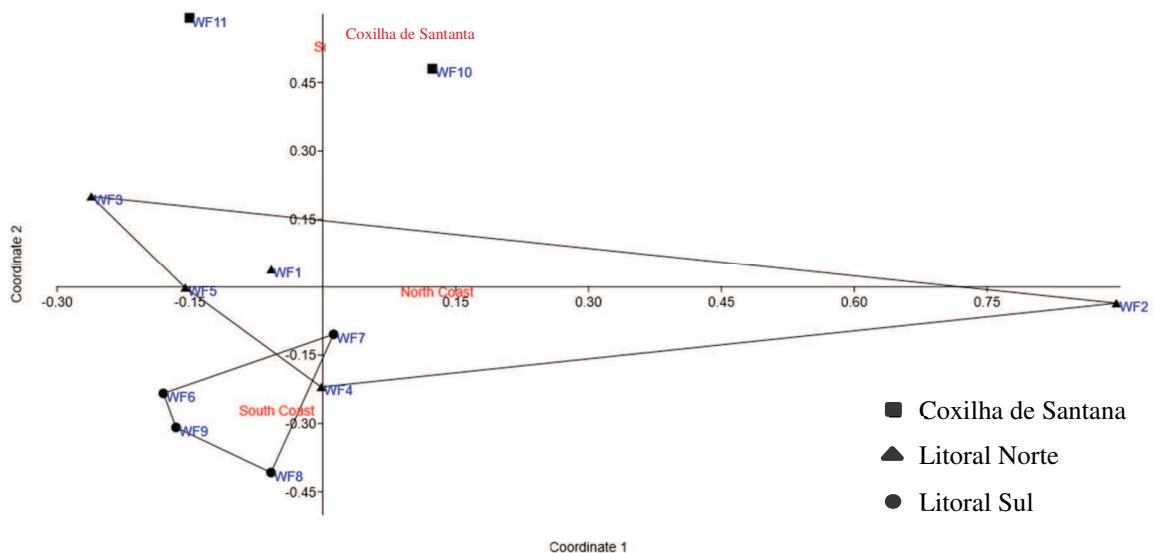
Nos 11 parques eólicos avaliados foram registradas 315 espécies de aves, distribuídas em 22 ordens e 60 famílias. A ordem com maior representatividade foi Passeriformes com 46% (n=145) das espécies. Apenas 31 espécies registradas estavam presentes em todos os parques eólicos e 63 espécies foram registradas em apenas um. Do total de espécies, apenas nove estão em alguma categoria de conservação internacional, nacional ou regional. Internacionalmente, *Phoenicoparrus andinus*, *Xolmis dominicanus* e *Anthus nattereri* tem status vulnerável e *Sporophila palustris* está em perigo. *Procellaria aequinoctialis* é considerada vulnerável internacional e regionalmente. Duas espécies estão ameaçadas apenas em nível nacional, *Calidris canutus* (criticamente em perigo) e *Thamnophilus caerulescens* (vulnerável). *Circus cinereus* tem status vulnerável, nacional e regionalmente. *Sporophila collaris* é considerada vulnerável no RS. Além disso, 87% das espécies são residentes e 13% são migratórias, sendo 21 espécies migrantes do norte, 15 migrantes do sul, uma vagante do sul e uma com status desconhecido.

As espécies que ocupam as áreas abertas representam 43,2% das espécies ocorrentes em todos os parques eólicos estudados, seguida pelas espécies de banhado (29,2%), espécies de borda de floresta (15,6%) e espécies florestais (12,1%). Com relação à guilda alimentar, a maior parte das espécies que foram registradas são insetívoras (35%), omnívoras (19%), piscívoras (16%) e granívoras (14%) (Fig. 1).

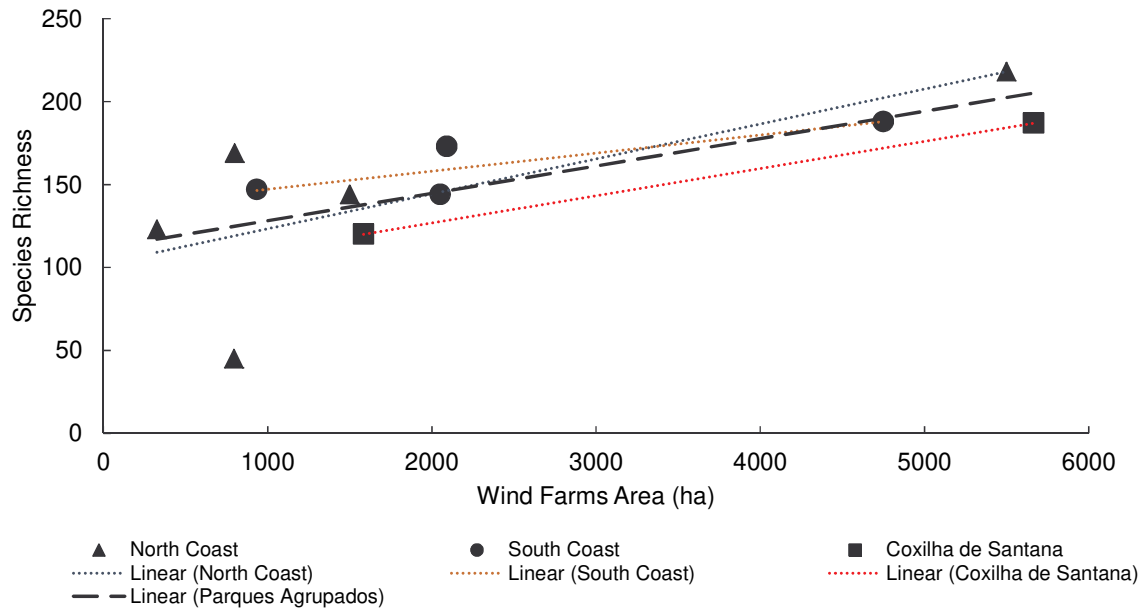


**Fig. 1.** Número de espécies em cada guilda alimentar nos parques eólicos em operação no Rio Grande do Sul, Brasil.

Os parques eólicos foram ordenados de acordo com a composição de espécies e agrupados conforme conforme as três regiões: Coxilha de Santana, Litoral Norte e Litoral Sul, demonstrando variação entre elas ( $p=0,0004$ , Fig. 2). Os parques eólicos ocupam tamanhos de área diferentes e quanto maior a área do parque, maior é a riqueza de espécies ( $p=0,0224$ , Fig. 3), independente da região.



**Fig. 2.** Ordenação da composição de espécies nos parques eólicos em operação no Rio Grande do Sul, Brasil ( $p=0,0004$ ).



**Fig. 3.** Riqueza de espécies em relação ao tamanho da área nos parques eólicos em operação no Rio Grande do Sul, Brasil ( $p=0,0224$ ).

### 3.2. Colisões

As características técnicas e as condições ambientais dos 11 parques eólicos estão apresentadas na Tabela 2. Durante o período de um ano, morreram por colidir com as turbinas eólicas um total de 129 aves, distribuídas em 13 ordens, 28 famílias e 43 espécies, sendo 42 residentes e apenas uma migrante do Sul, *Catharacta antarctica* (Tabela 3). A ordem mais afetada foi a dos Passeriformes com 35% ( $n=15$ ) das espécies e não-passeriformes 65% ( $n=28$ ). As espécies de área aberta representam 58% (25 espécies) do total das espécies, seguida pelas espécies de banhado (28%), florestais (12%) e de borda de floresta (2%). A maior parte das espécies que morreram pela colisão é insetívora (33%) ou piscívora (23%), seguida por espécies granívoras (16%), carnívoras (9%), omnívoras (9%), herbívoras (5%) e necrófagas (5%). Com relação aos grupos funcionais 23% são insetívoras de área aberta, 16% piscívoras de banhado e 14% granívoras de área aberta. Além disso, nenhuma destas espécies apresenta algum risco de conservação. Do total de indivíduos que morreram, três espécies se destacam: *Ciconia maguari* (maguari) com 14 indivíduos, sendo sete no WF6 (Litoral Sul), *Rostrhamus sociabilis* (gavião-caramujeiro) com 11 indivíduos, sendo oito no WF4 (Litoral Norte) e *Tachycineta leucorrhoa* (andorinha-de-sobre-branco) com 25 indivíduos, sendo 14 no WF11 (Coxilha de Santana). Estas três espécies representam 38,7% dos registros de óbitos e estão presentes em todos os parques eólicos. Além disso, três parques (WF4, WF6 e WF11) representam 55% do total de registros de óbitos.

**Tabela 2.** Características técnicas (número total de turbinas, altura da torre, diâmetro do rotor e tamanho da área) e fatores ambientais (precipitação média e velocidade média do vento) dos parques eólicos em operação no Rio Grande do Sul, Brasil.

Parque Eólico	Area (ha)	Número Turbinas	Altura Turbina (m)	Diâmetro Rotor (m)	Precipitação (mm)	Vento (m/s)
WF1	1500	40	120	116	86,9	4,6
WF2	796	31	98	82	155,06	4,24
WF3	5500	148	98	82	196,64	4,03
WF4	327	9	94	100	142,46	4,36
WF5	800	25	98	82	86,9	4,6
WF6	4750	129	78	97	97,65	4,49
WF7	2052	49	78	97	106,95	5,05
WF8	935	32	78	97	116,4	3,1
WF9	2092	40	89	122	109,22	3,4
WF10	1585	24	80	114	77,2	3,4
WF11	5665	45	107	82	92,1	3,2

**Tabela 3.** Espécies, grupo funcional e número de indivíduos que morreram ao colidir com os 11 parques eólicos (WF) em operação no Rio Grande do Sul, Brasil. (COA=carnívoro área aberta, HWT= herbívoro banhado, GOA=granívoro área aberta, GFO=granívoro florestal, IOA=insetívoro área aberta, IFE= insetívoro borda florestal, IFO=insetívoro florestal, IFOA=insetívoro de voo área aberta, SOA=necrófago área aberta, OOA=omnívoro área aberta, OWT=omnívoro banhado, PWT=piscívoro banhado, PMA=piscívoro marinho)

Espécies	Grupo Funcional	WF1	WF2	WF3	WF4	WF5	WF6	WF7	WF8	WF9	WF10	WF11	Total
<i>Chauna torquata</i>	HWT	0	0	0	1	0	0	0	0	0	1	0	2
<i>Dendrocygna viduata</i>	HWT	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	1
<i>Geotrygon montana</i>	GFO	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
<i>Zenaida auriculata</i>	GOA	0	0	0	3	0	0	0	0	0	0	0	3
<i>Columbina talpacoti</i>	GOA	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1
<i>Chaetura meridionalis</i>	IFOA	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	1
<i>Guira guira</i>	OOA	0	0	0	2	0	0	0	0	0	0	0	2
<i>Pardirallus maculatus</i>	PWT	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	1
<i>Gallinula galeata</i>	OWT	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	1
<i>Aramus guarana</i>	PWT	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	1
<i>Mycteria americana</i>	PWT	0	0	0	0	0	2	0	0	0	0	0	2
<i>Ciconia maguari</i>	PWT	0	0	3	0	1	7	1	0	0	2	0	14
<i>Platalea ajaja</i>	OWT	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	1
<i>Bubulcus ibis</i>	OOA	1	0	1	1	0	2	0	2	0	1	0	8
<i>Ardea alba</i>	PWT	0	0	0	0	1	2	0	0	0	0	0	3
<i>Fregata magnificens</i>	PMA	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	1
<i>Phalacrocorax brasilianus</i>	PWT	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	1
<i>Vanellus chilensis</i>	IOA	0	0	0	1	0	2	2	1	0	2	0	8
<i>Sterna trudeaui</i>	PMA	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	1
<i>Catharacta antarctica</i>	PMA	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	1

**Tabela 3** (continuação)

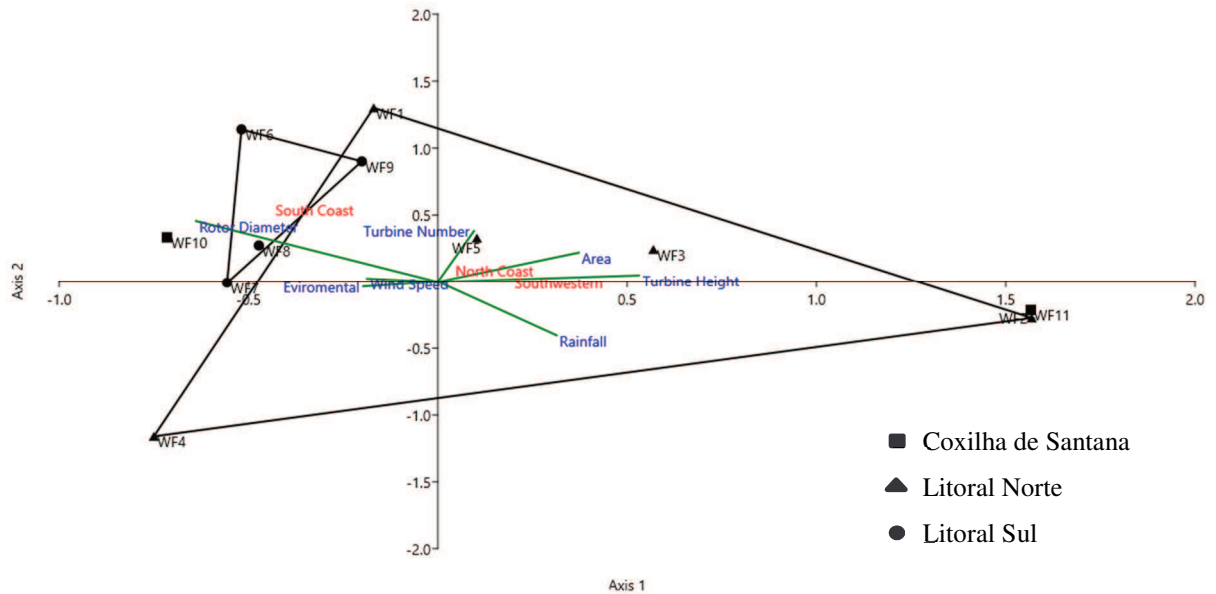
<b>Espécies</b>	<b>Grupo Funcional</b>	<b>WF1</b>	<b>WF2</b>	<b>WF3</b>	<b>WF4</b>	<b>WF5</b>	<b>WF6</b>	<b>WF7</b>	<b>WF8</b>	<b>WF9</b>	<b>WF10</b>	<b>WF11</b>	<b>Total</b>
<i>Cathartes aura</i>	SOA	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	<b>1</b>
<i>Coragyps atratus</i>	SOA	0	0	0	1	2	0	0	0	0	0	0	<b>3</b>
<i>Rostrhamus sociabilis</i>	PWT	0	0	0	8	0	1	1	1	0	0	0	<b>11</b>
<i>Rupornis magnirostris</i>	COA	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	<b>1</b>
<i>Heterospizias meridionalis</i>	COA	0	0	0	1	0	1	1	0	1	0	0	<b>4</b>
<i>Milvago chimachima</i>	COA	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	<b>1</b>
<i>Falco sparverius</i>	COA	0	0	2	0	0	0	0	1	0	3	0	<b>6</b>
<i>Myiopsitta monachus</i>	GOA	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	<b>1</b>
<i>Camptostoma obsoletum</i>	IFE	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	<b>1</b>
<i>Pyrocephalus rubinus</i>	IOA	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	<b>1</b>
<i>Pitangus sulphuratus</i>	IOA	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	<b>2</b>
<i>Tyrannus savana</i>	IOA	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	<b>1</b>
<i>Furnarius rufus</i>	IOA	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	<b>1</b>
<i>Anumbius annumbi</i>	IOA	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	<b>1</b>
<i>Vireo chivi</i>	IFE	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	<b>2</b>
<i>Tachycineta leucorrhoa</i>	IOA	0	5	5	0	1	0	0	0	0	0	14	<b>25</b>
<i>Progne tapera</i>	IOA	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	1	<b>2</b>
<i>Progne chalybea</i>	IOA	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	2	<b>3</b>
<i>Cistothorus platensis</i>	IOA	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	<b>1</b>
<i>Parula pitayumi</i>	IFE	0	0	0	1	0	0	1	0	0	1	0	<b>3</b>
<i>Chrysomus ruficapillus</i>	GOA	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	<b>1</b>
<i>Leistes superciliosus</i>	GOA	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	<b>1</b>
<i>Sicalis luteola</i>	GOA	0	0	0	1	0	1	0	0	0	0	0	<b>2</b>
<b>Total</b>		<b>2</b>	<b>6</b>	<b>16</b>	<b>30</b>	<b>5</b>	<b>21</b>	<b>7</b>	<b>6</b>	<b>3</b>	<b>13</b>	<b>20</b>	<b>129</b>

Dos 11 parques eólicos analisados, oito apresentaram taxa de mortalidade observada menor ou igual a 0,3 indivíduo/turbina/ano. A menor taxa aconteceu no WF9 e a maior no WF4 (Tabela 4). A taxa de mortalidade média observada foi 0,494 indivíduo/turbina/ano e a taxa de mortalidade média estimada foi 1,154 indivíduo/turbina/ano.

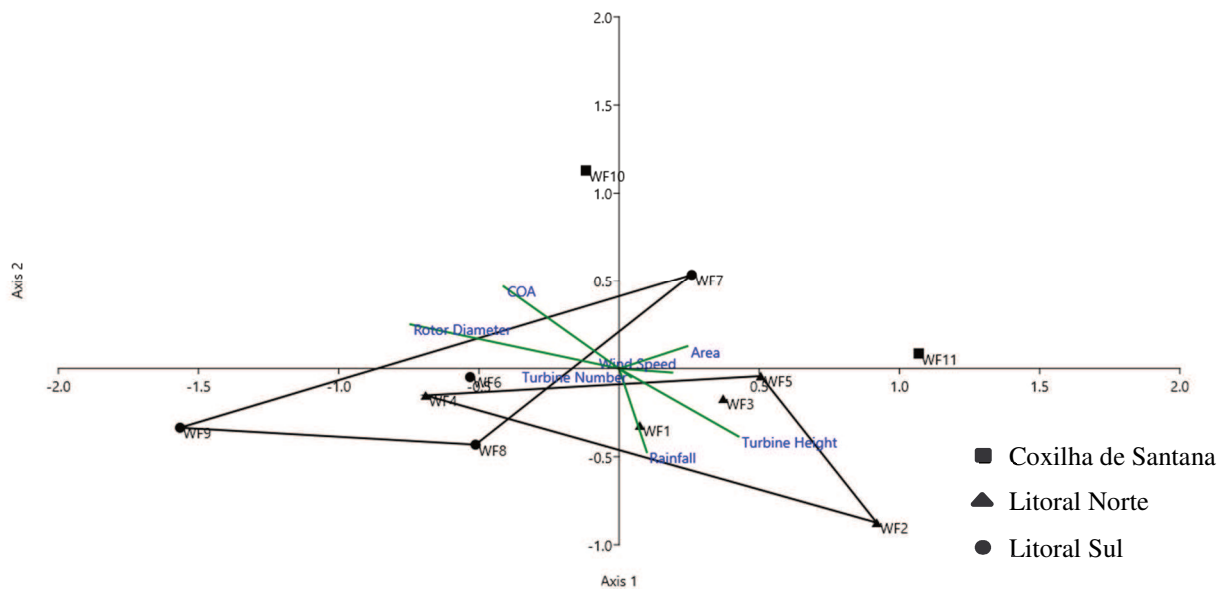
**Tabela 4.** Riqueza de espécies, número de colisões por espécie, número de indivíduos que colidiram, taxa de mortalidade observada e taxa de mortalidade estimada (ind./turbina/ano) dos parques eólicos em operação no Rio Grande do Sul, Brasil.

<b>Parque Eólico</b>	<b>Riqueza Espécies</b>	<b>Colisões n° espécies</b>	<b>Colisões n° indivíduos</b>	<b>Taxa Mortalidade Observada</b>	<b>Taxa Mortalidade Estimada</b>
<b>WF1</b>	144	2	2	0,050	0,117
<b>WF2</b>	45	3	6	0,194	0,452
<b>WF3</b>	218	9	16	0,108	0,252
<b>WF4</b>	123	20	30	3,333	7,778
<b>WF5</b>	169	4	5	0,200	0,467
<b>WF6</b>	188	15	21	0,163	0,380
<b>WF7</b>	144	6	7	0,143	0,333
<b>WF8</b>	147	6	6	0,188	0,438
<b>WF9</b>	173	3	3	0,075	0,175
<b>WF10</b>	120	10	13	0,542	1,264
<b>WF11</b>	187	6	20	0,444	1,037

Quando foram analisadas as espécies que morreram pela colisão, não houve diferença entre as três regiões: Coxilha de Santana, Litoral Norte e Litoral Sul ( $p=0,1998$ ) e as características técnicas dos parques (área parque eólico  $p=0,386$ , número turbinas  $p=0,122$ , altura turbinas  $p=0,211$  e diâmetro rotor  $p=0,834$ ) e os fatores ambientais (precipitação  $p=0,400$  e velocidade vento  $p=0,353$ ) avaliados não possuem relação com as espécies que morreram (Fig. 4). O mesmo padrão foi encontrado quando as guildas funcionais foram avaliadas (regiões  $p=0,442$ , área parque eólico  $p=0,536$ , número turbinas  $p=0,535$ , altura turbinas  $p=0,393$ , diâmetro rotor  $p=0,917$ , precipitação  $p=0,434$  e velocidade vento  $p=0,573$ , Fig. 5).



**Fig. 4.** Ordenação dos parques eólicos em operação no Rio Grande do Sul, Brasil, quanto a mortalidade de espécies nas três regiões ( $p=0,1998$ ) e a influência das características técnicas dos parques eólicos (área do parque eólico  $p=0,386$ , número de turbinas  $p=0,122$ , altura das turbinas  $p=0,211$ , diâmetro do rotor  $p=0,834$ ) e dos fatores ambientais (precipitação  $p=0,400$  e velocidade do vento  $p=0,353$ ) na mortalidade.



**Fig. 5.** Ordenação dos parques eólicos em operação no Rio Grande do Sul, Brasil, quanto a mortalidade nas guildas funcionais nas três regiões ( $p=0,442$ ) e a influência das características técnicas dos parques eólicos (área do parque eólico  $p=0,536$ , número de turbinas  $p=0,535$ , altura das turbinas  $p=0,393$ , diâmetro do rotor  $p=0,917$ ) e dos fatores ambientais (precipitação  $p=0,434$  e velocidade do vento  $p=0,573$ ) na mortalidade.

## 4. Discussão

### 4.1. Composição de espécies

Nos 11 parques eólicos analisados foram registradas 315 espécies de aves, o que representa 45% do total de 704 espécies citadas para o estado do RS (Franz et al., 2018). A ordem com maior representatividade foi Passeriformes (46%), seguindo a distribuição do que acontece no estado (47%) e no mundo, onde os passeriformes somam mais de 60% de todas as espécies de aves (Gill and Donsker, 2018).

Os parques eólicos do RS estão instalados em regiões que possuem IBAs e com muitas espécies com interesse para conservação. Do total de espécies citadas para o estado, cerca de 100 estão inseridas em alguma categoria de ameaça de extinção e destas, 36 se encontram como “quase-ameaçadas” segundo o Decreto Estadual nº 51.797 (Rio Grande do Sul, 2014). Entretanto, foram registradas apenas nove espécies que estão em alguma categoria de conservação internacional, nacional ou regional.

A riqueza de espécies registrada na maioria dos parques eólicos do extremo sul do Brasil é alta, quando comparada com outros estados do país, como por exemplo, o Piauí, que pertence a região Nordeste. Recentemente, Guzzi et al. (2015) caracterizaram a composição e dinâmica ecológica das espécies de aves residentes e migratórias presentes na área de um parque eólico neste Estado e registaram 67 espécies, sendo a maioria residente, insetívora e de ambiente aquático. O parque com menor riqueza no RS registrou 45 espécies, enquanto os demais registraram mais de 120 espécies.

### 4.2. Colisões

No total de parques eólicos avaliados morreram pela colisão com as turbinas eólicas 129 indivíduos, porém um dos limitantes deste estudo é a falta de controle em relação a mesma área antes da instalação de cada parque. Assim, apesar de o número de mortes ser baixo, talvez muitas espécies já não estejam mais ocorrendo nas áreas.

Do total de mortes 35% são de passeriformes e 65% de não-passeriformes, o que era esperado uma vez que os parques estão instalados em áreas abertas e este é o grupo mais representativo. No mundo a ordem Passeriformes soma mais de 60% de todas as espécies de aves (Gill and Donsker, 2018) e no RS a proporção de passeriformes e não-passeriformes é de 47% e 53%, respectivamente (Franz et al., 2018). Ainda assim, informações disponíveis sobre os efeitos dos parques eólicos em passeriformes são escassas e este grupo começa a ser foco de investigações (Erickson et al., 2014; Garcia et al., 2015; Gómez-Catasús et al., 2018).

Apesar dos parques eólicos no RS estarem instalados em importantes rotas migratórias, como a Rota Atlântica e a Rota Brasil Central (ICMBio, 2016), e em regiões que possuem IBAs com muitas espécies com interesse para conservação, os registros de mortandade por colisão com as turbinas eólicas não indicam que estas espécies estejam sendo afetadas. Existe apenas um registro de morte de um migrante do Sul, *Catharacta antarctica* no WF9 que é um parque localizado no Litoral Sul e muito próximo ao mar. Possivelmente este indivíduo, que é um piscívoro marinho costeiro, colidiu ao acaso. Por outro lado, estão colidindo com as turbinas eólicas, quase que exclusivamente, espécies residentes, o que vai de encontro com a teoria, que diz que aves de hábitos migratórios são mais susceptíveis a colisões, comparando com as residentes, pois não convivem diariamente com o obstáculo e/ou desconhecem a sua existência num primeiro momento, diferente daquelas residentes, que acompanharam o seu surgimento (Henderson et al., 1996). Com relação as espécies com interesse para a conservação, também não foram registradas mortes. O mesmo padrão foi



encontrado no Líbano, que também tem IBAs demarcadas e teve estudos conduzidos por Al Zohbi et al. (2015) que indicaram o baixo risco de novos parques eólicos sobre as aves. Os autores sugeriram que o baixo risco pode estar relacionado ao fato de que a área é usada basicamente como uma rota de vôo e passagem, mas não como área de alimentação, empoleiramento ou reprodução. Contudo, espécies com especial interesse para conservação estão sendo impactadas (Reid et al., 2015; Homoya et al., 2017; Gómez-Catasús et al., 2018).

Do total de indivíduos que morreram, três espécies chamaram a atenção pelo número de indivíduos que colidiram: *Ciconia maguari* (maguari), *Rostrhamus sociabilis* (gavião-caramujeiro) e *Tachycineta leucorrhoa* (andorinha-de-sobre-branco). As duas primeiras são piscívoras de banhado e a terceira insetívora de área aberta. A maguari tem quase 4 kg e o gavião-caramujeiro 400 g, corroborando a ideia de que as espécies mais impactadas são aquelas com maior peso (Bevanger, 1998; Janss, 2000; Bevanger and Broseth, 2001). Além disso, ambas espécies tem risco aumentado por pertencerem, respectivamente, a ordem dos Ciconiiformes, que são espécies grandes e com baixa manobrabilidade (De Lucas et al., 2008) e Accipitriformes, aves de hábitos carnívoros e/ou necrófagos (Mackinnon et al., 2001; Lehman et al., 2007). Já *Tachycineta leucorrhoa* pertence aos Passeriformes e tem apenas 19 g e pertence ao grupo que começa a ser pesquisado. Recentemente, Gómez-Catasús et al. (2018) avaliaram o efeito de turbinas eólicas em uma espécie ameaçada de passeriforme, *Chersophilus duponti* (calhandra-de-dupont) e destacaram o impacto negativo dos parques eólicos sobre aves de pequeno porte.

A taxa média de mortalidade observada entre os 11 parques foi (0,494 ind./turbina/ano). A maior taxa de mortalidade (3,3 ind./turbina/ano) ocorreu no parque eólico WF4 que é o menor parque, com apenas nove turbinas eólicas. Este parque foge ao padrão de taxa de mortalidade do restante do RS e do mundo (Marques et al., 2014; Wang et al., 2015). Das espécies que estão morrendo no WF4, *Rostrhamus sociabilis* (gavião-caramujeiro) tem oito registros. Esta espécie é de topo de cadeia alimentar, tem ótima acuidade visual e ao detectar uma presa se lança sobre ela em um voo rápido, assim podendo colidir com os mais diversos obstáculos (Mackinnon et al., 2001; Lehman et al., 2007). Avaliando o entorno do parque eólico, sabe-se que existe uma área de reprodução próxima e os indivíduos devem estar usando as turbinas como poleiro e se lançando quando detectam uma presa. No período reprodutivo há maior deslocamentos de indivíduos adultos, porque precisam alimentar os filhotes, este comportamento pode elevar as chances de colisão (Hüppop et al., 2006). Além disso, a área do parque é cercada por lagoas, capões de restinga e a serra do mar podem estar servindo como fontes de indivíduos, o que não acontece em outros parques.

A composição de espécies é diferente nas três regiões: Coxilha de Santana, Litoral Norte e Litoral Sul. No entanto, este padrão não se repete quando os dados de mortandade são analisados. Além disso, as características técnicas dos parques eólicos e os fatores ambientais avaliados não influenciam as espécies ou guildas funcionais que vieram a óbito pela colisão, o que corrobora os estudos desenvolvidos por Barclay et al. (2007) que testaram a hipótese de que as características das instalações dos parques eólicos (número de turbinas, diâmetro do rotor, a altura da torre, a capacidade instalada de megawatt) influenciavam a taxa de mortalidade de aves na América do Norte e concluíram que nem a altura das turbinas, nem o diâmetro do rotor influenciam, não existindo relação entre o número de aves mortas e a quantidade de megawatts produzidos.

A taxa média de mortalidade estimada (1,154 ind./turbina/ano) encontrada nos parques eólicos em operação no RS, bem como da maioria dos parques individualmente, está alinhada com o que está acontecendo em outros países. As taxas médias de parques localizados no

oeste (1,76 ind./turbina/ano), meio-oeste (2,30) e leste (4,90) dos Estados Unidos (Erickson et al., 2005) e no sul da Espanha (1,33) (Ferrer et al., 2012). Estas taxas correspondem a 20.000-37.000 aves mortas por ano (Erickson et al., 2005). No entanto, quando estes valores são comparados com outras estruturas antrópicas eles parecem pequenos. Só nos Estados Unidos estima-se que 550 milhões de aves morram por ano ao colidir com prédios, 130 milhões ao colidir com linhas de transmissão, 67 milhões pela exposição a pesticidas e 4,5 milhões pela colisão com torres de comunicação (Erickson et al., 2005). No Canadá, estima-se que 269 milhões de aves morram por ano provenientes de fontes relacionadas a seres humanos, mais de 95% destas mortes foram atribuídas à predação por gatos e colisões com veículos automotores, casas e linhas de transmissão, enquanto a mortalidade anual de turbinas eólicas foi estimada em 23.300 aves (Calvert et al., 2013).

Alguns parques eólicos tem taxas ainda menores do que aquelas encontradas no RS, por exemplo, no sul da Espanha (Província de Malaga), a taxa observada foi 0,03 ind./turbina/ano, considerando a correção pela remoção de carcaças e a capacidade do observador (Farfán et al., 2017). Como indicado por Fijn et al. (2012), os resultados obtidos mostram que, embora o risco de colisão de aves com turbinas eólicas seja baixo, os parques eólicos podem resultar em um uso diminuído de habitat, pelo menos para alguns grupos de aves, já que a presença do parque pode tornar a área menos atraente para as aves e poderia reduzir sua capacidade de carga.

## 5. Conclusão

As três regiões eólicas estudadas apresentaram 45% das espécies de aves registradas para o RS, sendo na sua maioria residentes de área aberta. Cada região se agrupa conforme sua composição de espécies. No entanto, quando os registros de fatalidade por colisão foram analisados não foi encontrado padrão, tão pouco os fatores técnicos e ambientais analisados tem influência nos óbitos. Recomendamos que o monitoramento de avifauna ocorra antes da instalação do parque eólico, durante a sua implantação e seguindo na pós-construção durante a vida útil do empreendimento para avaliar a persistência da distribuição de espécies, e para mitigar e compensar possíveis impactos ambientais decorrentes do desenvolvimento da energia eólica na região. O trabalho de campo pós-construção deve coletar preferencialmente dados sobre as tendências populacionais, seguindo uma metodologia comum, adaptada às características do habitat de cada parque eólico. Finalmente sugerimos que as autoridades ambientais, em colaboração com a indústria e pesquisadores, reavaliem e implementem um protocolo de monitoramento detalhado que seja obrigatório para todos os parques eólicos. Desta forma, poderemos garantir que os trabalhos técnicos sejam realizados e apresentados adequadamente, fornecendo uma fonte de informação confiável que pode ser analisada em conjunto, determinando se algum impacto significativo sobre as aves, em nível local ou populacional, está acontecendo.

## Agradecimentos

Agradecemos à Fundação Estadual de Proteção Ambiental Henrique Luiz Roessler – FEPAM pelo acesso aos relatórios ambientais.

## Financiamento

Este trabalho foi apoiado por Celulose Irani S/A.

## Referências

- Abeeólica – Associação Brasileira de Energia Eólica, 2018. Dados Mensais – Novembro 2018. <http://abeeolica.org.br/wp-content/uploads/2018/11/Numeros-ABEEolica-Novembr.pdf>. (Accessed 09 December 2018).
- Abell, R., Thieme, M., Revenga, C., Bryer, M., Kottelat, M., Bogutskaya, N., Coad, B., Mandrak, N., Contreras-Balderas, S., Bussing, W., Stiassny, M.L.J., Skelton, P., Allen, G.R., Unmack, P., Naseka, A., Ng, R., Sindorf, N., Robertson, j., Armijo, E., Higgins, J., Heiberl, T.J., Wikramanayake, E., Olson, D., Lopez, H.L., Reis, R.E.d., Lundberg, J.G., Sabaj Perez, M.H., Petry, P., 2008. Freshwater ecoregions of the world: A new map of biogeographic units for freshwater biodiversity conservation. *BioScience* 58, 403-414.
- ABG, Engenharia e Meio Ambiente, 2016. Relatório Semetral de Ações e Monitoramento Ambiental Complexo Eólico Atlântica. Relatório Técnico não publicado entregue a FEPAM.
- Al Zohbi, G., Hendrick, P., Bouillard, Ph., 2015. Evaluation of the impact of Wind farms on birds: The case study of Lebanon. *Renewable Energy* 80, 682-689.
- Alvares, C.A, Stape, J.L., Sentelhas, P.C., Gonçalves, J.L., Sparovek, G., 2013. Köppen's climate classification map for Brazil. *Meteorologische Zeitschrift* 22, 711–728.
- Ardea, Consultoria Ambiental, 2015. Programa de Monitoramento de Fauna durante a operação do Complexo Eólico Geribatu - 1º Relatório Anual. Relatório Técnico não publicado entregue a FEPAM.
- Ardea, Consultoria Ambiental, 2017. Programa de Monitoramento de Fauna durante a operação dos Parques Eólicos Chuí - 3º Relatório Semestral. Relatório Técnico não publicado entregue a FEPAM.
- Atienza, J.C., Martín Fierro, I., Infante, O., Valls, J., Dominguez, J., 2011. Directrices para la evaluación del impacto de los parques eólicos en aves y murciélagos (versión 3.0). SEO/BirdLife, Madrid.
- Azpiroz, A.B., 2001. Aves del Uruguay: Lista e introducción a su biología y conservación. Montevideo, v. 104.
- Barclay, R.M.R., Baerwald, E.F., Gruver, J.C., 2007. Variation in bat and bird fatalities at wind energy facilities: assessing the effects of rotor size and tower height. *Canadian Journal of Zoology* 85, 381-387.
- Barrios, L., Rodriguez, A., 2004. Behavioural and environmental correlates of soaring-bird mortality at on-shore wind turbines. *Journal of Applied Ecology* 41, 72–81.
- Bastos, R., Pinhanços, A., Santos, M., Fernandes, R.F., Vicente, J.R., Morinha, F., Honrado, J.P., Travassos, P., Barros, P., Cabral, J.A., 2016. Evaluating the regional cumulative impact of wind farms on birds: how can spatially explicit dynamic modelling improve impact assessments and monitoring? *Journal of Applied Ecology* 53, 1330–1340.

- Bencke, G.A., Maurício, G.N., Develey, P.F., Goerck, J.M. (orgs.), 2006. Áreas Importantes para a Conservação das Aves no Brasil. Parte I – Estados do Domínio da Mata Atlântica. SAVEBrasil, São Paulo, 2006.
- Bevanger, K., 1998. Biological and conservation aspects of bird mortality caused by electricity power lines: a review. *Biological Conservation* 86, 67-76.
- Bevanger, K., Broseth, H., 2001. Bird collisions with power lines - an experiment with ptarmigan (*Lagopus* spp.). *Biological Conservation* 99, 341-346.
- Bibby, C. J., Birguess, N. D., Hill, D. A., 1997. Bird census techniques. British Trust for Ornithology & The Royal Society for the Protection of Birds. Academic, Press, London, 257p.
- Bioimagens, Consultoria Ambiental Ltda., 2017. Relatório Anual de Monitoramento da Fauna Parque Eólico Tramandaí. Relatório Técnico não publicado entregue a FEPAM.
- Biometria, Consultoria e Projetos, 2016. Relatório de monitoramento da fauna para integração do licenciamento das licenças de operação dos 9 parques eólicos que formam o Complexo Eólico Osório. Relatório Técnico não publicado entregue a FEPAM.
- Biometria, Consultoria e Projetos, 2017. Monitoramento da Avifauna na Central Geradora Eólica Xangri-Lá. Relatório Técnico não publicado entregue a FEPAM.
- Biopampa, Consultoria e Assessoria Ambiental, 2016. Programa de Monitoramento da Fauna durante a Fase de Operação dos Parques Eólicos Galpões, Capão do Inglês e Coxilha Seca - 4º Relatório Trimestral. Relatório Técnico não publicado entregue a FEPAM.
- BirdLife International, 2017. The BirdLife checklist of the birds of the world: Version 2. <http://datazone.birdlife.org/species/taxonomy> (Accessed 09 June 2018).
- Boldrini, I.I., Ferreira, P.M.A., Andrade, B.O., Schneider, A.A., Setubal, R.B., Trevisan, R., Freitas, E.M., 2010. Bioma Pampa: diversidade florística e fisionômica. Porto Alegre, editora Pallotti, 64 p.
- Brasil, 2014. Portaria MMA nº 444, de 17 de dezembro de 2014. Traz a Lista Nacional Oficial de Espécies da Fauna Ameaçadas de Extinção. <http://pesquisa.in.gov.br/imprensa/jsp/visualiza/index.jsp?jornal=1&pagina=121&data=1> (Accessed 08 December 2018).
- Brasil, 2017. Ministério de Minas e Energia, Empresa de Pesquisa Energética. Plano Decenal de Expansão de Energia 2026. Brasília: MME/EPE, 2v.: il.
- Calvert, A.M., Bishop, C., Elliot, R.D., Krebs, E.A., Kydd, T.M., Machtans, C.S., Robertson, G.J., 2013. A synthesis of human-related avian mortality in Canada. *Avian Conservation Ecology* 8 (2), 11.

- De Lucas, M., Ferrer, M., Bechard, M.J., Muñoz, A.R., 2012. Griffon vulture mortality at Wind farms in southern Spain: distribution of fatalities and active mitigation measures. *Biological Conservation* 147, 184–189.
- De Lucas, M., Janss, G.F.E., Whitfield, D.P., Ferrer, M., 2008. Collision fatality of raptors in wind farms does not depend on raptor abundance. *Journal of Applied Ecology* 45, 1695–1703.
- Devereux, C.L., Denny, M.J.H., Whittingham, M.J., 2008. Minimal effects of wind turbines on the distribution of wintering farmland birds. *Journal of Applied Ecology* 45, 1689–1694.
- Drewitt, A.L., Langston, R.H.W., 2008. Collision effects of wind-power generators and other obstacles on birds. *Annals of New York Academy Sciences* 1134, 233-266.
- Erickson, W.P., Johnson, G.D., Young Jr., D.P., 2005. A summary and comparison of bird mortality from anthropogenic causes with an emphasis on collisions. USDA Forest Service Gen. Tech. Rep. PSWGTR, 191 1029-1042.
- Erickson, W.P., Kronner, K., Bay, K.J., 2007. Stateline Wind Project Wildlife Monitoring Annual Report, January –December 2006. Relatório tecnico: FPL Energy L Oregon Energy Facility Siting Council L Stateline Technical Advisory Committee.
- Erickson, W.P., Wolfe, M.M., Bay, K.J., Johnson, D.H., Gehring, J.L., 2014. A Comprehensive Analysis of Small-Passerine Fatalities from Collision with Turbines at Wind Energy Facilities. *PLoS ONE* 9(9), e107491.
- Farfán, M.A., Duarte, J., Real, R., Muñoz, A.R., Fa, J.E., Vargas, J.M., 2017. Differential recovery of habitat use by birds after wind farm installation: A multi-year comparison. *Environmental Impact Assessment Review* 64, 8–15.
- Ferrer, M., De Lucas, M., Janss, G.F.E., Casado, E., Muñoz, A.R., Bechard, M.J., Calabuig, C.P., 2012. Weak relationship between risk assessment studies and recorded mortality in Wind farms. *Journal of Applied Ecology* 49, 38-46.
- Fijn, R.C., Krijgsveld, K.L., Tijssen, W., Prinsen, H.A.M., Dirksen, S., 2012. Habitat use, disturbance and collision risks for Bewick's Swans *Cygnus columbianus* wintering near a wind farm in the Netherlands. *Wildfowl* 62, 97–116.
- Franz, I., Agne, C.E., Bencke, G.A., Bugoni, L., Dias, R.A., 2018. Four decades after Belton: a review of records and evidences on the avifauna of Rio Grande do Sul, Brazil. *Iheringia, Série Zoológica* 108, e2018005.
- Furness, R.W., Trinder, M., Macarthur, D., Douse, A., 2016. A Theoretical Approach to Estimating Bird Risk of Collision with Wind Turbines Where Empirical Flight Activity Data Are Lacking. *Energy and Power Engineering* 8, 183-194.
- Garcia, D.A., Canavero, G., Ardenghi, F., Zambon, M., 2015. Analysis of wind farm effects on the surrounding environment: Assessing population trends of breeding passerines. *Renewable Energy* 80, 190-196.

- Gill, F., Donsker, D. (Eds), 2018. IOC World Bird List (v8.2). doi: 10.14344/IOC.ML.8.2. <http://www.worldbirdnames.org/>. (Accessed 22 August 2018).
- Gómez-Catasús, J., Garza, V., Traba, J., 2018. Wind farms affect the occurrence, abundance and population trends of small passerine birds: The case of the Dupont's lark. *Journal of Applied Ecology* 00, 1–10.
- Guzzi, A., Gomes, D.N., Santos, A.G.S., Favretto, M.A., Soares, L.M.S., Carvalho, R.A.V., 2015. Composição e dinâmica da avifauna da usina eólica da praia da Pedra do Sal, Delta do Parnaíba, Piauí, Brasil. *Iheringia, Série Zoologia* 105 (2), 164-173.
- GWEC – Global Wind Energy Council, 2015. Global Wind Report – Annual Market Update 2015. <http://www.gwec.net/publications/global-wind-report-2/>. (Accessed 18 July 2018).
- Hammer, Ø., Harper, D.A.T., Ryan, P.D., 2001. PAST: Paleontological statistics software package for education and data analysis. *Palaeontologia Electronica* 4(1): 9pp. [http://palaeo-electronica.org/2001\\_1/past/issue1\\_01.htm](http://palaeo-electronica.org/2001_1/past/issue1_01.htm)
- Henderson, I.G., Langston, R.H.W., Clark, N.A., 1996. The response of common terns *Sterna hirundo* to powerlines: an assessment of risk in relation to breeding commitment, age and wind speed. *Biological Conservation* 77, 185-192.
- Hidrobrasil, Ambiental Ltda., 2015. Monitoramentos da Fauna Complexo Cerro Chato. Relatório Técnico não publicado entregue a FEPAM.
- Homoya, W., Moore, J.W., Ryhl, P.J., Dunning Jr., J.B., 2017. Do American Golden-Plovers (*Pluvialis dominica*) Avoid Wind-energy Turbines in Agricultural Fields in Indiana During Spring Migration? *The Wilson Journal of Ornithology* 129 (4), 863–871.
- Höttker, H., Thomsen, K.M., Jeromin, H., 2006. Impacts on biodiversity of exploitation of renewable energy sources: the example of birds and bats - facts, gaps in knowledge, demands for further research, and ornithological guidelines for the development of renewable energy exploitation. Michael Otto Institut in NABU, Bergenhusen.
- Hüppop, O., Dierschke, J., Exo, K.M., Fredrich, E., Hill, R., 2006. Bird migration studies and potential collision risk with offshore wind turbines. *Ibis* 148, 90–109.
- IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, 2004. Mapa de Biomas e Vegetação do Brasil. Primeira aproximação Brasília: IBGE e Ministério do Meio Ambiente. 1p.
- ICMBio - Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade, 2016. Relatório anual de rotas e áreas de concentração de aves migratórias no Brasil - Centro Nacional de Pesquisa e Conservação de Aves Silvestres. 2016. Cabedelo, PB: CEMAVE/ICMBio. 63p.
- IUCN - Internacional Union for Conservation of Nature, 2017. The IUCN Red List of Threatened Species. Version 2017-3. [www.iucnredlist.org](http://www.iucnredlist.org). (Accessed 10 June 2018).
- Janss, G. F. E., 2000. Avian mortality from power lines: a morphologic approach of a species-specific mortality. *Biological Conservation* 95, 353-359.

- Lehman, R.N., Kennedy, P.L., Savidge, J.A., 2007. The state of the art in raptor electrocution research: A global review. *Biological Conservation* 136, 159-174.
- Life – Lasting Initiative for Earth, 2015. Ecooregiões do Brasil – Prioridades Terrestres e Marinhas. Série Cadernos Técnicos. Volume III.  
<http://www.erudito.fea.usp.br/portalFEA/Repositorio/3581/Documentos/Caderno-Tecnico-Vol-III-Ecorregioes-do-Brasil-red.pdf>. (Accessed 13 December 2018).
- Mackinnon, B., Sowden, R., Dudley, S. (Eds.), 2001. An Aviation Industry Guide to the Management of Wildlife Hazards Transport Canada's Wildlife Control Procedures Manual.
- Maia, Meio Ambiente e Impacto Ambiental Ltda., 2015. Complexo Eólico Palmares – Monitoramento de Operação: Relatório Quadrienal - Agosto de 2011 a Novembro de 2015. Relatório Técnico não publicado entregue a FEPAM.
- Marques, A.T., Batalha, H., Rodrigues, S., Costa, H., Pereira, M.J.R., Fonseca, C., Mascarenhas, M., Bernardino, J., 2014. Understanding bird collisions at wind farms: An updated review on the causes and possible mitigation strategies. *Biological Conservation*, 179 40-52.
- Martínez-Abraín, A., Tavecchia, G., Regan, H.M., Jiménez, J., Surroca, M., Oro, D., 2012. Effects of wind farms and food scarcity on a large scavenging bird species following an epidemic of bovine spongiform encephalopathy. *Journal of Applied Ecology* 49, 109–117.
- Napeia, Consultoria e Projetos Ltda., 2016a. Relatório de Supervisão e Monitoramento Ambiental Central Geradora Eólica Cassino. Relatório Técnico não publicado entregue a FEPAM.
- Napeia, Consultoria e Projetos Ltda., 2016b. Relatório Semestral de Supervisão e Monitoramento Ambiental Complexo Eólico Corredor dos Senandes - Fase de operação. Relatório Técnico não publicado entregue a FEPAM.
- Pearce-Higgins, J.W., Stephen, L., Douse, A., Langston, R.H.W., 2012. Greater impacts of wind farms on Bird populations during construction than subsequent operation: results of a multi-site and multi-species analysis. *Journal of Applied Ecology* 49, 386-394.
- Pearce-Higgins, J.W., Stephen, L., Langston, R.H.W., Bainbridge, I.P., Bullman, R., 2009. The distribution of breeding birds around upland wind farms. *Journal of Applied Ecology* 46, 1323–1331.
- Piacentini, V.Q., Aleixo, A., Agne, C.E., Maurício, G.N., Pacheco, J.F., Bravo, G.A., Brito, G.R.R., Naka, L.N., Olmos, F., Posso, S., Silveira, L.F., Betini, G.S., Carrano, E., Franz, I., Lees, A.C., Lima, L.M., Pioli, D., Schunck, F., Amaral, F.R., Bencke, G.A., Cohn-Haft, M., Figueiredo, L.F.A., Straube, F.C., Cesari, E., 2015. Annotated checklist of the birds of Brazil by the Brazilian Ornithological Records Committee /Lista comentada das aves do Brasil pelo Comitê Brasileiro de Registros. *Revista Brasileira de Ornitologia* 23(2), 90-298.

- Reid, T., Krüger, S., Whitfield, D.P., Amar, A., 2015. Using spatial analyses of bearded vulture movements in southern Africa to inform wind turbine placement. *Journal of Applied Ecology* 52, 881–892.
- Rio grande do sul, 2014a. Portaria FEPAM nº 118, de 01 de dezembro de 2014 – ANEXO I. Dispõe acerca da regulamentação do art. 3º da resolução CONAMA 462/2014 e estabelece os critérios, exigências e estudos prévios para o licenciamento ambiental de empreendimentos de geração de energia a partir da fonte eólica, no Estado do Rio Grande do Sul.
- Rio Grande Do Sul, 2014b. Decreto Estadual nº 51.797, de 09 de setembro de 2014. Declara as Espécies da Fauna Silvestre Ameaçadas de Extinção no Estado do Rio Grande do Sul.
- Sick, H., 1997. *Ornitologia Brasileira*. Editora Nova Fronteira, Rio de Janeiro, 862p.
- Stotz, D.F., Parker, T.A., Fitzpatrick, J.W., Moskovits, D.K., 1996. *Neotropical birds: ecology and conservation*. University of Chicago Press, Chicago.
- Villegas-Patracá, R., Cabrera-Cruz, S.A., Herrera-Alsina, L., 2014. Soaring Migratory Birds Avoid Wind Farm in the Isthmus of Tehuantepec, Southern Mexico. *PLoS ONE* 9, e92462. doi:10.1371/journal.pone.0092462.
- Wang, S., Wang, S., Smith, P., 2015. Ecological impacts of wind farms on birds: Questions, hypotheses, and research needs. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 44, 599-607.



**5 CAPÍTULO II**

**CHANGES IN BIRD SPECIES COMPOSITION AFTER A WIND FARM  
INSTALLATION: A CASE STUDY IN SOUTH AMERICA**

(submetido à Environmental Impact Assessment Review)

## Changes in bird species composition after a wind farm installation: a case study in South America

Tamara Justo Falavigna<sup>a\*</sup>, Daniel Pereira<sup>b</sup>, Maria Virginia Petry<sup>a</sup>

<sup>a</sup>Laboratório de Ornitologia e Animais Marinhos (LOAM), Programa de Pós-Graduação em Biologia, Universidade do Vale do Rio dos Sinos (UNISINOS), Av. Unisinos, 950, São Leopoldo - RS, 93020-190, Brasil

<sup>b</sup>Faculdades Dom Bosco, Rua Mal. José Inácio da Silva, 355, Porto Alegre - RS, 90520-290, Brasil and Lógica Projetos Socioambientais, Sapucaia do Sul - RS, Brasil.

E-mail addresses: tfalavigna@gmail.com (T.J. Falavigna), dani.mdourado@gmail.com (D. Pereira), vpetry@unisinos.br (M.V. Petry)

\* Corresponding author. Phone number: 55 51 997304274

### Abstract

Facing the growing demand for renewable energy sources, wind energy has been significantly increasing worldwide. Wind farms are known to present low environmental impact, although impacts on the bird fauna are the most studied and discussed. In this study, we aimed (i) to evaluate the bird species' composition in three phases of a wind farm (pre-construction, construction and operation) and (ii) to evaluate the bird mortality resulting from the collision with wind turbines. We obtained secondary data on the bird fauna, provided by the wildlife monitoring report submitted to the environment agency of Rio Grande do Sul state, Brazil. The total of bird species recorded in all phases of the wind farm was 163 species. One hundred species occurred in all phases, and 20 were recorded at least in two phases. However, 32 species were exclusive for the pre-construction phase, while four species were recorded only during the construction, and seven during operation. The evaluation of the species' composition indicates that the pre-construction phase differs from the four years of operation. During the four years of operation, 25 individuals from 17 species died due to collision with wind turbines. The analysis of these secondary data allows us to evaluate which changes may result from the implantation of the wind energy industry to the regional bird fauna, and to associate these effects to changes in the original configuration, considering land modifications due to construction of wind farm and from other land uses in the affected areas.

**Key-words:** Environmental impact; Collision; Mortality; Species richness; Renewable energy

### 1. Introduction

The progressive growth of the human population and its consequent demand for energy require the implantation of power generation projects in the same proportion, which causes changes in land use at both direct and indirect levels, such as habitat fragmentation and the interruption of migration corridors (Degregorio et al., 2014). Such scenario represents a great threat to wildlife populations (Lior, 2008). The interaction, often fatal, of animals and wind energy generation structures, implies losses in biodiversity, mostly affecting birds and bats communities (Hovick et al., 2014). Understanding wildlife population declines resulting from such wind energy structures is imperative to increase conservation efforts focused on reducing its negative effects on birds (Hovick et al., 2014).

Among power sources, wind power has become an increasing alternative due to its low environmental impact, when compared with energy generated by coal, oil and hydric sources. However, even though wind energy represents a less extensive threat to wildlife, some taxa may be negatively affected by it, especially through direct collision with turbines. Impacts on the bird fauna were extensively studied and discussed (Marques et al., 2014; Furness et al., 2016), suggesting that this taxocenosis presents the higher number of species affected by anthropic activities (Drewitt and Langston, 2008).

Effects of anthropic structures on wildlife may largely vary, depending on the species and on its spatial and temporal distribution (De Lucas et al., 2008; Ferrer et al., 2012). In this sense, in order to make it possible to measure direct and indirect effects, it is necessary to evaluate species' responses in different habitats in regions, in different life stages, as well as seasonal population fluctuations (Pearce-Higgins et al., 2009; Belaire et al., 2014).

Some bird species are, potentially, more susceptible to collisions with wind farm structures than others, due to ethological and morphological specific characteristics. Birds of carnivorous and/or scavenger feeding habits, such as Accipitriformes, Cathartiformes and Falconiformes, spend long periods flying over high altitudes (Sick, 1997), thus favoring the risk of collision (Mackinnon et al., 2001; Lehman et al., 2007). Gregarious species are widely reported to be vulnerable to collisions with wind turbines, when compared to those of solitary habits (Henderson et al., 1996; Janss, 2000). Birds with body masses higher than 250 g were also highlighted as susceptible to collisions, because they move slowly, although birds with any body mass can collide with wind turbines (Bevanger, 1998; Janss, 2000; Bevanger and Broseth, 2001). Top predator species, such as raptors, have a good visual acuity, and when detecting a potential prey, fly fast towards it, thus becoming vulnerable to collisions with the most diverse obstacles (Lehman et al., 2007). Migratory birds are more susceptible to collisions compared to resident species, because they are not familiar with anthropogenic obstacles and/or do not know its existence, different from resident ones, which coexist with the emergence of such structures (Henderson et al., 1996).

The wind energy represents 8.1% of the total produced energy in Brazil with 13.1 GW of installed capacity, and the Rio Grande do Sul (RS) state occupies the fourth place, with 1.8 GW of installed capacity distributed in 18 wind farms operating (Abeeólica, 2018). One of those wind farms, Palmares Wind Farm, was constructed to about 70 km from an IBA (Important Bird Area), the Lagoa do Peixe National Park, which houses several bird species of conservation interest, specially migratory species which uses the area as resting and feeding ground annually, and is inserted in an area of Atlantic Americas Flyway influence, which extends along the whole Brazilian coast, from Amapá to Rio Grande do Sul (ICMBio, 2016). However, the knowledge regarding the impacts resulting from wind farms on the Brazilian birdlife is still scarce, and generally restricted to environmental reports which are intended to comply licensing conditions of those enterprises. Many of those reports are not methodologically standardized, hampering comparisons among data and the obtainment of answers to the above questions. Recently, Guzzi et al. (2015) characterized the composition and ecological dynamics of both resident and migratory bird species in a wind farm located in Piauí, Brazil. The authors recorded 67 species, most resident, insectivorous and of aquatic environments.

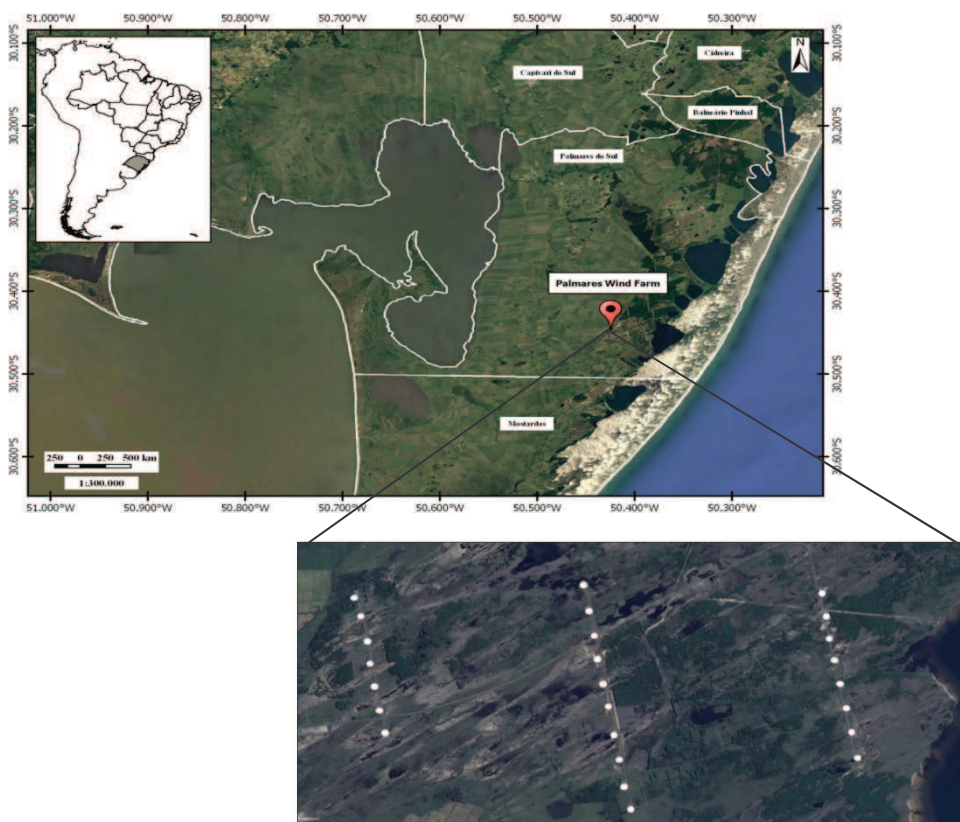
Evaluating the bird species' composition during all phases of a wind farm is fundamental to better understand the interactions between those species and wind energy generation structures, in order to obtain quantitative and qualitative, trustable and comparable data for the improvement of future licensing processes of wind energy in the country. Such data will provide solid subsidies for taking decisions on environmental licenses' deferrals or

denials. In order to fill gaps on the scientific knowledge regarding the issues mentioned above, we aim (i) to evaluate the composition of bird species in three phases of a wind farm: pre-construction, construction and operation and (ii) to evaluate bird mortality resulting from the collision with wind turbines, during four years of operation of the wind farm.

## 2. Material and Methods

### 2.1 Study Area

Palmares do Sul municipality is inserted in two terrestrial ecoregions: brazilian savannas and restingas of the Atlantic Coast (Life, 2015), in the freshwater ecoregion of Patos Lagoon (Abell et al., 2008). The wind farm chosen for this study belongs to the Pampa Biome, which is composed mainly by grasslands in its remnant areas (native dry grasslands, native wet grasslands and wetlands) and forests (MMA, 2007). Besides that, there are two areas of anthropogenic use, especially monocultures (Boldrini et al., 2010). The climate is classified as humid subtropical, oceanic climate without dry season and with warm summer. The average annual temperature is between 18 and 20°C and the average annual precipitation is 1300-1600 mm (Alvares et al., 2013). The wind farm (30°17.353'S/ 50°18.535'W) is in operation since the end of 2010, is composed by 25 wind turbines of 2.3 MW each, towers of 98 m and rotor diameter of 82m, totaling 57.5 MW of installed capacity, occupying an area of ~800 ha (Fig. 1). The implantation area is characterized mainly by the presence of dry lands, humid lands and wide extensions of rice crops and *Pinus eliotii* monocultures (Maia, 2015).



**Fig. 1.** Study Area (30°17.353'S / 50°18.535'W). Each white dot represents one of the 25 wind turbines. Map by Douglas Ribeiro da Silva. Source: Google Earth, 2016.

## 2.2 Methodology

This research was developed through secondary birdlife data from wildlife monitoring reports (Maia, 2015) submitted to the environmental agency of the Rio Grande do Sul State, Fundação Estadual de Proteção Ambiental Henrique Luiz Roessler – FEPAM, which were sampled in order to attend environmental licensing conditions for this enterprise. Data on species occurrence along the wind farm phases presented in the reports were checked regarding the premises: (i) data samplings only within the areas directed influenced by the wind farm; (ii) data samplings of at least one year and four seasons (summer, autumn, winter, spring); (iii) bird monitoring conducted through point counts (Bibby et al., 1997) and (iv) to present a list of species composition

Following the premises, birdlife data were compiled, tabulated and systematized for the three phases of the wind farm: pre-construction, construction and operation. Species nomenclature and the systematic ordering followed BirdLife (2017), as well as the common names. Each species was classified according to the environmental guild: open area, wetland, forest edge or forest (Stotz et al., 1996). Besides that, species were classified according to the feeding guild: carnivorous, piscivorous, granivorous, herbivorous, insectivorous, nectivorous, necrophagous or omnivorous (Azpiroz, 2001). The occurrence status followed Piacentini et al. (2015). The international conservation status followed IUCN (2017), the national conservation status followed the governmental ordinance MMA n° 444 (Brasil, 2014) and the regional conservation status followed the State Decree n° 51.797 (Rio Grande do Sul, 2014).

The temporal evaluation of the species' composition was performed through an Principal Coordinates Analysis (PCoA), based on a matrix of species' composition (presence/absence) during the following environmental licensing phases: pre-construction (PRE), construction (CONS) and operation (OPE). The operation phase was monitored for four years (OPE1 to OPE4). Using a Jaccard Similarity Index, axes' significance was tested through bootstraps of 1000 permutations.

Based on the matrix, groups for the dataset were defined, considering the factor “phase of licensing”: pre-construction (1), construction (2) and operation (3). Then, phases were compared through a randomization test with 1000 permutations. The same procedures were performed for environmental guilds dataset (qualitative data), except for the applied similarity measurement, which was the Gower Index, suitable for nominal qualitative data on the identified guilds. For statistical analysis, we used Multiv Software (Pillar, 1998), with an confidence interval of 95%.

Mortality data related to collisions were obtained from the same wildlife monitoring report (Maia, 2015). Field surveys consisted in active search for carcasses within a 50 m radius and occurred from August 2011 to November 2015. Mortality rates were considered until July 2015, in order to allow the comparison of four complete years. We considered raw data, without corrections, and records determined at the species taxonomic level. The observed mortality rate was calculated by the ratio of the total number of deaths in one year by the total number of turbines in the wind farm, being expressed as “ind./turbine/year”. For the estimated mortality rate, we applied a correction proposed by Erickson et al. (2007).

## 3. Results

The total number of recorded birds in all phases of the wind farm was 163 species, distributed in 19 Orders and 45 Families (Table A - supplementary). The most representative group was the Order Passeriformes, presenting 41% of all species. Only five recorded species

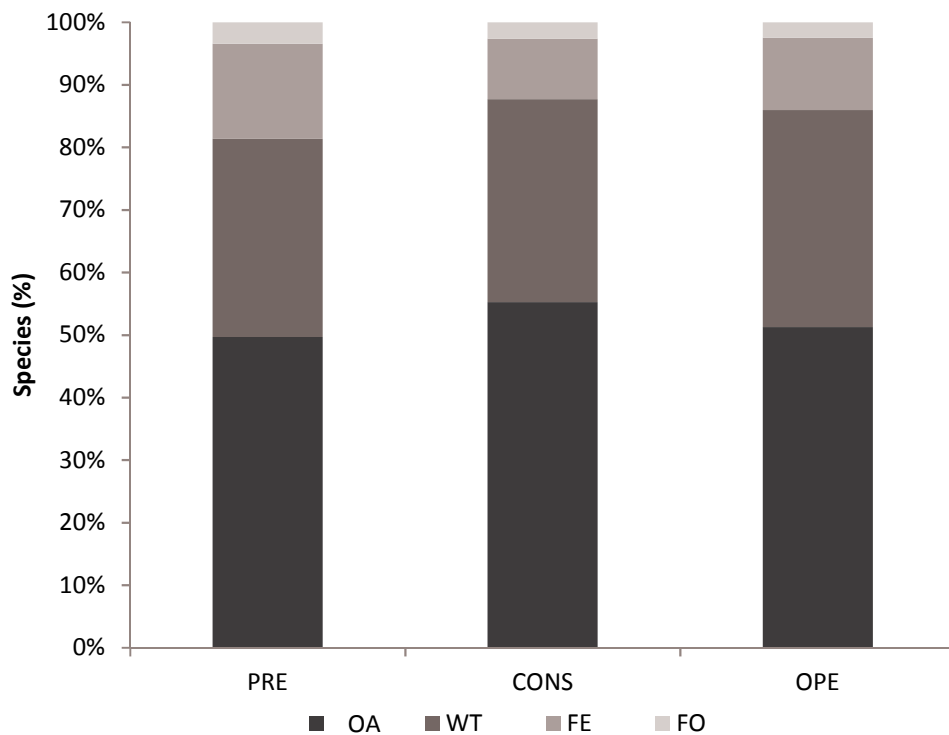
are northern migrants (*Calidris melanotos*, *Falco peregrinus*, *Hirundo rustica*, *Tringa flavipes*, *T. melanoleuca*) and one southern migrant (*Tachycineta meyeni*), while all the other species are resident. We reported 146 bird species during pre-construction, 115 during construction and 122 during the operation phase of the wind farm. From the total of species recorded, 100 are common to all phases, and 20 were recorded at least in two phases. However, some are exclusive to specific phases: 32 species were only recorded during pre-construction, four during construction and seven during operation (Table 1). From the pre-construction exclusive species, 14 are typical of open areas, six of wetlands, 10 of forest edges and two of forests. The species of open areas represent about 50% of all species occurring in any phases of the wind farm, followed by wetland's species (33%), species of forest edges (11%), and forest species (6%). Species of open areas (OA) and wetlands (WT) were prevalent in the three phases of the wind farm, respectively (Fig. 2). OA (49%, 55% and 51%) and WT (46%, 37% and 42%). Most species recorded in the wind farm are insectivorous, representing 32% (52 species) followed by omnivorous, piscivorous and carnivorous, representing 19% (31), 17% (28) and 11% (18), respectively, of the total number of species (Fig. 3).

**Table 1.** Exclusive species of specific phases of the wind farm, Rio Grande do Sul, Brazil, and their respective feeding and environmental guilds. PRE = pre-construction; CONS = construction; OPE = operation; OA = open area; WT = wetland; FE = forest edge; FO = forest.

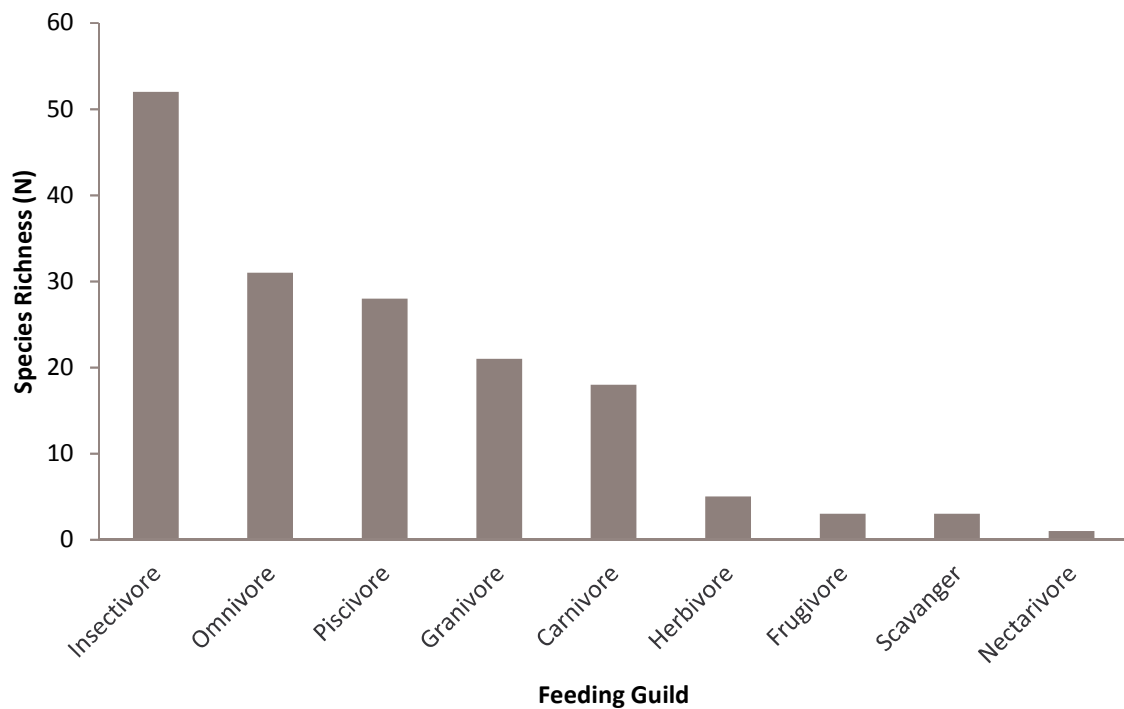
Species	Common Name	Feeding Guild	PRE	CONS	OPE
<i>Dendrocygna bicolor</i>	Fulvous Whistling-Duck	Herbivore	WT	-	-
<i>Coscoroba coscoroba</i>	Coscoroba Swan	Herbivore	WT	-	-
<i>Piaya cayana</i>	Squirrel Cuckoo	Omnivore	FE	-	-
<i>Coccyzus melacoryphus</i>	Dark-billed Cuckoo	Omnivore	-	-	FE
<i>Laterallus melanophaius</i>	Rufous-sided Crake	Insectivore	WT	-	-
<i>Pardirallus nigricans</i>	Blackish Rail	Piscivore	WT	-	-
<i>Tigrisoma lineatum</i>	Rufescent Tiger-Heron	Piscivore	WT	-	-
<i>Botaurus pinnatus</i>	Pinnated Bittern	Piscivore	-	-	WT
<i>Haematopus palliatus</i>	American Oystercatcher	Omnivore	-	WT	-
<i>Pluvialis sp.</i>		Omnivore	OA	-	-
<i>Rynchops niger</i>	Black Skimmer	Piscivore	-	OA	-
<i>Larus dominicanus</i>	Kelp Gull	Piscivore	OA	-	-
<i>Phaetusa simplex</i>	Large-billed Tern	Piscivore	OA	-	-
<i>Gelochelidon nilotica</i>	Gull-billed Tern	Carnivore	OA	-	-
<i>Sterna trudeaui</i>	Snowy-crowned Tern	Piscivore	OA	-	-
<i>Asio clamator</i>	Striped Owl	Carnivore	OA	-	-
<i>Megascops sanctaecatarinae</i>	Long-tufted Screech-Owl	Carnivore	FE	-	-
<i>Cathartes burrovianus</i>	Lesser Yellow-headed Vulture	Scavenger	OA	-	-
<i>Circus cinereus</i>	Cinereous Harrier	Carnivore	-	-	OA
<i>Accipiter striatus</i>	Sharp-shinned Hawk	Carnivore	OA	-	-
<i>Chloroceryle americana</i>	Green Kingfisher	Piscivore	-	WT	-
<i>Melanerpes candidus</i>	White Woodpecker	Insectivore	-	-	FE
<i>Falco peregrinus</i>	Peregrine Falcon	Carnivore	-	-	OA
<i>Thamnophilus ruficapillus</i>	Rufous-capped Antshrike	Insectivore	FE	-	-
<i>Cranioleuca obsoleta</i>	Olive Spinetail	Insectivore	FE	-	-
<i>Certhiaxis cinnamomeus</i>	Yellow-chinned Spinetail	Insectivore	WT	-	-
<i>Phylloscartes ventralis</i>	Mottle-cheeked Tyrannulet	Insectivore	FO	-	-
<i>Elaenia obscura</i>	Highland Elaenia	Insectivore	FE	-	-

**Table 1** (contin.)

Species	Common Name	Feeding Guild	PRE	CONS	OPE
<i>Pyrocephalus rubinus</i>	Vermilion Flycatcher	Insectivore	OA	-	-
<i>Arundinicola leucocephala</i>	White-headed Marsh Tyrant	Insectivore	OA	-	-
<i>Lathrotriccus euleri</i>	Euler's Flycatcher	Insectivore	FO	-	-
<i>Tachycineta meyeni</i>	Chilean Swallow	Insectivore	OA	-	-
<i>Progne chalybea</i>	Gray-breasted Martin	Insectivore	OA	-	-
<i>Pygochelidon cyanoleuca</i>	Blue-and-white Swallow	Insectivore	-	-	OA
<i>Poliopitila dumicola</i>	Masked Gnatcatcher	Insectivore	FE	-	-
<i>Turdus leucomelas</i>	Pale-breasted Thrush	Omnivore	-	OA	-
<i>Anthus</i> sp.		Insectivore	OA	-	-
<i>Anthus nattereri</i>	Ochre-breasted Pipit	Insectivore	OA	-	-
<i>Euphonia chlorotica</i>	Purple-throated Euphonia	Frugivore	FE	-	-
<i>Agelasticus thilius</i>	Yellow-winged Blackbird	Granivore	FE	-	-
<i>Setophaga pitiayumi</i>	Tropical Parula	Insectivore	FE	-	-
<i>Embernagra platensis</i>	Great Pampa-Finch	Granivore	-	-	WT
<i>Coryphospingus cucullatus</i>	Red-crested Finch	Granivore	FE	-	-
<b>Total</b>			<b>32</b>	<b>4</b>	<b>7</b>



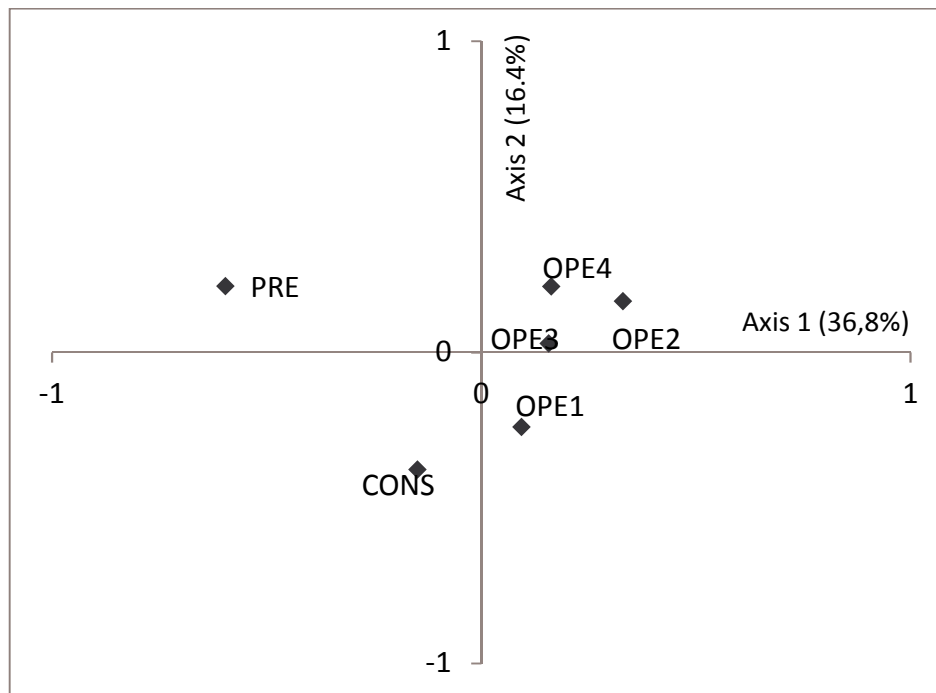
**Fig. 2.** Species (%) classified in each environmental guild during the three phases of the wind farm, Rio Grande do Sul, Brazil. PRE = pre-construction; CONS = construction; OPE = operation; OA = open area; WT = wetland; FE = forest edge; FO = forest.



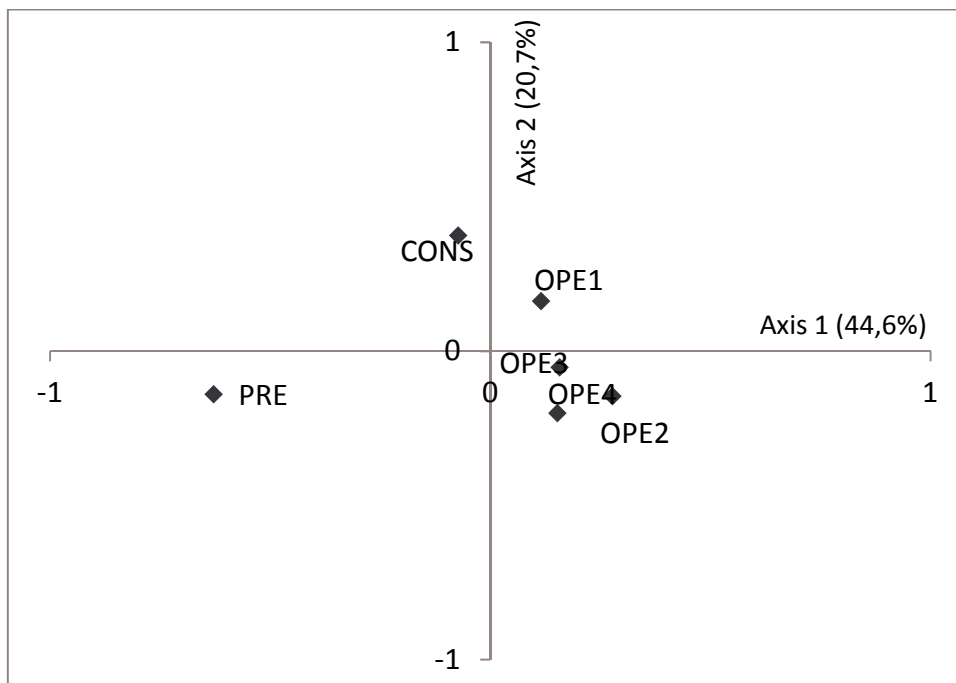
**Fig. 3.** Species (N) classified in each feeding guild in the wind farm, Rio Grande do Sul, Brazil.

Through the Principal Coordinates Analysis (PCoA), we verified that 36.8% of data variation on the species' composition in the environmental licensing phases was explained by Axis 1, which distinguish the pre-construction (PRE) and construction (CONS) phases from the operation phase (OPE). On the other hand, Axis 1 explained 21.3% of data, distinguishing the monitoring campaigns CONS and OPE from the others. Through the randomization test among groups, we verified that the phases PRE and OPE differed statistically from each other regarding species' composition ( $p = 0.034$ ) (Fig. 4). Regarding environmental guilds, through the PCoA, we verified that 44.6% of data variation during the licensing phases was explained by the Axis 1, which distinguish the phases PRE and CONS from OPE. The Axis 1, which explains 20.7% of data, also distinguish the monitoring campaigns CONS and OPE from the others. Through groups' randomization we verified that PRE and OPE phases differed statistically regarding environmental guilds ( $p = 0.041$ ) (Fig. 5).





**Fig. 4.** Ordination of the composition of species in the three phases of the wind farm, Rio Grande do Sul, Brazil. The pre-construction (PRE) differs from operation (OPE 1,2,3 e 4) (OPE 1, 2, 3 e 4) ( $p = 0.034$ ).



**Fig. 5.** Ordination of the environmental guilds in the three phases of the wind farm, Rio Grande do Sul, Brazil. The pre-construction (PRE) differs from operation (OPE 1, 2, 3 and 4) ( $p = 0.041$ ).

During four years of operation, 25 individuals died due to collisions with wind turbines, belonging to 17 species, of which 70.5% (n=12) were only recorded once during the four years. *Leptotila verreauxi* were recorded four times in two years, followed by *Ardea alba* with three records (Table 2). Overall, 59% were species of open areas, 23.5% of wetlands and 17.5% of forest edge. There were no death records for forest species. Regarding feeding guilds, 40% of the species which died were carnivorous and piscivorous. The observed mortality rate was 0.25 ind/turbine/year and the estimated mortality rate was 0.583 ind/turbine/year.

**Table 2.** Species which collision records with wind turbines during four years of operation of the wind farm, with their respective feeding and environmental guilds, Rio Grande do Sul, Brazil (OA = open area; WT = wetland; FE = forest edge).

Species	Commun Name	Feeding Guild	Environmen t Guild	Mortality by Collision (Year)			
				1	2	3	4
<i>Nothura maculosa</i>	Spotted Nothura	Omnivore	OA	0	0	1	0
<i>Amazonetta brasiliensis</i>	Brazilian Teal	Omnivore	WT	1	0	0	0
<i>Patagioenas picazuro</i>	Picazuro Pigeon	Granivore	OA	1	0	0	0
<i>Leptotila verreauxi</i>	White-tipped Dove	Granivore	FE	0	2	2	0
<i>Columbina picui</i>	Picui Ground-Dove	Granivore	OA	0	0	1	0
<i>Coccyzus melacoryphus</i>	Dark-billed Cuckoo	Omnivore	FE	0	1	0	0
<i>Aramus guarana</i>	Limpkin	Piscivore	WT	0	1	0	0
<i>Ciconia maguari</i>	Maguari Stork	Piscivore	WT	0	0	0	1
<i>Ardea alba</i>	Great Egret	Piscivore	WT	0	2	0	1
<i>Vanellus chilensis</i>	Southern Lapwing	Insectivor e	OA	1	0	0	0
<i>Athene cunicularia</i>	Burrowing Owl	Carnivore	OA	1	1	0	0
<i>Coragyps atratus</i>	Black Vulture	Scavanger	OA	0	0	0	2
<i>Buteogallus meridionalis</i>	Savanna Hawk	Carnivore	OA	1	0	0	0
<i>Falco sparverius</i>	American Kestrel	Carnivore	OA	0	1	0	0
<i>Falco peregrinus</i>	Peregrine Falcon	Carnivore	OA	0	0	1	0
<i>Tachycineta leucorrhoa</i>	White-rumped Swallow	Insectivor e	OA	0	0	1	1
<i>Turdus amaurochalinus</i>	Creamy-bellied Thrush	Omnivore	FE	0	0	1	0
<b>Total</b>				<b>5</b>	<b>8</b>	<b>7</b>	<b>5</b>

#### 4. Discussion

During the three environmental licensing phases of the wind farm we recorded 163 bird species, which represents ~23% of the total 704 species recorded in the Rio Grande do Sul (Franz et al., 2018), and represents ~90% of the total recorded for the region (Knak, 1999). The greater representativeness of Passeriformes in the wind farm may be explained by its great abundance in the state, in the country and worldwide, since this Order represents more than 60% of all bird species (Gill and Donsker, 2015). The studied wind farm is located near the Lagoa do Peixe National Park and is also under the influence of the Atlantic Americas Flyway, being registered for the region 31 migratory species (ICMBio, 2016).

However, only six migratory species were recorded. Despite that, most species recorded in the wind farm is insectivorous, resident of open areas wetlands. Similar results were found in a wind farm in Piauí (Brazil), where 67 species were recorded, most insectivorous, resident and of aquatic environments (Guzzi et al., 2015).

The evaluation of species richness and composition during the three phases of the wind farm evidenced that the pre-construction phase is distinct from the operation phase, indicating a potential impact of the wind farm's operation on the bird community structure. The bird community of the wind farm in this study is represented mainly by species known to inhabit open areas, wetlands, presenting a certain plasticity that allow them to occupy environments medicated by humans. The observation of land uses was helpful to identify that the areas surrounding the wind farm suffered changes resulting from the construction of the wind farm and from other anthropogenic activities, such as forest removal and increase of rice cultivation areas. Such changes may have influenced on the local species composition, resulting in the disappearance of 32 bird species, all typical of forests and forest edges, during the construction and operation phases. Pearce-Higgins et al. (2009) reported a negative impact resulting from the operation of a wind farm on some species in the United Kingdom, highlighting the evasion of at least 7 of the twelve species inhabiting areas near the turbines. Still, Pearce-Higgins et al. (2012) did not found significant results upon population declines of any species in post-construction, suggesting, for the first time, that the construction of wind farms may impose higher impacts on the birdlife than the operation of those. Following this sense, changes in the composition and reduction of species richness was reported by Farfán et al. (2009) after the construction of a wind farm in Spain (Malaga Province). Six years and a half after the construction, Farfán et al. (2017) recorded an increase in species richness, indicating a certain recovery, probably resulting from the decrease of negative effects in the years following the construction. Given that, it is possible to deduce that a habituation to the presence of wind turbines may occur by birds (Langston and Pullan, 2003). Such results are in accordance to Madsen and Boertmann (2008), who reported a behavioral adaptation of geese (*Anser brachyrhynchus*) to changes in the landscape resulting from the construction of wind farm. Furthermore, it was found that *Somateria molissima* (Common Eider) individuals changed its flight paths, avoiding a wind farm after its construction (Masden et al., 2009). Fijn et al. (2012) reported that swans (*Cygnus columbianus*) presented avoidance behavior of wind turbines.

Regarding mortality records, among the seventeen species which suffered from collision with wind turbines, 10 presented body weight greater than 250 g, highlighting: *Ciconia maguari* (4000 g), *Coragyps atratus* (2080 g), *Ardea alba* (874 g), e *Falco peregrinus* (780 g), thus corroborating the premise that the most vulnerable species are the heaviest ones (Bevanger 1998; Janss 2000; Bevanger and Broseth, 2001).

Contradicting several authors who found that raptors are especially susceptible to collision with turbines (Barrios and Rodriguez, 2004; De Lucas et al., 2012; Martínez-Abraín et al., 2012; Dahl et al., 2013), in the Palmares wind farm, passeriform birds were presented the highest number of mortality records, which was also reported by Hernández-Pliego et al. (2015) and Farfán et al. (2017) in wind farms in Spain.

The average mortality rate during the four years of the wind farm operation was 0.25 ind./turbine/year. Such rate is in accordance with others recorded for the same region in RS (0.24; 0.29; 0.15 ind./turbine/year) (unpublished data) and may be considered as low when compared to average rates in the West (1.76 ind./turbine/year), Midwest (2.20) and East (4.90) of the United States (Erickson et al., 2005) and South Spain (1.33) (Ferrer et al., 2012).

On the other hand, even lowest values can be found, for instance, in the Malaga Province (South Spain) the rate was 0.03 ind./turbine/year (Farfán et al., 2017).

## 5. Conclusions

The birdlife composition of wind farm was distinct in both pre-construction and operation phases. However was not possible to verify a cause and effect relationship between operation and community structure due lower mortality rates. Probably, others variables affected the birdlife such as land modifications due to construction of wind farm and from other land uses in the affected areas. The temporal pattern of community structure was observed in short monitoring time. A long and continuous monitoring time is necessary to better understand changes in species composition and richness resulting from wind farms impacts. In order to detect potential adaptations of the birdlife and which aspects of the community structure are the most affected by these enterprises, new birdlife aspects should be examined. We also highlight the need of monitoring during the operation phase, in order to confirm or not the hypothesis of some species' adaptation and recovery of bird communities structure.

## Acknowledgements

We thank the Fundação Estadual de Proteção Ambiental Henrique Luiz Roessler – FEPAM for providing environmental reports.

## Funding

This work was supported by Celulose Irani S/A.

## References

- Abeeólica – Associação Brasileira de Energia Eólica, 2018. Dados Mensais – Fevereiro 2018. Disponível em: <http://abeeolica.org.br/wp-content/uploads/2018/02/Dados-Mensais-ABEEolica-02.2018.pdf>. Acesso em 17 junho 2018.
- Abell, R., Thieme, M., Revenga, C., Bryer, M., Kottelat, M., Bogutskaya, N., Coad, B., Mandrak, N., Contreras-Balderas, S., Bussing, W., Stiassny, M.L.J., Skelton, P., Allen, G.R., Unmack, P., Naseka, A., Ng, R., Sindorf, N., Robertson, J., Armijo, E., Higgins, J., Heiberl, T.J., Wikramanayake, E., Olson, D., Lopez, H.L., Reis, R.E.d., Lundberg, J.G., Sabaj Perez, M.H., Petry, P., 2008 Freshwater ecoregions of the world: A new map of biogeographic units for freshwater biodiversity conservation. *BioScience* 58, 403-414.
- Alvares, C.A, Stape, J.L., Sentelhas, P.C., Gonçalves, J.L., Sparovek, G., 2013. Köppen's climate classification map for Brazil. *Meteorologische Zeitschrift* 22, 711–728.
- Azpiroz, A.B., 2001. Aves del Uruguay: Lista e introducción a su biología y conservación. Montevideo, v. 104.
- Barrios, L., Rodriguez, A., 2004. Behavioural and environmental correlates of soaring-bird mortality at on-shore wind turbines. *Journal of Applied Ecology*, 41, 72–81.
- Belaire, J.A., Kreakie, B.J., Keitt, T., Minor, E., 2014. Predicting and mapping potential whooping crane stopover habitat to guide site selection or wind energy projects. *Conservation Biology* 2, 541–550.

- Bevanger, K., 1998. Biological and conservation aspects of bird mortality caused by electricity power lines: a review. *Biological Conservation* 86, 67-76.
- Bevanger, K., Broseth, H., 2001. Bird collisions with power lines - an experiment with ptarmigan (*Lagopus* spp.). *Biological Conservation* 99, 341-346.
- Bibby, C.J., Birguess, N.D., Hill, D.A., 1997. Bird census techniques. British Trust for Ornithology & The Royal Society for the Protection of Birds. Academic, Press, London, 257p.
- BirdLife International., 2017. The BirdLife checklist of the birds of the world: Version 2. <http://datazone.birdlife.org/species/taxonomy> (accessed 28 June 2018).
- Boldrini, I.I.; Ferreira, P.M.A.; Andrade, B.O.; Schneider, A.A.; Setubal, R.B.; Trevisan, R.; Freitas, E.M., 2010. Bioma Pampa: diversidade florística e fisionômica. Porto Alegre, editora Pallotti, 64 p.
- Brasil, 2014. Portaria nº 444, de 17 de dezembro de 2014. Traz a Lista Nacional Oficial de Espécies da Fauna Ameaçadas de Extinção.
- Dahl, E.L., May, R., Hoel, P.L., Bevanger, K., Pedersen, H.C., Røskoft, E., Stokke, B.G., 2013. White-tailed eagles (*Haliaeetus albicilla*) at the Smølowind-power plant, Central Norway, lack behavioral flight responses to wind turbines. *Wildl. Soc. Bull.*, 37, 66–74.
- De Lucas, M., Ferrer, M., Bechard, M.J., Muñoz, A.R., 2012. Griffon vulture mortality at Wind farms in southern Spain: distribution of fatalities and active mitigation measures. *Biological Conservation*, 147, 184–189.
- De Lucas, M., Janss, G.F.E., Whitfield, D.P., Ferrer, M., 2008. Collision fatality of raptors in wind farms does not depend on raptor abundance. *Journal of Applied Ecology* 45, 1695–1703.
- Degregorio, B.A., Weatherhead, P.J., Sperry, J.H., 2014. Power lines, roads, and avian nest survival: effects on predator identity and predation intensity. *Ecology and Evolution* 4, 1589–1600.
- Drewitt, A.L., Langston, R.H.W., 2008. Collision effects of wind-power generators and other obstacles on birds. *Annals of New York Academy Sciences* 1134, 233-266.
- Erickson, W.P., Johnson, G.D., Young Jr., D.P., 2005. A summary and comparison of bird mortality from anthropogenic causes with an emphasis on collisions. USDA Forest Service Gen. Tech. Rep. PSWGTR, 191, 1029-1042.
- Erickson, W.P., Kronner, K., Bay, K.J., 2007. Stateline Wind Project Wildlife Monitoring Annual Report, January –December 2006. Relatório técnico: FPL Energy L Oregon Energy Facility Siting Council L Stateline Technical Advisory Committee.
- Farfán, M.A., Duarte, J., Real, R., Muñoz, A.R., Fa, J.E., Vargas, J.M., 2017. Differential recovery of habitat use by birds after wind farm installation: A multi-year comparison. *Environmental Impact Assessment Review*, 64, 8–15.
- Farfán, M.A., Vargas, J.M., Duarte, J., Real, R., 2009. What is the impact of wind farms on birds? A case of study in southern Spain. *Biodiversity Conservation*, 18, 3743–3758.
- Ferrer, M., De Lucas, M., Janss, G.F.E., Casado, E., Muñoz, A.R., Bechard, M.J., Calabuig, C.P., 2012. Weak relationship between risk assessment studies and recorded mortality in Wind farms. *Journal of Applied Ecology* 49, 38-46.

- Fijn, R.C., Krijgsveld, K.L., Tijssen, W., Prinsen, H.A.M., Dirksen, S., 2012. Habitat use, disturbance and collision risks for Bewick's Swans *Cygnus columbianus* wintering near a wind farm in the Netherlands. *Wildfowl*, 62, 97–116.
- Franz, I., Agne, C.E., Bencke, G.A., Bugoni, L., Dias, R.A., 2018. Four decades after Belton: a review of records and evidences on the avifauna of Rio Grande do Sul, Brazil. *Iheringia, Série Zoologia* 108, e2018005.
- Furness, R.W., Trinder, M., Macarthur, D., Douse, A., 2016. A Theoretical Approach to Estimating Bird Risk of Collision with Wind Turbines Where Empirical Flight Activity Data Are Lacking. *Energy and Power Engineering* 8, 183-194.
- Gill, F., Donsker, D. (Eds) (2015) IOC World Bird List (v8.2). doi: 10.14344/IOC.ML.8.2. <http://www.worldbirdnames.org/> (accessed 28 June 2018).
- Guzzi, A.; Gomes, D.N.; Santos, A.G.S.; Favretto, M.A.; Soares, L.M.S.; Carvalho, R.A.V., 2015. Composição e dinâmica da avifauna da usina eólica da praia da Pedra do Sal, Delta do Parnaíba, Piauí, Brasil. *Iheringia, Série Zoologia* 105 (2), 164-173.
- Henderson, I.G., Langston, R.H.W., Clark, N.A., 1996. The response of common terns *Sterna hirundo* to powerlines: an assessment of risk in relation to breeding commitment, age and wind speed. *Biological Conservation* 77, 185-192.
- Hernández-Pliego, J., de Lucas, M., Muñoz, A.R., Ferrer, M., 2015. Effects of wind farms on Montagu's harrier (*Circus pygargus*) in southern Spain. *Biological Conservation*, 191, 452–458.
- Hovick, T. J., Elmore, R. D., Dahlgren, D. K., Fuhlendorf, S. D., Engle, D. M., 2014. Evidence of negative effects of anthropogenic structures on wildlife: a review of grouse survival and behavior. *Journal of Applied Ecology* 51, 680-1689.
- ICMBio - Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade, 2016. Relatório anual de rotas e áreas de concentração de aves migratórias no Brasil - Centro Nacional de Pesquisa e Conservação de Aves Silvestres. 2016. Cabedelo, PB: CEMAVE/ICMBio. 63p.
- IUCN - Internacional Union for Conservation of Nature, 2017. The IUCN Red List of Threatened Species. Version 2017-3. [www.iucnredlist.org](http://www.iucnredlist.org) Downloaded on June 2018.
- Janss, G.F.E., 2000. Avian mortality from power lines: a morphologic approach of a species-specific mortality. *Biological Conservation* 95, 353-359.
- Knak, R.B. (Org.), 1999. Plano de manejo do Parque Nacional da Lagoa do Peixe – Fase 2. Brasília: IBAMA/FNMA/FURG/NEMA/UFPel.
- Langston, R.H.W., Pullan, J.D., 2003. Wind farms and birds: an analysis of the effects of wind farms on birds, and guidance on environmental assessment criteria and site selection issues. Report T-PVS/Inf 12. [http://migratorysoaringbirds.undp.birdlife.org/sites/default/files/BirdLife\\_Bern\\_windfarms.pdf](http://migratorysoaringbirds.undp.birdlife.org/sites/default/files/BirdLife_Bern_windfarms.pdf). (accessed 25 June 2018).
- Lehman, R.N., Kennedy, P.L., Savidge, J.A., 2007. The state of the art in raptor electrocution research: A global review. *Biological Conservation* 136, 159-174.
- Life – Lasting Initiative for Earth, 2015. Ecooregiões do Brasil – Prioridades Terrestres e Marinhas. Série Cadernos Técnicos. Volume III.

- [https://edisciplinas.usp.br/pluginfile.php/1065950/mod\\_resource/content/0/Caderno-Tecnico-Vol-III-Ecorregioes-do-Brasil-red.pdf](https://edisciplinas.usp.br/pluginfile.php/1065950/mod_resource/content/0/Caderno-Tecnico-Vol-III-Ecorregioes-do-Brasil-red.pdf). (accessed 23 June 2018).
- Lior, N., 2008. Energy resources and use: the present situation and possible paths to the future. *Energy* 33, 842–857.
- Mackinnon, B., Sowden, R., Dudley, S. (Eds.), 2001. An Aviation Industry Guide to the Management of Wildlife Hazards Transport Canada's Wildlife Control Procedures Manual.
- Madsen, J., Boertmann, D., 2008. Animal behavioural adaptation to changing landscapes: spring-staging geese habituate to wind farms. *Landsc. Ecol.*, 23, 1007–1011.
- Maia, Meio Ambiente e Impacto Ambiental Ltda., 2015. Complexo Eólico Palmares – Monitoramento de Operação: Relatório Quadrienal - Agosto de 2011 a Novembro de 2015. Relatório Técnico não publicado entregue a FEPAM.
- Marques, A.T., Batalha, H., Rodrigues, S., Costa, H., Pereira, M.J.R., Fonseca, C., Mascarenhas, M., Bernardino, J., 2014. Understanding bird collisions at wind farms: An updated review on the causes and possible mitigation strategies. *Biological Conservation* 179, 40-52.
- Martínez-Abraín, A., Tavecchia, G., Regan, H.M., Jiménez, J., Surroca, M., Oro, D., 2012. Effects of wind farms and food scarcity on a large scavenging bird species following an epidemic of bovine spongiform encephalopathy. *Journal of Applied Ecology*, 49, 109–117.
- Masden, E.A., Haydon, D.T., Fox, A.D., Furness, R.W., Bullman, R., Desholm, M., 2009. Barriers to movement: impacts of wind farms on migrating birds. *Journal of Marine Science*, 66, 746-753.
- MMA - Ministério do Meio Ambiente, 2007. PROBIO - Cobertura vegetal do bioma Pampa. Relatório técnico. PROBIO/UFRGS/EMBRAPA PECUÁRIA SUL. Porto Alegre. [http://www.ecologia.ufrgs.br/labgeo/arquivos/downloads/dados/Mapeamento\\_bioma\\_pampa/Relatorio\\_bioma\\_Pampa.pdf](http://www.ecologia.ufrgs.br/labgeo/arquivos/downloads/dados/Mapeamento_bioma_pampa/Relatorio_bioma_Pampa.pdf). (accessed 23 June 2018).
- Pearce-Higgins, J.W., Stephen, L., Douse, A., Langston, R.H.W., 2012. Greater impacts of wind farms on Bird populations during construction than subsequent operation: results of a multi-site and multi-species analysis. *Journal of Applied Ecology*, 49, 386-394.
- Pearce-Higgins, J.W., Stephen, L., Langston, R.H.W., Bainbridge, I.P., Bullman, R., 2009. The distribution of breeding birds around upland wind farms. *Journal of Applied Ecology* 46, 1323–1331.
- Piacentini, V.Q., Aleixo, A., Agne, C.E., Maurício, G.N., Pacheco, J. F., Bravo, G. A., Brito, G. R. R., Naka, L.N., Olmos, F., Posso, S., Silveira, L.F., Betini, G.S., Carrano, E., Franz, I., Lees, A.C., Lima, L.M., Pioli, D., Schunck, F., Amaral, F.R., Bencke, G., A., Cohn-Haft, M., Figueiredo, L.F.A., Straube, F.C., Cesari, E., 2015. Annotated checklist of the birds of Brazil by the Brazilian Ornithological Records Committee /Lista comentada das aves do Brasil pelo Comitê Brasileiro de Registros. *Revista Brasileira de Ornitologia* 23(2), 90-298.
- Pillar, V.D., 1998. *Muliv; multivariate exploratory analysis and randomization testing. User's Guide*. UFRGS, Porto Alegre. v.1/2, 34p.

- Rio Grande Do Sul, 2014. Decreto Estadual nº 51.797, de 09 de setembro de 2014. Declara as Espécies da Fauna Silvestre Ameaçadas de Extinção no Estado do Rio Grande do Sul.
- Sick, H., 1997. Ornitologia Brasileira. Editora Nova Fronteira, Rio de Janeiro, 862p.
- Stotz, D.F.; Parker, T.A.; Fitzpatrick, J.W.; Moskovits, D.K., 1996. Neotropical birds: ecology and conservation. University of Chicago Press, Chicago.



**Table A.** Species recorded in all phases of the wind farm, Rio Grande do Sul, Brazil, and their respective feeding and environmental guilds (PRE = pre-construction; CONS = construction; OPE = operation; OA = open area; WT = wetland; FE = forest edge; FO = forest).

Taxa	Common Name	Feeding Guild	PRE	CONS	OPE
STRUTHIONIFORMES					
Rheidae					
<i>Rhea americana</i>	Greater rhea	Omnivore	OA	OA	OA
Tinamidae					
<i>Nothura maculosa</i>	Spotted Nothura	Omnivore	OA	OA	OA
ANSERIFORMES					
Anhimidae					
<i>Chauna torquata</i>	Southern Screamer	Herbivore	WT	WT	WT
Anatidae					
<i>Dendrocygna viduata</i>	White-faced Whistling-Duck	Herbivore	WT	WT	WT
<i>Dendrocygna bicolor</i>	Fulvous Whistling-Duck	Herbivore	WT	-	-
<i>Coscoroba coscoroba</i>	Coscoroba Swan	Herbivore	WT	-	-
<i>Callonetta leucophrys</i>	Ringed Teal	Herbivore	WT	WT	WT
<i>Amazonetta brasiliensis</i>	Brazilian Teal	Omnivore	WT	WT	WT
<i>Anas versicolor</i>	Silver Teal	Omnivore	WT	WT	WT
<i>Anas georgica</i>	Yellow-billed Pintail	Omnivore	WT	WT	WT
<i>Anas flavirostris</i>	Yellow-billed Teal	Omnivore	WT	WT	WT
PODICIPEDIFORMES					
Podicipedidae					
<i>Podilymbus podiceps</i>	Pied-billed Grebe	Piscivore	WT	-	WT
COLUMBIFORMES					
Columbidae					
<i>Patagioenas picazuro</i>	Picazuro Pigeon	Granivore	OA	OA	OA
<i>Leptotila verreauxi</i>	White-tipped Dove	Granivore	FE	FE	FE
<i>Zenaida auriculata</i>	Eared Dove	Granivore	OA	OA	OA
<i>Columbina talpacoti</i>	Ruddy Ground-Dove	Granivore	OA	OA	OA
<i>Columbina picui</i>	Picui Ground-Dove	Granivore	OA	OA	OA
CAPRIMULGIFORMES					
Caprimulgidae					
<i>Hydropsalis torquata</i>	Scissor-tailed Nightjar	Insectivore	OA	OA	-
Trochilidae					
<i>Hylocharis chrysurus</i>	Gilded Hummingbird	Nectarivore	OA	OA	OA
CUCULIFORMES					
Cuculidae					
<i>Crotophaga ani</i>	Smooth-billed Ani	Omnivore	FE	-	FE
<i>Guira guira</i>	Guira Cuckoo	Omnivore	OA	OA	OA
<i>Tapera naevia</i>	Striped Cuckoo	Omnivore	OA	OA	OA
<i>Piaya cayana</i>	Squirrel Cuckoo	Omnivore	FE	-	-
<i>Coccyzus melacoryphus</i>	Dark-billed Cuckoo	Omnivore	-	-	FE
GRUIFORMES					
Rallidae					

Table A (cont.)

Taxa	Common Name	Feeding Guild	PRE	CONS	OPE
<i>Laterallus melanophaius</i>	Rufous-sided Crake	Insectivore	WT	-	-
<i>Aramides ypecaha</i>	Giant Wood-Rail	Piscivore	WT	WT	WT
<i>Aramides cajaneus</i>	Gray-necked Wood-Rail	Piscivore	-	WT	WT
<i>Pardirallus nigricans</i>	Blackish Rail	Piscivore	WT	-	-
<i>Pardirallus sanguinolentus</i>	Plumbeous Rail	Piscivore	WT	-	WT
<i>Porzana albicollis</i>	Ash-throated Crake	Insectivore	WT	WT	WT
<i>Gallinula galeata</i>	Common Gallinule	Omnivore	WT	-	WT
<i>Gallinula melanops</i>	Spot-flanked Gallinule	Omnivore	WT	-	WT
Aramidae					
<i>Aramus guarauna</i>	Limpkin	Piscivore	WT	WT	WT
CICONIIFORMES					
Ciconiidae					
<i>Mycteria americana</i>	Wood Stork	Piscivore	WT	WT	WT
<i>Ciconia maguari</i>	Maguari Stork	Piscivore	WT	WT	WT
PELECANIFORMES					
Threskiornithidae					
<i>Platalea ajaja</i>	Roseate Spoonbill	Omnivore	WT	WT	WT
<i>Theristicus caerulescens</i>	Plumbeous Ibis	Piscivore	-	OA	OA
<i>Theristicus caudatus</i>	Buff-necked Ibis	Omnivore	-	OA	OA
<i>Phimosus infuscatus</i>	Bare-faced Ibis	Omnivore	WT	WT	WT
<i>Plegadis chihi</i>	White-faced Ibis	Omnivore	WT	WT	WT
Ardeidae					
<i>Tigrisoma lineatum</i>	Rufescent Tiger-Heron	Piscivore	WT	-	-
<i>Botaurus pinnatus</i>	Pinnated Bittern	Piscivore	-	-	WT
<i>Nycticorax nycticorax</i>	Black-crowned Night-Heron	Piscivore	WT	WT	WT
<i>Butorides striata</i>	Striated Heron	Piscivore	WT	WT	WT
<i>Bubulcus ibis</i>	Cattle Egret	Omnivore	OA	OA	OA
<i>Ardea cocoi</i>	Cocoi Heron	Piscivore	WT	WT	WT
<i>Ardea alba</i>	Great Egret	Piscivore	WT	WT	WT
<i>Syrigma sibilatrix</i>	Whistling Heron	Omnivore	WT	WT	WT
<i>Egretta caerulea</i>	Little Blue Heron	Piscivore	WT	-	WT
<i>Egretta thula</i>	Snowy Egret	Piscivore	WT	WT	WT
SULIFORMES					
Fregatidae					
<i>Fregata magnificens</i>	Magnificent Frigatebird	Piscivore	-	WT	WT
Phalacrocoracidae					
<i>Phalacrocorax brasilianus</i>	Neotropic Cormorant	Piscivore	WT	WT	WT
CHARADRIIFORMES					
Haematopodidae					
<i>Haematopus palliatus</i>	American Oystercatcher	Omnivore	-	WT	-
Recurvirostridae					
<i>Himantopus melanurus</i>	White-backed Stilt	Insectivore	WT	WT	WT
Charadriidae					
<i>Pluvialis sp.</i>		Omnivore	OA	-	-

**Table A (cont.)**

<b>Taxa</b>	<b>Common Name</b>	<b>Feeding Guild</b>	<b>PRE</b>	<b>CONS</b>	<b>OPE</b>
<i>Charadrius collaris</i>	Collared Plover	Insectivore	WT	-	WT
<i>Vanellus chilensis</i>	Southern Lapwing	Insectivore	OA	OA	OA
Jacanidae					
<i>Jacana jacana</i>	Wattled Jacana	Omnivore	WT	WT	WT
Scolopacidae					
<i>Calidris melanotos</i>	Pectoral Sandpiper	Omnivore	WT	WT	-
<i>Gallinago paraguaiiae</i>	South American Snipe	Insectivore	OA	OA	OA
<i>Tringa flavipes</i>	Lesser Yellowlegs	Omnivore	WT	WT	WT
<i>Tringa melanoleuca</i>	Greater Yellowlegs	Omnivore	WT	WT	-
Laridae					
<i>Rynchops niger</i>	Black Skimmer	Piscivore	-	OA	-
<i>Chroicocephalus maculipennis</i>	Brown-hooded Gull	Piscivore	OA	OA	OA
<i>Larus dominicanus</i>	Kelp Gull	Piscivore	OA	-	-
<i>Phaetusa simplex</i>	Large-billed Tern	Piscivore	OA	-	-
<i>Gelochelidon nilotica</i>	Gull-billed Tern	Carnivore	OA	-	-
<i>Sterna trudeaui</i>	Snowy-crowned Tern	Piscivore	OA	-	-
STRIGIFORMES					
Tytonidae					
<i>Tyto alba</i>	Common Barn-owl	Carnivore	FE	FE	FE
Strigidae					
<i>Athene cunicularia</i>	Burrowing Owl	Carnivore	OA	OA	OA
<i>Asio clamator</i>	Striped Owl	Carnivore	OA	-	-
<i>Megascops sanctaecatarinae</i>	Long-tufted Screech-Owl	Carnivore	FE	-	-
<i>Bubo virginianus</i>	Great Horned Owl	Carnivore	FE	FE	FE
CATHARTIFORMES					
Cathartidae					
<i>Cathartes aura</i>	Turkey Vulture	Scavenger	OA	OA	OA
<i>Cathartes burrovianus</i>	Lesser Yellow-headed Vulture	Scavenger	OA	-	-
<i>Coragyps atratus</i>	Black Vulture	Scavenger	OA	OA	OA
ACCIPITRIFORMES					
Accipitridae					
<i>Circus buffoni</i>	Long-winged Harrier	Carnivore	OA	OA	OA
<i>Circus cinereus</i>	Cinereous Harrier	Carnivore	-	-	OA
<i>Accipiter striatus</i>	Sharp-shinned Hawk	Carnivore	OA	-	-
<i>Rostrhamus sociabilis</i>	Snail Kite	Piscivore	WT	WT	WT
<i>Rupornis magnirostris</i>	Roadside Hawk	Carnivore	OA	OA	OA
<i>Buteogallus meridionalis</i>	Savanna Hawk	Carnivore	OA	OA	OA
<i>Buteogallus urubitinga</i>	Great Black Hawk	Carnivore	OA	OA	-
CORACIIFORMES					
Alcedinidae					
<i>Megaceryle torquata</i>	Ringed Kingfisher	Piscivore	WT	WT	WT
<i>Chloroceryle amazona</i>	Amazon Kingfisher	Piscivore	WT	WT	WT
<i>Chloroceryle americana</i>	Green Kingfisher	Piscivore	-	WT	-
PICIFORMES					

Table A (cont.)

Taxa	Common Name	Feeding Guild	PRE	CONS	OPE
Picidae					
<i>Colaptes melanochloros</i>	Green-barred Woodpecker	Insectivore	FE	FE	-
<i>Colaptes campestris</i>	Campo Flicker	Insectivore	OA	OA	OA
<i>Melanerpes candidus</i>	White Woodpecker	Insectivore	-	-	FE
FALCONIFORMES					
Falconidae					
<i>Caracara plancus</i>	Southern Caracara	Carnivore	OA	OA	OA
<i>Milvago chimachima</i>	Yellow-headed Caracara	Carnivore	OA	OA	OA
<i>Milvago chimango</i>	Chimango Caracara	Carnivore	OA	OA	OA
<i>Falco sparverius</i>	American Kestrel	Carnivore	OA	OA	OA
<i>Falco femoralis</i>	Aplomado Falcon	Carnivore	OA	OA	OA
<i>Falco peregrinus</i>	Peregrine Falcon	Carnivore	-	-	OA
PSITTACIFORMES					
Psittacidae					
<i>Myiopsitta monachus</i>	Monk Parakeet	Granivore	OA	OA	OA
PASSERIFORMES					
Thamnophilidae					
<i>Thamnophilus ruficapillus</i>	Rufous-capped Antshrike	Insectivore	FE	-	-
Furnariidae					
<i>Geositta cunicularia</i>	Common Miner	Insectivore	OA	OA	OA
<i>Furnarius rufus</i>	Rufous Hornero	Insectivore	OA	OA	OA
<i>Phleocryptes melanops</i>	Wren-like Rushbird	Insectivore	WT	WT	WT
<i>Anumbius annumbi</i>	Firewood-Gatherer	Insectivore	OA	OA	OA
<i>Cranioleuca obsolata</i>	Olive Spinetail	Insectivore	FE	-	-
<i>Schoeniophylax phryganophilus</i>	Chotoy Spinetail	Insectivore	OA	OA	OA
<i>Certhiaxis cinnamomeus</i>	Yellow-chinned Spinetail	Insectivore	WT	-	-
<i>Synallaxis spixi</i>	Spix's Spinetail	Insectivore	OA	OA	OA
Tyrannidae					
<i>Phylloscartes ventralis</i>	Mottle-cheeked Tyrannulet	Insectivore	FO	-	-
<i>Camptostoma obsoletum</i>	Southern Beardless-Tyrannulet	Insectivore	FE	FE	FE
<i>Elaenia flavogaster</i>	Yellow-bellied Elaenia	Insectivore	FO	FO	FO
<i>Elaenia obscura</i>	Highland Elaenia	Insectivore	FE	-	-
<i>Serpophaga nigricans</i>	Sooty Tyrannulet	Insectivore	WT	WT	WT
<i>Serpophaga subcristata</i>	White-crested Tyrannulet	Insectivore	FE	FE	FE
<i>Pitangus sulphuratus</i>	Great Kiskadee	Insectivore	OA	OA	OA
<i>Machetornis rixosa</i>	Cattle Tyrant	Insectivore	OA	OA	OA
<i>Tyrannus melancholicus</i>	Tropical Kingbird	Insectivore	FE	FE	FE
<i>Tyrannus savana</i>	Fork-tailed Flycatcher	Insectivore	OA	OA	OA
<i>Pyrocephalus rubinus</i>	Vermilion Flycatcher	Insectivore	OA	-	-
<i>Arundinicola leucocephala</i>	White-headed Marsh Tyrant	Insectivore	OA	-	-
<i>Satrapa icterophrys</i>	Yellow-browed Tyrant	Insectivore	OA	OA	OA
<i>Xolmis irupero</i>	White Monjita	Insectivore	OA	OA	OA
<i>Lathrotriccus euleri</i>	Euler's Flycatcher	Insectivore	FO	-	-
Vireonidae					

Table A (cont.)

Taxa	Common Name	Feeding Guild	PRE	CONS	OPE
<i>Cyclarhis gujanensis</i>	Rufous-browed Peppershrike	Omnivore	FE	FE	FE
Hirundinidae					
<i>Hirundo rustica</i>	Barn Swallow	Insectivore	-	OA	OA
<i>Tachycineta</i> sp.		Insectivore	OA	OA	OA
<i>Tachycineta leucorrhoa</i>	White-rumped Swallow	Insectivore	OA	OA	OA
<i>Tachycineta meyeni</i>	Chilean Swallow	Insectivore	OA	-	-
<i>Progne tapera</i>	Brown-chested Martin	Insectivore	OA	OA	OA
<i>Progne chalybea</i>	Gray-breasted Martin	Insectivore	OA	-	-
<i>Pygochelidon cyanoleuca</i>	Blue-and-white Swallow	Insectivore	-	-	OA
<i>Alopochelidon fucata</i>	Tawny-headed Swallow	Insectivore	OA	OA	OA
Poliptilidae					
<i>Poliptila dumicola</i>	Masked Gnatcatcher	Insectivore	FE	-	-
Troglodytidae					
<i>Troglodytes musculus</i>	Southern House Wren	Insectivore	OA	OA	OA
Mimidae					
<i>Mimus saturninus</i>	Chalk-browed Mockingbird	Omnivore	OA	OA	OA
Turdidae					
<i>Turdus leucomelas</i>	Pale-breasted Thrush	Omnivore	-	OA	-
<i>Turdus rufiventris</i>	Rufous-bellied Thrush	Omnivore	OA	OA	OA
<i>Turdus amaurochalinus</i>	Creamy-bellied Thrush	Omnivore	FE	FE	FE
Motacillidae					
<i>Anthus</i> sp.		Insectivore	OA	-	-
<i>Anthus lutescens</i>	Yellowish Pipit	Insectivore	OA	OA	OA
<i>Anthus hellmayri</i>	Hellmayr's Pipit	Insectivore	OA	OA	OA
<i>Anthus nattereri</i>	Ochre-breasted Pipit	Insectivore	OA	-	-
Fringillidae					
<i>Euphonia chlorotica</i>	Purple-throated Euphonia	Frugivore	FE	-	-
<i>Carduelis magellanica</i>	Hooded Siskin	Granivore	OA	OA	OA
Passerellidae					
<i>Ammodramus humeralis</i>	Grassland Sparrow	Granivore	OA	OA	OA
<i>Zonotrichia capensis</i>	Rufous-collared Sparrow	Granivore	OA	OA	OA
Icteridae					
<i>Leistes superciliaris</i>	White-browed Meadowlark	Granivore	OA	OA	OA
<i>Icterus pyrrhopterus</i>	Variable Oriole	Insectivore	-	FE	FE
<i>Molothrus bonariensis</i>	Shiny Cowbird	Granivore	OA	OA	OA
<i>Agelaioides badius</i>	Grayish Baywing	Granivore	OA	OA	OA
<i>Agelasticus thilius</i>	Yellow-winged Blackbird	Granivore	FE	-	-
<i>Chrysomus ruficapillus</i>	Chestnut-capped Blackbird	Granivore	OA	OA	OA
<i>Pseudoleistes guirahuro</i>	Yellow-rumped Marshbird	Omnivore	WT	-	WT
Parulidae					
<i>Geothlypis aequinoctialis</i>	Masked Yellowthroat	Insectivore	WT	WT	WT
<i>Setophaga pitayumi</i>	Tropical Parula	Insectivore	FE	-	-
<i>Basileuterus culicivorus</i>	Golden-crowned Warbler	Insectivore	FO	FO	FO
<i>Basileuterus leucoblepharus</i>	White-browed Warbler	Insectivore	FO	FO	FO

**Table A** (cont.)

<b>Taxa</b>	<b>Common Name</b>	<b>Feeding Guild</b>	<b>PRE</b>	<b>CONS</b>	<b>OPE</b>
Thraupidae					
<i>Embernagra platensis</i>	Great Pampa-Finch	Granivore	-	-	WT
<i>Coryphospingus cucullatus</i>	Red-crested Finch	Granivore	FE	-	-
<i>Sporophila caerulea</i>	Double-collared Seedeater	Granivore	OA	OA	OA
<i>Sicalis flaveola</i>	Saffron Finch	Granivore	OA	OA	OA
<i>Sicalis luteola</i>	Grassland Yellow-Finch	Granivore	OA	OA	OA
<i>Pipraeidea bonariensis</i>	Blue-and-yellow Tanager	Frugivore	FE	-	FE
<i>Paroaria coronata</i>	Red-crested Cardinal	Granivore	OA	OA	OA
<i>Tangara sayaca</i>	Sayaca Tanager	Frugivore	FE	FE	FE
<i>Saltator similis</i>	Green-winged Saltator	Granivore	FO	FO	FO
<b>SPECIES RICHNESS</b>			<b>146</b>	<b>115</b>	<b>122</b>

### **6 CAPÍTULO III**

## **COLISÃO DE AVES EM PARQUES EÓLICOS DE AMBIENTES SUBTROPICAIS DA AMÉRICA DO SUL: ANÁLISE DE RISCO, RELAÇÕES COM A ESTRUTURA DE GERAÇÃO DOS PARQUES, A PAISAGEM E VARIÁVEIS CLIMÁTICAS**

## **Colisão de aves em parques eólicos de ambientes subtropicais da América do Sul: análise de risco, relações com a estrutura de geração dos parques, a paisagem e variáveis climáticas**

**Tamara Justo Falavigna<sup>a\*</sup>, Daniel Pereira<sup>b,c</sup>, Samuel de Nascimento de Campos<sup>b</sup>, Maria Virginia Petry<sup>a</sup>**

<sup>a</sup> Laboratório de Ornitologia e Animais Marinhos (LOAM), Programa de Pós-Graduação em Biologia, Universidade do Vale do Rio dos Sinos (UNISINOS), Av. Unisinos, 950, São Leopoldo - RS, 93020-190, Brasil

<sup>b</sup> Laboratório de Análises e Pesquisas Ambientais (LAPEA), Lógica Projetos Socioambientais, Rua Nossa Senhora da Conceição, 1201 sala 5, Sapucaia do Sul - RS, 93220-270, Brasil

<sup>c</sup> Faculdade Dom Bosco de Porto Alegre, Curso de Engenharia Ambiental e Sanitária

E-mail addresses: tfalavigna@gmail.com (T.J. Falavigna), dani.mdourado@gmail.com (D. Pereira), samuel.campos@acad.pucrs.br (S.N. Campos), vpetry@unisinos.br (M.V. Petry)

\* Corresponding author. Phone number: 55 51 997304274

### **Resumo**

Diante da crescente demanda por fontes de energia renováveis, a energia eólica tem apresentado um crescimento significativo no mundo e no Brasil, sendo considerada uma das formas de geração de energia elétrica mais sustentáveis. Entretanto existem impactos ambientais negativos, como a colisão de aves com as estruturas dos parques eólicos. O presente trabalho objetiva determinar a influência de fatores como a estrutura de geração dos parques eólicos, a estrutura da paisagem e variáveis climáticas sobre os registros de colisões de aves, bem como também adaptar e aplicar um índice de risco de colisão para parques situados em ambientes subtropicais sulamericanos. Foram utilizados dados de um ano de monitoramento de avifauna de 11 parques eólicos em operação no Rio Grande do Sul. Os dados de registros de espécies e mortandade foram tabulados e sistematizados. As áreas dos parques eólicos acrescentadas de área de amortecimento foram analisadas quanto a classe de uso e cobertura do solo e foram calculados o Índice de Diversidade de Shannon-Weaver e o Índice de Pielou. Equações de predição da riqueza de aves, número de colisões e taxa de colisão foram obtidas por meio de modelos gerados através de regressão múltipla. Além disso, foi aplicado um índice de risco à colisão para cada espécie registrada e realizada uma comparação com as espécies que estão morrendo pela colisão com as turbinas. Quanto ao uso e cobertura do solo das áreas dos parques eólicos adicionado da área de amortecimento cinco parques eólicos apresentaram mais de 80% de suas áreas ocupadas por campo/pastagem. Considerando o número de manchas esperava-se uma maior diversidade em todos os parques analisados, de acordo com os valores de  $H'$  máximo (esperado). A área menos diversificada é o WF6, enquanto a mais diversificada é o WF5. Foram registradas 306 espécies de aves. O parque com a maior riqueza registrou 218 espécies, enquanto o com menor riqueza 45. A riqueza é determinada pela vegetação nativa, área do parque eólico e lagoas. Durante o monitoramento das colisões morreram 129 espécimes, destacando-se três espécies *Ciconia maguari* (N=14), *Rostrhamus sociabilis* (N=11) e *Tachycineta leucorrhoa* (N=25). O número de colisões é uma função da área dos cursos d'água, do diâmetro do rotor, da velocidade do



vento e equitatividade de Pielou. Já a taxa de colisão é uma função da área dos cursos d'água e do número de turbinas. O menor parque eólico teve o maior número de colisões (N=30) e a maior taxa de colisão (3,33 ind./turbina/ano). Do total de espécies classificadas quanto ao risco de colisão, apenas 43 morreram ao colidir com as estruturas dos parques eólicos, três espécies classificadas em alto risco de colisão e 23 classificadas em médio risco. De uma forma geral todas as áreas ocupadas pelos parques eólicos avaliados sofreram profundas transformações ao longo das últimas décadas. O índice de risco proposto pode ser uma boa ferramenta para apontar as espécies que apresentam maior risco à colisão, mas deve ser aprimorado para conduzir a resultados mais assertivos, buscando assim, a melhor conservação da avifauna nas instalações eólicas.

**Palavras-chave:** Parque eólico, Avifauna, Taxa de colisão, Uso e cobertura do solo, Impacto ambiental

## 1. Introdução

Dentre as formas de obtenção de energia, o uso de energia eólica tem se tornado uma alternativa crescente devido ao seu menor impacto ambiental quando comparada as demais formas de geração (Furness et al., 2016). No entanto, estes projetos de geração de energia trazem mudanças do uso do solo, quer seja por impactos diretos da infraestrutura, quer seja por impactos indiretos como a fragmentação de habitat e o rompimento de corredores de migração (Degregorio et al., 2014). No Brasil a fonte eólica contribui com 9% da matriz elétrica brasileira e o Sul ocupa o 4º lugar na produção desta energia (Abeeolica, 2018). Os parques eólicos são instalados em regiões com alta disponibilidade de recurso eólico (Camargo-Schubert et al., 2014) e estas condições são diferentes em cada país. No Reino Unido e na Espanha, por exemplo, a maioria dos parques está sendo instalada em regiões montanhosas (GWEC, 2015). No Brasil, especialmente no Rio Grande do Sul, os parques estão sendo instalados na planície costeira (Abeeolica, 2018).

Dentre as fontes de geração de energia elétrica, a energia eólica é considerada uma das mais sustentáveis. Mas nem por isso deixa de causar impactos, sendo o mais conhecido a morte de aves pela colisão com as turbinas eólicas (Ferrer et al., 2012; Herrera-Alsina et al., 2013; Aschwanden et al., 2018). Os efeitos destas estruturas sobre a avifauna podem variar muito dependendo da espécie e de sua distribuição espacial e temporal (De Lucas et al., 2008; Ferrer et al., 2012). Dessa forma, para que seja possível mensurar os efeitos diretos e indiretos sobre a vida selvagem, é necessário avaliar as respostas das espécies em diferentes tipos de habitats e regiões (Pearce-Higgins et al., 2009; Belaire et al., 2014).

Apesar dos contínuos esforços para mitigar os efeitos negativos das estruturas antrópicas sobre a vida selvagem, o que se percebe é o declínio acelerado em muitas espécies silvestres (Pearce-Higgins et al., 2009). A estrutura da comunidade de aves tem sido monitorada em vários parques eólicos, pré e pós-construção (Ferrer et al., 2012; Farfán et al., 2017), para registrar a atividade das aves na área e monitorar as colisões com as turbinas eólicas. Embora todas as espécies de aves possam colidir com os parques eólicos, algumas espécies são, potencialmente, mais susceptíveis a colisões do que outras, por possuírem características etológicas e morfológicas específicas. As aves de hábitos carnívoros e/ou necrófagos, como por exemplo, os Accipitriformes, Cathartiformes e Falconiformes, passam longos períodos voando e atingem grandes altitudes (Sick, 1997), estando susceptíveis às colisões (Mackinnon et al., 2001; Lehman et al., 2007). As espécies gregárias são amplamente

apontadas como vulneráveis a colisões, em relação às de comportamento solitário (Henderson et al., 1996; Janss, 2000). Aves com maior massa corporal (superior a 250 g) são mais susceptíveis às colisões, pois manobram mais lentamente, embora aves com qualquer massa possam colidir com as turbinas eólicas (Bevanger, 1998; Janss, 2000; Bevanger and Broseth, 2001). As espécies de topo de cadeia alimentar, os rapineiros, tem ótima acuidade visual e ao detectar uma presa se lançam sobre ela em um voo rápido, assim podem colidir com os mais diversos obstáculos (Lehman et al., 2007). Aves de hábitos migratórios são mais susceptíveis a colisões em comparação às residentes, pois não convivem diariamente com o obstáculo e/ou desconhecem a sua existência num primeiro momento, diferente daquelas residentes, que acompanham o seu surgimento (Henderson et al., 1996).

O modelo de risco de colisão mais utilizado é o CRM, descrito por Band (2000). A metodologia consiste em uma abordagem probabilística de dois estágios para prever a mortalidade, combinando uma descrição da estrutura e operação de uma turbina eólica com atributos de fisiologia e vôo das aves. O modelo primeiro estima o número de aves que passam por uma “janela de risco” (pás da turbina) e depois calcula a probabilidade de uma ave passar por esta “janela” sendo atingida por esta pá, assumindo que a ave não evita a colisão com a turbina. O modelo foi revisado e foi adicionado um fator de evitação (Band et al., 2007). No entanto, pequenos erros neste parâmetro podem ter grandes efeitos sobre as taxas de mortalidade previstas. Portanto, não importa quão robustas sejam as estimativas de risco de colisão, a mortalidade real pode não refletir tais estimativas (Croft et al., 2013). Recentemente, Masden and Cook (2016) revisaram os modelos de risco de colisão disponíveis e estão sendo utilizadas inúmeras abordagens, tais como radar, imagens térmicas, observação e recuperação de carcaças (Band et al., 2007; Korner-Nievergelt et al., 2013; New et al., 2015; Vasilakis et al., 2017), mas todos estes métodos envolvem complexos modelos matemáticos e altos custos. Para aeroportos, Luigi et al. (2010) criaram um índice binário com sete parâmetros baseados em informações de composição, riqueza e abundância de aves, associado a dados ecológicos para identificar o risco de colisão de aves com as aeronaves. Assim, quanto maior o valor obtido no somatório dos parâmetros, maior o risco de colisão. A partir das informações obtidas eles propuseram medidas para minimizar o risco.

O presente trabalho objetiva determinar a influência de fatores como a estrutura de geração dos parques eólicos, a estrutura da paisagem e variáveis climáticas sobre os registros de colisões de aves, bem como adaptar e aplicar um índice de risco de colisão para parques situados em ambientes subtropicais sulamericanos.

## **2. Material e Métodos**

### **2.1. Área de estudo**

A área de estudo abrange oito municípios do Rio Grande do Sul, Brasil, onde existem 11 parques eólicos operando (Fig. 1 e Tabela 1). O clima é classificado como subtropical úmido, oceânico sem estação seca com verão quente. A temperatura média anual é entre 18 e 20°C e a pluviosidade média anual 1300-1600 mm (Alvares et al., 2013). Estas regiões caracterizam-se, principalmente, por áreas de formação pioneira, de estepe e tensão ecológica. Todas estas fitofisionomias estão inseridas no Bioma Pampa e são compostas principalmente por áreas de campo, com a presença de áreas úmidas e ambiente florestal, normalmente associado à presença de água, bem como áreas com monoculturas (IBGE, 2004; Boldrini et al., 2010).

## 2.2. Estrutura da Paisagem

Foram analisadas classe de uso e cobertura do solo dos 11 parques eólicos. Para tal foram criadas poligonais dos parques a partir de imagens do Google Earth, tomando-se como limites de cada parque a linha mais externa de turbinas eólicas. Estes arquivos kmz foram transformados para shapefile, convertendo-se também o sistema de projeção e de coordenadas para Sirgas 2000/UTM 21 Sul para os parques localizados em Santana do Livramento e Sirgas 2000/UTM 22 Sul para os demais parques (Rio Grande do Sul, 2018), utilizando-se o software livre QGIS (Quantum GIS, 2002). Cada poligonal recebeu uma área de amortecimento de 600 m, este valor foi arbitrado considerando a diretriz estabelecida para duas espécies de aves ameaçadas no zoneamento ambiental eólico do RS (Rio Grande do Sul, 2014b). Para a classificação do uso do solo foram usadas as imagens de satélite do Google Earth obtidas no período do monitoramento de fauna de cada parque eólico. Na análise da paisagem dos parques e das zonas de amortecimento foram identificadas as seguintes manchas: açudes (com diferentes idades e estágios sucessionais de acordo com Flores and Winkler, 1979), banhados (Rio Grande do Sul, 2018), campo/pastagem, cursos d'água (naturais e artificiais), dunas, lagoas, mancha urbana, oceano Atlântico, rizicultura, solo exposto, vegetação exótica (cultivo de eucalipto e pinus, rebroto de cultivos após o corte ou regeneração espontânea resultante da dispersão do cultivo) e vegetação nativa (predominantemente restinga). Todos os usos do solo identificados e delimitados foram transformados em manchas e calculadas suas áreas em km<sup>2</sup>.

Para avaliar a estrutura da paisagem foram calculadas métricas de diversidade com base na teoria da informação (Naveh and Lieberman, 1994). Com base nas áreas das manchas de cada parque, foi calculado o Índice de Diversidade de Shannon-Weaver ( $H'$ ), o qual considera a riqueza (número) de classes de manchas registradas, bem como a equidade de distribuição (proporção das áreas das respectivas classes). Quando a paisagem contém apenas uma classe de manchas, o valor do índice é igual a zero. Quanto maior for o número de manchas na paisagem, equitativamente distribuídas, maiores serão os valores do índice. Valores esperados de diversidade foram obtidos por meio do  $H'$  máximo, considerando o número de manchas registrados em cada parque. Este índice expressa a diversidade máxima esperada numa paisagem com manchas equitativamente distribuídas. O Índice de Pielou quantifica a homogeneidade da área, refletindo a dominância de alguma classe de mancha e é expresso de forma numérica (variando de zero a 1): zero reflete dominância de uma única mancha e paisagem pouco diversificada e 1, manchas proporcionais em área e paisagem altamente diversificada.

## 2.3. Compilação de dados de monitoramento de avifauna

Foram utilizados dados secundários de avifauna obtidos de relatórios de monitoramento de fauna entregues à agência ambiental do Rio Grande do Sul, FEPAM, como condicionantes das licenças ambientais de operação de 11 parque eólicos. Estes parques iniciaram a operação entre junho de 2011 e janeiro de 2016 e possuíam 12 meses de monitoramento de fauna (Tabela 1) (ABG, 2016; Ardea, 2015, 2017; Bioimagens, 2017; Biometria, 2016, 2017; Biopampa, 2016; Hidrobrasil, 2015; Maia, 2015; Napeia, 2016a, 2016b). Os dados de registro de ocorrência das espécies apresentados nos relatórios foram validados quanto às premissas: (i) dados coletados apenas na área de influência direta do empreendimento; (ii) monitoramento das aves ter ocorrido pelo método de pontos fixos (Bibby et al., 1997); (iii) apresentar lista da composição das espécies e (iv) busca ativa por

carcaças de aves mortas ao redor das turbinas eólicas num raio de até 100 metros. A partir do atendimento das premissas, os dados de avifauna foram compilados, tabulados e sistematizados em duas tabelas, uma com o registro das espécies e outra com o registro das espécies que morreram pela colisão com as turbinas eólicas. Para os registros de mortes foram considerados os dados brutos sem correção e os registros determinados até o nível taxonômico de espécie. A nomenclatura das espécies e a ordenação sistemática seguiu a BirdLife (2017), assim como os seus nomes populares. Cada espécie foi classificada quanto ao seu status de conservação internacional (IUCN, 2017), nacional (Brasil, 2014) e regional (Rio Grande do Sul, 2014a).

Informações sobre as características técnicas dos parques eólicos como: número total de turbinas, altura da torre, diâmetro do rotor foram obtidas a partir das respectivas licenças ambientais que podem ser obtidas no site da Fundação Estadual de Proteção Ambiental Henrique Luiz Roessler (FEPAM) através de consulta ao sistema online. Os dados de precipitação média e velocidade média dos ventos foram obtidos através de consulta ao Instituto Nacional de Meteorologia – INMET, que cedeu dados de quatro estações meteorológicas que estão próximas aos parques eólicos.

#### 2.4. Taxa de Colisão

A taxa de colisão foi calculada através da razão do número total de aves mortas em um ano pelo número total de turbinas no parque eólico, sendo expressa:

$$TXC = CO/T. 1$$

onde:

CO = número (N) de indivíduos colididos;

T = número total (N) de turbinas eólicas.

#### 2.5. Índice de risco de colisão

Para determinar o risco de colisão das espécies de aves registradas nos 11 parques eólicos, foi adaptado o índice de susceptibilidade à colisão proposto por Luigi et al. (2010) para aeroportos, considerando as variáveis: aves com biomassa superior a 250 g (Dunning, 2008), comportamento social (Sick, 1997), aves de rapina (Sick, 1997) e guilda de ambientes (Stotz et al., 1996), sendo acrescentada a variável status de ocorrência (Piacentini et al., 2015). *Rhea americana* e *Spheniscus magellanicus* não foram classificados porque não voam. Foram estabelecidos valores binários para cada uma das variáveis, sendo zero (0), quando não contribuíam para tornar a ave mais susceptível à colisão e um (1) quando esta premissa se invertia. Desta forma, as aves registradas receberam um escore com base no somatório dos pontos recebidos, sendo o valor máximo cinco (5), e foram classificadas quanto ao risco de colisão em: (i) Escore 0 = improvável; (ii) Escore 1 = baixo; (iii) Escore 2-3 = médio; e (iv) Escore 4-5 = alto risco à colisão.

#### 2.6. Análise estatística

Equações de predição da riqueza de aves (variável resposta) foram obtidas por meio de modelos gerados através de regressão múltipla, a partir de variáveis preditoras como a precipitação atmosférica (Tabela 2), classes de uso e cobertura do solo (Tabela 3, Fig. 2 e 3) e métricas de diversidade da paisagem (Fig. 4), considerando o conjunto de dados de todos os

parques eólicos. Duas outras equações de predição do número de colisões e de taxa de colisão (variáveis respostas) foram obtidas por meio de modelos gerados através de regressão múltipla, a partir de variáveis preditoras como as características da estrutura de geração dos parques eólicos, precipitação atmosférica e velocidade dos ventos (Tabela 2), classes de uso e cobertura do solo (Tabela 3, Fig. 2 e 3) e métricas de diversidade da paisagem (Fig. 4), considerando o conjunto de dados de todos os parques eólicos. Os modelos foram gerados considerando os pressupostos de normalidade, homocedasticidade, independência de erros, multicolinearidade e linearidade. Para a análise de regressão múltipla foi utilizado o software SPSS 13. As classes de uso do solo foram submetidas à transformação pelo total marginal e os valores dos índices de diversidade e equitatividade não foram transformados. Já as demais variáveis foram logaritmizadas ( $\log(x+1)$ ).

### 3. Resultados

#### 3.1. Estrutura da paisagem

Quanto ao uso e cobertura do solo das áreas dos parques eólicos adicionado da área de amortecimento (Tabela 3, Fig. 2 e 3), foi possível verificar que cinco parques (WF1, WF8, WF9, WF10 e WF11) apresentaram mais de 80% de suas áreas ocupadas por campo/pastagem; três parques (WF3, WF4 e WF7) tem cerca de 80% da área coberta por campo/pastagem ou rizicultura. O WF6 tem 93% de sua área coberta por rizicultura. O WF2 tem 44% de dunas e 34% de vegetação nativa. O WF5 tem 49% de campo/pastagem e 30% de vegetação exótica.

O menor valor de  $H'$  (observado) foi verificado no WF6 e o maior no WF5; enquanto que o maior valor de  $H'$  máximo (esperado) foi verificado no WF2 e o menor no WF11. No entanto, cabe ressaltar que considerando o número de manchas esperava-se uma maior diversidade em todos os parques analisados, de acordo com os valores de  $H'$  máximo (esperado) (Fig. 4). Os valores de Pielou ( $E$ ) indicaram que o WF6 é a área menos diversificada devido a maior dominância de manchas, enquanto que a WF5 é a área mais diversificada devido a proporção mais uniforme entre manchas (Fig. 4).

#### 3.2. Riqueza, ocorrência e guildas

No total de parques avaliados foram registradas 306 espécies de aves, pertencentes a 60 famílias e 22 ordens, sendo Passeriformes a mais representativa com 46% das espécies. O parque eólico que apresentou a maior riqueza de espécies foi o WF3 ( $N=218$ ), enquanto o WF2 ( $N=45$ ) apresentou a menor (Tabela 2). A análise de regressão múltipla mostrou que riqueza de aves é uma função determinada pela área da vegetação nativa e área do parque. Estas variáveis explicam 88% dos valores de riqueza nos parques avaliados (Tabela 4).

Do total de espécies, 93% são residentes e o restante é migrante do Norte ou migrante do Sul. As espécies que ocupam as áreas abertas representam 43,2% das espécies, seguida pelas espécies de banhado (29,2%), espécies de borda de floresta (15,6%) e espécies florestais (12,1%). Com relação à guilda alimentar, a maior parte das espécies que foram registradas são insetívoras (35%), omnívoras (19%), piscívoras (16%) e granívoras (14%).

#### 3.4 Colisões

Durante o monitoramento de avifauna de um ano dos parques eólicos, 129 espécimes de aves morreram ao colidir com as turbinas eólicas (Tabela 5), pertencentes a 13 ordens, 28 famílias e 43 espécies, sendo 42 residentes e apenas uma migrante do Sul, *Catharacta*

*antarctica*. A ordem mais afetada foi a dos Passeriformes com 35% (N=15). As espécies de área aberta representam 58% (N=25) do total das espécies, seguida pelas espécies de banhado (28%), espécies florestais (12%) e espécies de borda de floresta (2%). Do total de espécimes que morreram, três espécies se destacam: *Ciconia maguari* (maguari) com 14 indivíduos, sendo sete no WF6, *Rostrhamus sociabilis* (gavião-caramujeiro) com 11 indivíduos, sendo oito no WF4 e *Tachycineta leucorrhoa* (andorinha-de-sobre-branco) com 25 indivíduos, sendo 14 no WF11. Estas três espécies representam 38,7% dos registros de mortes e estão presentes em todos os parques eólicos. Por meio da regressão múltipla foi verificado que o número de colisões é uma função da área de cursos d'água, do diâmetro do rotor e da velocidade do vento, sendo que estas variáveis explicam 93% da variação dos dados de colisões (Tabela 4). Já a taxa de colisão é uma função da área de cursos d'água e do número de turbinas, os quais explicam 88% dos dados desta taxa (Tabela 4). O menor parque eólico (WF4) teve o maior número de colisões (N=30) e a maior taxa de colisão (3,33 ind./turbina/ano). Já o WF1 foi o que apresentou o menor número de colisões (N=2) e a menor taxa (0,050 ind./turbina/ano) (Tabela 2).

### 3.5. Índice de risco à colisão

Das 306 espécies de aves que foram classificadas quanto ao risco de colisão, seis (2%) foram enquadradas na categoria alto risco de colisão, 113 (37%) em médio risco e 110 (36%) em baixo risco (Tabela 6), 25% das espécies não apresentaram risco, pois tiveram escores zerados. No entanto, do total de espécies classificadas, apenas 43 morreram ao colidir com as estruturas dos 11 parques eólicos, três espécies (50%) classificadas em alto risco de colisão: *Cathartes aura* (N=1) e *Coragyps atratus* (N=3), necrófagos de área aberta e *Rostrhamus sociabilis* (N=11), que é um piscívoro de banhado. Dentre as espécies classificadas em médio risco, 23 (20%) apresentaram registros de colisão (Tabela 5), sendo as espécies mais atingidas *Tachycineta leucorrhoa* (N=25), que é uma espécie insetívora de área aberta e *Ciconia maguari* (N=14) que é piscívora de banhado. Além disso, o risco de colisão é muito similar entre os 11 parques avaliados, sendo que o parque que tem o maior número de espécies (54,5%) classificadas com risco médio e alto de colisão é o WF2, enquanto o WF3 é o que apresenta o menor número (35,8%) (Fig. 5).

## 4. Discussão

### 4.1. Estrutura da paisagem e Riqueza

De uma forma geral todas as áreas ocupadas pelos parques eólicos avaliados sofreram profundas transformações ao longo das últimas décadas. O uso do solo foi transformado e ocupado por diversas atividades antrópicas. O litoral do RS, onde estão instalados nove dos 11 parques eólicos é descrito por Rambo (1956) como uma sucessão de elementos, em faixas paralelas, na mesma ordem: oceano aberto, zona de ressaca, zona das areias móveis (dunas), zona dos olhos d'água e das lagunas marginais, zona dos campos secos e das matinhas, zona das lagoas e da mata paludosa e zona das serras. Neste contexto oito parques tiveram suas paisagens absolutamente transformadas, restando pouco do que foi descrito por Rambo (1956). Estes parques atualmente tem mais de 80% de suas áreas ocupadas por campo/pastagem ou rizicultura. Apenas um parque se mantém mais próximo de sua paisagem original com 44% de dunas e 34% de vegetação nativa. As áreas dos dois parques que estão implantados na paisagem da Coxilha de Santana, em Santana do Livramento, também sofreram profundas transformações. Esta região que é caracterizada por coxilhas, campos

nativos e cursos d'água (Rambo, 1956) atualmente teve sua área de campo nativo convertida para campo/pastagem.

Áreas muito antropizadas apresentam dominância de manchas, resultando em baixa diversidade estrutural na paisagem, conseqüentemente uma menor diversidade de habitats (Gotelli and Graves, 1996). Esta alteração pode proporcionar uma mudança na composição de espécies, como foi verificado em um parque eólico localizado no litoral norte do RS (dados não publicados).

Além das áreas de campo/pastagem e rizicultura, se associam nas áreas dos parques diferentes tipologias de áreas úmidas, incluindo banhados, açudes, lagoas, córregos e canais de irrigação/drenagem utilizados na rizicultura, conjuntamente a uma série de formações arbustivo/arbóreas nativas de estrutura diversificada, predominantemente de restinga e vegetação exótica relacionada à silvicultura. Esta diversidade de fisionomias permitiu registrar durante os monitoramentos 306 espécies de aves, o que representa 43,5% das espécies citadas como ocorrentes no Rio Grande do Sul (Franz et al., 2018).

Muitas espécies de aves são beneficiadas pela rizicultura (Rodríguez and Tiscornia, 2008), utilizando os recursos gerados pelas áreas úmidas artificiais durante a irrigação como as aves aquáticas, ou pelo descarte de arroz e solo mexido durante a semeadura, transporte e colheita como os garibaldis, tipios e gaiivotas, ou ainda abrigando-se durante o arroz florescido como as marrecas. Assim, as lavouras de arroz formam um mosaico de ambientes num mesmo período de tempo, possibilitando que várias espécies de aves habitem a área (Dias and Burger, 2005).

Para os parques eólicos avaliados, a riqueza de aves é uma função determinada positivamente pela área do parque e negativamente pela área de vegetação nativa. A relação espécie-área positiva era esperada (Gotelli and Graves, 1996). No entanto a relação negativa espécie-vegetação nativa deve ser explicada porque 43% das espécies de aves que foram registradas são de área aberta e 29% são de banhado. A presença de vegetação nativa pressupõe um maior número de espécies florestais ou de borda de floresta.

#### 4.2. Colisões

Durante o ano de monitoramento dos parques eólicos morreram ao colidir com as turbinas eólicas 43 espécies de aves, sendo que Passeriformes foi a ordem mais impactada (35%). Mundialmente e no Brasil esta ordem é a mais abundante, representando 60% e 47% das espécies, respectivamente (Gill and Donsker, 2015; Franz et al., 2018). Nos Estados Unidos e Canadá não é diferente, os Passeriformes são os mais abundantes e foram responsáveis por 62,5% das 4.975 fatalidades observadas nas instalações de energia eólica nestes dois países (Erickson et al., 2014). Outros estudos recentes também relatam que a ordem é muito impactada e pouco estudada (Garcia et al., 2015; Farfán et al., 2017; Gómez-Catasús et al., 2018). Além disso, 28% das espécies que vieram a óbito eram piscívoras ou omnívoras de banhado e 13% eram carnívoras ou necrófagas de área aberta. Erickson et al. (2014) relataram que aves de rapina diurnas corresponderam a 7,8% das observações de fatalidades.

Apesar dos parques eólicos no RS abrigarem espécies migratórias os registros de fatalidade por colisão não indicam que estas espécies estejam sendo afetadas. Existe apenas um registro de morte de um migrante do Sul, *Catharacta antarctica* no WF9 que é um parque localizado muito próximo ao mar. Provavelmente este indivíduo, que é um piscívoro marinho costeiro, colidiu por acidente. Por outro lado, estão colidindo com os parques eólicos, quase que exclusivamente, espécies residentes, o que contraria a hipótese, que diz que aves de hábitos migratórios são mais susceptíveis a colisões, comparando com as residentes, pois não

convivem diariamente com o obstáculo e/ou desconhecem a sua existência num primeiro momento, diferente daquelas residentes, que acompanharam o seu surgimento (Henderson et al., 1996).

Das espécies que morreram, três merecem destaque: *Ciconia maguari* (maguari), *Rostrhamus sociabilis* (gavião-caramujeiro) e *Tachycineta leucorrhoa* (andorinha-de-sobre-branco). As duas primeiras são piscívoras de banhado e a terceira insetívora de área aberta. A maguari tem quase 4 kg e o gavião-caramujeiro 400 g, corroborando a ideia de que as espécies mais impactadas são aquelas com maior peso (Bevanger, 1998; Janss, 2000; Bevanger and Broseth, 2001). Além disso, ambas espécies tem risco aumentado por pertencerem, respectivamente, a ordem dos Ciconiiformes, que são espécies grandes e com baixa manobrabilidade (De Lucas et al., 2008) e Accipitriformes, aves de hábitos carnívoros e/ou necrófagos (Mackinnon et al., 2001; Lehman et al., 2007). Por outro lado, a andorinha-de-sobre-branco é um Passeriformes, tem apenas 19 g e pertence ao grupo que começa a ser pesquisado quanto as mortes pela colisão com as turbinas eólicas. Recentemente, Gómez-Catasús et al. (2018) avaliaram o efeito de turbinas eólicas em uma espécie ameaçada de passeriforme, *Chersophilus duponti* (calhandra-de-dupont) e destacaram o impacto negativo dos parques eólicos sobre aves de pequeno porte.

Quanto menor o número de turbinas e maior área de cursos d'água tem um parque eólico, maior é a taxa de colisão (ind./turbina/ano). A relação positiva com a quantidade de cursos d'água faz sentido à medida que as aves devem fazer mais deslocamentos na área em função da disponibilidade de água, alimento e habitats oferecido pela rede de drenagem. O menor número de turbinas relacionado às maiores taxas de colisão, pode ser explicado porque o menor parque estudado (WF4) foge ao padrão de taxa de mortalidade do restante do RS, que é 0,494 ind./turbina/ano (dados não publicados) e de outros parques pelo mundo, por exemplo, no oeste americano 1,76 ind./turbina/ano (Erickson et al., 2005) e no sul da Espanha 1,33 ind./turbina/ano (Ferrer et al., 2012). Neste parque chama a atenção os registros de colisão (N=8) de *Rostrhamus sociabilis* (gavião-caramujeiro). Esta espécie é topo de cadeia alimentar, tem ótima acuidade visual e ao detectar uma presa se lança sobre ela em um voo rápido, assim podendo colidir com os mais diversos obstáculos (Mackinnon et al., 2001; Lehman et al., 2007). Avaliando o entorno do parque eólico, sabe-se que existe uma área de reprodução próxima e os indivíduos devem estar usando as turbinas como poleiro e se lançando quando detectam uma presa. No período reprodutivo há maior deslocamentos de indivíduos adultos, porque precisam alimentar os filhotes, este comportamento pode elevar as chances de colisão (Hüppop et al., 2006). Além disso, a área do parque é cercada por lagoas, capões de restinga e a serra do mar podem estar servindo como fontes de espécies, o que não acontece em outros parques. Para o número de colisões, a relação positiva com os cursos d'água também é explicada pela movimentação das aves, entretanto, a relação negativa com o diâmetro do rotor e velocidade do vento deve ser explicada, respectivamente, pela maior velocidade de rotação das pás, e de que com velocidades de ventos menores as aves conseguem se deslocar mais facilmente pelas áreas.

As espécies que estão colidindo com os parques eólicos do RS tem características morfológicas e etológicas diferentes daquelas que colidem com parques na Europa. No RS os parques estão instalados em grandes planícies, enquanto na Suíça (Aschwanden et al., 2018) e no Reino Unido (GWEC, 2015), por exemplo, existem parques implantados em regiões montanhosas com características de topografia e vegetação muito diferentes. Ou ainda em regiões de importantes rotas migratórias para aves paleárticas, como é o caso do Estreito de Gibraltar (Ferrer et al., 2012).



### 4.3. Índice de risco à colisão

Ao cruzar os dados de classificação do índice de risco com os registros de mortes de aves pela colisão com as turbinas eólicas, percebe-se que a projeção do índice não corresponde totalmente ao que está acontecendo em campo. O esperado pelo índice é que houvesse maior número de óbitos de aves de rapina, em função das suas características e pontuação. No entanto, são as espécies com médio e baixo risco de colisão que apresentam os maiores registros de colisão. Ferrer et al. (2012) analisaram a relação entre a predição de risco de acordo com o EIA, utilizando um modelo matemático complexo, e o registro de óbitos de aves nos parques eólicos localizados no sul da Espanha após tornarem-se operacionais, com o objetivo de determinar se os métodos de avaliação foram precisos, e não encontraram relação entre as variáveis que predizem o risco de colisão nos EIAs e os registros de mortes encontrados. Assim, fica claro que os dois modelos avaliados são pouco assertivos e estão deixando de incluir alguma variável que poderia indicar de forma mais adequada o risco. Talvez testar a inclusão do fator abundância, altura de voo e estrutura da paisagem, possa conduzir a melhores resultados.

No WF3 as duas espécies que tiveram o maior número de registros de fatalidades foram *Vanellus chilensis* (quero-quero) e *Tachycineta leucorrhoa* (andorinha-de-sobre-branco), ambas tem as populações locais mais dominantes na área do parque eólico. No entanto, o modelo de índice de risco aplicado não considerou a abundância das espécies, embora para estas espécies a abundância parece ser determinante. A tarambola-dourada-americana (*Pluvialis dominica*), que é da ordem Charadriiformes, assim como *V. chilensis*, é uma espécie que utiliza campos agrícolas durante a sua passagem de primavera pelo meio-oeste dos Estados Unidos e muitos parques eólicos foram instalados nos campos utilizados por esta espécie. Homoya et al. (2017) investigaram os padrões de comportamento e os resultados mostraram que os parques não impactaram significativamente a tarambola-dourada, que tem comportamento de evitação das turbinas eólicas.

Alguns modelos de risco de colisão incorporam a altura de voo e a chance da ave evitar a colisão com as turbinas eólicas (Masden and Cook, 2016), o modelo proposto não incluiu estes fatores, porque pouco se conhece sobre o comportamento de todas as aves registradas para o RS. Sabe-se que alguns indivíduos de *T. leucorrhoa*, na área do WF3, apresentam altura média de voo de 10,7 m, com ocorrências irregulares discrepantes acima de 30 m, atingindo alturas registradas de até 125 m (Biometria, 2016). Estes resultados indicam que, ao menos para *T. leucorrhoa*, a associação entre altura de voo registrada e risco de colisão não é tão evidente. Um fator de risco para o táxon pode ser a ocupação das entradas de ventilação (50 m de altura), para abrigo ou mesmo para nidificação, foram observados indivíduos com movimentação constante no entorno das torres (Biometria, 2016). Este comportamento pode ser evitado com o isolamento físico destas entradas.

Em alguns parques eólicos também já estão sendo usadas algumas estratégias para reduzir a mortandade da avifauna com as turbinas eólicas, por exemplo: repotenciação, operação restrita de turbinas, gestão de habitat (gestão de vegetação ou criação de áreas de forrageio alternativas), aumento de visibilidade das turbinas e utilização de dispositivos que afugentam as aves, afastando-as de áreas específicas (Barclay et al., 2007; Marques et al., 2014). De Lucas et al. (2012) estudaram a mortandade de *Gyps fulvus* (abutre) em 13 parques eólicos na Espanha e identificaram que algumas turbinas eram responsáveis pela maioria das mortes e que as mesmas coincidem com o período migratório. Assim, foi testado um programa de parada seletiva para parar as turbinas quando os abutres fossem observados perto delas e a taxa de mortalidade foi reduzida em 50%. Jenkins et al. (2018) utilizaram métodos baseados em radar e observadores para quantificar os voos de pelicano-branco nas

proximidades de um parque eólico planejado na costa oeste do Cabo, na África do Sul. Assim foi modelado o risco de colisão com as turbinas sob vários cenários e as taxas médias de mortalidade previstas não eram sustentáveis, resultando numa taxa de crescimento populacional negativa, mas a remoção de cinco turbinas do projeto ou o regime de contingenciamento poderiam, teoricamente, reduzir os impactos para níveis gerenciáveis.

## 5. Conclusão

Os resultados obtidos com o presente estudo trazem informações sobre a influência de fatores como a estrutura de geração dos parques eólicos, a estrutura da paisagem e variáveis climáticas sobre os registros de colisões de aves. Ressalta-se que é a primeira vez que este tipo de análise é feita no Brasil, abrindo-se uma série de questões que devem ser melhor elucidadas e observadas nos monitoramentos de avifauna. Este trabalho traz bons indicativos que existem outras variáveis influenciando as colisões que não estão sendo adequadamente interpretadas.

Além disso, o índice de risco adaptado e aplicado teve como finalidade prever possíveis colisões das espécies de aves com os parques eólicos, levando em conta apenas características morfológicas e etológicas das espécies, podendo ser uma boa ferramenta para indicar de forma simples as espécies que apresentam maior risco à colisão. Contudo, as colisões que foram registradas e avaliadas neste estudo estão acontecendo, na sua maioria, com espécies que apresentam de médio a baixo risco de colisão e o que estaria explicando as colisões não seriam as espécies em si, mas a estrutura da paisagem e algumas características dos parques eólicos. Assim, é fundamental o desenvolvimento de estudos para aprimorar ou desenvolver um novo índice, testando a inclusão do fator abundância, altura de voo e estrutura da paisagem, a fim de conduzir a resultados mais próximos da realidade, buscando a melhor conservação da avifauna nas instalações eólicas.

## Agradecimentos

Agradecemos à Fundação Estadual de Proteção Ambiental Henrique Luiz Roessler – FEPAM pelo acesso aos dados de monitoramento dos parques eólicos avaliados.

## Financiamento

Este trabalho foi apoiado pela Celulose Irani S/A.

## Referências

Abeeólica – Associação Brasileira de Energia Eólica, 2018. Dados Mensais – Novembro 2018. <http://abeeolica.org.br/wp-content/uploads/2018/11/Numeros-ABEEolica-Novembr.pdf>. (Accessed 09 December 2018).

Abell, R., Thieme, M., Revenga, C., Bryer, M., Kottelat, M., Bogutskaya, N., Coad, B., Mandrak, N., Contreras-Balderas, S., Bussing, W., Stiassny, M.L.J., Skelton, P., Allen, G.R., Unmack, P., Naseka, A., Ng, R., Sindorf, N., Robertson, J., Armijo, E., Higgins, J., Heiberl, T.J., Wikramanayake, E., Olson, D., Lopez, H.L., Reis, R.E.d., Lundberg, J.G., Sabaj Perez, M.H., Petry, P., 2008 Freshwater ecoregions of the world: A new map of biogeographic units for freshwater biodiversity conservation. *BioScience* 58, 403-414.

- ABG, Engenharia e Meio Ambiente, 2016. Relatório Semetral de Ações e Monitoramento Ambiental Complexo Eólico Atlântica. Relatório Técnico não publicado entregue a FEPAM.
- Al Zohbi, G., Hendrick, P., Bouillard, Ph., 2015. Evaluation of the impact of Wind farms on birds: The case study of Lebanon. *Renewable Energy* 80, 682-689.
- Alvares, C.A, Stape, J.L., Sentelhas, P.C., Gonçalves, J.L., Sparovek, G., 2013. Köppen's climate classification map for Brazil. *Meteorologische Zeitschrift* 22, 711–728.
- Ardea, Consultoria Ambiental, 2015. Programa de Monitoramento de Fauna durante a operação do Complexo Eólico Geribatu - 1º Relatório Anual. Relatório Técnico não publicado entregue a FEPAM.
- Ardea, Consultoria Ambiental, 2017. Programa de Monitoramento de Fauna durante a operação dos Parques Eólicos Chuí - 3º Relatório Semestral. Relatório Técnico não publicado entregue a FEPAM.
- Aschwanden, J., Stark, H., Peter, D., Steuri, T.; Schmid, B., Liechti, F., 2018. Bird collisions at wind turbines in a mountainous area related to bird movement intensities measured by radar. *Biological Conservation* 220, 228-236.
- Band, W., 2000. Windfarms and birds: calculating a theoretical collision risk assuming no avoiding action. Tech. Rep., Scottish Natural Heritage.
- Band, W., Madders, M., Whitfield, D.P., 2007. Developing field and analytical methods to assess avian collision risk at wind farms. In: Lucas, M.D., Janss, G., Ferrer, M. (Eds.), *Birds and Wind Power*. Lynx Edicions, Barcelona, Spain, pp. 259–275.
- Barclay, R.M.R.; Baerwald, E.F., Gruver, J.C., 2007. Variation in bat and bird fatalities at wind energy facilities: assessing the effects of rotor size and tower height. *Canadian Journal of Zoology* 85, 381-387.
- Belaire, J.A., Kreakie, B.J., Keitt, T., Minor, E., 2014. Predicting and mapping potential whooping crane stopover habitat to guide site selection or wind energy projects. *Conservation Biology* 2, 541–550.
- Bevanger, K., 1998. Biological and conservation aspects of bird mortality caused by electricity power lines: a review. *Biological Conservation* 86, 67-76.
- Bevanger, K., Broseth, H., 2001. Bird collisions with power lines - an experiment with ptarmigan (*Lagopus* spp.). *Biological Conservation* 99, 341-346.
- Bibby, C. J., Birguess, N. D., Hill, D. A., 1997. Bird census techniques. British Trust for Ornithology & The Royal Society for the Protection of Birds. Academic, Press, London, 257p.
- Bioimagens, Consultoria Ambiental Ltda., 2017. Relatório Anual de Monitoramento da Fauna Parque Eólico Tramandaí. Relatório Técnico não publicado entregue a FEPAM.

- Biometria, Consultoria e Projetos, 2017. Monitoramento da Avifauna na Central Geradora Eólica Xangri-Lá. Relatório Técnico não publicado entregue a FEPAM.
- Biometria, Consultoria e Projetos., 2016. Relatório de monitoramento da fauna para integração do licenciamento das licenças de operação dos 9 parques eólicos que formam o Complexo Eólico Osório. Relatório Técnico não publicado entregue a FEPAM.
- Biopampa, Consultoria e Assessoria Ambiental, 2016. Programa de Monitoramento da Fauna durante a Fase de Operação dos Parques Eólicos Galpões, Capão do Inglês e Coxilha Seca - 4º Relatório TrimestralRelatório Técnico não publicado entregue a FEPAM.
- Birdlife International, 2017. The BirdLife checklist of the birds of the world: Version 2. <http://datazone.birdlife.org/species/taxonomy>. (Accessed 09 June 2018).
- Boldrini, I.I., Ferreira, P.M.A., Andrade, B.O., Schneider, A.A., Setubal, R.B., Trevisan, R., Freitas, E.M., 2010. Bioma Pampa: diversidade florística e fisionômica. Porto Alegre, editora Pallotti, 64 p.
- Brasil, 2014. Portaria nº 444, de 17 de dezembro de 2014. Traz a Lista Nacional Oficial de Espécies da Fauna Ameaçadas de Extinção. <http://pesquisa.in.gov.br/imprensa/jsp/visualiza/index.jsp?jornal=1&pagina=121&data=18/12/2014>. (Accessed 09 June 2018).
- Camargo-Schubert, E.A., Eletrosul, C.E., 2014. Atlas eólico: Rio Grande do Sul. Porto Alegre: SDPI: AGDI.
- Croft, S., Budgey, R., Pitchford, J.W., Wood, A.J., 2013. The influence of group size and social interactions on collision risk with obstacles. *Ecological Complexity* 16, 77-82.
- De Lucas, M., Ferrer, M., Bechard, M.J., Muñoz, A.R., 2012. Griffon vulture mortality at Wind farms in southern Spain: distribution of fatalities and active mitigation measures. *Biological Conservation* 147, 184–189.
- De Lucas, M., Janss, G.F.E., Whitfield, D.P., Ferrer, M., 2008. Collision fatality of raptors in wind farms does not depend on raptor abundance. *Journal of Applied Ecology* 45, 1695–1703.
- Degregorio, B.A., Weatherhead, P.J., Sperry, J.H., 2014. Power lines, roads, and avian nest survival: effects on predator identity and predation intensity. *Ecology and Evolution* 4, 1589–1600.
- Dias, R.A., Burger, M.I., 2005. A assembleia de aves de áreas úmidas em dois sistemas de cultivo de arroz irrigado no extremo sul do Brasil. *Ararajuba* 13(1), 63-80.
- Dunning Jr.,J.B., 2008. Handbook of avian body masses. 2nd ed. Boca Raton, CRC Press, 655p.
- Erickson, W.P., Johnson, G.D., Young Jr. D. P., 2005. A summary and comparison of bird mortality from anthropogenic causes with an emphasis on collisions. USDA Forest Service Gen. Tech. Rep. PSWGTR 191, 1029-1042.

- Erickson, W.P., Wolfe, M.M., Bay, K.J., Johnson, D.H., Gehring, J.L., 2014. A Comprehensive Analysis of Small-Passerine Fatalities from Collision with Turbines at Wind Energy Facilities. *PLoS ONE* 9(9), e107491. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0107491>
- Farfán, M.A., Duarte, J., Real, R., Muñoz, A.R., Fa, J.E., Vargas, J.M., 2017. Differential recovery of habitat use by birds after wind farm installation: A multi-year comparison. *Environmental Impact Assessment Review* 64, 8–15.
- Ferrer, M., De Lucas, M., Janss, G.F.E., Casado, E., Muñoz, A.R., Bechard, M.J., Calabuig, C.P., 2012. Weak relationship between risk assessment studies and recorded mortality in Wind farms. *Journal of Applied Ecology* 49, 38-46.
- Flores, F.E.V., Winkler, S., 1979. Sucessão eutrófia em açudes da planície costeira do Rio Grande do Sul, Brasil. *Iheringia, Série Botânica*.
- Franz, I., Agne, C.E., Bencke, G.A., Bugoni, L., Dias, R.A., 2018. Four decades after Belton: a review of records and evidences on the avifauna of Rio Grande do Sul, Brazil. *Iheringia, Série Zoologia* 108, e2018005.
- Furness, R.W., Trinder, M., Macarthur, D., Douse, A., 2016. A Theoretical Approach to Estimating Bird Risk of Collision with Wind Turbines Where Empirical Flight Activity Data Are Lacking. *Energy and Power Engineering* 8, 183-194.
- Garcia, D.A., Canavero, G., Ardenghi, F., Zambon, M., 2015. Analysis of wind farm effects on the surrounding environment: Assessing population trends of breeding passerines. *Renewable Energy* 80, 190-196.
- Gill, F., Donsker, D. (Eds.), 2015. IOC World Bird List (v8.2). doi: 10.14344/IOC.ML.8.2. <http://www.worldbirdnames.org/> . (Accessed 28 June 2018).
- Gómez-Catasús, J., Garza, V., Traba, J., 2018. Wind farms affect the occurrence, abundance and population trends of small passerine birds: The case of the Dupont's lark. *Journal of Applied Ecology* 00, 1–10. <https://doi.org/10.1111/1365-2664.13107>
- Gotelli, N.J., Graves, G.R., 1996. *Null models in ecology*. Smithsonian Institution Press, Washington DC.
- GWEC – Global Wind Energy Council, 2015. *Global Wind Report – Annual Market Update 2015*. <http://www.gwec.net/publications/global-wind-report-2/>. (Accessed 18 July 2018).
- Henderson, I.G., Langston, R.H.W. , Clark, N.A., 1996. The response of common terns *Sterna hirundo* to powerlines: an assessment of risk in relation to breeding commitment, age and wind speed. *Biological Conservation* 77, 185-192.
- Herrera-Alsina, L., Villegas-Patraca, R., Eguiarte, L.E., Arita, H.T., 2013. Bird Communities and wind farms: a phylogenetic and morphological approach. *Biodiversity Conservation* 22, 2821-2836.

- Hidrobrasil, Ambiental Ltda., 2015. Monitoramentos da Fauna Complexo Cerro Chato. Relatório Técnico não publicado entregue a FEPAM.
- Homoya, W., Moore, J.W., Ryhl, P.J., Dunning Jr., J.B., 2017. Do American Golden-Plovers (*Pluvialis dominica*) Avoid Wind-energy Turbines in Agricultural Fields in Indiana During Spring Migration? *The Wilson Journal of Ornithology* 129 (4), 863–871.
- Hüppop, O., Dierschke, J., Exo, K.M, Fredrich, E., Hill, R., 2006. Bird migration studies and potential collision risk with offshore wind turbines. *Ibis* 148, 90–109.
- IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, 2004. Mapa de Biomas e Vegetação do Brasil. Primeira aproximação Brasília: IBGE e Ministério do Meio Ambiente. 1p.
- IUCN - Internacional Union for Conservation of Nature, 2017. The IUCN Red List of Threatened Species. Version 2017-3. [www.iucnredlist.org](http://www.iucnredlist.org). (Accessed 10 June 2018).
- Janss, G.F.E., 2000. Avian mortality from power lines: a morphologic approach of a species-specific mortality. *Biological Conservation* 95, 353-359.
- Jenkins, A.R., Reid, T., du Plessis, J., Colyn, R., Benn, G., Millikin, R., 2018. Combining radar and direct observation to estimate pelican collision risk at a proposed wind farm on the Cape west coast, South Africa. *PLoS ONE* 13(2): e0192515. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0192515>
- Korner-Nievergelt, F., Brinkmann, R., Niermann, L, Behr, O., 2013. Estimating bat and Bird mortality occurring at Wind energy turbines from covariates and carcass searches using mixture models. *PLoS One* v8(7), e67997, 2013.
- Lehman, R.N., Kennedy, P.L. & Savidge, J.A., 2007. The state of the art in raptor electrocution research: A global review. *Biological Conservation* 136, 159-174.
- Life – Lasting Initiative for Earth, 2015. Ecooregiões do Brasil – Prioridades Terrestres e Marinhas. Série Cadernos Técnicos. Volume III. [https://edisciplinas.usp.br/pluginfile.php/1065950/mod\\_resource/content/0/Caderno-Tecnico-Vol-III-Ecorregioes-do-Brasil-red.pdf](https://edisciplinas.usp.br/pluginfile.php/1065950/mod_resource/content/0/Caderno-Tecnico-Vol-III-Ecorregioes-do-Brasil-red.pdf). (Accessed 23 June 2018).
- Luigi, G., Fonseca, V.S, Moura, F.H. & Iob, A., 2010. Metodologia de controle e redução da incidência de aves em aeroportos no Brasil. p. 441-456. *In:* Von Mater, S.; F. C. Straube; I. A. Accordi, V. Q. Piacentini & J. F. Cândido Junior (Org). *Ornitologia e Conservação: Ciência Aplicada, Técnicas de Pesquisa e Levantamento*. Rio de Janeiro: Ed. Technical Books.
- Mackinnon, B., Sowden, R. & Dudley, S. (Eds.), 2001. *An Aviation Industry Guide to the Management of Wildlife Hazards Transport Canada's Wildlife Control Procedures Manual*.
- Maia, Meio Ambiente e Impacto Ambiental Ltda., 2015. Complexo Eólico Palmares – Monitoramento de Operação: Relatório Quadrienal - Agosto de 2011 a Novembro de 2015. Relatório Técnico não publicado entregue a FEPAM.

- Marques, A.T., Batalha, H., Rodrigues, S., Costa, H., Pereira, M.J.R., Fonseca, C., Mascarenhas, M., Bernardino, J., 2014. Understanding bird collisions at wind farms: An updated review on the causes and possible mitigation strategies. *Biological Conservation* 179 40-52.
- Masden, E.A., Cook, A., 2016. Avian collision risk models for Wind energy impact assessments. *Environmental Impact Assessment Review* 56, 43-49, 2016.
- Napeia, Consultoria e Projetos Ltda., 2016a. Relatório de Supervisão e Monitoramento Ambiental Central Geradora Eólica Cassino. Relatório Técnico não publicado entregue a FEPAM.
- Napeia, Consultoria e Projetos Ltda., 2016b. Relatório Semestral de Supervisão e Monitoramento Ambiental Complexo Eólico Corredor dos Senandes - Fase de operação. Relatório Técnico não publicado entregue a FEPAM.
- Naveh, Z., Lieberman, A., 1994. *Landscape ecology: theory and application*. Springer-Verlag, New York.
- New, L., Bjerre, E., Millsap, B., Otto, M.C., Runge, M.C., 2015. A collision risk model to predict avian fatalities at wind facilities: an example using golden eagles, *Aquila chrysaetos*. *PLoS One* 10 (7), e0130978.
- Pearce-Higgins, J.W., Stephen, L., Langston, R.H.W., Bainbridge, I.P. & Bullman, R., 2009. The distribution of breeding birds around upland wind farms. *Journal of Applied Ecology* 46 1323–1331.
- Piacentini, V.Q., Aleixo, A., Agne, C.E., Maurício, G.N., Pacheco, J.F., Bravo, G.A., Brito, G.R.R., Naka, L.N., Olmos, F., Posso, S., Silveira, L.F., Betini, G.S., Carrano, E., Franz, I., Lees, A.C., Lima, L.M., Pioli, D., Schunck, F., Amaral, F.R., Bencke, G.A., Cohn-Haft, M., Figueiredo, L.F.A., Straube, F.C., Cesari, E., 2015. Annotated checklist of the birds of Brazil by the Brazilian Ornithological Records Committee /Lista comentada das aves do Brasil pelo Comitê Brasileiro de Registros. *Revista Brasileira de Ornitologia* 23(2), 90-298.
- Quantum GIS Project – QGIS, 2002. QGIS Python Plugins Repository. <http://plugins.qgis.org/plugins/>. (Accessed 10 December 2018).
- Rambo, S.J.B., 1956. *A fisionomia do Rio Grande do Sul*. Porto Alegre: Selbach. 456 p.
- Reid, T., Krüger, S., Whitfield, D.P., Amar, A., 2015. Using spatial analyses of bearded vulture movements in southern Africa to inform wind turbine placement. *Journal of Applied Ecology* 52, 881–892.
- Rio Grande Do Sul, 2014a. Decreto Estadual nº 51.797, de 09 de setembro de 2014. Declara as Espécies da Fauna Silvestre Ameaçadas de Extinção no Estado do Rio Grande do Sul.
- Rio grande do sul, 2014b. Portaria FEPAM nº 118, de 01 de dezembro de 2014. Dispõe acerca da regulamentação do art. 3º da resolução CONAMA 462/2014 e estabelece os critérios, exigências e estudos prévios para o licenciamento ambiental de

empreendimentos de geração de energia a partir da fonte eólica, no Estado do Rio Grande do Sul.

Rio Grande do Sul, 2018. Base cartográfica do Estado do Rio Grande do Sul, escala 1:25.000 – bcrs25 versão 1.0 – 2018.

[http://ww2.fepam.rs.gov.br/bcrs25/Documentacao\\_Tecnica%20\\_v01\\_20180810.pdf](http://ww2.fepam.rs.gov.br/bcrs25/Documentacao_Tecnica%20_v01_20180810.pdf). (Accessed 02 January 2019).

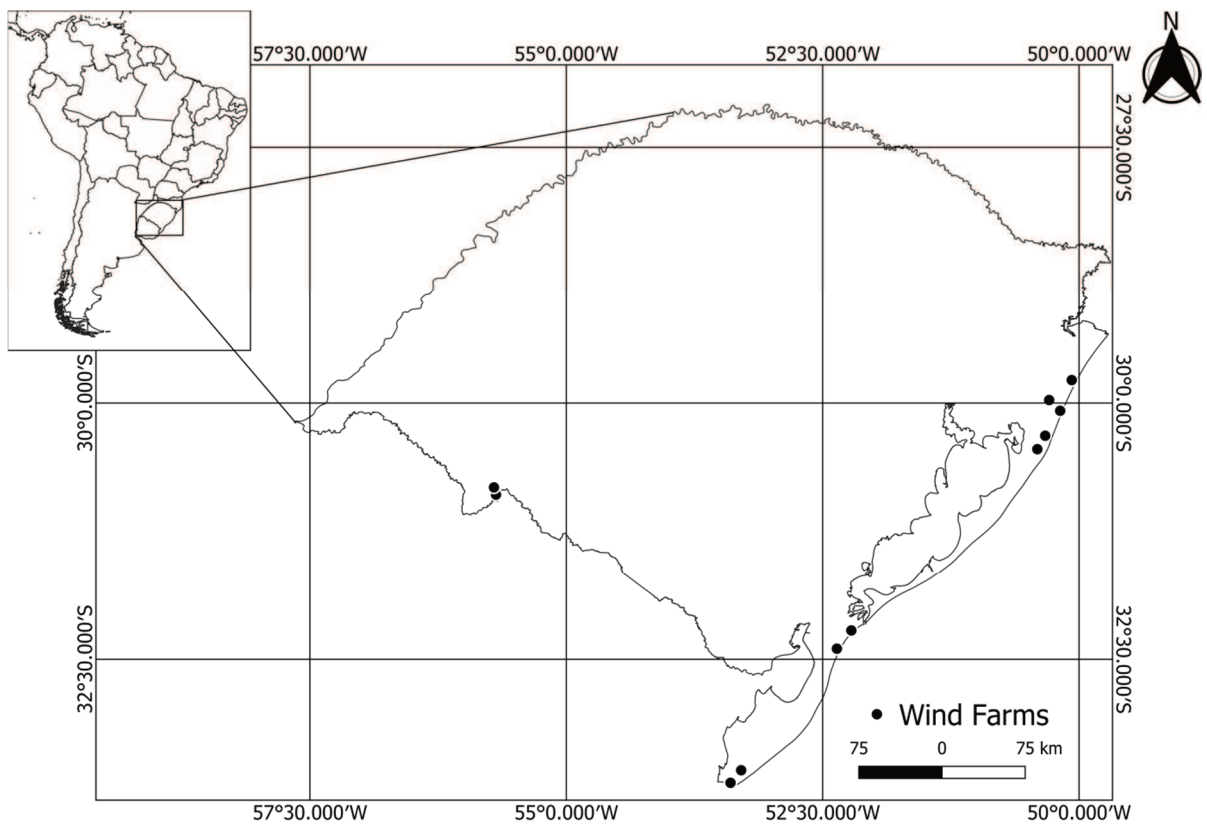
Rodríguez, E., Tiscornia, G., 2008. Birds species occurring in rice fields and surrounding habitats at Merin Lagoon watershed, Uruguay. In: de la Balze, V.M., Blanco, D.E. (eds). Primer taller para la Conservación de Aves Playeras Migratorias em Arroceras del Cono Sur. Wetlands International, Buenos Aires, Argentina. <http://lac.wetlands.org>. (Accessed 08 January 2019).

Sick, H., 1997. Ornitologia Brasileira. Editora Nova Fronteira, Rio de Janeiro, 862p.

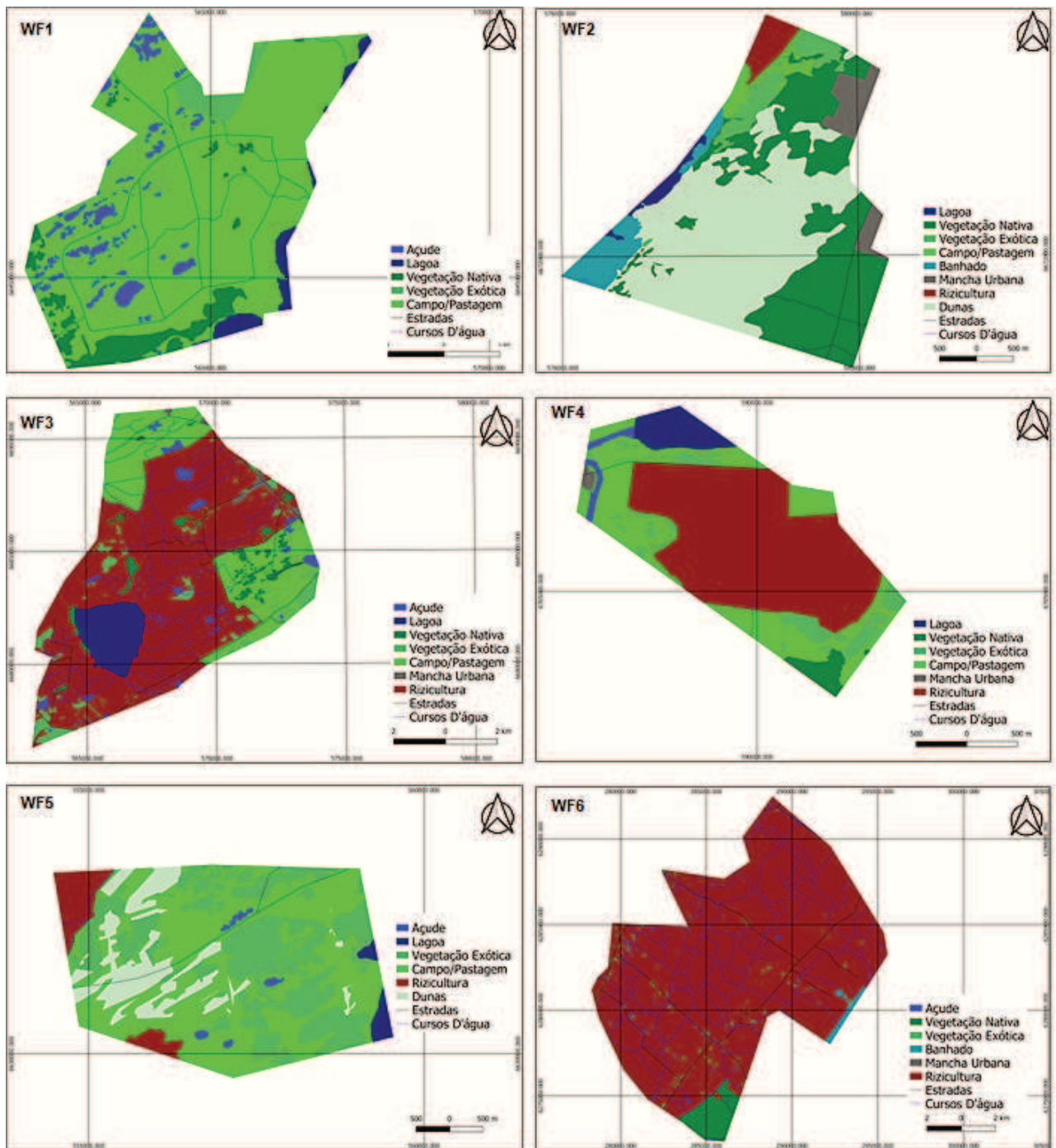
Stotz, D.F.; Parker, T.A.; Fitzpatrick, J.W.; Moskovits, D.K., 1996. Neotropical birds: ecology and conservation. University of Chicago Press, Chicago.

Vasilakis, D.P., Whitfield, D.P., Kati, V., 2017. A balanced solution to the cumulative threat of industrialized wind farm development on cinereous vultures (*Aegypius monachus*) in south-eastern Europe. PLoS One, doi:10.1371/journal.pone.0172685.

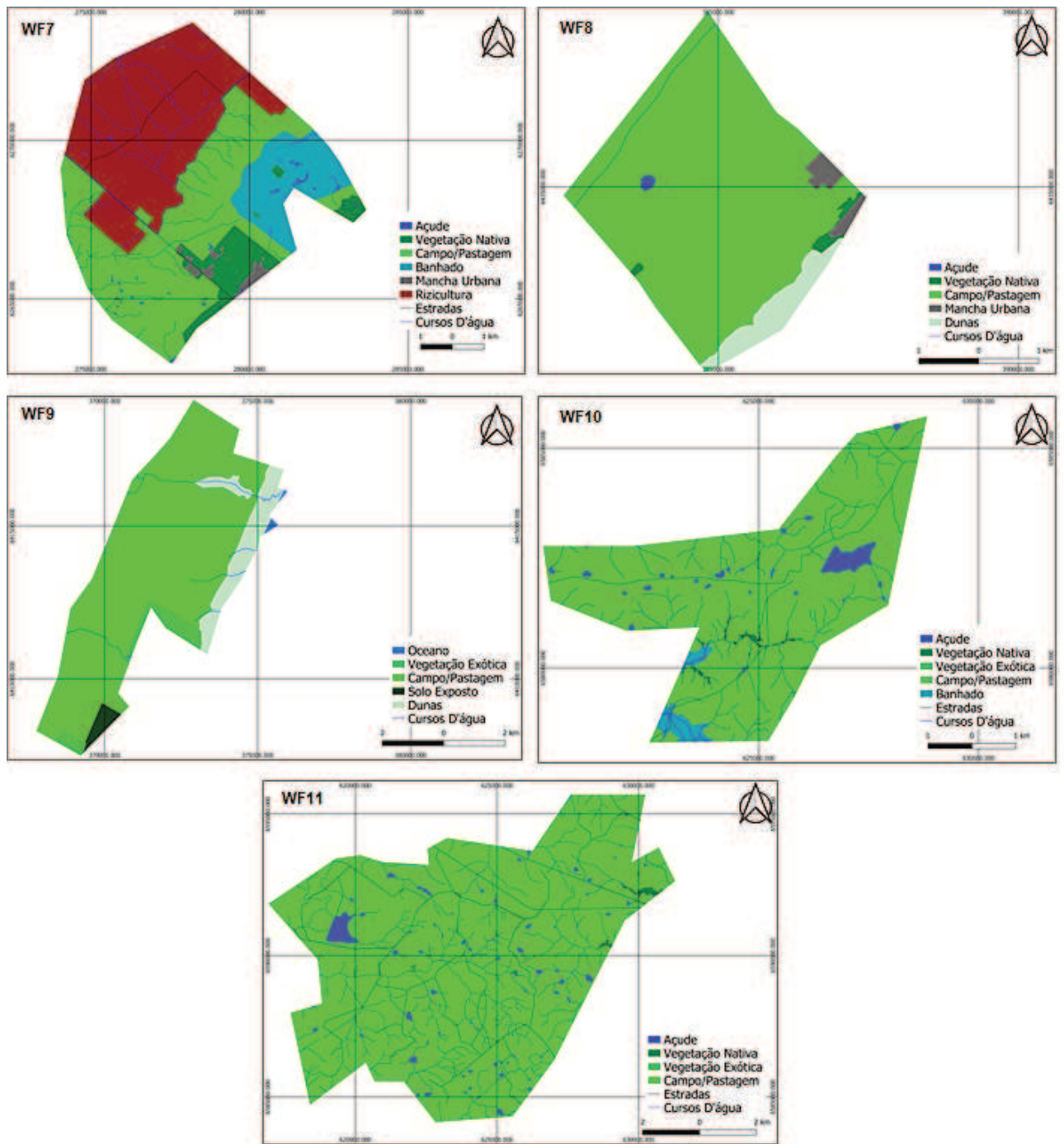




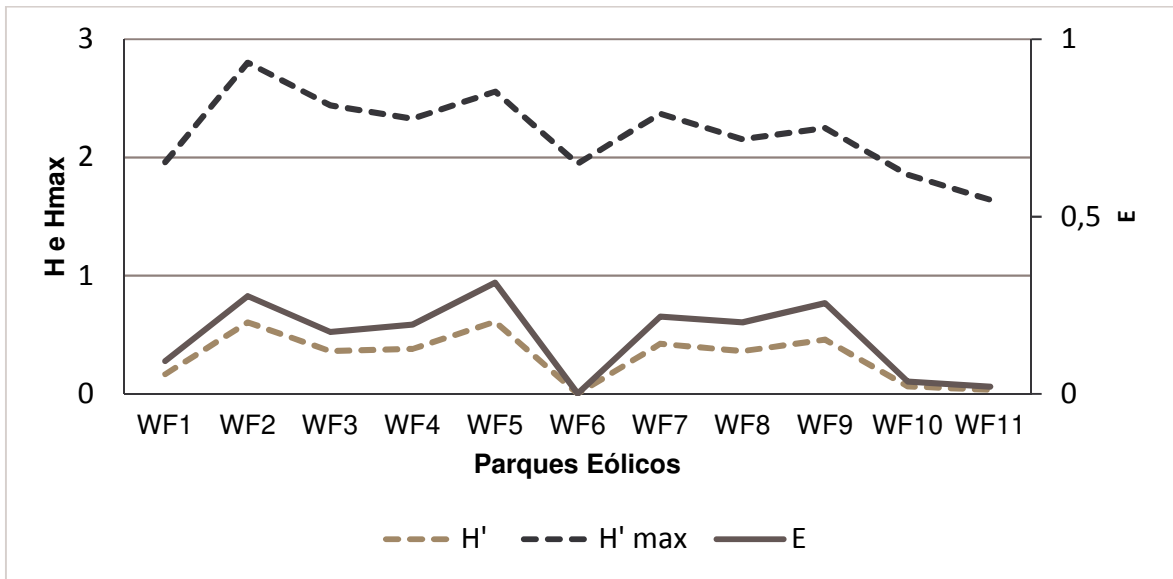
**Fig. 1.** Localização de 11 parques eólicos em operação no Rio Grande do Sul, Brasil. Elaborado por Samuel de Nascimento de Campos.



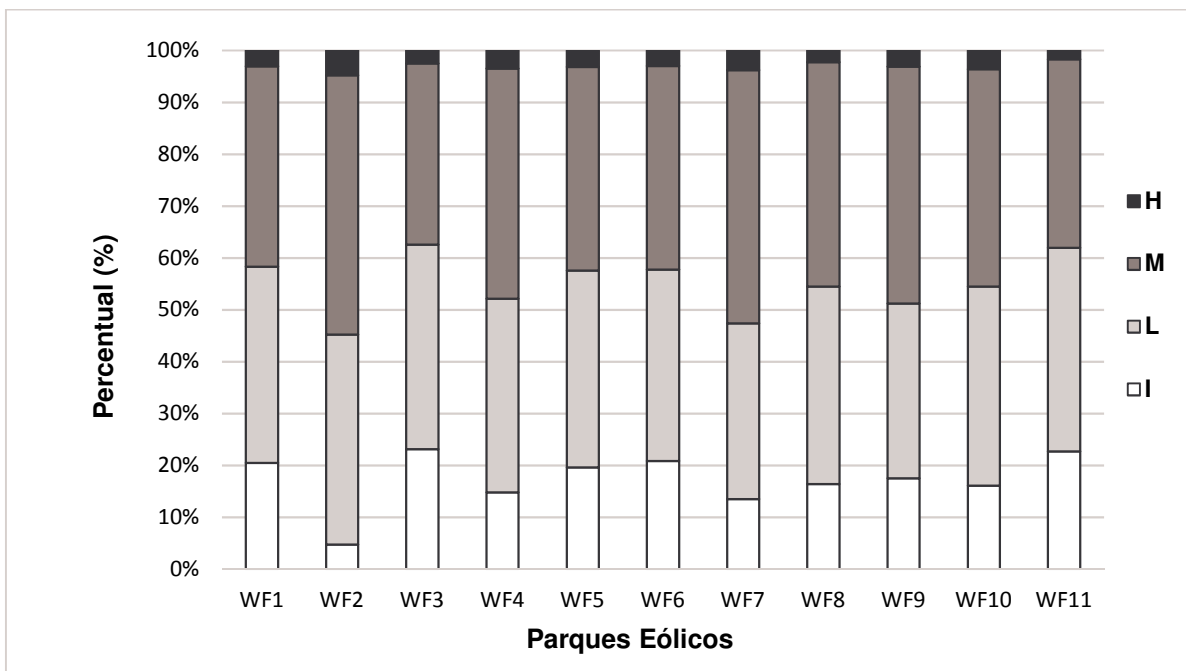
**Fig. 2.** Classes de uso e cobertura do solo de seis parques eólicos (WF1 a WF6) em operação no Rio Grande do Sul, Brasil. Mapas: Samuel de Nascimento de Campos.



**Fig. 3.** Classes de uso e cobertura do solo de cinco parques eólicos (WF7 a WF11) em operação no Rio Grande do Sul, Brasil. Mapas: Samuel de Nascimento de Campos.



**Fig. 4.** Índice de Diversidade de Shannon ( $H'$  e  $H'$  max) e Índice de Equitatividade de Pielou ( $E$ ) para os 11 parques eólicos em operação no Rio Grande do Sul, Brasil.



**Fig. 5.** Percentual de espécies em cada classe de risco de colisão nos 11 parques eólicos (WF) em operação no Rio Grande do Sul, Brasil. H (alto), M (médio), L (baixo) e I (improvável).

**Tabela 1.** Dados dos 11 parques eólicos em operação no Rio Grande do Sul, Brasil. PA (período de monitoramento da avifauna).

Parque Eólico	Município	Coordenadas	Ecorregião Aquática*	Ecorregião Terrestre**	Bioma***	PA
WF1	Palmares do Sul	-30.289215 / -50.308909	Laguna dos Patos Tramandaí-Mampituba	Campos sulinos Florestas costeiras da serra do mar Florestas do interior do Paraná/Paranaíba Restingas da Costa Atlântica	Mata Atlântica Pampa	dez14 - nov15
WF2	Tramandaí	-30.069641 / -50.181125	Laguna dos Patos Tramandaí-Mampituba	Campos sulinos Florestas costeiras da serra do mar Florestas do interior do Paraná/Paranaíba Restingas da Costa Atlântica	Mata Atlântica Pampa	dez15 - nov16
WF3	Osório	-29.978117 / -50.294382	Laguna dos Patos Tramandaí-Mampituba	Campos sulinos Florestas costeiras da serra do mar Florestas do interior do Paraná/Paranaíba Restingas da Costa Atlântica	Mata Atlântica Pampa	maio15 - abr16
WF4	Xangri-lá	-29.778102 / -50.071368	Laguna dos Patos Tramandaí-Mampituba	Campos sulinos Florestas costeiras da serra do mar Florestas do interior do Paraná/Paranaíba Restingas da Costa Atlântica	Mata Atlântica Pampa	mar16 - fev17
WF5	Palmares do Sul	-30.447873 / -50.386153	Laguna dos Patos Tramandaí-Mampituba	Campos sulinos Florestas costeiras da serra do mar Florestas do interior do Paraná/Paranaíba Restingas da Costa Atlântica	Mata Atlântica Pampa	ago14 - jul15
WF6	Santa Vitória do Palmar	-33.517978 / -53.242087	Laguna dos Patos	Campos sulinos Restingas da Costa Atlântica	Pampa	jul14 - jun15
WF7	Chuí	-33.673080 / -53.383292	Laguna dos Patos	Campos sulinos Restingas da Costa Atlântica	Pampa	nov15 - out16
WF8	Rio Grande	-32.219980 / -52.204164	Laguna dos Patos	Campos sulinos Restingas da Costa Atlântica	Pampa	jan - dez15
WF9	Rio Grande	-32.416468 / -52.347902	Laguna dos Patos	Campos sulinos Restingas da Costa Atlântica	Pampa	jan - dez15
WF10	Santana do Livramento	-30.8973280 / -55.6819400	Baixo Uruguai	Campos sulinos	Pampa	jan - dez16
WF11	Santana do Livramento	-30.845582 / -55.686526	Baixo Uruguai	Campos sulinos	Pampa	ago14- jul15

\* Abell et al., 2008; \*\* Life, 2015; \*\*\* IBGE, 2004

**Tabela 2.** Dados dos 11 parques eólicos (WF) em operação no Rio Grande do Sul, Brasil. RE (riqueza de espécies), CO (número de indivíduos que colidiram), TXC (taxa de colisão n° indivíduos/n° turbinas/ano), PM (precipitação média), Vv (velocidade média do vento), T (número de turbinas eólicas), AT (altura da torre) e ØR (diâmetro do rotor).

<b>Parque Eólico</b>	<b>RE (N)</b>	<b>CO (N)</b>	<b>TXC</b>	<b>PM (mm)</b>	<b>Vv (m/s)</b>	<b>T (N)</b>	<b>AT (m)</b>	<b>ØR (m)</b>
WF1	144	2	0,050	86,90	4,60	40	120	116
WF2	45	6	0,194	155,06	4,24	31	98	82
WF3	218	16	0,108	196,64	4,03	148	98	82
WF4	123	30	3,333	142,46	4,36	9	94	100
WF5	169	5	0,200	86,90	4,60	25	98	82
WF6	188	21	0,163	97,65	4,49	129	78	97
WF7	144	7	0,143	106,95	5,05	49	78	97
WF8	147	6	0,188	116,40	3,10	32	78	97
WF9	173	3	0,075	109,22	3,40	40	89	122
WF10	120	13	0,542	77,20	3,40	24	80	114
WF11	187	20	0,444	92,10	3,20	45	107	82

**Tabela 3.** Classes de uso e cobertura do solo (km<sup>2</sup> e %) dos 11 parques eólicos (WF) em operação no Rio Grande do Sul, Brasil.

	WF1		WF2		WF3		WF4		WF5		WF6		WF7		WF8		WF9		WF10		WF11	
	km <sup>2</sup>	%	km <sup>2</sup>	%	km <sup>2</sup>	%	km <sup>2</sup>	%	km <sup>2</sup>	%	km <sup>2</sup>	%	km <sup>2</sup>	%	km <sup>2</sup>	%	km <sup>2</sup>	%	km <sup>2</sup>	%	km <sup>2</sup>	%
Área do parque + amortecimento	22,42		12,94		98,48		4,74		13,03		183,19		60,02		15,69		39,90		28,37		98,57	
Área do parque	9,29		4,79		74,26		0,52		5,73		145,35		41,73		7,60		21,00		12,46		70,33	
Oceano Atlantico	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,11	0,27	0,00	0,00	0,00	0,00
Lagoa	0,65	2,90	0,19	1,46	6,51	6,61	0,28	5,93	0,20	1,56	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Açude	1,11	4,94	0,00	0,00	2,20	2,24	0,00	0,00	0,10	0,74	0,39	0,22	0,24	0,40	0,05	0,29	0,00	0,00	0,70	2,46	1,46	1,48
Curso d'água	0,04	0,17	0,01	0,04	0,50	0,51	0,07	1,48	0,01	0,09	1,60	0,87	0,43	0,71	0,01	0,08	0,05	0,13	0,18	0,64	0,43	0,43
Banhados	0,00	0,00	0,72	5,56	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1,20	0,65	7,05	11,74	0,00	0,00	0,00	0,00	0,69	2,41	0,00	0,00
Rizicultura	0,00	0,00	0,36	2,80	60,27	61,20	2,60	54,81	0,73	5,60	170,71	93,19	23,56	39,25	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Vegetação nativa	1,72	7,66	4,38	33,85	3,16	3,21	0,13	2,83	0,00	0,00	6,56	3,58	3,99	6,64	0,10	0,66	0,00	0,00	0,18	0,65	0,32	0,32
Vegetação exótica	0,63	2,79	0,64	4,91	5,07	5,15	0,34	7,18	3,94	30,22	2,69	1,47	0,00	0,00	0,00	0,00	1,78	4,46	0,10	0,36	1,11	1,13
Campo/pastagem	18,28	81,53	0,35	2,67	19,97	20,28	1,29	27,26	6,40	49,12	0,00	0,00	23,97	39,93	14,12	90,00	33,16	83,10	26,52	93,47	95,25	96,64
Dunas	0,00	0,00	5,67	43,84	0,00	0,00	0,00	0,00	1,65	12,67	0,00	0,00	0,00	0,00	1,05	6,67	4,11	10,30	0,00	0,00	0,00	0,00
Solo exposto	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,69	1,73	0,00	0,00	0,00	0,00
Mancha urbana	0,00	0,00	0,63	4,88	0,80	0,81	0,02	0,51	0,00	0,00	0,04	0,02	0,80	1,33	0,36	2,30	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Data imagem satélite	10/04/2015		07/06/2016		16/03/2016		16/07/2016		16/03/2016		30/12/2015		30/12/2016		18/06/2015		12/08/2016		30/03/2016		30/05/2015	

**Tabela 4.** Equações obtidas por regressão múltipla com base no conjunto de dados de todos os parques eólicos (WF1 a WF11) em operação no Rio Grande do Sul, Brasil. Variáveis resposta: riqueza de aves (RA), taxa de colisão (TC) e número de colisões (NC). Variáveis preditoras: vegetação nativa (VN), área (km<sup>2</sup>) do parque eólico (AP), área (%) de lagoa (LC), área (%) de cursos d'água (CD), diâmetro (m) do rotor (DR), velocidade (m/s) do vento (Vv) e número de turbinas (NT).

Equação	F	R <sup>2</sup>	R <sup>2</sup> (Adj)	P
RA = 2,04 – 0,15 VN + 0,11 AP	10.315	0,90	0,88	0.012
NC = 7,43 + 0,63 CD - 2,66 DR - 1,9 Vv	19.522	0,95	0,93	0.003
TC = 0,49 + 0,27 CD - 0,30 NT	38.882	0,91	0,88	0.001



**Tabela 5.** Espécies e número de indivíduos de aves que morreram ao colidir com os 11 parques eólicos (WF) em operação no Rio Grande do Sul, Brasil, e seus respectivos risco de colisão: H (alto), M (médio), L (baixo), I (improvável).

Especies	Risco	WF1	WF2	WF3	WF4	WF5	WF6	WF7	WF8	WF9	WF10	WF11	Total
<i>Cathartes aura</i>	H	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1
<i>Coragyps atratus</i>	H	0	0	0	1	2	0	0	0	0	0	0	3
<i>Rostrhamus sociabilis</i>	H	0	0	0	8	0	1	1	1	0	0	0	11
<i>Bubulcus ibis</i>	M	1	0	1	1	0	2	0	2	0	1	0	8
<i>Fregata magnificens</i>	M	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	1
<i>Phalacrocorax brasilianus</i>	M	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	1
<i>Catharacta antarctica</i>	M	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	1
<i>Rupornis magnirostris</i>	M	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1
<i>Buteogallus meridionalis</i>	M	0	0	0	1	0	1	1	0	1	0	0	4
<i>Milvago chimachima</i>	M	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	1
<i>Chauna torquata</i>	M	0	0	0	1	0	0	0	0	0	1	0	2
<i>Dendrocygna viduata</i>	M	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	1
<i>Zenaida auriculata</i>	M	0	0	0	3	0	0	0	0	0	0	0	3
<i>Chaetura meridionalis</i>	M	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	1
<i>Guira guira</i>	M	0	0	0	2	0	0	0	0	0	0	0	2
<i>Gallinula galeata</i>	M	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	1
<i>Mycteria americana</i>	M	0	0	0	0	0	2	0	0	0	0	0	2
<i>Ciconia maguari</i>	M	0	0	3	0	1	7	1	0	0	2	0	14
<i>Platalea ajaja</i>	M	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	1
<i>Vanellus chilensis</i>	M	0	0	0	1	0	2	2	1	0	2	0	8
<i>Falco sparverius</i>	M	0	0	2	0	0	0	0	1	0	3	0	6
<i>Myiopsitta monachus</i>	M	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	1
<i>Tyrannus savana</i>	M	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1
<i>Tachycineta leucorrohoa</i>	M	0	5	5	0	1	0	0	0	0	0	14	25
<i>Progne tapera</i>	M	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	1	2
<i>Progne chalybea</i>	M	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	2	3
<i>Columbina talpacoti</i>	L	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1
<i>Aramus guarana</i>	L	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	1
<i>Ardea alba</i>	L	0	0	0	0	1	2	0	0	0	0	0	3
<i>Leistes superciliosus</i>	L	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	1
<i>Sterna trudeaui</i>	L	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	1
<i>Furnarius rufus</i>	L	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
<i>Anumbius annumbi</i>	L	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1
<i>Camptostoma obsoletum</i>	L	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1
<i>Pitangus sulphuratus</i>	L	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	2
<i>Pyrocephalus rubinus</i>	L	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1
<i>Cistothorus platensis</i>	L	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	1
<i>Sicalis luteola</i>	L	0	0	0	1	0	1	0	0	0	0	0	2
<i>Geotrygon montana</i>	I	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
<i>Pardirallus maculatus</i>	I	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	1
<i>Vireo chivi</i>	I	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	2
<i>Chrysomus ruficapillus</i>	I	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	1
<i>Setophaga pitiayumi</i>	I	0	0	0	1	0	0	1	0	0	1	0	3
<b>Total</b>		<b>2</b>	<b>6</b>	<b>16</b>	<b>30</b>	<b>5</b>	<b>21</b>	<b>7</b>	<b>6</b>	<b>3</b>	<b>13</b>	<b>20</b>	<b>129</b>

**Tabela 6.** Índice de risco à colisão aplicado para as espécies de aves registradas em 11 parques eólicos em operação no Rio Grande do Sul, Brasil. SO = status ocorrência (1 = migratória ou vagante, 0 = residente), GAM = guilda de ambientes (1 = aves que utilizam áreas abertas, 0 = aves que utilizam demais ambientes), CS = comportamento social (1 = bandos, 0 = solitárias ou pares), MC = massa corpórea (1 = massa > 250 gramas, 0 < 250 gramas), AR = aves de rapina (1 = rapinante, 0 = não-rapinante). Escore/Risco: H (alto 4-5), M (médio 2-3) e L (baixo 1).

Espécies	Índice de Risco à colisão					Escore	Risco
	SO	GAM	CS	MC	AR		
<i>Larus atlanticus</i>	1	1	1	1	0	4	H
<i>Cathartes aura</i>	0	1	1	1	1	4	H
<i>Coragyps atratus</i>	0	1	1	1	1	4	H
<i>Rostrhamus sociabilis</i>	0	1	1	1	1	4	H
<i>Milvago chimango</i>	0	1	1	1	1	4	H
<i>Falco peregrinus</i>	1	1	0	1	1	4	H
<i>Rhynchotus rufescens</i>	0	1	0	1	0	2	M
<i>Nothura maculosa</i>	0	1	0	1	0	2	M
<i>Chauna torquata</i>	0	1	0	1	0	2	M
<i>Dendrocygna viduata</i>	0	0	1	1	0	2	M
<i>Dendrocygna bicolor</i>	0	0	1	1	0	2	M
<i>Coscoroba coscoroba</i>	0	0	1	1	0	2	M
<i>Cairina moschata</i>	0	0	1	1	0	2	M
<i>Callonetta leucophrys</i>	0	0	1	1	0	2	M
<i>Netta peposaca</i>	1	0	1	1	0	3	M
<i>Amazonetta brasiliensis</i>	0	0	1	1	0	2	M
<i>Anas versicolor</i>	0	0	1	1	0	2	M
<i>Anas georgica</i>	0	0	1	1	0	2	M
<i>Phoenicopterus chilensis</i>	1	0	1	1	0	3	M
<i>Phoenicoparrus andinus</i>	1	0	1	1	0	3	M
<i>Columba livia</i>	0	1	1	1	0	3	M
<i>Patagioenas picazuro</i>	0	1	1	1	0	3	M
<i>Patagioenas maculosa</i>	0	1	1	1	0	3	M
<i>Leptotila verreauxi</i>	0	1	1	0	0	2	M
<i>Zenaida auriculata</i>	0	1	1	0	0	2	M
<i>Chordeiles nacunda</i>	0	1	1	0	0	2	M
<i>Hydropsalis torquata</i>	0	1	1	0	0	2	M
<i>Streptoprocne zonaris</i>	0	1	1	0	0	2	M
<i>Streptoprocne biscutata</i>	0	1	1	0	0	2	M
<i>Chaetura meridionalis</i>	0	1	1	0	0	2	M
<i>Crotophaga ani</i>	0	1	1	0	0	2	M
<i>Guira guira</i>	0	1	1	0	0	2	M
<i>Aramides ypecaha</i>	0	1	0	1	0	2	M
<i>Gallinula galeata</i>	0	0	1	1	0	2	M
<i>Fulica leucoptera</i>	0	0	1	1	0	2	M
<i>Thalassarche melanophris</i>	1	0	0	1	0	2	M
<i>Procellaria aequinoctialis</i>	1	0	0	1	0	2	M
<i>Calonectris borealis</i>	1	0	0	1	0	2	M
<i>Puffinus gravis</i>	1	0	0	1	0	2	M
<i>Puffinus puffinus</i>	1	0	0	1	0	2	M
<i>Mycteria americana</i>	0	0	1	1	0	2	M
<i>Ciconia maguari</i>	0	0	1	1	0	2	M
<i>Platalea ajaja</i>	0	0	1	1	0	2	M
<i>Theristicus caudatus</i>	0	1	1	1	0	3	M

**Tabela 6** (continuação)

Espécies	Índice de Risco à colisão					Escore	Risco
	SO	GAM	CS	MC	AR		
<i>Phimosus infuscatus</i>	0	0	1	1	0	2	M
<i>Plegadis chihi</i>	0	1	1	1	0	3	M
<i>Botaurus pinnatus</i>	0	1	0	1	0	2	M
<i>Bubulcus ibis</i>	0	1	1	1	0	3	M
<i>Fregata magnificens</i>	0	1	1	1	0	3	M
<i>Phalacrocorax brasilianus</i>	0	1	1	1	0	3	M
<i>Anhinga anhinga</i>	0	1	0	1	0	2	M
<i>Haematopus palliatus</i>	0	1	0	1	0	2	M
<i>Pluvialis dominica</i>	1	1	1	0	0	3	M
<i>Oreopholus ruficollis</i>	1	0	1	0	0	2	M
<i>Vanellus chilensis</i>	0	1	1	0	0	2	M
<i>Bartramia longicauda</i>	1	0	1	0	0	2	M
<i>Calidris canutus</i>	1	0	1	0	0	2	M
<i>Calidris alba</i>	1	0	1	0	0	2	M
<i>Calidris fuscicollis</i>	1	1	1	0	0	3	M
<i>Calidris subruficollis</i>	1	0	1	0	0	2	M
<i>Calidris melanotos</i>	1	1	0	0	0	2	M
<i>Tringa flavipes</i>	1	0	1	0	0	2	M
<i>Tringa melanoleuca</i>	1	1	1	0	0	3	M
<i>Rynchops niger</i>	0	0	1	1	0	2	M
<i>Chroicocephalus maculipennis</i>	0	0	1	1	0	2	M
<i>Chroicocephalus cirrocephalus</i>	0	0	1	1	0	2	M
<i>Larus dominicanus</i>	0	0	1	1	0	2	M
<i>Gelochelidon nilotica</i>	0	1	1	0	0	2	M
<i>Sterna hirundinacea</i>	0	1	1	0	0	2	M
<i>Sterna hirundo</i>	1	1	1	0	0	3	M
<i>Thalasseus acuflavidus</i>	0	1	1	0	0	2	M
<i>Thalasseus maximus</i>	0	1	1	1	0	3	M
<i>Catharacta antarctica</i>	1	1	0	1	0	3	M
<i>Tyto alba</i>	0	1	0	1	1	3	M
<i>Athene cunicularia</i>	0	1	0	0	1	2	M
<i>Asio clamator</i>	0	1	0	1	1	3	M
<i>Bubo virginianus</i>	0	1	0	1	1	3	M
<i>Cathartes burrovianus</i>	0	1	0	1	1	3	M
<i>Elanus leucurus</i>	0	1	0	1	1	3	M
<i>Circus buffoni</i>	0	1	0	1	1	3	M
<i>Circus cinereus</i>	0	1	0	1	1	3	M
<i>Accipiter striatus</i>	0	1	0	0	1	2	M
<i>Rupornis magnirostris</i>	0	1	0	1	1	3	M
<i>Parabuteo unicinctus</i>	0	1	0	1	1	3	M
<i>Buteogallus meridionalis</i>	0	1	0	1	1	3	M
<i>Buteogallus urubitinga</i>	0	1	0	1	1	3	M
<i>Geranoaetus albicaudatus</i>	0	1	0	1	1	3	M
<i>Geranoaetus melanoleucus</i>	0	1	0	1	1	3	M
<i>Buteo brachyurus</i>	0	0	0	1	1	2	M
<i>Cariama cristata</i>	0	1	1	1	0	3	M
<i>Caracara plancus</i>	0	1	0	1	1	3	M
<i>Milvago chimachima</i>	0	1	0	1	1	3	M
<i>Falco sparverius</i>	0	1	0	0	1	2	M
<i>Falco femoralis</i>	0	1	0	0	1	2	M
<i>Myiopsitta monachus</i>	0	1	1	0	0	2	M

Tabela 6 (continuação)

Espécies	Índice de Risco à colisão						Risco
	SO	GAM	CS	MC	AR	Escore	
<i>Tyrannus savana</i>	0	1	1	0	0	2	M
<i>Lessonia rufa</i>	1	1	0	0	0	2	M
<i>Xolmis dominicanus</i>	0	1	1	0	0	2	M
<i>Petrochelidon pyrrhonota</i>	1	1	1	0	0	3	M
<i>Hirundo rustica</i>	1	1	1	0	0	3	M
<i>Riparia riparia</i>	1	1	1	0	0	3	M
<i>Tachycineta leucorrhoa</i>	0	1	1	0	0	2	M
<i>Tachycineta meyeri</i>	1	1	1	0	0	3	M
<i>Progne tapera</i>	0	1	1	0	0	2	M
<i>Progne chalybea</i>	0	1	1	0	0	2	M
<i>Stelgidopteryx ruficollis</i>	0	1	1	0	0	2	M
<i>Pygochelidon cyanoleuca</i>	0	1	1	0	0	2	M
<i>Alopocheidon fucata</i>	0	1	1	0	0	2	M
<i>Mimus triurus</i>	1	1	0	0	0	2	M
<i>Anthus furcatus</i>	0	1	1	0	0	2	M
<i>Carduelis carduelis</i>	0	1	1	0	0	2	M
<i>Carduelis magellanica</i>	0	1	1	0	0	2	M
<i>Molothrus rufoaxillaris</i>	0	1	1	0	0	2	M
<i>Molothrus bonariensis</i>	0	1	1	0	0	2	M
<i>Gnorimopsar chopi</i>	0	1	1	0	0	2	M
<i>Agelaioides badius</i>	0	1	1	0	0	2	M
<i>Donacospiza albifrons</i>	0	1	1	0	0	2	M
<i>Microspingus melanoleucus</i>	0	1	1	0	0	2	M
<i>Sicalis flaveola</i>	0	1	1	0	0	2	M
<i>Penelope obscura</i>	0	0	0	1	0	1	L
<i>Anas flavirostris</i>	0	0	0	1	0	1	L
<i>Tachybaptus dominicus</i>	0	0	1	0	0	1	L
<i>Podilymbus podiceps</i>	0	0	0	1	0	1	L
<i>Podiceps major</i>	0	0	0	1	0	1	L
<i>Leptotila rufaxilla</i>	0	1	0	0	0	1	L
<i>Columbina talpacoti</i>	0	1	0	0	0	1	L
<i>Columbina picui</i>	0	1	0	0	0	1	L
<i>Hydropsalis albicollis</i>	0	1	0	0	0	1	L
<i>Cypseloides fumigatus</i>	0	0	1	0	0	1	L
<i>Florisuga fusca</i>	0	1	0	0	0	1	L
<i>Chlorostilbon lucidus</i>	0	1	0	0	0	1	L
<i>Leucochloris albicollis</i>	0	1	0	0	0	1	L
<i>Amazilia versicolor</i>	0	1	0	0	0	1	L
<i>Hylocharis chrysura</i>	0	1	0	0	0	1	L
<i>Tapera naevia</i>	0	1	0	0	0	1	L
<i>Piaya cayana</i>	0	1	0	0	0	1	L
<i>Aramides cajaneus</i>	0	0	0	1	0	1	L
<i>Aramides saracura</i>	0	0	0	1	0	1	L
<i>Porphyrio martinicus</i>	0	0	0	1	0	1	L
<i>Gallinula melanops</i>	0	0	1	0	0	1	L
<i>Fulica armillata</i>	0	0	0	1	0	1	L
<i>Aramus guarauna</i>	0	0	0	1	0	1	L
<i>Theristicus caerulescens</i>	0	0	0	1	0	1	L
<i>Tigrisoma lineatum</i>	0	0	0	1	0	1	L
<i>Nycticorax nycticorax</i>	0	0	0	1	0	1	L
<i>Ardea cocoi</i>	0	0	0	1	0	1	L

**Tabela 6** (continuação)

Espécies	Índice de Risco à colisão						Risco
	SO	GAM	CS	MC	AR	Escore	
<i>Ardea alba</i>	0	0	0	1	0	1	L
<i>Syrigma sibilatrix</i>	0	0	0	1	0	1	L
<i>Egretta caerulea</i>	0	0	0	1	0	1	L
<i>Egretta thula</i>	0	0	0	1	0	1	L
<i>Himantopus melanurus</i>	0	0	1	0	0	1	L
<i>Pluvialis squatarola</i>	1	0	0	0	0	1	L
<i>Charadrius collaris</i>	0	1	0	0	0	1	L
<i>Charadrius falklandicus</i>	1	0	0	0	0	1	L
<i>Charadrius modestus</i>	1	0	0	0	0	1	L
<i>Nycticryphes semicollaris</i>	0	1	0	0	0	1	L
<i>Gallinago paraguaiæ</i>	0	1	0	0	0	1	L
<i>Steganopus tricolor</i>	1	0	0	0	0	1	L
<i>Tringa solitaria</i>	1	0	0	0	0	1	L
<i>Sternula superciliaris</i>	0	0	1	0	0	1	L
<i>Phaetusa simplex</i>	0	1	0	0	0	1	L
<i>Sterna trudeaui</i>	0	0	1	0	0	1	L
<i>Megascops choliba</i>	0	0	0	0	1	1	L
<i>Megascops sanctaecatarinae</i>	0	0	0	0	1	1	L
<i>Megaceryle torquata</i>	0	0	0	1	0	1	L
<i>Picumnus temminckii</i>	0	1	0	0	0	1	L
<i>Colaptes campestris</i>	0	1	0	0	0	1	L
<i>Melanerpes candidus</i>	0	0	1	0	0	1	L
<i>Psittacara leucophthalmus</i>	0	0	1	0	0	1	L
<i>Thamnophilus ruficapillus</i>	0	1	0	0	0	1	L
<i>Geositta cunicularia</i>	0	1	0	0	0	1	L
<i>Furnarius rufus</i>	0	1	0	0	0	1	L
<i>Cinclodes fuscus</i>	0	1	0	0	0	1	L
<i>Phacellodomus striaticollis</i>	0	1	0	0	0	1	L
<i>Anumbius annumbi</i>	0	1	0	0	0	1	L
<i>Asthenes baeri</i>	0	1	0	0	0	1	L
<i>Schoeniophylax phryganophilus</i>	0	1	0	0	0	1	L
<i>Synallaxis spixi</i>	0	1	0	0	0	1	L
<i>Euscarthmus meloryphus</i>	0	1	0	0	0	1	L
<i>Camptostoma obsoletum</i>	0	1	0	0	0	1	L
<i>Elaenia flavogaster</i>	0	1	0	0	0	1	L
<i>Elaenia parvirostris</i>	0	1	0	0	0	1	L
<i>Elaenia chilensis</i>	1	0	0	0	0	1	L
<i>Elaenia obscura</i>	0	1	0	0	0	1	L
<i>Polystictus pectoralis</i>	0	1	0	0	0	1	L
<i>Pitangus sulphuratus</i>	0	1	0	0	0	1	L
<i>Machetornis rixosa</i>	0	1	0	0	0	1	L
<i>Empidonomus varius</i>	0	1	0	0	0	1	L
<i>Tyrannus melancholicus</i>	0	1	0	0	0	1	L
<i>Myiarchus swainsoni</i>	0	1	0	0	0	1	L
<i>Pyrocephalus rubinus</i>	0	1	0	0	0	1	L
<i>Hymenops perspicillatus</i>	0	1	0	0	0	1	L
<i>Knipolegus lophotes</i>	0	1	0	0	0	1	L
<i>Xolmis irupero</i>	0	1	0	0	0	1	L
<i>Cyclarhis gujanensis</i>	0	1	0	0	0	1	L
<i>Cyanocorax chrysops</i>	0	0	1	0	0	1	L
<i>Polioptila dumicola</i>	0	1	0	0	0	1	L

**Tabela 6** (continuação)

Espécies	Índice de Risco à colisão					Escore	Risco
	SO	GAM	CS	MC	AR		
<i>Cistothorus platensis</i>	0	1	0	0	0	1	L
<i>Mimus saturninus</i>	0	1	0	0	0	1	L
<i>Turdus leucomelas</i>	0	1	0	0	0	1	L
<i>Turdus albicollis</i>	0	1	0	0	0	1	L
<i>Turdus rufiventris</i>	0	1	0	0	0	1	L
<i>Turdus amaurochalinus</i>	0	1	0	0	0	1	L
<i>Estrilda astrild</i>	0	1	0	0	0	1	L
<i>Passer domesticus</i>	0	0	1	0	0	1	L
<i>Anthus lutescens</i>	0	1	0	0	0	1	L
<i>Anthus hellmayri</i>	0	1	0	0	0	1	L
<i>Anthus nattereri</i>	0	1	0	0	0	1	L
<i>Anthus correndera</i>	0	1	0	0	0	1	L
<i>Euphonia chlorotica</i>	0	1	0	0	0	1	L
<i>Euphonia cyanocephala</i>	0	1	0	0	0	1	L
<i>Ammodramus humeralis</i>	0	1	0	0	0	1	L
<i>Zonotrichia capensis</i>	0	1	0	0	0	1	L
<i>Leistes superciliaris</i>	0	1	0	0	0	1	L
<i>Icterus pyrrhopterus</i>	0	1	0	0	0	1	L
<i>Pseudoleistes guirahuro</i>	0	0	1	0	0	1	L
<i>Pseudoleistes virescens</i>	0	0	1	0	0	1	L
<i>Emberizoides ypiranganus</i>	0	1	0	0	0	1	L
<i>Emberizoides herbicola</i>	0	1	0	0	0	1	L
<i>Coereba flaveola</i>	0	1	0	0	0	1	L
<i>Volatinia jacarina</i>	0	1	0	0	0	1	L
<i>Microspingus cabanisi</i>	0	1	0	0	0	1	L
<i>Sicalis luteola</i>	0	1	0	0	0	1	L
<i>Haplospiza unicolor</i>	0	1	0	0	0	1	L
<i>Pipraeidea bonariensis</i>	0	1	0	0	0	1	L
<i>Stephanophorus diadematus</i>	0	1	0	0	0	1	L
<i>Paroaria coronata</i>	0	0	1	0	0	1	L
<i>Tangara sayaca</i>	0	1	0	0	0	1	L
<i>Tangara palmarum</i>	0	1	0	0	0	1	L
<i>Tangara preciosa</i>	0	1	0	0	0	1	L

## 7 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A implantação e operação de parques eólicos ainda é recente no Brasil, quando comparada com outros países, e a estimativa do governo brasileiro é dobrar a geração eólica até 2026. Os parques estão se multiplicando no país e o Rio Grande do Sul é o quarto no ranking nacional, com vários parques eólicos instalados e muitos projetos em desenvolvimento. Assim, os resultados obtidos com o presente estudo não finaliza, mas traz informações relevantes sobre os efeitos desta indústria sobre a avifauna no Estado e poderá orientar estratégias de implantação, prevenção e controle de problemas relacionados à instalação desses parques. Ressalta-se que esta análise é inédita no Brasil, abrindo-se uma série de questões que devem ser melhor elucidadas e observadas nos monitoramentos de avifauna solicitados pelo órgão ambiental. Os principais destaques do trabalho foram:

- a avifauna onde os parques estão instalados representa aproximadamente 45% das espécies citadas para o Estado, sendo a maioria das espécies residente, insetívora e de área aberta. As três regiões eólicas: Coxilha de Santana, Litoral Norte e Litoral Sul se agrupam de acordo com a sua composição de espécies;

- a avaliação da composição de espécies nas três fases de um parque (pré-implantação, implantação e operação) mostrou que a fase de pré-implantação é diferente dos quatro anos de operação, indicando um possível impacto da operação do parque sobre a avifauna;

- de uma forma geral todas as áreas ocupadas pelos parques avaliados sofreram profundas transformações ao longo das últimas décadas, e a maioria tem suas áreas ocupadas por campo/pastagem ou rizicultura;

- o índice de risco proposto considerou apenas características morfológicas e etológicas das espécies. Contudo, as colisões que foram registradas e avaliadas estão acontecendo, na sua maioria, com espécies que apresentaram de médio a baixo risco de colisão. Assim, é fundamental o desenvolvimento de estudos para aprimorar ou criar um novo índice, testando a inclusão de diferentes fatores, como a estrutura da paisagem, a frequência de ocorrência e o tempo de ocupação do espaço aéreo, a fim de conduzir a resultados mais próximos da realidade, buscando a melhor conservação da avifauna nas instalações eólicas;

- as características técnicas dos parques e fatores como precipitação e velocidade do vento não possuem relação com as espécies que morreram, no entanto quando a estrutura da paisagem é avaliada este padrão se modifica.

Os resultados obtidos demonstram que se deve ter cuidado ao analisar os efeitos dos parques eólicos sobre as aves, especialmente na ausência de estudos de longo prazo para confirmar as tendências de impacto. Assim, seria ideal que o monitoramento da avifauna ocorresse durante a vida útil do empreendimento para avaliar a persistência da distribuição de espécies, e para mitigar e compensar possíveis impactos ambientais decorrentes do desenvolvimento da energia eólica na região. O trabalho de campo pós-construção deveria coletar preferencialmente dados sobre as tendências populacionais, seguindo uma metodologia comum, adaptada às características do habitat de cada parque eólico.

Por fim, sugere-se que as autoridades ambientais, em colaboração com a indústria e pesquisadores, reavaliem e implementem um protocolo de monitoramento detalhado que seja obrigatório para todos os parques eólicos. Desta forma, poderemos garantir que os trabalhos técnicos sejam realizados e apresentados adequadamente, fornecendo uma fonte de informação confiável que pode ser analisada em conjunto, determinando se algum impacto significativo sobre as aves, em nível local ou populacional, está acontecendo.