

UNIVERSIDADE DE LISBOA
FACULDADE DE CIÊNCIAS
DEPARTAMENTO DE BIOLOGIA ANIMAL



Ciências
ULisboa

**Impacto das alterações climáticas, expansão humana e
expansão do Setor Eólico na área de distribuição de aves no
Nordeste do Brasil**

Joana Inês e Conceição Ribeiro

Mestrado em Ecologia e Gestão Ambiental

Relatório de Estágio orientado por:
Maria Filomena Magalhães

Agradecimentos

À Bioinsight pela oportunidade do estágio. Fui recebida de braços abertos na equipa, tive ajuda sempre que precisei e consegui aprender imenso na empresa.

Ao Paulo por ter sido uma peça fundamental durante o meu percurso na Bioinsight. A sua ajuda foi essencial e a sua paciência infindável, mesmo nos meus momentos de maior frustração com o R. Sem ele, este trabalho provavelmente ainda não estaria concluído.

À professora Filomena por ter estado presente nos momentos-chave, pelos seus diversos contributos e ainda por garantir que tudo ia correndo bem.

À minha irmã por ter lido e relido vezes sem conta o meu trabalho, sem nunca ter realmente percebido o meu entusiasmo, mas ajudando-me sempre mesmo assim. Foi ela que teve de ler aquelas primeiras frases sem sentido nos primórdios deste relatório e quem nunca se recusou a ajudar-me com o que precisei.

Ao Simão por ter ouvido as minhas mil e uma frustrações e reclamações durante o estágio, bem como os meus delírios de felicidade com as vitórias. À Ana pela companhia ao longo do ano, à Joana pelos jantares de desabafo e a ambas pelo contributo que deram para a melhoria do meu relatório.

E por fim, mas não menos importante, aos meus pais pelo apoio incondicional, amor e carinho e ainda pela enorme paciência que tiveram ao longo de todo o meu percurso escolar.

Resumo

A biodiversidade encontra-se ameaçada pelas atividades humanas e pelas alterações climáticas. Muitos países têm reunido esforços no combate às alterações climáticas, nomeadamente no aumento da utilização de energias renováveis. A energia eólica é uma das fontes de energia renovável com maior crescimento mundial, mas tem também impactos negativos sobre a vida selvagem. Para além da mortalidade por colisão com aerogeradores, a perda de habitat é também reconhecida como um impacto negativo do Setor Eólico, mas permanece pouco estudado.

Neste trabalho estudou-se o impacto da expansão do Setor Eólico, da expansão das áreas urbanas e das alterações climáticas sobre a área de distribuição de espécies 27 espécies de aves sensíveis aos impactos do setor no Nordeste do Brasil, uma região com uma enorme diversidade de avifauna, suscetível às alterações climáticas, onde o Setor Eólico está em expansão e com população humana em crescimento. Foi aplicada uma metodologia espacialmente explícita para avaliar este impacto através da modelação da distribuição destas espécies de aves sensíveis, no presente e em 2050, considerando um cenário específico de alterações climáticas. Criou-se um cenário de expansão humana com base em previsões do crescimento da população humana no Brasil até 2050. Criou-se também um cenário de expansão do Setor Eólico até 2050 recorrendo a previsões de crescimento da potência instalada no Nordeste do Brasil.

A área ocupada pelas 27 espécies de aves sensíveis irá aumentar em 2050 no cenário de alterações climáticas considerado. A percentagem de área do Nordeste do Brasil ocupada pelas espécies passará de 58% para cerca de 91%, de acordo com os modelos climáticos obtidos. No futuro, 79% do Nordeste terá um aumento do número de espécies presentes, 12% um decréscimo e 9% manterá o número de espécies presentes. A expansão da área de distribuição das espécies de aves sensíveis não será homogênea, apresentando os Estados do Maranhão, Piauí e Ceará o maior ganho de espécies e os Estados da Bahia, Pernambuco e Paraíba as maiores perdas.

Atualmente, as áreas urbanas ocupam cerca de 10.9 mil km² e ocuparão cerca de 11.6 mil km² no futuro. No presente, 14.8% das áreas urbanas não se sobrepõem à área de distribuição das espécies modeladas, valor que diminui para 1.8% em 2050. Assim, diminuirá a extensão de área urbana sem qualquer espécie sensível. A urbanização tenderá a expandir-se para zonas com elevado número de espécies, em particular nos Estados do Maranhão, Piauí e Ceará. No entanto, globalmente, as áreas urbanas terão uma sobreposição ligeiramente menor com a área de distribuição das espécies em termos percentuais (1% vs. 0.7%). Esta diminuição ocorre porque as espécies de aves irão alargar mais a sua área de distribuição do que as áreas urbanas se expandirão para locais com espécies sensíveis.

A área ocupada pelo Setor Eólico irá quase quadruplicar até 2050, passando de 18.9 GW instalados numa área de cerca de 3 559 km² no presente para 68.9 GW numa área de 12 898 km² em 2050. Os Estados que terão uma maior instalação do setor serão o Ceará, Rio Grande do Norte e Bahia. Em relação à sobreposição com a área de distribuição das espécies, no presente 10.2% da área ocupada pelo Setor Eólico não coincide com a área de distribuição das espécies modeladas, valor que aumenta para 17.5% no futuro. Isto indica que o setor se expandirá principalmente para locais com uma menor riqueza de espécies de aves sensíveis. No entanto, aumentando a área absoluta ocupada pelo Setor Eólico, a sobreposição desta com a área de distribuição das espécies, aumentará de 0.4% no presente para 0.8% no futuro.

Para finalizar, os resultados obtidos sugerem que a área ocupada pelo Setor Eólico aumentará quase quatro vezes no futuro num cenário de instalação de mais 50 GW até 2050. Comparando a sobreposição da expansão do Setor Eólico e da expansão das áreas urbanas com a área de distribuição das espécies de aves sensíveis num contexto de alterações climáticas, conclui-se que o impacto de ambas

terá uma magnitude reduzida por afetarem, respetivamente, 0.8 e 0.7% do total da área de distribuição das espécies. Não obstante, com a expansão do Setor Eólico manter-se-á o conflito entre as espécies e o setor, podendo ainda vir a aumentar os restantes impactos negativos sobre este grupo.

Palavras-chave: modelos bioclimáticos, energia eólica, crescimento humano, maxent, impacto ambiental

Abstract

Biodiversity is increasingly threatened by human activities and climate change. Many countries have joined efforts to address the consequences of climate change, including the increased use of renewable energy resources. Wind energy is the world's fastest-growing renewable energy source, though it can negatively impact biodiversity. In addition to death by collision with wind farms, habitat loss is a recognized negative impact of wind energy that remains poorly understood.

This study aimed to analyse the impact of wind energy expansion, human growth and climate change in the distribution area of 27 bird species vulnerable to wind energy impacts in the Northeast of Brazil, a region with high bird diversity and susceptible to climate change, where the wind sector is expanding and human population is growing. A spatially explicit methodology was developed to assess the impacts by modelling the species distribution for present time and 2050m considering a specific climate change scenario. A human growth scenario was developed based on population growth until 2050. Finally, a wind sector expansion scenario was developed for 2050 using estimations of installed power in the Northeast of Brazil.

The area occupied by the 27 vulnerable bird species will increase in 2050 under the considered climate change scenario. The percentage of bird distribution area occupied in the Northeast of Brazil will increase from 58% to 91% according to climate models. In 2050, 79% of the region will have more of the modelled species than today, 12% will have fewer species and 9% will maintain the species number. Species distribution will not expand equally across the region, with the states of Maranhão, Piauí and Ceará tending to be occupied by more species in the future, while Bahia, Pernambuco and Paraíba will be occupied by fewer species.

Today, these areas occupy about 10 900 km² and they will occupy about 11 600 km² in the future. Currently, 14.8% of the urban areas do not overlap with the distribution area of the modelled but this value will decrease to about 1.8%. This means that urban expansion will not only happen towards areas where vulnerable species will occur in a higher number. However, in overall, urban areas will proportionally overlap less with the species distribution area (1% at present time vs. 0.7% in 2050). This happens because species will expand their distribution area more than urban areas will grow towards areas with vulnerable species.

The occupied area of wind sector will increase almost fourfold in the Northeast of Brazil, increasing from 18.9 GW installed in 3 559 km² today, to 68.9 GW of power in 12 898 km². The states with more power installed area will be the Ceará, Rio Grande do Norte and Bahia. The wind sector today does not overlap with about 12% of the species distribution area. This value will increase to 17.5% in the future, with the wind sector mainly expanding towards places with a lower species richness. However, because the area occupied by the wind sector increases, the proportional overlapping with the distribution area of the species will increase from 0.4% to 0.8%.

In conclusion, the obtained results suggest that the area occupied by the wind sector will increase almost four times in a scenario of an expected installation of 50 GW of wind power until 2050. Both the wind sector expansion and urban areas growth will pose a low magnitude impact on the vulnerable bird species, affecting 0.8% and 0.7% of their distribution area, respectively. Nevertheless, the conflict between the wind sector and bird species will remain, and other negative impacts on this animal group may even increase.

Keywords: bioclimatic models, wind energy, human growth, maxent, environmental impact

Índice

Agradecimentos.....	i
Resumo.....	ii
Abstract	iv
Índice.....	v
Índice de Figuras	vii
Índice de Tabelas.....	ix
Lista de Abreviaturas.....	xi
1. INTRODUÇÃO.....	1
1.1 Perda de Biodiversidade	1
1.2 Energia Eólica.....	2
1.3 O Brasil e a Energia Eólica.....	4
2. A EMPRESA.....	6
3. OBJETIVOS.....	7
4. ÁREA DE ESTUDO	8
5. METODOLOGIA.....	9
5.1 Seleção das Espécies.....	10
5.2 Seleção de Variáveis Explicativas	12
5.2.1 Variáveis Bioclimáticas.....	12
5.2.2 Variáveis da Expansão Humana	13
5.2.3 Variáveis da Expansão do Setor Eólico.....	13
5.3 Cenário Climático	15
5.4 Cenário Expansão Humana.....	17
5.5 Cenário Expansão Setor Eólico	18
6. RESULTADOS	19
6.1 Cenário Climático	19
6.1.1 Alteração das Condições Climáticas no Nordeste	19
6.1.2 Desempenho dos Modelos Climáticos de Distribuição das Espécies.....	20
6.1.3 Distribuição da Riqueza de Espécies.....	20
6.2 Cenário de Expansão Humana	24
6.2.1 Crescimento Populacional	24
6.2.2 Áreas Urbanas e Distribuição da Riqueza de Espécies.....	26
6.3 Cenário de Expansão do Setor Eólico.....	28
6.3.1 Desempenho do Modelo de Expansão Eólica.....	28

6.3.2	Expansão do Setor Eólico e Distribuição da Riqueza de Espécies	28
7.	DISCUSSÃO	33
7.1	Limitações dos Cenários Construídos	33
7.2	Alterações Climáticas e a Distribuição da Riqueza de Espécies.....	34
7.3	Expansão Humana e Distribuição da Riqueza das Espécies	34
7.4	Expansão do Setor Eólico e Distribuição da Riqueza das Espécies.....	35
7.5	Implicações dos Resultados para a Gestão Ambiental.....	36
8.	PERSPETIVAS FUTURAS	37
9.	CONSIDERAÇÕES FINAIS	38
	ANÁLISE CRÍTICA AO ANO DE ESTÁGIO	40
	REFERÊNCIAS	41
	ANEXOS.....	52

Índice de Figuras

Figura 4.1 – Área de Estudo. Estados do Nordeste do Brasil e continente sul americano.....	8
Figura 6.1 – Variação entre 2050 e o presente das variáveis bioclimáticas utilizadas nos modelos climáticos das espécies de aves sensíveis aos impactos do Setor Eólico no Nordeste do Brasil.	19
Figura 6.2 – Mapas de distribuição da riqueza de espécies de aves sensíveis aos impactos do Setor Eólico no Nordeste do Brasil no presente e no futuro (2050). Em ambas as figuras, quanto mais escuro o tom de azul, maior o número de espécies presentes no píxel. Locais sem ocorrência de qualquer espécie estão preenchidos a cinzento. Estes mapas foram construídos tendo em conta a distribuição das espécies de aves modelada com variáveis bioclimáticas.	21
Figura 6.3 – Área ocupada pelas espécies de aves sensíveis ao Setor Eólico no Nordeste do Brasil, no presente e no futuro (2050).	22
Figura 6.4 – Área ocupada pelas espécies de aves sensíveis aos impactos do Setor Eólico no Nordeste no presente e no futuro (2050).	22
Figura 6.5 – Variação da área ocupada em função da diferença entre o número de espécies de aves sensíveis aos impactos do Setor Eólico no Nordeste no futuro (2050) e no presente.	23
Figura 6.6 – Mapa com a variação de riqueza de espécies de aves sensíveis ao Setor Eólico entre o futuro (2050) e o presente com base nas variáveis bioclimáticas utilizadas na modelação da distribuição das espécies.	23
Figura 6.7 – Mapa com as áreas urbanas do Nordeste no presente e no futuro (2050).	25
Figura 6.8 – Área urbana ocupada pelas espécies de aves modeladas, no presente e no futuro (2050).	26
Figura 6.9 – Áreas urbanas e riqueza de espécies de aves sensíveis aos impactos do Setor Eólico no Nordeste do Brasil.	26
Figura 6.10 – Mapa com a variação de riqueza de espécies de aves sensíveis ao Setor Eólico entre o futuro (2050) e o presente com base nas variáveis bioclimáticas utilizadas na modelação da distribuição das espécies.	27
Figura 6.11 – Mapas de ocupação do Setor Eólico. O mapa da esquerda representa os locais com aproveitamento eólico no presente e a figura da direita representa os 50 GW a instalar até 2050.	29
Figura 6.12 – Área do Setor Eólico ocupado pelas espécies de aves modeladas, no presente e no futuro (2050). Verifica-se um aumento da área sem ocorrência de espécies no futuro.	30
Figura 6.13 – Setor eólico e riqueza de espécies de aves sensíveis aos impactos do Setor Eólico no Nordeste do Brasil.	30
Figura 6.14 – Aproveitamento eólico e variação da riqueza de espécies de aves sensíveis aos impactos do setor no Nordeste do Brasil. Os píxeis com aproveitamento eólico no presente estão representados por triângulos brancos e os píxeis com futuro aproveitamento com círculos pretos.	31
Figura 6.15 – Setor eólico e área ocupada (km ²) pelas espécies de aves sensíveis aos impactos do Setor Eólico no Nordeste do Brasil.	32
Figura A.1 – Esquema da metodologia desenvolvida desenvolvida	52
Figura A.2 – Cenário 2050 para a expansão humana com sobreposição das áreas urbanas no futuro (2050) sobre as áreas urbanas do presente (2015).	57

Figura A.3 – Cenário 2050 para a expansão do Setor Eólico no Nordeste do Brasil. Os píxeis com aproveitamento eólico no presente estão representados a preto e os píxeis com aproveitamento eólico em 2050, segundo o cenário construído, estão representados a vermelho. 58

Figura A.4 – Aproveitamento eólico e riqueza de espécies de aves sensíveis aos impactos do setor no Nordeste do Brasil. A figura do lado esquerdo ilustra a riqueza de espécies no presente, bem como o aproveitamento já instalado. A figura da direita representa a riqueza de espécies em 2050 bem como a expansão do Setor Eólico no futuro. 59

Índice de Tabelas

Tabela 5.1 – Espécies de aves do Nordeste do Brasil sensíveis ao Setor Eólico modeladas. Estão listadas todas as espécies modeladas, bem como a respectiva família e ordem. Está incluído também o número de pontos de presenças utilizado para cada espécie. O Estatuto de Conservação refere-se ao avaliado no Brasil (CEMAVE, 2014) que segue as categorias da IUCN, tendo todas as espécies estatuto LC (Least Concern – Pouco Preocupante). Está ainda descrita a tendência populacional internacional de cada espécie (IUCN, 2019).	11
Tabela 5.2 – Variáveis bioclimáticas utilizadas na modelação da distribuição das espécies de aves selecionadas (assinaladas a negrito). Foram selecionadas seis variáveis entre as 19 disponíveis na Versão 2 do WorldClim.....	12
Tabela 5.3 – Variáveis utilizadas no cenário de expansão do Setor Eólico.	14
Tabela 5.4 – Classificação do desempenho dos modelos com base no valor de AUC segundo Heikkinen et al. (2006).....	16
Tabela 6.1 – Importância média das variáveis bioclimáticas aplicadas nos modelos climáticos de distribuição das espécies calculada pelo Maxent (permutation importance).....	20
Tabela 6.2 – Estimativas da população dos Estados do Nordeste no presente (2015), no pico populacional de cada Estado e no futuro (2050) (valores adaptados de IBGE (2016)). São ainda apresentadas as taxas de crescimento nos dois períodos futuros em relação ao presente e as médias da região.....	24
Tabela 6.3 – Importância das variáveis do cenário eólico calculado pelo Maxent (permutation importance). As variáveis estão ordenadas pela sua importância no modelo.....	28
Tabela 6.4 – Potência a instalar com base nos resultados da modelação do cenário de expansão do Setor Eólico.....	28
Tabela A.1 – Valores das variáveis dos modelos climáticos futuros (para 2050 com o cenário RCP4.5) utilizados na modelação da distribuição das espécies de aves sensíveis aos impactos do Setor Eólico no Nordeste no Brasil.....	53
Tabela A.2 – Alcance das variáveis bioclimáticas utilizadas no presente e no futuro (2050). As variáveis do presente correspondem às médias anuais entre 1970 e 2000. As variáveis do futuro correspondem à média dos três modelos climáticos futuros selecionados (CCM4, GFDL-CM3 e HadGEM-ES) para o cenário RCP4.5.....	53
Tabela A.3 – Desempenho dos modelos de distribuição das espécies. Está descrito o AUC para cada ordem e para cada espécie. Para efeitos de classificação, os valores de AUC não foram arredondados. No canto inferior direito da tabela estão ainda descritos os valores médios do número de presenças utilizadas e o valor médio de AUC obtido.....	54
Tabela A.4 – Importância das variáveis (%) na distribuição de todas as espécies modeladas calculada pelo Maxent (permutation importance). Nas linhas inferiores da tabela estão ainda descritos os valores médios de cada variável, bem como do grupo das variáveis relacionadas com a temperatura e com a precipitação.....	55
Tabela A.5 – Cenários e área ocupada pelas espécies de aves sensíveis ao Setor Eólico no Nordeste do Brasil. O cenário climático refere-se à área ocupada pelas espécies em relação a toda a AE, com base nos modelos climáticos.	56

Tabela A.6 – Área da distribuição das espécies modeladas no presente e no futuro, bem como a diferença entre a área futura e presente. Valores positivos indicam que a área de distribuição da espécie aumentará e valores negativos que diminuirá. A última linha da tabela corresponde à média de cada variável para o total de espécies. 56

Lista de Abreviaturas

AE – Área de Estudo

CCSM4 – *Community Climate System Model 4*

GBIF – *Global Biodiversity Information Facility*

GEE – Gases com Efeito de Estufa

GFDL-CM3 – *Geophysical Fluid Dynamics Laboratory – Climate Model 3*

GW – Gigawatts

HadGEM-ES – *Hadley Global Environment Model 2 – Earth System*

IPCC – *Intergovernmental Panel on Climate Change*

IUCN – *International Union for Conservation of Nature*

MW – Megawatts

PE – Parque eólico

RCP – *Representative Concentration Pathway*

1. INTRODUÇÃO

1.1 Perda de Biodiversidade

A biodiversidade global encontra-se ameaçada pelas atividades humanas, presenciando-se uma perda de espécies a taxas inéditas (Brooks et al., 2006; Hooper et al., 2012; Waldron et al., 2017; Zanin et al., 2017). As atividades humanas são as principais responsáveis pela perda de habitat, pela introdução de espécies exóticas e invasoras, pela alteração do uso do solo e pela desflorestação para expansão agrícola e urbana (Kalnay & Cai, 2003; Brooks et al., 2006; Cubasch et al., 2013; Secretariat of the Convention on Biological Diversity, 2014; Venter et al., 2016). As atividades humanas são ainda o principal *driver* das alterações climáticas (Brooks et al., 2006; Cardinale et al., 2012; Hooper et al., 2012; Cubasch et al., 2013; Secretariat of the Convention on Biological Diversity, 2014), que constituem outra grande ameaça à biodiversidade (Jetz et al., 2007; Secretariat of the Convention on Biological Diversity, 2014; Pecl et al., 2017). Por um lado, as atividades humanas emitem grandes quantidades de gases com efeito de estufa (GEE) provenientes da queima de combustíveis fósseis (Raimundo & Santos, 2015) que alteram a composição e concentração dos gases presentes na atmosfera. Por outro lado, levam à alteração das propriedades do solo, tais como os valores de albedo que afetam o balanço energético da Terra (Cubasch et al., 2013).

Uma das possíveis consequências das alterações climáticas é a alteração da distribuição de espécies (Heikkinen et al., 2006; Yates et al., 2010). Quando ocorrem variações no ambiente, uma das possíveis respostas das espécies é a deslocação para zonas mais adequadas às suas preferências fisiológicas e esta movimentação poderá aumentar as interações bióticas e abióticas, afetando o equilíbrio dos ecossistemas (Pecl et al., 2017). Variações da temperatura podem afetar igualmente as espécies, por exemplo, com a antecipação das condições primaveris que provocam variações na fenologia das espécies, como padrões de migração e momento da postura (Parmesan & Yohe, 2003). As alterações climáticas podem ainda afetar os habitats em que as espécies ocorrem (Loyola et al., 2012), em consequência de alterações nos padrões de precipitação e variações de temperatura (Kirtman et al., 2013), bem como pelo aumento da frequência e intensidade de fenómenos climáticos extremos, como secas, cheias e ciclones (Williams et al., 2003; Kirtman et al., 2013).

O reconhecimento da importância das atividades humanas tanto na perda da biodiversidade como nas alterações climáticas levou a uma crescente preocupação da sociedade em relação às questões ambientais e à sustentabilidade ambiental (Azevedo et al., 2017). Esta preocupação encontra-se vertida nas mais recentes políticas, estratégias e planos de desenvolvimento de muitos países (Owusu & Asumadu-Sarkodie, 2016), depois de ter sido assumido um compromisso multilateral, na tentativa de reduzir significativamente a perda de biodiversidade (Balmford, 2005; Waldron et al., 2017). Foram elaborados planos de mitigação e adaptação às alterações climáticas (Zanin et al., 2017) para estabilizar as emissões de GEE para a atmosfera (Stephens et al., 2009) e tentar limitar o aumento da temperatura em 2°C. Estes planos incluem ainda medidas de combate à desertificação e degradação do solo, assegurando simultaneamente as necessidades básicas das populações, incluindo as energéticas, essenciais para o desenvolvimento económico dos países (Secretariat of the Convention on Biological Diversity, 2014).

Das várias atividades humanas, o setor da indústria é o que mais contribui para a emissão de GEE, sendo que em 2010 constituiu 35% das emissões antropogénicas (Bruckner et al., 2014). Como o desenvolvimento económico depende fortemente do setor da indústria, em particular do setor energético (Worrell et al., 2009), um dos maiores desafios da atualidade é garantir a segurança energética dos países e simultaneamente contribuir para a mitigação das consequências das alterações climáticas, sendo

essencial aplicar políticas de descarbonização dos setores com maior contributo de emissões de GEE, nomeadamente os setores agrícola, florestal, da indústria e energético (Owusu & Asumadu-Sarkodie, 2016). Neste contexto, é crucial a aposta nas energias renováveis e o aumento da sua utilização (Saidur et al., 2011; Secretariat of the Convention on Biological Diversity, 2014; Junior & Rodrigues, 2015). Em 2004 apenas 48 países tinham adotado algum tipo de política relacionada com as energias renováveis, mas em 2014 o valor já tinha subido para 164 (Gasparatos et al., 2017).

As energias renováveis incluem a energia solar, eólica, geotérmica, hidroelétrica, a energia proveniente das ondas e marés e ainda a biomassa (Raimundo & Santos, 2015; Owusu & Asumadu-Sarkodie, 2016). Além de serem obtidas a partir de fontes de energia renováveis e limpas, têm ainda baixas emissões de GEE e uma produção mínima de resíduos (Owusu & Asumadu-Sarkodie, 2016). No entanto, é importante ter assente que as energias renováveis podem ter impactos negativos, nomeadamente sobre a biodiversidade, decorrentes, por exemplo, da perda/fragmentação de habitat para instalação de vastas áreas com painéis solares e da alteração dos cursos de água naturais para aproveitamento hidroelétrico (Gasparatos et al., 2017). É importante considerar os impactos positivos e negativos das várias fontes de energia renováveis uma vez que estas têm um papel crucial na sustentabilidade ambiental, prevendo-se que tenham uma participação cada vez maior na matriz energética global ao longo das próximas décadas (Saidur et al., 2011; Owusu & Asumadu-Sarkodie, 2016; Azevedo et al., 2017).

1.2 Energia Eólica

A energia eólica é uma das energias renováveis com um maior crescimento ao longo da última década (Kunz et al., 2007a; Barclay & Cryan, 2009; Global Wind Energy Council, 2018, 2019; Marques et al., 2019). Este crescimento deveu-se a desenvolvimentos tecnológicos e políticos que potenciaram a expansão desta fonte energética por todo o mundo (Stephens et al., 2009; Owusu & Asumadu-Sarkodie, 2016). A energia gerada pelo vento é a fonte renovável com menor impacto ambiental e, por isso, a mais ambientalmente sustentável (Saidur et al., 2011; Marques et al., 2014; Abbasi et al., 2016). Consequentemente, a energia eólica é considerada como a melhor alternativa aos combustíveis fósseis e uma importante ferramenta no combate às alterações climáticas (Stephens et al., 2009; Saidur et al., 2011; Barthelmie & Pryor, 2014; AWWI, 2018; Global Wind Energy Council, 2019).

A tendência de crescimento do Setor Eólico manteve-se em 2018 (Global Wind Energy Council, 2019). A produção de energia eólica é atualmente uma das formas mais baratas de gerar energia em muitos mercados, sendo uma indústria em transição, com os governos a reverem focos energéticos numa tentativa de melhorar a integração das energias renováveis (Bruckner et al., 2014; Abbasi et al., 2016; Global Wind Energy Council, 2019). Considerando barreiras políticas, económicas e tecnológicas, estima-se que a energia eólica possa dar resposta até 20% da procura energética global (Junior & Rodrigues, 2015), esperando o *Intergovernmental Panel on Climate Change* (IPCC) que esta meta seja atingida até 2050 (Abbasi et al., 2016).

Como qualquer fonte de energia, a energia eólica tem impactos positivos e negativos sobre o ambiente e a vida selvagem (Gasparatos et al., 2017; Copping et al., 2019). Entre os impactos positivos, destaca-se ser uma energia renovável, limpa e abundante (Junior & Rodrigues, 2015), que depende do balanço energético global e do movimento atmosférico dele resultante, e que pode contribuir para o combate contra as consequências das alterações climáticas (Pryor & Barthelmie, 2010), por não poluir o ar nem emitir GEE (Saidur et al., 2011). É também uma energia renovável com um mercado cada vez mais competitivo (Bruckner et al., 2014; Mascarenhas et al., 2015; Global Wind Energy Council, 2019), e que permite diversificar a matriz energética, por exemplo, por ser uma fonte alternativa aos

combustíveis fósseis e por complementar outras fontes renováveis como a energia hidroelétrica, permitindo a redução do consumo de recursos hídricos (Saidur et al., 2011; AWWI, 2018).

No entanto, às várias fases dos projetos de parques eólicos (PE) estão associados diferentes impactos negativos (Hull et al., 2013; Mascarenhas et al., 2015; Laranjeiro et al., 2018). Nas fases de construção e desmantelamento, os impactos negativos são semelhantes aos de outros empreendimentos com duração inferior a um ano e incluem, por exemplo, a destruição temporária de vegetação para criação de acessos e perturbação da fauna pela movimentação de veículos. Estes impactos estão, contudo, bem estudados e documentados e são minimizáveis e mitigáveis (Hull et al., 2013). É na fase de operação dos PE que ocorrem impactos negativos mais significativos incluindo interferência com sinais de transmissão televisiva (Abbasi et al., 2016) e impactos sobre o meio ambiente, principalmente ao nível do ruído, da paisagem (Saidur et al., 2011; Mascarenhas et al., 2015; Abbasi et al., 2016; Farfán et al., 2017), e conflitos com a vida selvagem (Kunz et al., 2007a; Powlesland, 2009; Graham, 2011; Hull et al., 2013; AWWI, 2018; Laranjeiro et al., 2018). Os impactos mais mencionados sobre a vida selvagem são a mortalidade por colisão com aerogeradores, a perda/fragmentação de habitat e a alteração de comportamento e de rotas migratórias (Kunz et al., 2007a; Powlesland, 2009; Saidur et al., 2011; Mascarenhas et al., 2015; AWWI, 2018).

Os principais grupos animais afetados negativamente pelos PE são os morcegos e as aves (Drewitt & Langston, 2006; Arnett et al., 2007; Kunz et al., 2007b; Powlesland, 2009; Farfán et al., 2017; Laranjeiro et al., 2018). Os morcegos são particularmente suscetíveis à mortalidade por colisão (Baerwald & Barclay, 2011; Laranjeiro et al., 2018; Saidur et al., 2011) e barotrauma (Mascarenhas et al., 2015), ainda que este último seja atualmente descrito como menos importante do que se pensava num passado recente (AWWI, 2018). O risco de colisão nos morcegos está relacionado com a atração pelo local, com a densidade e distribuição de presas e com a perda sensorial ao nível da ecolocalização (Arnett et al., 2007; Barclay & Cryan, 2009; Mascarenhas et al., 2015). As aves são também vulneráveis aos vários impactos negativos já mencionados para os morcegos, sendo a mortalidade por colisão muito significativa neste grupo, uma vez que fatalidades elevadas podem ter efeitos negativos significativos nas populações locais (Kunz et al., 2007a; Powlesland, 2009; Bernardino et al., 2013; Marques et al., 2014; AWWI, 2018). A morte por colisão é um impacto comum a outras infraestruturas humanas estáticas, incluindo linhas de transmissão, postes de tensão e edifícios (Drewitt & Langston, 2008; Barclay & Cryan, 2009; Marques et al., 2014), bem como estruturas em movimento, como carros, comboios e aviões (Graham, 2011). A mortalidade por infraestruturas humanas é considerada a maior causa de fatalidade de aves ao nível mundial (Drewitt & Langston, 2008; Graham, 2011), no entanto, a mortalidade por colisão tende ser inferior em PE do que nas restantes infraestruturas (Saidur et al., 2011; Marques et al., 2014; AWWI, 2018).

Entre os vários grupos de aves, as rapinas têm um risco de colisão com PE particularmente elevado devido ao tipo e altura do seu voo, planado e de baixa altitude, quando em busca de presas (Marques et al., 2014; Farfán et al., 2017). A significância do impacto da colisão sobre as populações é ainda influenciada pela biologia das espécies, nomeadamente pela elevada longevidade, baixa taxa de reprodução e maturação tardia (Arnett, 2007; Powlesland, 2009; Farfán et al., 2017; Laranjeiro et al., 2018). Também as aves migradoras, noturnas e diurnas, são suscetíveis à colisão com aerogeradores por utilizarem corredores migratórios que coincidem com locais onde as condições de vento são favoráveis à instalação de turbinas (Powlesland, 2009; Welch & Venkateswaran, 2009). No entanto, aves residentes podem ser ainda mais impactadas por atravessarem o local das turbinas mais vezes do que as aves migradoras durante o seu período de migração (Marques et al., 2014). Algumas aves aquáticas também poderão ter um risco de colisão elevado por voarem à altura das pás dos aerogeradores (Powlesland, 2009). Os passeriformes são outro grupo muito propenso à mortalidade por colisão (Drewitt & Langston,

2008), mas cuja taxa de detecção de cadáveres tende a ser inferior à taxa de detecção de aves de maior porte (AWWI, 2018).

A perda de habitat é outro dos impactos dos PE mais mencionado na literatura (Powlesland, 2009; Saidur et al., 2011; Hull et al., 2013; Mascarenhas et al., 2015; AWWI, 2018). É um impacto normalmente descrito como menos significativo do que a mortalidade por colisão, devido à dificuldade em generalizar a relação entre um PE e um habitat específico, por depender do grupo faunístico em questão (Salino, 2011). No entanto, a perda de habitat pode ter efeitos aditivos a longo prazo (Laranjeiro et al., 2018), por ocorrência de doenças, existência de espécies invasoras e mortalidade adicional por outras fontes antropogênicas (AWWI, 2018) e ainda no caso de existirem múltiplos empreendimentos eólicos de grande dimensão em locais com elevada atividade de avifauna (Powlesland, 2009).

A perda de habitat pode ser direta, decorrendo da ocupação do solo pelas bases das turbinas e infraestruturas associadas, como estradas, cuja área pode corresponder, em geral, a 2% a 5% (Drewitt & Langston, 2006; Powlesland, 2009), e no máximo a 10% do total do empreendimento (Arnett et al., 2007). A perda de habitat pode também ser indireta, pelo efeito de exclusão sobre os indivíduos que deixam de ter acesso a habitat (Kunz et al., 2007a; Powlesland, 2009; Saidur et al., 2011; Hull et al., 2013; Mascarenhas et al., 2015; Farfán et al., 2017; AWWI, 2018). O efeito de exclusão pode ainda alterar o risco de colisão, na medida em que o afastamento pode diminuir o risco de colisão para algumas espécies (Mascarenhas et al., 2015). No entanto, a perda de habitat pode também ter o efeito oposto, atraindo determinadas espécies para as imediações dos PE devido ao aumento da acessibilidade a alimento (Drewitt & Langston, 2006).

1.3 O Brasil e a Energia Eólica

O Brasil é um dos países com maior participação de energias renováveis na matriz energética, representando estas cerca de 46% da sua produção (Ministério de Minas e Energia & Empresa de Pesquisa Energética, 2017). As principais contribuições de energia renovável são a energia hidroelétrica, com 108.5 GW de potência instalada, e a energia eólica, com 14.9 GW instalados, assegurando respetivamente 64% e 9% da produção elétrica nacional (Agência Nacional de Energia Elétrica, 2019).

A energia eólica foi introduzida na matriz energética brasileira durante a crise energética de 2001. A escassez de precipitação nesse ano diminuiu a disponibilidade de água nos reservatórios dos empreendimentos hidroelétricos, o que obrigou a um racionamento da energia elétrica (Lima et al., 2018). A compreensão de que a oferta hidroelétrica não atendia totalmente à procura existente levou o Estado a repensar o planeamento do setor energético, a desenvolver políticas de incentivos, financiamentos e investimentos e ainda a procurar parcerias com o setor privado (Alves, 2010; Lima et al., 2018).

Desde a sua introdução no Brasil, a energia eólica tem apresentado um enorme crescimento. Em 2004, o Brasil tinha 0.027 GW de potência instalados, valor que aumentou para quase 15 GW em 2018 (ABEEólica, 2019). A importância da energia eólica na diversificação da matriz energética do país tem aumentado (Carneiro & Carvalho, 2015; Junior & Rodrigues, 2015; Lima et al., 2018; de Jong et al., 2019), muito relacionado com o desafio cada vez maior que é a manutenção da energia hidroelétrica, principalmente num cenário de alterações climáticas com diminuição da disponibilidade de recursos hídricos (Ministério de Minas e Energia & Empresa de Pesquisa Energética, 2017).

A expansão do Setor Eólico no Brasil dá-se num contexto de elevado potencial disponível, simplicidade de aplicação e baixo impacto ambiental quando comparado com a energia hidroelétrica (Junior & Rodrigues, 2015; Raimundo & Santos, 2015). A energia eólica tem recebido importantes apoios do Estado (Junior & Rodrigues, 2015) e, ainda que se tenha verificado um pequeno decréscimo

da capacidade instalada anualmente desde 2015, o crescimento anual ronda atualmente os 2 GW/ano (Global Wind Energy Council, 2019).

Em 2019, o Setor Eólico tem 15 GW de potência instalados no Brasil (Agência Nacional de Energia Elétrica, 2019). As previsões do crescimento anual do Setor Eólico no Plano Decenal de Expansão de Energia 2026 (Ministério de Minas e Energia & Empresa de Pesquisa Energética, 2017) variam consoante o cenário considerado. Na situação de referência, o crescimento da procura é de 3.7%/ano e o Setor Eólico expande-se 1.8 GW/ano. Já no cenário de mercado alternativo em que o crescimento da procura é de 4.2%, a expansão é de 3.1 GW/ano. No cenário de menor crescimento, envolvendo a restrição hidroelétrica e substituição por carvão mineral, a expansão do Setor Eólico decresce para 0.9 GW/ano.

A expansão do Setor Eólico no Brasil poderá, no entanto, ter impactos significativos sobre a biodiversidade. O Brasil é um dos países com maior diversidade biológica, estimando-se que albergue cerca de 20% da biodiversidade do planeta (Ministério do Meio Ambiente, 2017). Esta enorme biodiversidade decorre em grande medida do Brasil ocupar quase metade do continente sul-americano, abranger um grande contraste climático e incluir seis biomas diferentes (Zanin et al., 2017; Sistema de Informação sobre a Biodiversidade Brasileira, 2019). Estima-se que o Brasil albergue 1.8 milhões de espécies (Lewinsohn & Prado, 2005), 19 mil das quais endêmicas, e que apenas 11% de toda a biodiversidade se encontre atualmente catalogada (Sistema de Informação sobre a Biodiversidade Brasileira, 2019). A diversidade de espécies de flora registada ronda as 46 mil (Jardim Botânico do Rio de Janeiro, 2019) e a de fauna as 118 mil (COPPETEC-UFRJ, 2019). Em particular, o número de espécies de aves aproxima-se de 2 mil, mais de 200 das quais endêmicas, sendo o Brasil o terceiro país mais rico em termos de avifauna (BirdLife International, 2019).

Parte de toda esta biodiversidade encontra-se ameaçada, existindo mais de 3 mil espécies de fauna e flora com estatuto de conservação Vulnerável (VU), Em Perigo (EN), Criticamente em Perigo (CR) ou Extintas na Natureza (EW) (Ministério do Meio Ambiente, 2017). As principais causas de perda de biodiversidade no Brasil incluem o modelo de produção e de consumo incompatível com a conservação, a perda, degradação e fragmentação de habitats, a baixa valorização da biodiversidade e do conhecimento tradicional e ainda as alterações climáticas (Ministério do Meio Ambiente, 2016).

O Setor Eólico poderá também ser outra causa de perda de biodiversidade. A elevada procura para construção de PE no Brasil tem desencadeado a implementação desenfreada de aerogeradores em áreas com elevada disponibilidade de vento, desvalorizando as questões ambientais e os impactos da produção de energia eólica (Sovernigo, 2009). Existe ainda uma lacuna de conhecimento na quantificação dos impactos dos PE sobre a biodiversidade no Brasil, bem como deficiências nas etapas de diagnóstico ambiental e análise de impactos (Almeida et al., 2016).

Num país com uma riqueza de avifauna tão elevada como o Brasil, existirá sempre um conflito entre este grupo e o Setor Eólico em expansão. Este conflito poderá aumentar num contexto de alterações climáticas, com uma possível alteração de distribuição das espécies para locais onde o Setor Eólico se expandirá. Para maximizar os benefícios da energia eólica e assegurar a sustentabilidade e mitigação dos impactos deste setor, é essencial compreender a extensão e localização destes impactos, nomeadamente, em termos de perda de habitat e qual a sua relevância em relação a outras causas de perda de habitat, como o desenvolvimento humano. Conhecendo os locais prováveis de expansão do Setor Eólico, será ainda possível antecipar conflitos latentes com espécies de aves sensíveis aos impactos do setor e permitir assim um melhor planeamento do desenvolvimento do setor a médio e longo prazo.

2. A EMPRESA

O presente Relatório de Estágio foi realizado na Bioinsight (www.bioinsight.pt), uma empresa internacional que fornece serviços de consultoria para atividades económicas que afetem diretamente os recursos naturais e com impactos significativos sobre a biodiversidade e os ecossistemas.

Sediada em Portugal, a Bioinsight tem escritórios em Lisboa e Aveiro, estando também presente na África do Sul e em Moçambique. As várias parcerias estabelecidas nas áreas da ecologia, biodiversidade, ciências ambientais, tecnologias e engenharias levaram a que a empresa já tenha desenvolvido projetos em diversos mercados na Europa, África do Sul e América do Sul.

A Bioinsight destaca-se ao nível de projetos de Monitorização e Estudos de Biodiversidade, inerentes ao processo de Avaliação de Impacte Ambiental, em particular associados ao Setor Eólico, tendo desenvolvido muitos projetos relacionados com Parques Eólicos em Portugal, mas também noutros países da Europa, África e América do Sul. A empresa tem desenvolvido estudos em Parques Eólicos no Brasil, nomeadamente na região Nordeste.

3. OBJETIVOS

O principal objetivo deste trabalho é quantificar o impacto da expansão do Setor Eólico na área de distribuição de um conjunto de espécies de aves sensíveis aos impactos do Setor Eólico, no Nordeste do Brasil, uma região rica em avifauna e onde o Setor Eólico se encontra em forte expansão. Para cumprir este objetivo, será comparada a área de distribuição disponível para um conjunto de 27 espécies, em três cenários futuros, espacialmente explícitos e com o horizonte temporal de 2050:

- i. Cenário Climático, previsto no contexto de alterações climáticas;
- ii. Cenário de Expansão Humana, nomeadamente em termos de urbanização;
- iii. Cenário de Expansão do Setor Eólico, até uma potência instalada máxima.

Prevê-se que: (i) a área de distribuição das espécies seja muito afetada pelas alterações climáticas, uma vez que as espécies dependem fortemente das condições climáticas; (ii) a influência da Expansão Humana seja comparativamente menos relevante, uma vez que apesar de a população do Brasil se encontrar em crescimento, o número de habitantes deverá estabilizar antes de 2050, seguindo as áreas urbanas esta mesma tendência de estabilização; e (iii) a influência do Setor Eólico aumente com o incremento da potência instalada, em particular nas zonas de maior potencial no interior e na costa do Nordeste.

Os resultados obtidos serão analisados e discutidos em termos das suas implicações de gestão ambiental no Nordeste do Brasil.

4. ÁREA DE ESTUDO

A área de estudo (AE) selecionada para este trabalho foi a região Nordeste do Brasil (Figura 4.1). Esta é uma das cinco regiões do Brasil definidas pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística e inclui nove dos 26 estados brasileiros: Alagoas, Bahia, Ceará, Maranhão, Paraíba, Pernambuco, Piauí, Rio Grande do Norte e Sergipe. Ocupa uma área de aproximadamente 1.5 milhões km² (IBGE, 2019), correspondente a 18% da área total do Brasil.

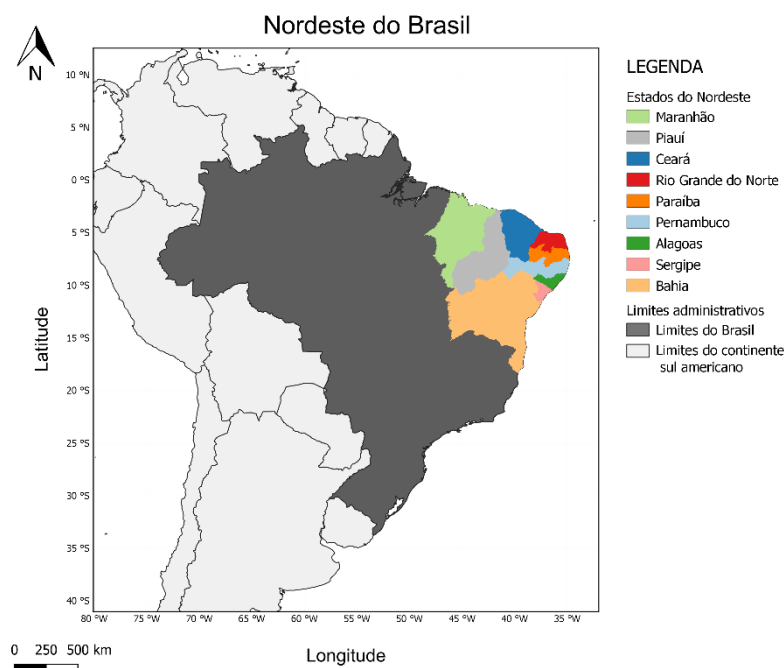


Figura 4.1 – Área de Estudo. Estados do Nordeste do Brasil e continente sul americano.

A região do Nordeste tem um clima Tropical e Equatorial, sendo classificado como quente, atingindo temperaturas superiores a 18°C em todos os meses do ano, e tendo ainda períodos de seca que podem durar até 12 meses (IBGE, 2002). A precipitação média anual é de 450 mm nas regiões mais interiores e pode atingir os 2 250 mm nas zonas mais litorais (Instituto Nacional de Meteorologia, 2011). O bioma mais extenso na região é a Caatinga, um bioma exclusivo do Brasil que é considerado o ecossistema com maior diversidade de plantas do país e uma das mais importantes áreas secas tropicais do planeta (ICMBio, 2019).

A população do Nordeste, em 2015, rondava os 54.89 milhões de habitantes (IBGE, 2016), com uma tendência de crescimento até 2040, altura em que se espera que seja atingido o máximo populacional de acordo com as estimativas mais recentes (IBGE, 2018).

A região do Nordeste é a maior produtora de energia eólica do Brasil (ABEEólica, 2018) e também a área com maior potencial disponível, entre 75GW e 309 GW (Amarante et al., 2001; Pereira, 2016; Bezerra, 2018), devido às boas condições de vento (Alves, 2010; Carneiro & Carvalho, 2015; Lima et al., 2018; de Jong et al., 2019) e às extensas áreas com uma velocidade de vento superior a 7 m/s, valor a partir do qual a produção é considerada rentável (Sovernigo, 2009).

5. METODOLOGIA

O desenvolvimento do presente trabalho envolveu quatro etapas principais: (i) seleção das espécies de aves sensíveis aos impactos negativos do Setor Eólico a serem modeladas; (ii) seleção das variáveis explicativas a utilizar na modelação da distribuição das espécies, a utilizar na modelação da expansão do Setor Eólico e para quantificar a expansão humana; (iii) modelação da distribuição das espécies e determinação da expansão humana e do Setor Eólico; e (iv) respetivo mapeamento, para o presente e para o futuro (2050).

Em termos gerais, a modelação da distribuição das espécies foi realizada em função de variáveis bioclimáticas, sendo o cenário futuro construído recorrendo a modelos climáticos previamente definidos e utilizados em trabalhos de investigação na região do Brasil. O cenário de crescimento das áreas urbanas foi construído utilizando estimativas do crescimento populacional. A expansão do Setor Eólico foi modelada em função de um conjunto de variáveis de paisagem e atendendo aos locais com potencial eólico já instalado. Os impactos da expansão humana e Setor Eólico foram avaliados sobrepondo os cenários definidos aos mapas de distribuição das espécies. A abordagem seguida encontra-se esquematizada na Figura A1, em anexo.

Nos mapeamentos realizados, foi utilizado o sistema de coordenadas SIRGAS 2000 (EPSG: 4674), adotado pelo Brasil (IBGE, 2005). Foi também utilizado o sistema SIRGAS 2000/UTM zone 24S (EPSG: 31 984) no cenário de crescimento das áreas urbanas. Os mapas apresentados foram construídos no *software* Quantum GIS (QGIS, versão 3.4.4-Madeira). Todos os cálculos de áreas foram realizados com os dados em formato raster em R (R Core Team, 2018).

Seguidamente, detalham-se os procedimentos adotados nas várias etapas do trabalho.

5.1 Seleção das Espécies

A seleção das espécies incidiu sobre ordens de aves descritas como muito sensíveis aos impactos do Setor Eólico. A identificação destas ordens baseou-se em pesquisa bibliográfica. Verificou-se que as ordens mais mencionadas na literatura são as mesmas, independentemente da área geográfica, designadamente, Accipitriformes, Anseriformes, Cathartiformes, Charadriiformes, Ciconiiformes, Falconiformes, Gruiformes, Pelecaniformes, Podicipediformes, Strigiformes e Suliformes (Erickson et al., 2001; Powlesland, 2009; Sovernigo, 2009; Mascarenhas et al., 2015; AWWI, 2018), incidindo sobre estas a seleção das espécies a modelar.

Em seguida, procedeu-se à recolha de dados de ocorrência de espécies destas ordens de aves para pré-análise, uma fase importante para assegurar a qualidade da informação utilizada (Guisan et al., 2017). Inicialmente foram procurados dados para o Brasil e, posteriormente, filtrados apenas para o Nordeste. Os dados de ocorrência foram maioritariamente recolhidos de duas grandes bases de dados virtuais, o *Global Biodiversity Information Facility* (GBIF; www.gbif.org) e o projeto *SpeciesLink* (www.splink.cria.org.br), que disponibilizam os seus dados gratuitamente online (Tôres et al., 2008; Giannini et al., 2012; Guisan et al., 2017; Sales et al., 2017). Em ambas as fontes de informação foram aplicados filtros para garantir que os dados recolhidos tinham coordenadas e incluíam o nome científico das espécies. Recolheram-se cerca de 375 mil pontos do GBIF e 25 mil pontos do *SpeciesLink*, correspondendo a mais de 300 espécies de aves.

Em seguida, realizou-se uma análise em Excel para assegurar a uniformidade dos dados. Foram excluídos pontos não resultantes de observações diretas das espécies em meio natural, o que permitiu eliminar, por exemplo, registos fósseis ou de museus. Eliminaram-se ainda pontos recolhidos antes do ano de 1900 e pontos com menos de três casas decimais nas coordenadas para garantir uma precisão na ordem das centenas de metros, um valor inferior à escala do píxel utilizado.

Para assegurar coerência taxonómica, o nome científico de todas as espécies foi verificado e uniformizado (Handbook of the Birds of the World & BirdLife International, 2018). Seguidamente, procedeu-se à remoção de coordenadas duplicadas para a mesma espécie. Deste processo resultaram cerca de 100 mil pontos de presença para o Brasil e 10 mil para o Nordeste, correspondendo estes últimos a cerca de 200 espécies de aves. Adicionaram-se ainda a esta base de dados alguns pontos de presenças derivados de informação gentilmente cedida pelo PIBi Lab – Laboratório de Pesquisas Integrativas em Biodiversidade da Universidade Federal do Sergipe que realizou um trabalho de inventariação de ocorrências de aves em artigos científicos na região do Nordeste (Nascimento et al., 2018). Apenas foram adicionados pontos com coordenadas inexistentes na base de dados para evitar a duplicação de pontos. De todos os pontos inventariados, menos de 1% eram anteriores a 1980.

Terminado este processo, selecionaram-se para modelação as 25 espécies com mais ocorrências no Nordeste, uma vez que o número de presenças influencia positivamente o desempenho dos modelos de distribuição (Proosdij et al., 2016). Pretendeu-se assegurar que o grupo de espécies selecionado constituía uma amostra representativa das espécies de aves sensíveis aos impactos do Setor Eólico no Nordeste e que não tivesse sido ignorada nenhuma espécie com probabilidade de colisão média ou elevada. Para tal, e uma vez que não existem muitos estudos sobre a probabilidade de colisão de aves com aerogeradores no Brasil, foram consultados diversos Relatórios de Impacto Ambiental (Arbore Engenharia, 2012; Impacto Assessoria Ambiental, 2015; Ambiens Consultoria e Projetos Ambientais Eireli, 2018), bem como Relatórios de Monitorização de PE no Rio Grande do Norte (não publicados) para verificar se tinha sido ignorada alguma espécie com probabilidade de colisão média ou elevada. Depois desta consulta, foram adicionadas duas espécies à lista previamente definida.

Assim, as 27 espécies selecionadas para este estudo encontram-se descritas na Tabela 5.1, bem como o seu Estatuto de Conservação no Brasil (CEMAVE, 2014) e a sua tendência populacional internacional (IUCN, 2019). Todas as espécies têm estatuto LC (*Least Concern* – Pouco Preocupante) no Brasil. Em média registaram-se 124 pontos de presença por espécie, com um mínimo de 14 e um máximo de 363 pontos.

Tabela 5.1 – Espécies de aves do Nordeste do Brasil sensíveis ao Setor Eólico modeladas. Estão listadas todas as espécies modeladas, bem como a respetiva família e ordem. Está incluído também o número de pontos de presenças utilizado para cada espécie. O Estatuto de Conservação refere-se ao avaliado no Brasil (CEMAVE, 2014) que segue as categorias da IUCN, tendo todas as espécies estatuto LC (*Least Concern* – Pouco Preocupante). Está ainda descrita a tendência populacional internacional de cada espécie (IUCN, 2019).

ORDEM	FAMÍLIA	ESPÉCIE	NÚMERO DE PRESENCAS	ESTATUTO DE CONSERVAÇÃO	TENDÊNCIA POPULACIONAL INTERNACIONAL
Aquáticas					
Anseriformes	Anatidae	<i>Amazonetta brasiliensis</i>	58	LC	Decréscimo
		<i>Dendrocygna viduata</i>	82	LC	Crescimento
Gruiformes	Rallidae	<i>Gallinula galeata</i>	97	LC	Estável
		<i>Porphyrio martinicus</i>	67	LC	Decréscimo
Pelecaniformes	Ardeidae	<i>Ardea alba</i>	174	LC	Desconhecida
		<i>Bubulcus ibis</i>	128	LC	Crescimento
		<i>Butorides striata</i>	140	LC	Decréscimo
		<i>Egretta thula</i>	144	LC	Crescimento
		<i>Tigrisoma lineatum</i>	53	LC	Desconhecida
Suliformes	Phalacrocoracidae	<i>Nannopterum brasilianus</i>	45	LC	Crescimento
Charadriiformes	Recurvirostridae	<i>Himantopus himantopus</i>	63	LC	Crescimento
	Jacaniidae	<i>Jacana jacana</i>	146	LC	Estável
	Charadriidae	<i>Vanellus chilensis</i>	230	LC	Crescimento
Rapinas noturnas					
Strigiformes	Strigidae	<i>Athene cunicularia</i>	87	LC	Decréscimo
		<i>Glaucidium brasilianum</i>	83	LC	Decréscimo
		<i>Megascops choliba</i>	56	LC	Estável
Rapinas					
Cathartiformes	Cathartidae	<i>Cathartes aura</i>	259	LC	Estável
		<i>Cathartes burrovianus</i>	168	LC	Estável
		<i>Coragyps atratus</i>	363	LC	Crescimento
Accipitriformes	Accipitridae	<i>Buteogallus meridionalis</i>	46	LC	Crescimento
		<i>Geranoaetus albicaudatus</i> *	30	LC	Crescimento
		<i>Parabuteo unicinctus</i> *	14	LC	Decréscimo
		<i>Rupornis magnirostris</i>	252	LC	Crescimento
		<i>Caracara plancus</i>	250	LC	Crescimento
Falconiformes	Falconidae	<i>Falco sparverius</i>	79	LC	Estável
		<i>Herpetotheres cachinnans</i>	82	LC	Decréscimo
		<i>Milvago chimachima</i>	152	LC	Crescimento

* Espécies consideradas por terem um risco de colisão médio/elevado segundo Relatórios de Monitorização em PE no Estado do Rio Grande do Norte, no Nordeste do Brasil.

5.2 Seleção de Variáveis Explicativas

5.2.1 Variáveis Bioclimáticas

Para modelar a ocorrência das espécies de aves selecionadas, recorreu-se a variáveis bioclimáticas disponíveis no *site* do *WorldClim*, uma das fontes de dados climáticos globais mais amplamente utilizada em trabalhos de modelação ecológica (Guisan et al., 2017). Estas variáveis bioclimáticas são derivadas dos valores mensais de temperatura e precipitação de modo a gerar variáveis com maior significado biológico (WorldClim, 2019). Para o presente, recorreu-se à Versão 2 do *WorldClim* que inclui variáveis bioclimáticas determinadas a partir das médias anuais de 1970-2000 (Fick & Hijmans, 2017). Para o futuro foram utilizados modelos climáticos baseados nas variáveis da Versão 1 do *WorldClim* com as médias anuais de 1960-1990 (Hijmans et al., 2005). Para ambos os cenários, presente e futuro, foi escolhida a escala de 30 segundos (0.083°), convertendo-se as variáveis do sistema de coordenadas WGS84 para SIRGAS2000 com resolução de 0.01°.

5.2.1.1 Presente

De uma forma geral, é recomendado reduzir o número de preditores quando estes são muito numerosos (Elith et al., 2011) para minimizar problemas de colineariedade (Vale et al., 2015; Naimi & Araújo, 2016; Guisan et al., 2017). Assim, como o *WorldClim* disponibiliza 19 variáveis bioclimáticas, foi calculado o coeficiente de correlação de Pearson entre todas as variáveis com recurso à função “pairs” do *package* “raster” do R (Hijmans, 2019). O ponto de corte de variáveis, em módulo, foi 0.7 (Barbet-Massin & Jetz, 2014; Porfirio et al., 2014; Naimi & Araújo, 2016), mantendo-se as variáveis de cada par com menor número de correlações com outras variáveis. As seis variáveis bioclimáticas selecionadas encontram-se listadas na Tabela 5.2.

Tabela 5.2 – Variáveis bioclimáticas utilizadas na modelação da distribuição das espécies de aves selecionadas (assinaladas a negrito). Foram selecionadas seis variáveis entre as 19 disponíveis na Versão 2 do *WorldClim*.

Variável	Significado da variável
BIO1	Temperatura Média Anual (°C)
BIO2	Intervalo Médio Diário (média mensal (T°C máx – T°C mín))
BIO3	Isotermalidade (BIO2/BIO7*100)
BIO4	Sazonalidade da Temperatura (desvio padrão*100)
BIO5	Temperatura Máxima do Mês Mais Quente (°C)
BIO6	Temperatura Mínima do Mês mais Frio (°C)
BIO7	Variação Anual da Temperatura (BIO5-BIO6)
BIO8	Temperatura Média do Trimestre mais Húmido (°C)
BIO9	Temperatura Média do Trimestre mais Seco (°C)
BIO10	Temperatura Média do Trimestre mais Quente (°C)
BIO11	Temperatura Média do Trimestre mais Frio (°C)
BIO12	Precipitação anual (mm)
BIO13	Precipitação do Mês mais Húmido (mm)
BIO14	Precipitação do Mês mais Seco (mm)
BIO15	Sazonalidade da Precipitação (coeficiente de variação)
BIO16	Precipitação do Trimestre mais Húmido (mm)
BIO17	Precipitação do Trimestre mais Seco (mm)
BIO18	Precipitação do Trimestre mais Quente (mm)
BIO19	Precipitação do Trimestre mais Frio (mm)

5.2.1.2 Futuro

Para o cenário futuro, utilizaram-se as variáveis bioclimáticas selecionadas para o modelo presente. As variáveis bioclimáticas disponíveis no *WorldClim* variam consoante dois fatores importantes: o cenário de emissões e concentrações de GEE tido em conta, denominado *Representative Concentration Pathway* (RCP), e o modelo climático em questão.

Neste trabalho, o RCP escolhido para o cenário futuro foi o RCP4.5 por ser um dos cenários de estabilização intermédio (Nakicenovic & Swart, 2000; Cubasch et al., 2013), no qual o forçamento radiativo estabiliza nos 4.5 W/m² depois de 2100 (IPCC, 2013b).

No que toca aos modelos climáticos, é recomendado utilizar vários Modelos de Circulação Global para reduzir arbitrariedade na sua escolha, uma vez que os resultados obtidos dependem bastante do cenário e modelos escolhidos (Carvalho et al., 2019). Adotaram-se então modelos climáticos bastante utilizados em estudos realizados no Brasil, sendo eles o *Community Climate System Model 4* (CCSM4) (Tôres et al., 2008; Sales et al., 2017; Silva et al., 2018; Teixeira, 2018), o *Geophysical Fluid Dynamics Laboratory – Climate Model 3* (GFDL-CM3) (Marengo, 2006; Vale et al., 2015; Sales et al., 2017; Silva et al., 2018) e o *Hadley Global Environment Model 2 – Earth System* (HadGEM2-ES) (Marengo, 2006; Souza et al., 2011; Simon et al., 2013; Zanin et al., 2017; Silva et al., 2018). Estes três modelos diferem nas componentes e nas interações dos sistemas terra/atmosfera/oceano tidas em conta. No entanto, todos foram aplicados pelo IPCC no Quinto Relatório de Avaliação (IPCC, 2013a) e são amplamente utilizados por instituições de todo o mundo em trabalhos de investigação climática (Gent et al., 2011; Griffies et al., 2011; European Network for Earth System Modelling, 2015).

As previsões para 2050 e para o Brasil variam entre os três modelos selecionados. O modelo GFDL-CM3 prevê o maior aumento e variação de temperatura média e ainda a maior redução de precipitação média anual. O modelo HadGEM2-ES prevê maior alteração de sazonalidade da temperatura e maior redução da precipitação no mês mais seco. Já o modelo CCSM4 prevê uma maior redução da precipitação no mês mais quente. Os valores das variáveis dos três modelos (CCM4, GFDL-CM3 e HadGEM-ES) podem ser consultados na Tabela A.1, anexa. Assim, para reter esta variabilidade de valores, optou-se por utilizar um modelo médio como o cenário para 2050, obtido a partir da média dos três modelos selecionados (Porfirio et al., 2014) e cujos valores estão descritos na Tabela A.2, em anexo.

5.2.2 Variáveis da Expansão Humana

Para estimar o impacto da Expansão Humana na distribuição das espécies de aves sensíveis ao Setor Eólico, utilizou-se o crescimento da população humana como um *proxy* da Expansão Humana (McKee et al., 2015), neste caso em particular, expansão das áreas urbanas.

5.2.3 Variáveis da Expansão do Setor Eólico

As variáveis selecionadas para modelar a presença de aerogeradores e o crescimento do Setor Eólico são semelhantes às utilizadas por Gonçalves et al. (2017), num trabalho anterior de modelação realizado também para o Nordeste do Brasil. Especificamente, as variáveis explicativas utilizadas foram a velocidade do vento (Global Wind Atlas 2.0, 2018), a rugosidade do terreno (Farr et al., 2007), a distância a Áreas Protegidas (Mapas.MMA, 2018), às linhas de transmissão (MapBiomass, 2018) e a estradas (IBGE, 2017), a percentagem de cobertura florestal (Hansen et al., 2013) e o número de habitantes e aerogeradores (Agência Nacional de Energia Elétrica, 2018) em cada píxel e nos oito que o contactam (Tabela 5.3). As Áreas Protegidas e as linhas de transmissão foram convertidas ainda em distância (km) às mesmas para que não fossem as únicas variáveis binárias. O declive do terreno (Farr

et al., 2007) foi uma variável excluída da lista de preditores depois da análise de correlação entre as variáveis por ter um coeficiente de Pearson superior a 0.7 com a velocidade do vento.

Tabela 5.3 – Variáveis utilizadas no cenário de expansão do Setor Eólico.

Variável	Variação
Velocidade do vento (m/s)	2.1 – 13.6
Rugosidade (m)	0 – 816
Distância a Áreas Protegidas (km)	0 – 259
Distância a linhas de transmissão (km)	0 – 272
Distância a estradas (km)	0 – 50
Cobertura florestal (%)	0 – 100
Número aerogeradores na vizinhança	0 – 59
Número de habitantes na vizinhança	0 – 102 614

5.3 Cenário Climático

O método escolhido para modelar a distribuição presente e futura das espécies foi o Maxent (Phillips et al., 2004), um método genérico de machine learning (Phillips et al., 2006) desenvolvido especificamente para modelar a distribuição de espécies com apenas dados de presença (Heikkinen et al., 2006; Elith et al., 2011). O Maxent utiliza os valores das covariáveis nos locais de ocorrência da espécie e uma amostra de valores do *background* para estimar a proporção entre a densidade de probabilidades das covariáveis nos pontos de ocorrência da espécie ($f_1(z)$) e a densidade de probabilidade das covariáveis na área considerada ($f(z)$). Para isto, o Maxent estima a $f_1(z)$ consistente com os dados de ocorrência, selecionando entre as várias distribuições possíveis, a mais semelhante a $f(z)$. Sem dados de ocorrência, não há razões para prever que a espécie tivesse preferências ambientais, prevendo-se que ocupe área considerada proporcionalmente às condições ambientais disponíveis. No Maxent, a distância entre $f_1(z)$ e $f(z)$ é considerada a entropia relativa de $f_1(z)$ em relação a $f(z)$ (Elith et al., 2011). Em suma, isto implica que, quando aplicado a dados com apenas presenças, o Maxent utiliza todos pixels da área de estudo como área de distribuição potencial, utiliza os pixels em que ocorrem as espécies como pontos de amostragem e as características de cada pixel, normalmente variáveis ambientais, como variáveis explicativas (Guisan et al., 2017). Isto é o equivalente a utilizar ocorrências do nicho realizado de uma espécie para tentar prever o seu nicho fundamental, caso este seja assumido como a distribuição potencial da espécie (Phillips et al., 2006).

O Maxent foi escolhido como método de modelação porque supera em desempenho outros métodos que utilizam também apenas dados de presença (Elith et al., 2006; Jeschke & Strayer, 2008; Gomes et al., 2018), produz bons resultados à escala regional e ao nível da espécie (Elith et al., 2006; Phillips et al., 2006), é amplamente utilizado em contexto de alterações climáticas (Hijmans & Graham, 2006; Loarie et al., 2008; Wiens et al., 2009; Yates et al., 2010; Qin et al., 2017; Abolmaali et al., 2018) e em estudos ecológicos por agências governamentais e de investigação (Porfirio et al., 2014; Coxen et al., 2017), e é um dos métodos mais robustos dentro dos modelos de envelopes ambientais (Coxen et al., 2017; Guisan et al., 2017).

Apesar do Maxent ser um método para apenas dados de presença, é importante que sejam incluídos na modelação pontos de *background* (Simon et al., 2013). Pretendendo-se modelar a distribuição de aves com elevada mobilidade, optou-se por não selecionar pseudoausências de modo totalmente aleatório, tal como sugerido por Marini et al. (2010). Assim, definiu-se um *buffer* de 20 km em redor de todas as presenças para, em seguida, se extraírem aleatoriamente 10 000 pontos utilizando a extensão do *raster* das variáveis, para tentar evitar pontos que pudessem corresponder a prováveis presenças das espécies (Fourcade et al., 2014).

Recorreu-se ao R (R Core Team, 2018) para correr o Maxent através do *package* “*dismo*” (Hijmans et al., 2017).

Em relação à personalização dos argumentos, foram realizados 10 replicados por espécie (Sales et al., 2017), com 30% dos dados a serem utilizados para teste através de *crossvalidation* (Giannini et al., 2012; Simon et al., 2013; Silva et al., 2018). Para os restantes parâmetros do Maxent foram mantidas as predefinições, nomeadamente valor de regularização = 1, iterações máximas = 500 e *threshold* de convergência = 0.00001 (Elith & Graham, 2009; Giannini et al., 2012).

Os modelos obtidos estimam uma probabilidade de ocorrência para a espécie (Phillips et al., 2006) que posteriormente foi convertida num mapa binário de presença/ausência (Marini et al., 2010; Simon et al., 2013). Recorreu-se ao *threshold* do máximo da soma da sensibilidade e especificidade (Vale et al., 2015; Sales et al., 2017), recomendado por ser uma abordagem que minimiza o erro de falsos positivos e falsos negativos (Liu et al., 2005; Freeman & Moisen, 2008), e utilizado para binarizar os

resultados obtidos e para avaliar o desempenho dos modelos. O *threshold* do máximo da soma da sensibilidade e especificidade equivale a encontrar o ponto da curva ROC (*receiver operationg characteristics*) onde o declive da tangente é igual a 1 (Liu et al., 2005). Num gráfico ROC, a taxa de verdadeiros positivos (sensibilidade) é traçada contra a taxa de falsos positivos (1 – especificidade), obtendo-se uma curva com valores entre 0 e 1 (Heikkinen et al., 2006; Freeman & Moisen, 2008; Thuiller et al., 2010). A área sob a curva obtida (AUC) foi a medida selecionada para avaliar o desempenho dos modelos, algo comum neste tipo de trabalhos (Souza et al., 2011; Gianninia et al., 2013; Guisan et al., 2017; Teixeira, 2018). De modo geral, modelos com bom desempenho têm valores de AUC perto de 1 e modelos com baixo desempenho têm valores perto de 0,5, limite equivalente a uma classificação aleatória das presenças e ausências (Freeman & Moisen, 2008). É de notal que, quando utilizados dados de apenas de presenças, o AUC máximo será inferior a 1 (Phillips et al., 2004).

Esta metodologia foi aplicada num *script* com *loop* em R, obtendo-se no final todos os mapas e métricas para as 27 espécies modeladas, tanto para o presente como para o cenário futuro. O mapa final de distribuição de cada espécie corresponde ao modelo médio dos 10 replicados obtidos, tendo sido classificado segundo o critério de Heikkinen et al. (2006), descrito na Tabela 5.4.

Tabela 5.4 – Classificação do desempenho dos modelos com base no valor de AUC segundo Heikkinen et al. (2006).

Valor de AUC	Desempenho do modelo
0.90 – 1.00	Excelente
0.80 – 0.90	Bom
0.70 – 0.80	Aceitável
0.60 – 0.70	Fraco
0.50 – 0.60	Muito fraco

Uma vez obtidos os mapas de presença/ausência para todas as espécies, estes foram utilizados para estimar a riqueza de espécies sensíveis ao Setor Eólico em cada píxel (min. = 0; máx. = 27), no presente e em 2050, para se realizar uma análise ao nível do grupo de aves sensíveis ao setor. Seguiu-se esta abordagem porque todas as espécies selecionadas para modelação tinham estatuto de conservação LC – Pouco Preocupante, focando-se assim no grupo e não cada espécie individual. Esta abordagem permitirá analisar uma espécie específica caso haja essa necessidade, algo que não seria possível caso se tivesse modelado diretamente a riqueza de espécies.

5.4 Cenário Expansão Humana

Foi criado um cenário de expansão humana relativamente simples, assumindo como base uma relação de proporcionalidade direta entre o tamanho das áreas urbanas e o respetivo número de habitantes.

Para o cenário de crescimento das áreas urbanas foram utilizadas duas estimativas do número de habitantes, uma referente a 2015, considerada como presente (IBGE, 2016), e uma para o futuro, designadamente para 2050 (IBGE, 2018). Foram ainda utilizados dados vetoriais georreferenciados das áreas urbanas para 2015 para caracterização da situação presente (Embrapa, 2018).

As estimativas do número de habitantes no presente, ao nível municipal, serviram para distribuir os habitantes pelos polígonos urbanos uma vez que eram representados por polígonos múltiplos (*multipolygons*), ou seja, um só Município poderia ter um ou mais polígonos associados. Por exemplo, o Município do Natal, no Rio Grande do Norte tinha uma estimativa de 857 263 habitantes, e era constituído por dois polígonos, um com 81 km² (68% da área) e outro com 37 km² (32%). Os habitantes do Município foram distribuídos proporcionalmente à área de cada polígono, recebendo o polígono maior 582 939 habitantes (68%) e o menor 274 324 habitantes (32%).

No cenário futuro pretendeu-se estimar a dimensão das áreas urbanas em 2050. Prevê-se que o crescimento da população do Brasil estabilize em 2047 (IBGE, 2018), pelo que a dimensão das áreas urbanas será máxima no ano em que for atingido o máximo populacional. Assim, no cenário futuro foi assumido que a dimensão das áreas urbanas seria igual à área atingida no ano de máximo populacional de cada Estado, uma vez que é a este nível que existem estimativas populacionais futuras (IBGE, 2018).

A área dos polígonos foi aumentada em função da taxa de crescimento da população entre 2015 e o ano do pico populacional do Estado em que cada Município se localiza. Regressando ao exemplo do Município do Natal, este insere-se no Estado do Rio Grande do Norte para o qual se prevê uma taxa de crescimento populacional de 13.3%, então a área de cada um dos polígonos que constitui este município foi aumentada também 13.3%.

Para que o aumento da área dos polígonos fosse espacialmente explícito, recorreu-se a uma função programada em R (Onkelinx, 2015) que faz pequenos incrementos aos polígonos até que estes atinjam uma área definida, com uma dada precisão. Antes de aplicar esta função foi necessário converter os polígonos para um sistema de coordenadas planares, escolhendo-se o sistema SIRGAS 2000/UTM zone 24S (EPSG: 31 984) por ser o fuso que ocupa maior extensão na AE. Terminado este processo, reconverteram-se os dados para SIRGAS 2000.

5.5 Cenário Expansão Setor Eólico

No cenário de Expansão do Setor Eólico optou-se pela versão *java* do Maxent (Phillips et al., 2019) para modelar a presença de aerogeradores por uma questão de facilidade de implementação. Foram utilizadas as predefinições dos parâmetros *features*, iterações máximas e *threshold* de convergência (Elith & Graham, 2009; Giannini et al., 2012). Selecionaram-se 10 000 pontos de *background* aleatórios e 10 replicações.

No cenário futuro foi assumido um crescimento constante de 1.9 GW/ano utilizando como referência os 15 GW instalados até abril de 2019 (ABEEólica, 2019) e os 28.5 GW estimados até 2026 (Ministério de Minas e Energia & Empresa de Pesquisa Energética, 2017). Foi assumido um crescimento constante e não exponencial por duas principais razões. A primeira passa pela estabilização da população do Brasil antes de 2050 (IBGE, 2018) que poderá resultar numa diminuição da procura energética. A segunda relaciona-se com o desenvolvimento da energia solar. Atualmente, esta fonte renovável tem instalados apenas 2.1 GW de potência (Agência Nacional de Energia Elétrica, 2019), mas com os recentes desenvolvimentos tecnológicos, a energia solar está a tornar-se mais rentável e competitiva estando já planeado um leilão para projetos com energia fotovoltaica num total de 26 GW (Empresa de Pesquisa Energética, 2019).

Para estimar a potência média instalada por píxel, recorreu-se a dados georreferenciados que descreviam 11.7 GW instalados e 7.2 GW por instalar, perfazendo 18.9 GW (Agência Nacional de Energia Elétrica, 2018). Assim, embora em 2019 estejam efetivamente instalados 15 GW de potência (ABEEólica, 2019), assumiu-se um total de 18.9 GW no presente para estimar a potência média instalada por píxel, obtendo-se 6.5 MW (0.0065 GW).

Por conseguinte, com base num crescimento anual de 1.9 GW/ano, prevê-se que em 2050 o Brasil tenha cerca de 75 GW instalados. Assume-se ainda que a representatividade do Nordeste na produção eólica será semelhante à atual, rondando os 80 – 90% (ABEEólica, 2018). Deste modo, o cenário de expansão do Setor Eólico terá instalados 50 GW de potência eólica adicionais. Foram preenchidos os píxeis com maior adequabilidade de instalação do setor do modelo obtido até perfazer este total, excluindo píxeis onde o setor já estivesse instalado. Foi ainda assumido que a área total de qualquer píxel com potência instalada correspondia a área afetada.

6. RESULTADOS

Seguidamente apresentam-se os resultados obtidos considerando globalmente o grupo de aves sensíveis selecionadas, nomeadamente em termos da distribuição da riqueza específica no Nordeste do Brasil e não da distribuição de cada espécie individual.

6.1 Cenário Climático

6.1.1 Alteração das Condições Climáticas no Nordeste

Em termos gerais, as temperaturas no Nordeste do Brasil irão aumentar no futuro (2050), em particular na região mais oeste. Já a precipitação irá diminuir, sobretudo nas regiões mais litorais.

A temperatura média anual (Figura 6.1 – mapa 1) aumentará em praticamente toda a AE, com particular destaque nas regiões mais oeste dos Estados do Maranhão, Piauí e Bahia. O intervalo médio diurno (Figura 6.1 – mapa 2) sofrerá uma diminuição a norte da AE e um aumento a sul. Por fim, a sazonalidade da temperatura (Figura 6.1 – mapa 3) terá um aumento em todo o Estado do Maranhão, no centro do Piauí e a Oeste da Bahia e uma diminuição nos restantes Estados.

Ocorrerá uma diminuição generalizada da precipitação anual (Figura 6.1 – mapa 4), com destaque para as zonas litorais dos Estados do Sergipe e Alagoas, a norte do Maranhão e a este e oeste do Estado da Bahia. Algumas zonas do Maranhão e da Bahia apresentarão ainda um pequeno aumento da precipitação anual. Em relação à precipitação do mês mais seco (Figura 6.1 – mapa 5), as zonas com uma redução superior serão o norte do Maranhão e o litoral do Sergipe, Alagoas e Bahia. Por fim, a precipitação do trimestre mais quente (Figura 6.1 – mapa 6) sofrerá uma redução generalizada, destacando-se de novo o Estado do Maranhão com a maior redução, mas algumas zonas por toda a AE apresentarão um aumento da precipitação no mês mais quente.

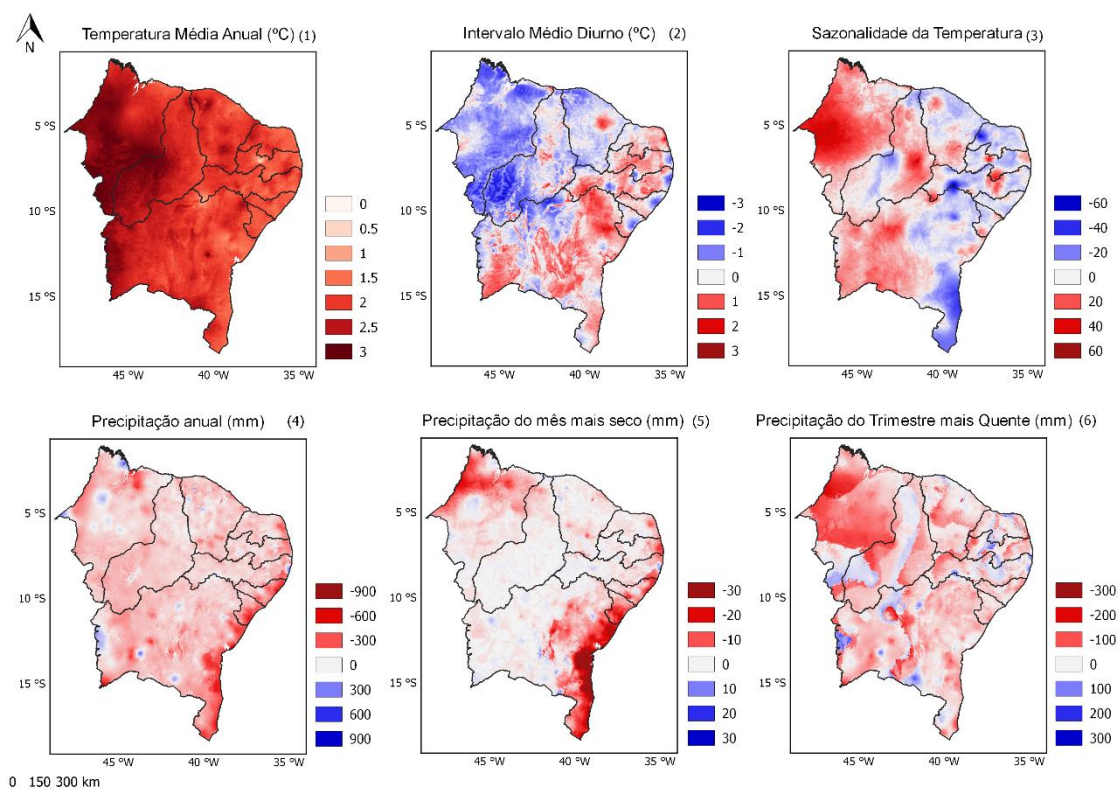


Figura 6.1 – Variação entre 2050 e o presente das variáveis bioclimáticas utilizadas nos modelos climáticos das espécies de aves sensíveis aos impactos do Setor Eólico no Nordeste do Brasil.

6.1.2 Desempenho dos Modelos Climáticos de Distribuição das Espécies

O desempenho geral dos modelos climáticos de distribuição das espécies no presente pode ser descrito como Bom, com um valor de AUC médio de 0.83, e variando entre 0.75 (Aceitável) e 0.90 (Excelente). É relevante realçar que existe uma correlação positiva entre as presenças das espécies e o valor de AUC dos modelos ($\rho = 0.67$; $p\text{-value} < 0.0001$), pelo que os modelos com menor número de presenças revelaram um desempenho inferior. Os resultados dos modelos de cada espécie estão descritos na Tabela A.3, em anexo.

As variáveis relacionadas com a temperatura representam cerca de 66% da importância nos modelos climáticos. De todas as variáveis, o Intervalo Médio Diurno é o preditor mais importante, representando 48% da importância, com uma variação entre 19% e 70%. A variável com menor importância é a Sazonalidade da Temperatura que representa apenas 5%, variando entre 1% e 15%. A importância média de cada variável nos modelos climáticos está indicada na Tabela 6.1 e a importância das variáveis nos modelos climáticos de cada espécie encontra-se descrita em maior detalhe na Tabela A.4 dos Anexos.

Tabela 6.1 – Importância média das variáveis bioclimáticas aplicadas nos modelos climáticos de distribuição das espécies calculada pelo Maxent (permutation importance).

VARIÁVEL	IMPORTÂNCIA (%)
Intervalo Médio Diurno	48.2
Precipitação Anual	14.9
Precipitação do Trimestre mais Quente	13.2
Temperatura Média Anual	13.0
Precipitação do Mês mais Seco	5.9
Sazonalidade da Temperatura	4.9

6.1.3 Distribuição da Riqueza de Espécies

A distribuição da riqueza de aves sensíveis não é homogênea. No presente, as zonas mais litorais do Nordeste são as mais ricas em número de espécies (Figura 6.2 – mapa 1). Já no futuro, parece dar-se um aumento generalizado do número de espécies de aves no Nordeste, com particular destaque na zona mais central dos Estados do Maranhão e Piauí, e ainda a norte do Estado da Bahia (Figura 6.2 – mapa 2).

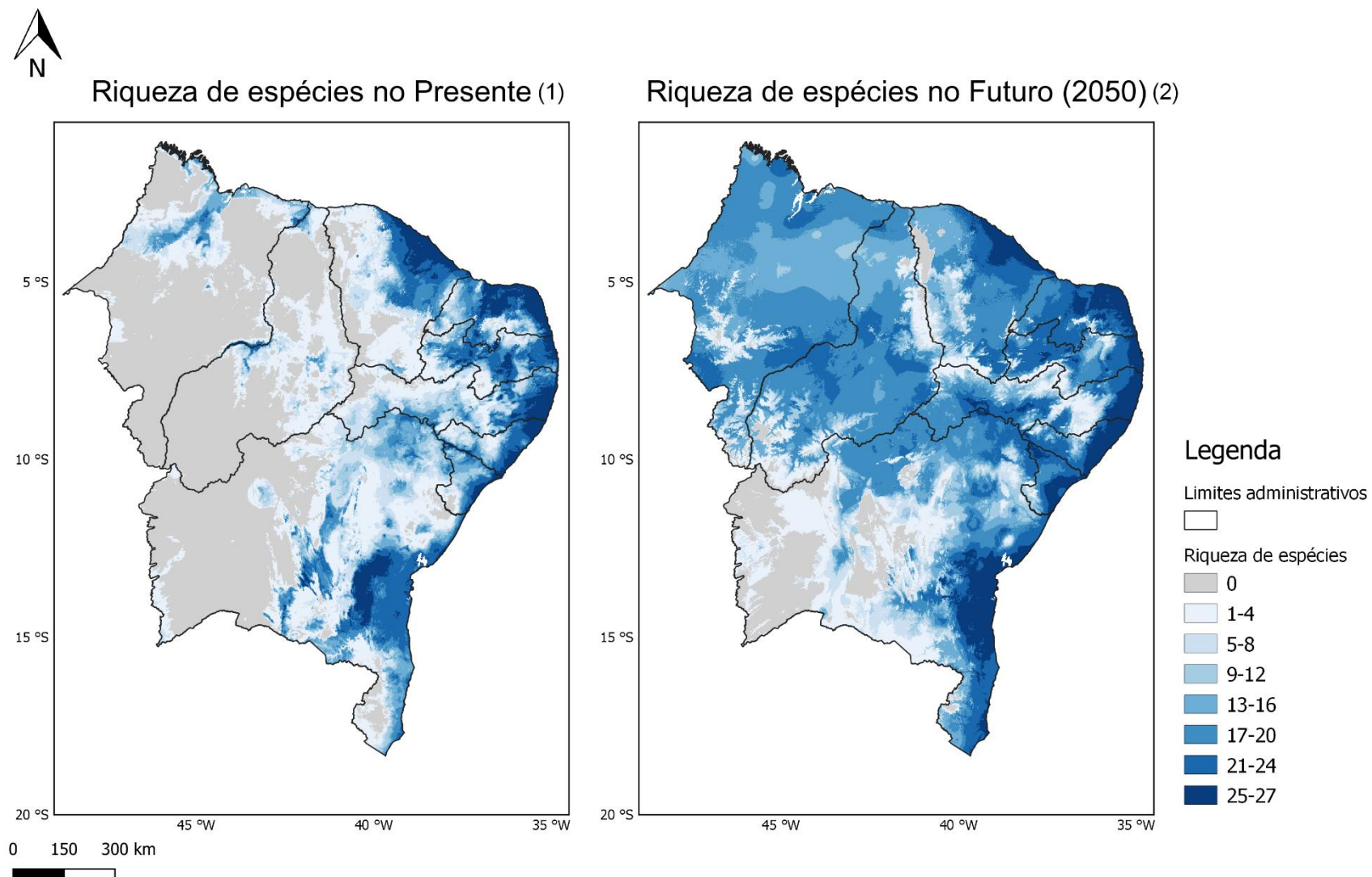


Figura 6.2 – Mapas de distribuição da riqueza de espécies de aves sensíveis aos impactos do Setor Eólico no Nordeste do Brasil no presente e no futuro (2050). Em ambas as figuras, quanto mais escuro o tom de azul, maior o número de espécies presentes no píxel. Locais sem ocorrência de qualquer espécie estão preenchidos a cinzento. Estes mapas foram construídos tendo em conta a distribuição das espécies de aves modelada com variáveis bioclimáticas.

A área de distribuição do conjunto das espécies no Nordeste aumentará no futuro, passando de 895.3 mil km² ocupados no presente para 1.4 milhões km² ocupados em 2050 (Tabela A.5 dos Anexos). Isto significa que as espécies passarão a ocupar 91% da AE no futuro comparativamente aos cerca de 58% ocupados no presente (Figura 6.3).

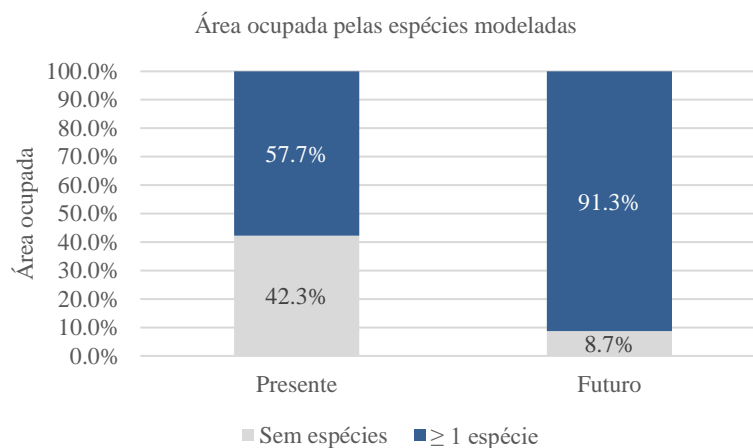


Figura 6.3 – Área ocupada pelas espécies de aves sensíveis ao Setor Eólico no Nordeste do Brasil, no presente e no futuro (2050).

No futuro (2050), diminuirá a área desocupada pelas espécies (cerca de 42.3% para 8.6%), aumentará a área ocupada por 11 – 26 espécies (25% para 71% da AE) e diminuirá ligeiramente a área com riqueza máxima de espécies (1.7% para 1.2%) (Figura 6.4).

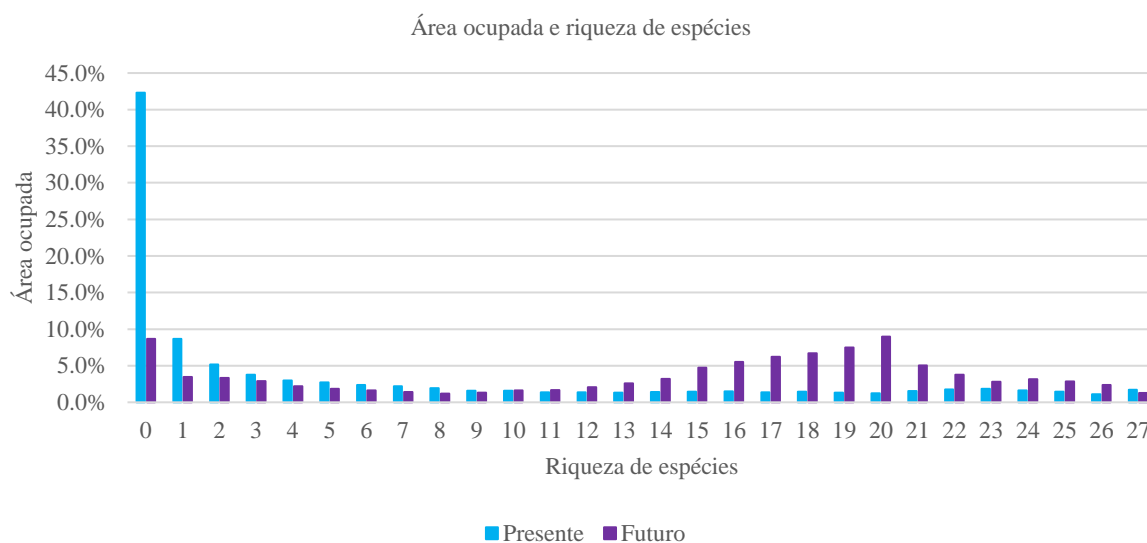


Figura 6.4 – Área ocupada pelas espécies de aves sensíveis aos impactos do Setor Eólico no Nordeste no presente e no futuro (2050).

No futuro, ocorrerá um aumento generalizado da riqueza de espécies em que 78.6% da AE. Cerca de 12.3% da AE apresentará uma diminuição do número de espécies e cerca de 9% AE continuará sem a ocorrência de qualquer uma das espécies modeladas (Figura 6.5).

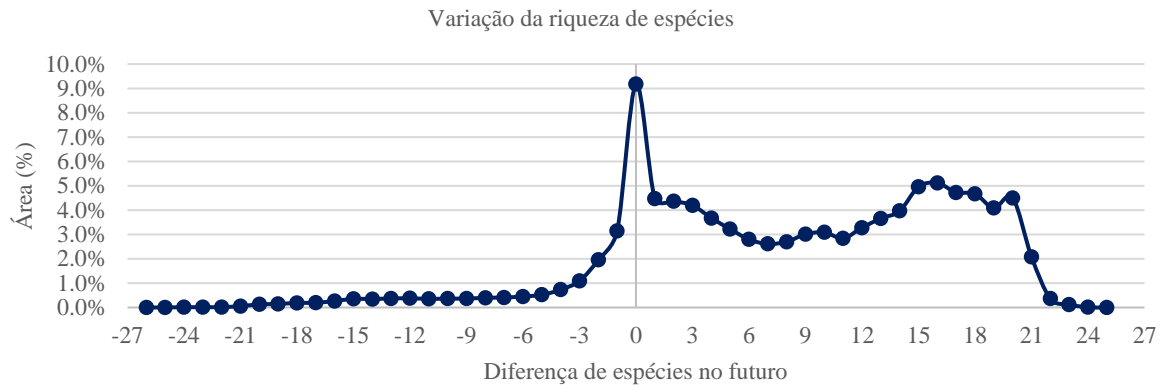


Figura 6.5 – Variação da área ocupada em função da diferença entre o número de espécies de aves sensíveis aos impactos do Setor Eólico no Nordeste no futuro (2050) e no presente.

A variação da riqueza de espécies de aves sensíveis aos impactos do Setor Eólico não se dá de igual modo por toda a Área de Estudo. Os Estados da Bahia, Pernambuco e Paraíba são os que terão maior perda de espécies, enquanto Maranhão, Piauí e Ceará terão os maiores ganhos (Figura 6.6). A região sudoeste da Bahia e algumas zonas perto da costa manterão a riqueza de espécies constante.

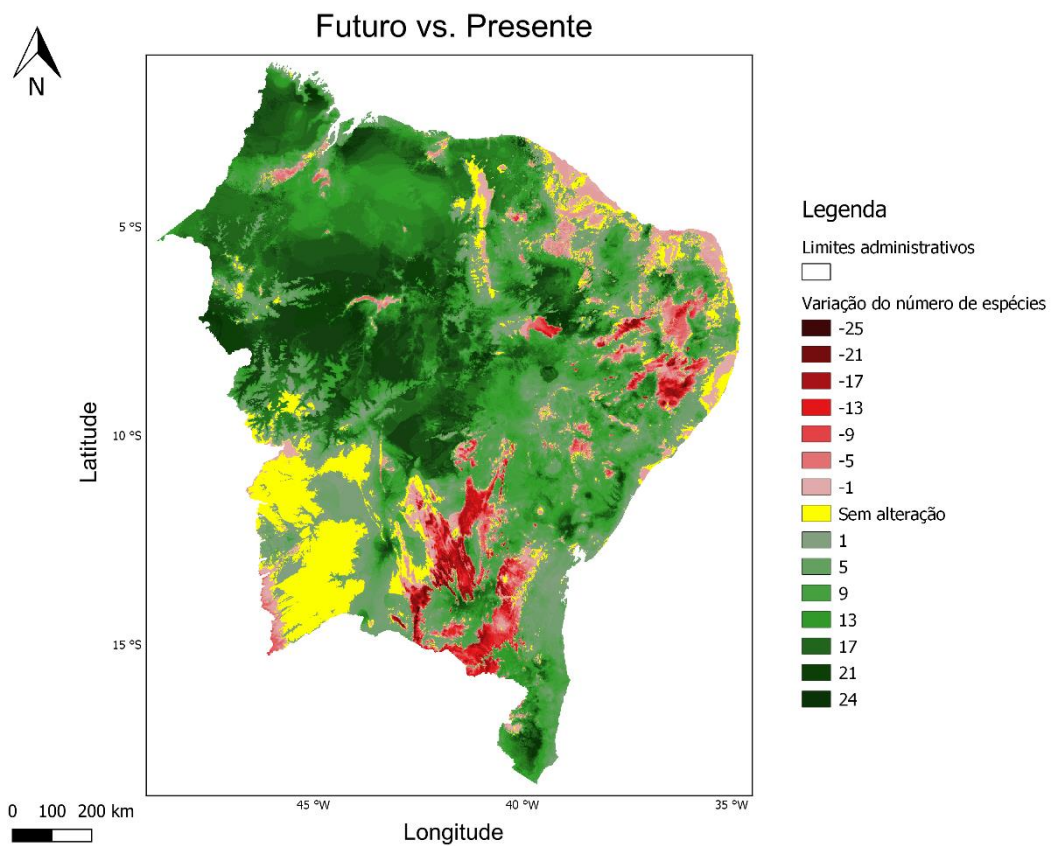


Figura 6.6 – Mapa com a variação de riqueza de espécies de aves sensíveis ao Setor Eólico entre o futuro (2050) e o presente com base nas variáveis bioclimáticas utilizadas na modelação da distribuição das espécies.

6.2 Cenário de Expansão Humana

6.2.1 Crescimento Populacional

Em 2015, o Estado mais populoso no Nordeste do Brasil era a Bahia e o menos populoso o Sergipe, sendo respectivamente os Estados de maior e menor área da região. Globalmente, a taxa de crescimento populacional no Nordeste até ao pico populacional de cada Estado será de cerca de 8.8%. Entre Estados, esta taxa varia entre 2.8% e 15.7%, respectivamente, para o Piauí que atingirá o pico populacional em 2031 e para o Sergipe que atingirá o pico populacional apenas em 2050 (**Error! Not a valid bookmark self-reference.**). A taxa de crescimento populacional entre 2015 e 2050 é inferior à entre 2015 e o pico populacional, sendo em média 4.0%. Isto relaciona-se com a diminuição do número de habitantes a partir do ano em que os Estados atingem o seu máximo populacional. Em particular, o Piauí terá uma taxa de -2.4%, estimando-se que em 2050 tenha menos habitantes que em 2015.

Tabela 6.2 – Estimativas da população dos Estados do Nordeste no presente (2015), no pico populacional de cada Estado e no futuro (2050) (valores adaptados de IBGE (2016)). São ainda apresentadas as taxas de crescimento nos dois períodos futuros em relação ao presente e as médias da região.

Estado	População 2015	Ano do pico populacional	Taxa crescimento 2015-Pico (%)	População pico populacional	Taxa crescimento 2015-2050 (%)	População 2050
Maranhão	6 799 008	2044	9.6	7 451 580	9.1	7 416 915
Piauí	3 211 683	2031	2.8	3 300 838	-2.4	3 133 173
Bahia	14 479 721	2034	4.7	15 165 211	0.9	14 611 703
Ceará	8 825 854	2041	9.1	9 628 163	0.0	8 826 756
Rio Grande do Norte	3 231 733	2046	13.3	3 662 243	0.1	3 233 283
Paraíba	3 693 684	2040	7.9	3 983 799	0.0	3 693 750
Pernambuco	9 303 353	2043	10.1	10 246 847	9.5	10 189 874
Alagoas	3 201 598	2038	6.3	3 401 683	3.1	3 299 325
Sergipe	2 140 609	2050	15.7	2 477 169	15.7	2 477 169
Nordeste	54 887 242	2040	8.8	59 317 534	4.0	56 881 946

O mapa espacialmente explícito obtido a partir do crescimento das áreas urbanas do Nordeste do Brasil entre 2015 e o pico populacional de cada Estado revela que este crescimento, tendo em conta exclusivamente o número de habitantes, será pequeno, sendo difícil observar diferenças entre o mapa do presente (Figura 6.7 – mapa 1) e o mapa do futuro (Figura 6.7 – mapa 2). Pode ainda ser consultado o mapa com a sobreposição do futuro e presente na Figura A.2, em anexo.

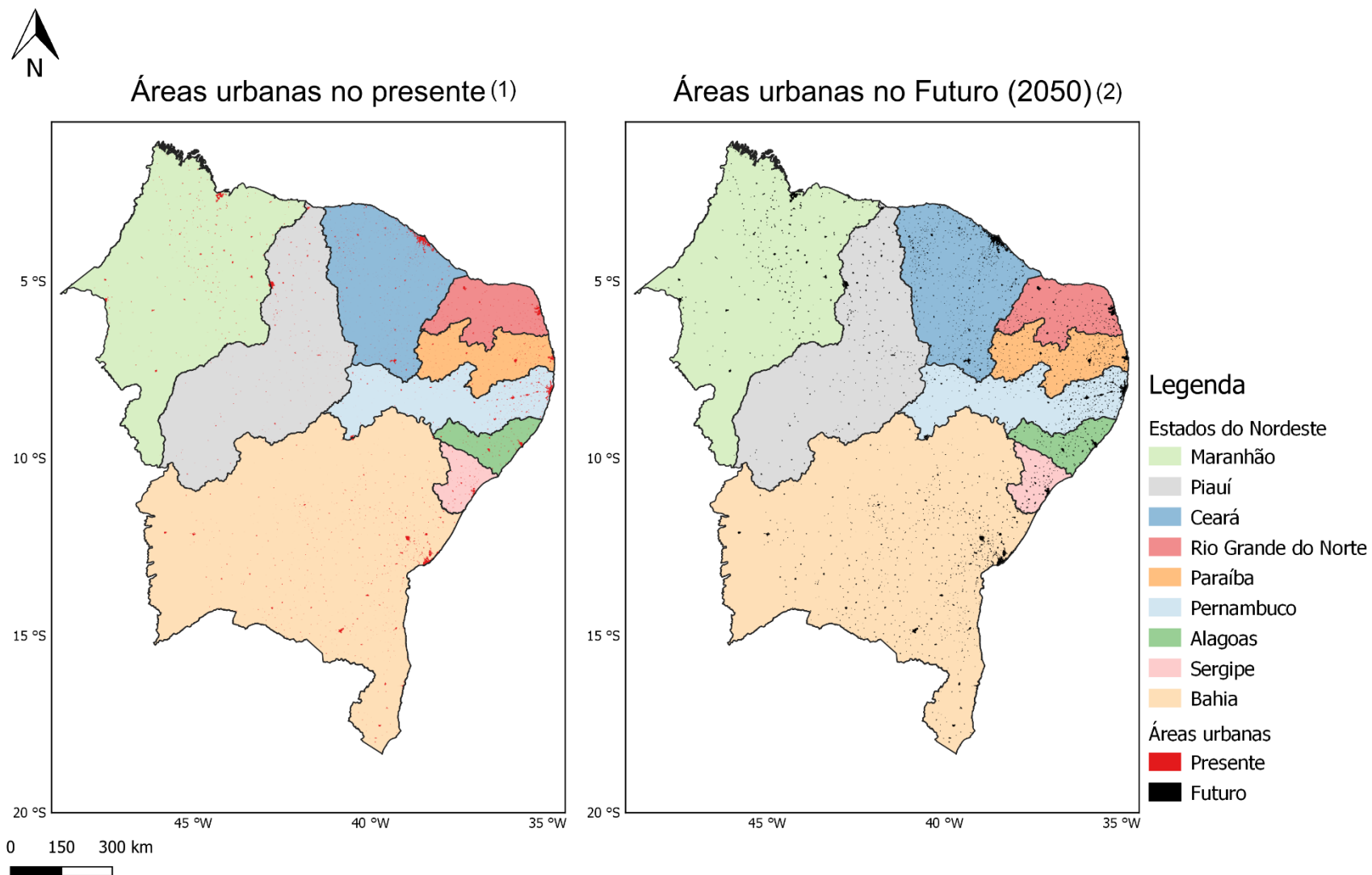


Figura 6.7 – Mapa com as áreas urbanas do Nordeste no presente e no futuro (2050).

6.2.2 Áreas Urbanas e Distribuição da Riqueza de Espécies

No presente, as áreas urbanas ocupam cerca de 10.9 mil km² no Nordeste do Brasil, valor que aumentará para cerca de 11.6 mil km² em 2050. Atualmente, estima-se que 14.8% das áreas urbanas não coincidam com locais de possível ocorrência de qualquer uma das espécies de aves sensíveis. No entanto, no futuro este valor diminui para cerca de 1.8% das áreas urbanas sem ocorrência de espécies de aves.

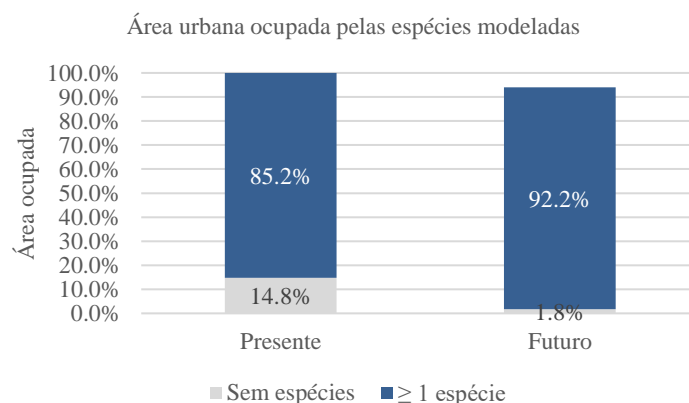


Figura 6.8 – Área urbana ocupada pelas espécies de aves modeladas, no presente e no futuro (2050).

As áreas urbanas, de modo geral, no futuro (2050), ocuparão zonas com um maior número de espécies de aves sensíveis no presente, aumentando as áreas com mais de 14 espécies presentes, passando de 57.8% para 84.5% das áreas urbanas. As exceções são os casos com 23 espécies (5.2% no presente, 4.9% no futuro) e com 27 espécies (17.1% no presente, 9.3% no futuro) que têm extensões superiores no presente (Figura 6.9).

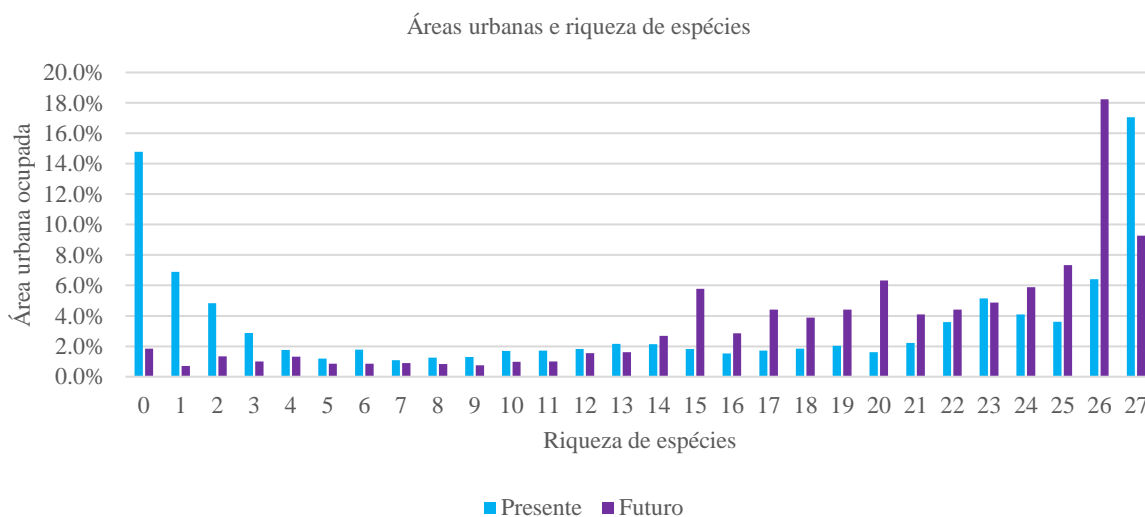


Figura 6.9 – Áreas urbanas e riqueza de espécies de aves sensíveis aos impactos do Setor Eólico no Nordeste do Brasil.

As áreas urbanas são de reduzida dimensão quanto tida em conta a distribuição global das espécies de aves sensíveis. Assim, no presente, as áreas urbanas ocupam cerca 1% da distribuição das espécies consideradas, valor que diminuiu para 0.7% no futuro (Anexos, Tabela A.5, cenário Expansão urbana). A diminuição da sobreposição entre áreas urbanas e a distribuição das espécies está relacionada com a variação da riqueza de espécies na AE, tal como se pode observar na Figura 6.10. Diversas manchas urbanas nos Estados da Bahia, Alagoas e Pernambuco localizam-se em zonas que verificarão uma redução do número de espécies presentes.

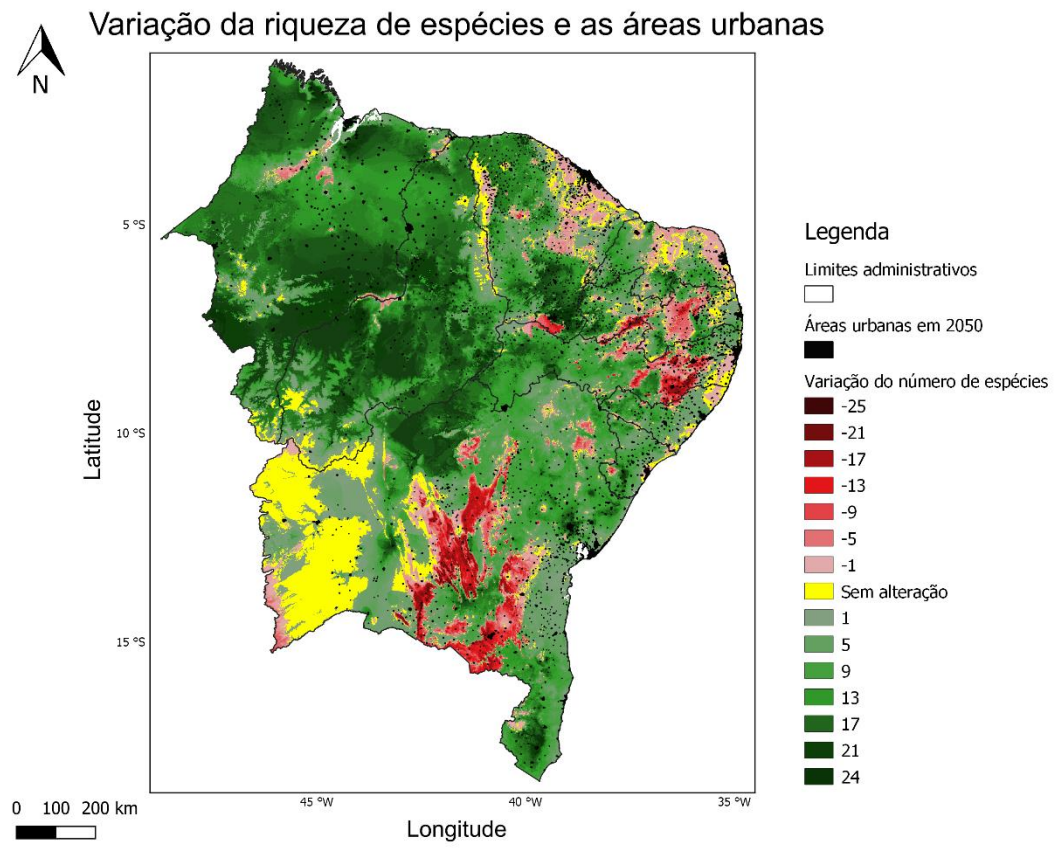


Figura 6.10 – Mapa com a variação de riqueza de espécies de aves sensíveis ao Setor Eólico entre o futuro (2050) e o presente com base nas variáveis bioclimáticas utilizadas na modelação da distribuição das espécies.

6.3 Cenário de Expansão do Setor Eólico

6.3.1 Desempenho do Modelo de Expansão Eólica

O valor de AUC do modelo médio de presença dos aerogeradores foi de 0.89, o que corresponde a um Bom desempenho. Dos preditores utilizados, o mais importante foi a velocidade do vento, representando 87.7% da importância das variáveis (Tabela 6.3).

Tabela 6.3 – Importância das variáveis do cenário eólico calculado pelo Maxent (permutation importance). As variáveis estão ordenadas pela sua importância no modelo.

VARIÁVEL	IMPORTÂNCIA (%)
Velocidade do vento	87.7
Número de aerogeradores na vizinhança	5.5
Distância a linhas de transmissão	3.4
Distância às Áreas Protegidas	2.7
Rugosidade	0.4
Distância a estradas	0.2
Cobertura florestal	0.1
Número de habitantes na vizinhança	0.0

6.3.2 Expansão do Setor Eólico e Distribuição da Riqueza de Espécies

Atualmente, o Setor eólico ocupa uma extensão de 3 558 km². No cenário construído, até 2050 serão ocupados mais 9 339 km² (Tabela 6.4). Assim, no futuro, o Setor Eólico ocupará aproximadamente 12 898 km² no Nordeste do Brasil, cerca de quatro vezes mais que a área atual.

Tabela 6.4 – Potência a instalar com base nos resultados da modelação do cenário de expansão do Setor Eólico.

SETOR EÓLICO	PÍXEIS	ÁREA (km ²)	POTÊNCIA (GW)
Instalado	2 928	3 559	18.9
A instalar até 2050	7 693	9 339	50.0
Total	10 621	12 898	68.9

Em geral, todos os Estados do Nordeste do Brasil terão uma expansão do Setor Eólico. O único Estado em que não se verifica esta expansão é o do Sergipe que tem potencial instalado no presente, mas não terá nova instalação de potencial eólico no cenário construído para 2050. Nos restantes Estados, a expansão do Setor Eólico dar-se-á na relativa proximidade dos locais já com aproveitamento eólico. Destacam-se, em particular, a região litoral dos Estados do Ceará e Rio Grande do Norte com uma elevada instalação, bem como o centro do Estado da Bahia e ainda a extremidade sul deste mesmo Estado (Figura 6.11; Figura A.3, em anexos).

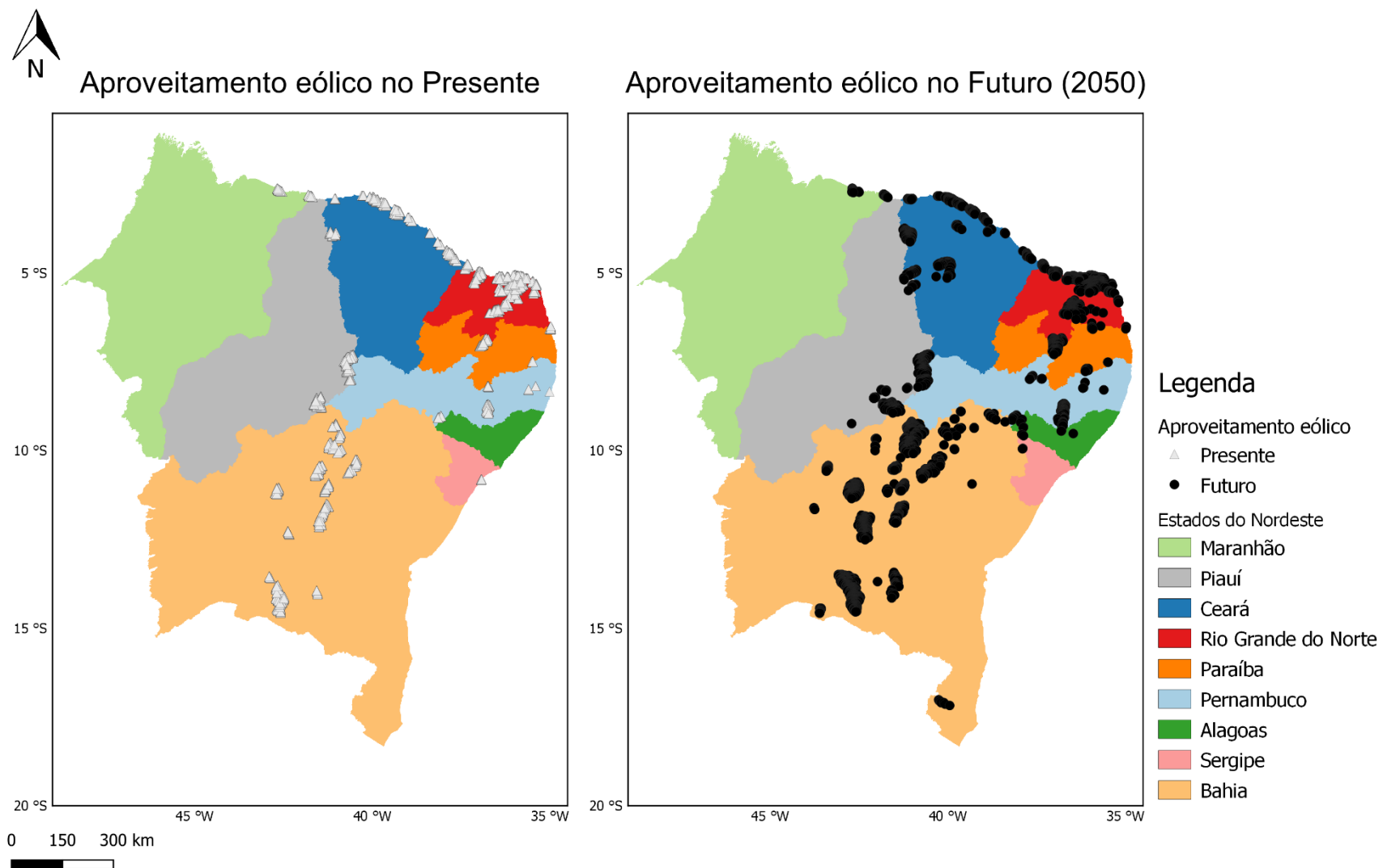


Figura 6.11 – Mapas de ocupação do Setor Eólico. O mapa da esquerda representa os locais com aproveitamento eólico no presente e a figura da direita representa os 50 GW a instalar até 2050.

Em relação à área de distribuição das espécies, no presente, estima-se que cerca de 10.2% da área ocupada pelo Setor Eólico não se sobreponha à área de distribuição de qualquer uma das espécies de aves sensíveis. No futuro, este valor aumentará para 17.5% (Figura 6.12).

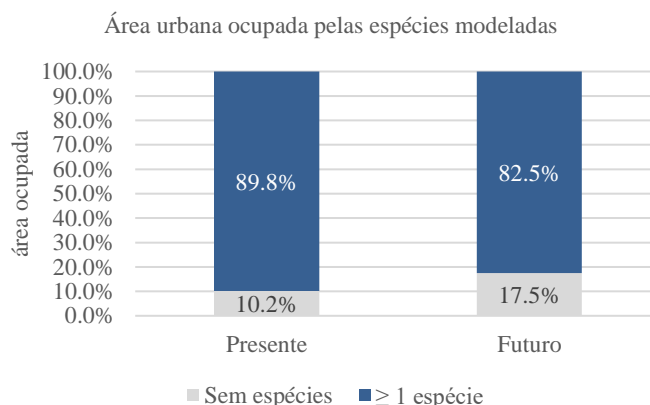


Figura 6.12 – Área do Setor Eólico ocupada pelas espécies de aves modeladas, no presente e no futuro (2050).

A riqueza de espécies manter-se-á relativamente constante nos locais com aproveitamento, estando no presente 68.5% da área do Setor Eólico ocupada por 2 a 26 espécies, e 67.8% no futuro. As principais diferenças de riqueza são nas zonas com apenas 1 espécie, relativamente superior no futuro (3.8% no presente; 9.3% no futuro) e zonas com o máximo de espécies, neste caso, valor bastante superior no presente (16.5% no presente; 1.2% no futuro).

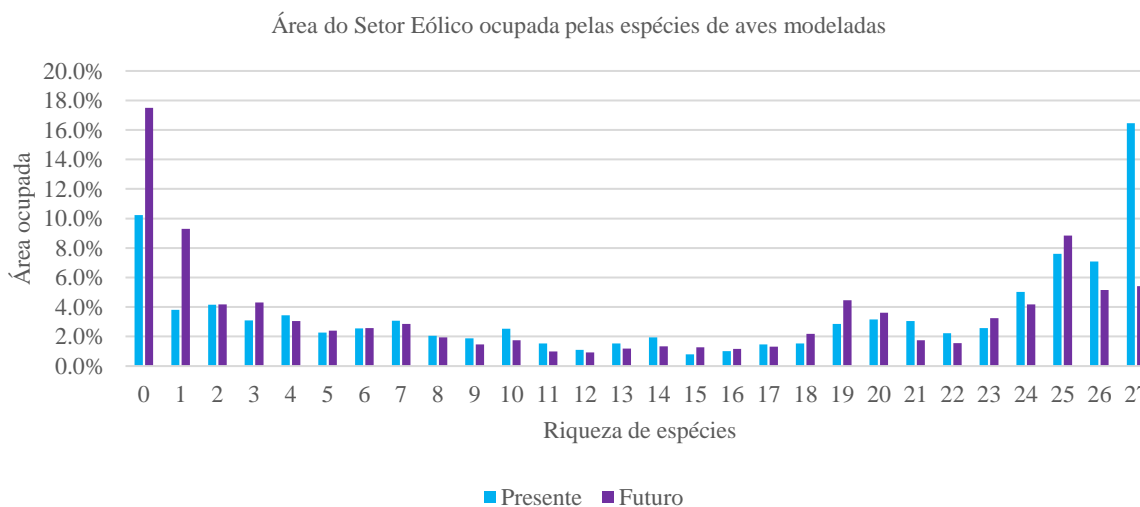


Figura 6.13 – Setor eólico e riqueza de espécies de aves sensíveis aos impactos do Setor Eólico no Nordeste do Brasil.

A diminuição da área com ocorrência de pelo menos uma das espécies nos locais com aproveitamento eólico no futuro relaciona-se com ocorrer uma diminuição da riqueza de espécies em muitos locais para onde o Setor Eólico se expandirá, tal como mostra a Figura 6.14. Exemplo disso são o centro do Estado da Bahia com grandes manchas com perda de espécies, bem como em Pernambuco e Paraíba (Figura A.4, em anexo).

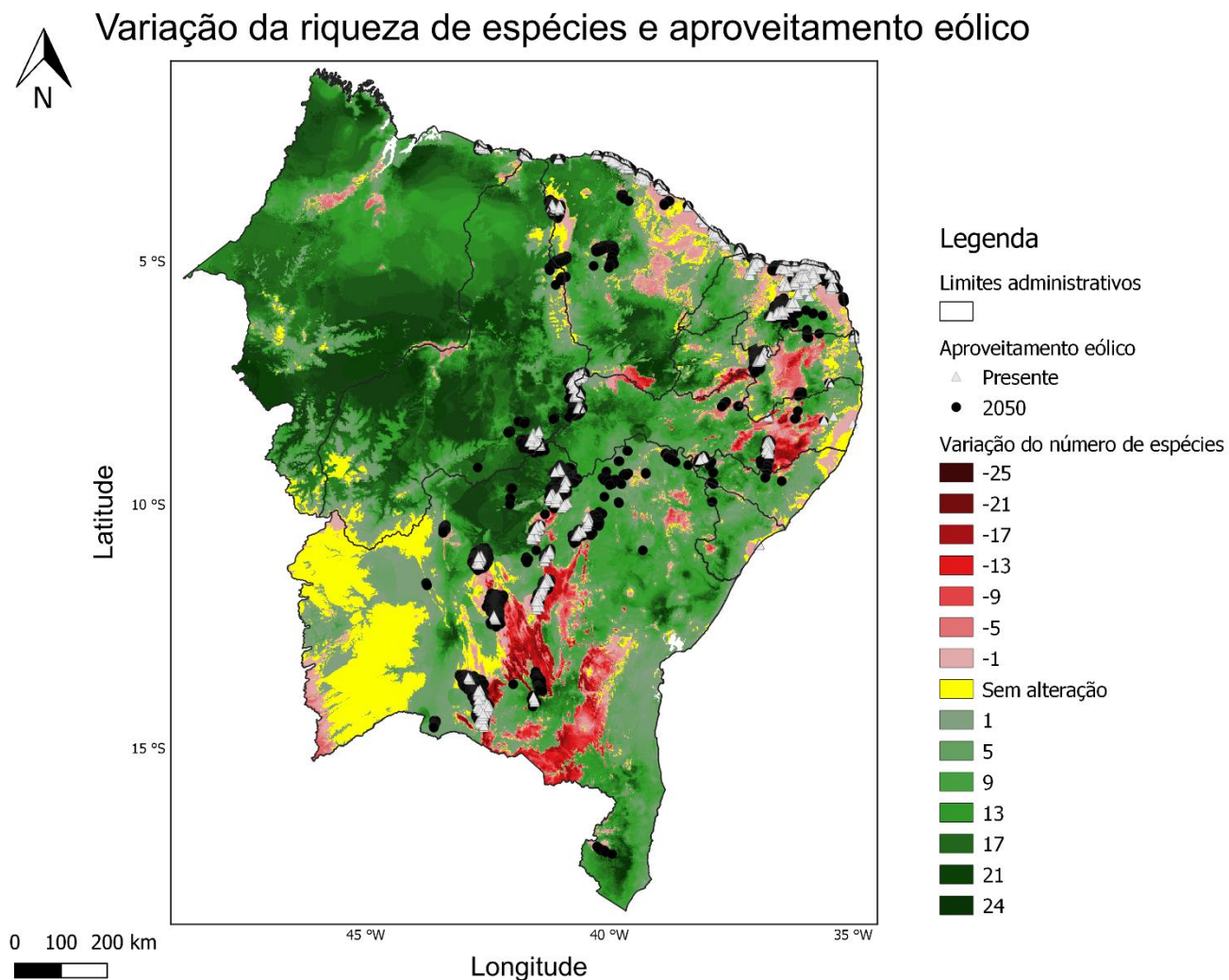


Figura 6.14 – Aproveitamento eólico e variação da riqueza de espécies de aves sensíveis aos impactos do setor no Nordeste do Brasil. Os píxeis com aproveitamento eólico no presente estão representados por triângulos brancos e os píxeis com futuro aproveitamento com círculos pretos.

Embora se preveja que a riqueza de espécies seja inferior nos locais onde o Setor Eólico está instalado e se irá instalar até 2050, é preciso ter em conta que o Setor Eólico praticamente quadruplica a área ocupada (3.6 mil km² no presente; 12.9 mil km² no futuro). Tendo em conta valores absolutos e não percentuais, em 2050, os aproveitamentos eólicos tenderão a ocupar uma maior área com espécies, independentemente da riqueza (Figura 6.15). Isto significa que aumenta a sobreposição do Setor Eólico na área ocupada pelas espécies, passando de 0.4% no presente para 0.8% em 2050 (Tabela A.5, em anexo).



Figura 6.15 – Setor eólico e área ocupada (km²) pelas espécies de aves sensíveis aos impactos do Setor Eólico no Nordeste do Brasil.

7. DISCUSSÃO

Os resultados obtidos sugerem que a área distribuição das espécies sensíveis aos impactos do Setor Eólico no Nordeste do Brasil consideradas neste trabalho será pouco impactada tanto pelo crescimento das áreas urbanas, como pela expansão do Setor Eólico no futuro (2050).

As áreas urbanas ocuparão cerca de 0.7% da área de distribuição das espécies no futuro, o que corresponde a cerca de 11.6 mil km², valor não muito superior ao verificado no presente (10.9 mil km²). O Setor eólico ocupará cerca de 0.8% da área de distribuição das espécies, o que corresponde a cerca de 12.9 mil km², quase quatro vezes a área ocupada no presente.

7.1 Limitações dos Cenários Construídos

Os resultados obtidos neste trabalho podem ser considerados globalmente satisfatórios e válidos, ainda que se possam reconhecer algumas limitações na metodologia adotada.

Os modelos de envelopes climáticos são bastante úteis para prever o efeito das alterações climáticas na distribuição das espécies (Pearson & Dawson, 2003; Hijmans & Graham, 2006; Jeschke & Strayer, 2008), mas como qualquer outro exercício de modelação, estão limitados pelas várias escolhas realizadas ao longo do processo, nomeadamente pela seleção das variáveis explicativas (Merow et al., 2013; Barbet-Massin & Jetz, 2014; Bradie & Leung, 2017).

A temperatura e a precipitação são os preditores mais importantes em exercícios de modelação de distribuição de espécies terrestres (Bradie & Leung, 2017). Como tal, neste trabalho optou-se também pela utilização destas variáveis, uma vez que foi já demonstrado que influenciam fortemente os limites de distribuição de espécies de aves (Böhning-Gaese & Lemoine, 2004). No entanto, é reconhecido que estudos sobre a distribuição de espécies terrestres no presente e no futuro, num contexto de alterações climáticas, podem beneficiar da inclusão de variáveis que descrevam a cobertura do solo e a distância a cursos de água (Guisan et al., 2017). Cenários de alterações da cobertura do solo para a Europa (Stürck et al., 2018; Rosalino et al., 2019) começaram já a ser utilizados em trabalhos de modelação de distribuição de algumas espécies (Rosalino et al., 2019). No entanto, no caso do Brasil, apesar de existirem já alguns estudos sobre alteração da cobertura do solo associada às alterações climáticas (Zanin et al., 2017), a informação existente ainda não está acessível com as características desejáveis para o cenário de 2050 criado neste trabalho. Optou-se assim por não incluir descritores de cobertura de solo, reconhecendo-se que isso pode em alguma medida limitar os modelos de distribuição das espécies construídos e deverá ser revisto assim que possível.

É também importante mencionar que a distribuição das espécies foi modelada apenas para o cenário RCP4.5. Embora a distribuição das espécies possa responder diferentemente aos vários cenários RCP, como verificado nalguns estudos (Coxen et al., 2017; Sales et al., 2017), a escolha de um cenário RCP intermédio é recorrente neste tipo de trabalhos (Nakicenovic & Swart, 2000; Cubasch et al., 2013). Adicionalmente, se desejado, é possível a aplicação de outro RCP que não o selecionado.

Em relação ao cenário de expansão urbana, assumiu-se uma abordagem simples e razoável, ainda que não tenham sido tidos em conta variáveis territoriais, como disponibilidade dos terrenos para expansão humana (McKee et al., 2015). O cenário construído foi limitado pelos dados disponíveis, mas poderá ser ajustado de acordo com a disponibilidade de nova informação atualizada. Reconhece-se ainda que outras atividades antropogénicas, como a reconversão do uso do solo, poderão influenciar os padrões de distribuição das espécies (La Sorte, 2006), algo que já se verifica noutros locais do mundo (Sohl, 2014; Carvalho et al., 2019; Rosalino et al., 2019).

Por fim, em relação ao cenário de expansão do Setor Eólico, o crescimento médio anual da potência instalada poderá aumentar com desenvolvimentos tecnológicos que venham a melhorar a eficiência e produção dos aerogeradores, tal como se verificou nas últimas três décadas (Bezerra, 2018). Um aumento da procura energética poderá também aumentar a oferta de energia eólica (Ministério de Minas e Energia & Empresa de Pesquisa Energética, 2017) e influenciar a potência a instalar. No entanto, tendo em conta que se poderá verificar um decréscimo populacional ainda antes de 2050 (IBGE, 2018), este fator poderá também vir a condicionar a procura energética e afetar assim a potência instalada. É importante referir ainda que não foram tidas em conta alterações na rede de distribuição de energia, um fator que poderá ser crítico na expansão do setor eólico (Ministério de Minas e Energia & Empresa de Pesquisa Energética, 2017). De qualquer modo, uma vez que o cenário construído assenta num modelo conceptual, à medida que for disponibilizada nova informação atualizada como, por exemplo, novos valores de potência instalada, o cenário construído poderá ser ajustado e melhorado.

7.2 Alterações Climáticas e a Distribuição da Riqueza de Espécies

No cenário climático para 2050, 24 das 27 espécies têm a sua distribuição alargada no Nordeste do Brasil segundo os modelos obtidos. A distribuição das espécies não é, no entanto, homogénea no Nordeste. Os Estados Maranhão e Piauí terão os maiores aumentos do número de espécies sensíveis e os Estados da Paraíba, de Pernambuco e da Bahia as maiores perdas. Estas variações parecem refletir, em grande medida, a variação esperada no intervalo médio diurno da temperatura, sendo que estes valores diminuem nos locais com ganho de espécies e aumentam em zonas com perda de espécies.

O alargamento da distribuição da maioria das espécies estará relacionado com as aves selecionadas para modelação serem generalistas residentes, comuns e relativamente abundantes (Piacentini et al., 2015), e terem uma grande capacidade de adaptação e tolerância a perturbações (Zanin et al., 2017; Laranjeiro et al., 2018). Estes padrões assemelham-se aos obtidos noutros trabalhos de modelação para outros grupos animais e áreas geografias, nomeadamente morcegos (Lundy et al., 2010), abelhas (Silva et al., 2015; Dew et al., 2019) e aves (Phipps et al., 2017), em que as espécies expandem a sua área de distribuição num contexto de alterações climáticas.

7.3 Expansão Humana e Distribuição da Riqueza das Espécies

O cenário da expansão humana até 2050 indica que o crescimento das áreas urbanas será relativamente pequeno, passando de 10.9 mil km² ocupados no presente para cerca de 11.6 mil km² em 2050. Este crescimento não implica um aumento percentual da sobreposição das áreas urbanas com a área de distribuição das espécies, mas antes uma ligeira diminuição. No presente, cerca de 1% das áreas urbanas coincidem com a área de distribuição das espécies sensíveis, valor que decresce para 0.7% no futuro. Isto acontece porque as espécies alargam mais a sua área de distribuição para zonas não urbanas do que as áreas urbanas se expandirão para locais com espécies sensíveis. (Figura 6.10).

No entanto, aumentará a riqueza de espécies sensíveis nas áreas urbanas, em particular locais com mais de 14 e menos de 27 espécies presentes. Isto indica que apesar de a sobreposição entre áreas urbanas e área de distribuição das espécies diminuir, a riqueza lá presente aumentará, como já verificado em trabalhos anteriores (Dew et al., 2019). Assim, continuará a existir um conflito com a potencial perda de área disponível para as espécies, realçando a importância do ordenamento planeado das áreas urbanas para coexistência com a biodiversidade que nelas possa ocorrer.

7.4 Expansão do Setor Eólico e Distribuição da Riqueza das Espécies

O crescimento do Setor Eólico foi estimado com base na instalação de 50 GW de potência até 2050, o que se considera um cenário razoável a 30 anos, tendo em conta que o Brasil passou de 0.027 GW instalados para 15 GW em apenas 15 anos. (ABEEólica, 2019). Os 70 GW totais estimados neste trabalho resultam da imposição de um limite temporal para a sua instalação. O valor estimado encontra-se perto das estimativas do potencial disponível no Nordeste realizadas pelo Atlas do Potencial Eólico Brasileiro que variam entre 75 e 309 GW (Amarante et al., 2001; Pereira, 2016; Bezerra, 2018), sendo que estas estimativas não têm um limite temporal associado. Outro estudo que estimou a potência instalada até 2050, previu cerca de 93 GW instalados (Gonçalves et al., 2017), um valor ligeiramente superior ao considerado neste trabalho.

Em relação à área ocupada pelo Setor Eólico, prevê-se que esta quase quadruplique no Nordeste, passando de 3.6 mil km² para cerca de 12.9 mil km² em 2050. Consequentemente aumentará a sobreposição do Setor Eólico com a área de distribuição das espécies de aves sensíveis, rondando os 0.8% em 2050 relativamente aos 0.4% verificados no presente.

No que diz respeito à riqueza de espécies presentes em locais com aproveitamento eólico, no presente, 10.2% da área ocupada pelo Setor Eólico não coincide com a área de distribuição das espécies sensíveis. Esta valor aumentará para 17.5% no futuro, em associação com a diminuição do número de espécies em locais para o setor se expandirá, nomeadamente na Bahia, Pernambuco e Bahia.

7.5 Implicações dos Resultados para a Gestão Ambiental

O bom desempenho dos modelos de distribuição de espécies fortalece a importância de fontes dados como o GBIF e o *SpeciesLink* para estudos sobre biodiversidade, por servirem de complemento ou alternativa viável à recolha de dados científicos no terreno (por exemplo, Atlas), quando os meios logísticos são escassos (Coxen et al., 2017; Tiago et al., 2017), ou quando a informação disponível se encontra dispersa e pouco acessível em geral, como é o caso de países como o Brasil.

Em relação à sobreposição do Setor eólico e das áreas urbanas na área de distribuição das espécies, o impacto poderá ser descrito como pouco significativo, tendo em conta que estes dois fatores ocuparão 0.8% e 0.7% da área de distribuição das espécies, respetivamente. Não obstante, é importante ter em conta que, ainda que a percentagem de sobreposição seja pequena, a área ocupada pelo Setor Eólico no futuro será cerca de quatro vezes superior à do presente e que existe uma relativa diversidade de espécies de aves sensíveis que não devem ser ignoradas por terem presentemente um estatuto de conservação LC (Pouco Preocupante). Em particular, não devem também ser esquecidos outros impactos negativos do setor nos locais de conflito, nomeadamente a mortalidade por colisão com aerogeradores (Kunz et al., 2007a; Powlesland, 2009; Saidur et al., 2011; Mascarenhas et al., 2015; AWWI, 2018).

Num processo de licenciamento ambiental, as principais partes interessadas são a Indústria que investe no setor, o Órgão Ambiental, que verifica a viabilidade do projeto e a Sociedade Civil que é impactada pelo projeto, tanto positiva como negativamente. O processo de licenciamento ambiental pretende assegurar a sustentabilidade entre economia, sociedade e ambiente. O trabalho desenvolvido poderá ser visto como uma ferramenta de apoio à avaliação de impactos, útil no processo de licenciamento ambiental por ter sido especialmente desenhada para uma componente ecológica e para o Setor Eólico, focando espécies sensíveis aos impactos deste setor.

Neste trabalho, o cenário desenvolvido para 2050 com a expansão das áreas urbanas e do Setor Eólico indica que o impacto destes será menos gravoso por ocorrer uma sobreposição residual entre os dois fatores e a área de distribuição das espécies de aves sensíveis. Ainda assim, continuará a existir um conflito entre a biodiversidade e o setor. Estes resultados espacialmente explícitos permitem antever um aumento da magnitude do conflito entre o setor e as espécies de aves sensíveis, assumindo-se, neste caso, que a magnitude é tanto maior quanto maior o número de espécies presentes no local, e que os locais de conflito serão na proximidade de zonas com aproveitamento eólico no presente.

A metodologia aplicada neste trabalho pode ser vista como um exemplo de uma ferramenta que avalia o impacto do conflito entre Setor Eólico e espécies de aves sensíveis, no presente e no futuro, de modo espacialmente explícito, e que permitirá otimizar as ações necessárias para assegurar a conservação da biodiversidade, antevendo os impactos numa fase precoce do licenciamento ambiental, podendo ainda a metodologia ser aplicada a outras espécies e áreas geográficas.

Este tipo de informação é relevante para as principais partes envolvidas no processo de licenciamento de um empreendimento eólico. A Indústria poderá otimizar a aplicação da hierarquia de mitigação com o aumento da previsibilidade da localização dos impactos. A hierarquia da mitigação prevê que primeiro se previnam, minimizem, restaurem e só depois se mitiguem os impactos (World Bank, 2012). Assim, esta ferramenta permitiria otimizar o investimento e antever riscos associados, ainda na fase de prevenção dos impactos. O Órgão Licenciador receberá informação mais clara e objetiva relacionada com a localização do conflito e outros impactos sobre as espécies para a tomada de decisão sobre o licenciamento do projeto. Por fim, cumprindo as expectativas destas partes interessadas e aplicando a mitigação necessária, a Sociedade Civil também será respeitada no processo de licenciamento, garantindo a sustentabilidade do processo.

8. PERSPETIVAS FUTURAS

No futuro será importante melhorar e ajustar os cenários construídos no presente trabalho tendo em conta outras variáveis explicativas, em particular, a reconversão do solo para agricultura e pecuária por ser uma importante causa da alteração de habitat que poderá influenciar a distribuição das espécies (Kalnay & Cai, 2003; Venter et al., 2016). As próprias alterações climáticas poderão vir a alterar os habitats existentes, devendo por isso ser incorporadas variáveis de cobertura do solo e principais biomas brasileiros em cenários futuros.

Será igualmente relevante explorar mais aprofundadamente trabalhos sobre o impacto das alterações climáticas na disponibilidade de vento. Alguns estudos revelam que as alterações climáticas poderão impactar os regimes de vento, e enquanto algumas regiões beneficiarão de um aumento da densidade de vento, outras sofrerão um decréscimo (McInnes et al., 2011; de Jong et al., 2019). É reconhecida a vulnerabilidade do sistema energético brasileiro às alterações climáticas, embora o planeamento a longo prazo ainda não contemple os seus impactos no setor energético (Schaeffer et al., 2008).

Os cenários construídos deverão ainda ser melhorados, incorporando uma componente de modelação conjunta dos componentes bioclimáticos, e de expansão humana e do setor eólico, permitindo aferir as suas interações, e indo além da sobreposição de efeitos analisada neste trabalho.

Trabalhos futuros poderão ainda focar espécies de aves endémicas ou especialistas, com distribuições mais restritas e que, conseqüentemente, poderão ser mais vulneráveis às alterações climáticas. Normalmente estas são espécies para as quais existem poucos registos por serem raras e/ou difíceis de observar, o que poderá condicionar o desempenho dos trabalhos de modelação. No entanto, em muitos casos, são estas mesmas espécies que mais podem beneficiar destes mesmos trabalhos (Guisan et al., 2017), para que se compreenda como e onde podem ser melhor empregues os esforços de gestão e conservação.

Por fim, seria ainda importante estender este tipo de trabalho a outros grupos prioritários como os morcegos, que também são suscetíveis aos impactos dos PE, nomeadamente à colisão com aerogeradores (Kunz et al., 2007a, 2007b; Cryan et al., 2014; Laranjeiro et al., 2018).

9. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Face às limitações de outras fontes energéticas renováveis, a energia eólica apresenta o maior potencial de aproveitamento num futuro próximo para satisfazer as necessidades energéticas do Brasil. A expansão do Setor Eólico é inevitável, tanto para diversificar a matriz energética e garantir a segurança energética do país (Cranmer et al., 2017), como para mitigar as consequências das alterações climáticas (Silveira et al., 2016), sendo que o Brasil assumiu o compromisso de reduzir em 37% as suas emissões de GEE em 2050 (Ministério de Minas e Energia & Empresa de Pesquisa Energética, 2017).

Atualmente, os reservatórios de água são o melhor método de armazenamento de energia do Brasil (Empresa de Comunicação do Brasil, 2017). Contudo, a produção hidroelétrica está muito vulnerável às alterações climáticas, devido à provável diminuição da disponibilidade de recursos hídricos, esperando-se que, a longo prazo, passe a ser complementar à energia eólica e deixe de ser a principal fonte energética do país (Empresa de Comunicação do Brasil, 2017; Ministério de Minas e Energia & Empresa de Pesquisa Energética, 2017). A energia solar terá provavelmente uma maior importância na matriz energética no futuro, sendo o Brasil um país de destaque no potencial solar disponível. A região com pior irradiação do Brasil tem um potencial estimado de 1 500 KWh/ano, valor superior, por exemplo, à região da Alemanha com melhor irradiação solar (Empresa de Comunicação do Brasil, 2017) que é atualmente um dos países líderes na produção de energia solar (International Energy Agency, 2019). Recentemente, foram já cadastrados mais de 26 GW de energia fotovoltaica (Empresa de Pesquisa Energética, 2019), demonstrando o crescimento desta fonte energética no Brasil. No entanto, o armazenamento da energia produzida durante o dia para utilização durante a noite é ainda um enorme desafio desta fonte renovável (Empresa de Comunicação do Brasil, 2017).

Os resultados obtidos com o presente trabalho de modelação indicam que que, a médio prazo, o impacto da expansão das áreas urbanas e do Setor Eólico no Nordeste do Brasil sobre área de distribuição das espécies de aves será de magnitude baixa, uma vez que ambos afetarão, respetivamente, 0.7% e 0.8% da mesma no futuro. Isto deve-se essencialmente a dois fatores. Por um lado, a enorme dimensão da região do Nordeste (cerca de 1.5 milhões de km²) em comparação com a área ocupada tanto pelas áreas urbanas como pelo Setor Eólico (< 13 mil km²). Por outro lado, o alargamento da área de distribuição da maioria das espécies em função das alterações climáticas, de acordo com os modelos obtidos.

No entanto, é importante ter em conta que o impacto descrito se refere à instalação de 50 GW de potência e que tanto pelas estimativas deste trabalho como pelas estimativas de outras fontes (Gonçalves et al., 2017; Bezerra, 2018), o potencial só no Nordeste do Brasil poderá ser muito superior a este valor. É importante ter em conta que as alterações climáticas poderão ainda influenciar as espécies de outras formas diretas ou indiretas, nomeadamente afetando o seu sucesso reprodutor por alteração das interações bióticas ou por diminuição de qualidade das condições do meio, algo já esperado para outros grupos animais (Silva et al., 2015). Assim, o conflito entre o setor eólico e a biodiversidade poderá ser superior uma vez que o principal impacto negativo dos PE é a mortalidade por colisão com os aerogeradores. Este impacto poderá ter um efeito aditivo a outros impactos, podendo refletir-se em alterações nas populações locais, algo ainda pouco tido em conta nas análises de impacto (Drewitt & Langston, 2006; Arnett et al., 2007; AWWI, 2018).

Neste contexto, e à semelhança do efetuado neste trabalho, é importante continuar a desenvolver e aprofundar abordagens metodológicas que possam ser usadas como ferramentas no processo de avaliação ambiental, auxiliando na determinação dos impactos do setor eólico. Para além de focarem, o impacto da perda de área de distribuição como analisado aqui, estes estudos deverão também vir a incidir sobre a mortalidade por colisão, por exemplo, permitindo identificar locais de concentração de espécies

sensíveis no futuro. A produção de informação clara, objetiva e espacialmente explícita, permitirá antever conflitos e dar resposta às expectativas das várias partes envolvidas no processo de avaliação ambiental e ajudar no desenvolvimento de estratégias de conservação e minimização de impactos de PE. Em particular, estudos envolvendo o uso de cenários futuros espacialmente explícitos serão úteis para antever zonas de elevado conflito e locais onde seja prioritário aplicar estratégias atempadamente para salvaguardar a biodiversidade.

ANÁLISE CRÍTICA AO ANO DE ESTÁGIO

Decorrido o ano de estágio na Bioinsight, concluo que tive uma experiência muito enriquecedora, tanto ao nível profissional como pessoal, realçando a enorme importância de ter tido a oportunidade de estagiar numa empresa da minha área de estudos e aprender num contexto fora do mundo académico.

Durante o meu tempo na Bioinsight, tive a oportunidade de contactar com diversos projetos da empresa, nacionais e internacionais, e assim alargar o meu leque de competências e aprofundar, num contexto empresarial, os conhecimentos adquiridos ao longo do primeiro ano de Mestrado. Assisti a várias formações internas (relacionadas com procedimento de Avaliação de Impacto Ambiental (AIA) e pós-AIA, Sistemas de Informação Geográfica (SIG), descritor Ecologia em Estudos de Impacto Ambiental (EIA) e ainda com *soft skills*), participei ativamente em diversos projetos técnicos (um EIA e duas monitorizações, uma delas com saída de campo) e ainda estive envolvida no desenvolvimento de novos projetos de IDI com uma forte componente de programação e SIG, que são as minhas principais áreas de interesse. Destes novos projetos de IDI, um deles resultou numa formação em que fui co-formadora de um novo processo de trabalho interno e os restantes três resultaram em apresentações orais em eventos internacionais.

Estagiar numa empresa durante o segundo ano de Mestrado foi uma etapa fundamental não só para integração dos conhecimentos adquiridos durante o primeiro ano, mas também para a sua aplicação em projetos reais, tendo oportunidade de perceber como é o dia-a-dia de uma empresa de consultoria ambiental.

REFERÊNCIAS

- Abbasi, S. A., Tabassum-Abbasi, & Abbasi, T. (2016). Impact of wind-energy generation on climate: A rising spectre. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 59(1), 1591–1598. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2015.12.262>
- ABEEólica. (2018). *Boletim Anual de Geração Eólica 2017*. Bela Vista, São Paulo: Grupo424.
- ABEEólica. (2019). *Números ABEEólica - Fevereiro 2019*. Bela Vista, São Paulo: ABEEólica.
- Abolmaali, S. M.-R., Tarkesh, M., & Bashari, H. (2018). MaxEnt modeling for predicting suitable habitats and identifying the effects of climate change on a threatened species, *Daphne mucronata*, in central Iran. *Ecological Informatics*, 43(1), 116–123. <https://doi.org/10.1016/j.ecoinf.2017.10.002>
- Agência Nacional de Energia Elétrica. (2018). Usinas elioelétricas - EOL e Aero geradores. Obtido 25 de Janeiro de 2019, de Sistema de Informações Georreferenciadas do Setor Elétrico website: <https://sigel.aneel.gov.br/portal/home/index.html>
- Agência Nacional de Energia Elétrica. (2019). Matriz de Energia Elétrica. Obtido 2 de Maio de 2019, de Banco de Informações de Geração website: <http://www2.aneel.gov.br/aplicacoes/capacidadebrasil/OperacaoCapacidadeBrasil.cfm>
- Almeida, A. N. de, Oliveira, N. B. de, Silva, J. C. G. L. da, & Angelo, H. (2016). Principais deficiências dos estudos de impacto ambiental. *Revista Brasileira de Gestão Ambiental e Sustentabilidade*, 3(4), 3–14. <https://doi.org/10.21438/rbgas.030401>
- Alves, J. J. A. (2010). Análise regional da energia eólica no Brasil Regional. *Revista Brasileira de Gestão e Desenvolvimento Regional*, 6(1), 165–188.
- Amarante, O. A. C. do, Brower, M., Zack, J., & Sá, A. L. de. (2001). *Atlas do Potencial Eólico Brasileiro*. Brasília: CEPEL.
- Ambiens Consultoria e Projetos Ambientais Eireli. (2018). *Relatório de Impacto Ambiental - RIMA. Produção de Energia Eólica. Município de Bom Jardim da Serra/SC. Complexo de Geração Eólica Cânion do Funil Ltda*. Florianópolis, Santa Catarina: Ambiens Consultoria Ambiental.
- Arbore Engenharia. (2012). *RIMA - Relatório de Impacto Ambiental. Complexo Eólico - Eólicas do Sul. Parque Eólico Água Santa. Parque Eólico Serra da Esperança. Parque Eólico Rotas das Araucárias*. Município Palmas - Paraná: Arbore Engenharia.
- Arnett, E. B. (2007). *Presence, Relative Abundance and Resource Selection of Bats in Managed Forest Landscapes in West Oregon*. Oregon State University.
- Arnett, E. B., Inkley, D. B., Johnson, D. H., Larkin, R. P., Manville, A. M., Mason, R., Morrison, M., Strickland, M. D., & Thresher, R. (2007). Impacts of Wind Energy Facilities on Wildlife and Wildlife Habitat. Em *Technical Review 07-2*. Bethesda, Maryland, USA: Wildlife Society.
- AWWI. (2018). *Wind Turbine Interactions with Wildlife and Their Habitats: A Summary of Research Results and Priority Questions*. Washington, DC: American Wind Wildlife Institute.
- Azevedo, J. P. M. de, Nascimento, R. S. do, & Schram, I. B. (2017). Energia eólica e os impactos ambientais: um estudo se revisão. *Uningá*, 51(1), 101–106.
- Balmford, A. (2005). ECOLOGY: The Convention on Biological Diversity's 2010 Target. *Science*, 307(5707), 212–213. <https://doi.org/10.1126/science.1106281>
- Barbet-Massin, M., & Jetz, W. (2014). A 40-year, continent-wide, multispecies assessment of relevant climate predictors for species distribution modelling. *Diversity and Distributions*, 20(11), 1285–1295. <https://doi.org/10.1111/ddi.12229>

- Barclay, R. M. R., & Cryan, P. M. (2009). Causes of Bat Fatalities at Wind Turbines: Hypotheses and Predictions. *Journal of Mammalogy*, *90*(6), 1330–1340. <https://doi.org/10.1644/09-MAMM-S-076R1.1>
- Barthelmie, R. J., & Pryor, S. C. (2014). Potential contribution of wind energy to climate change mitigation. *Nature Climate Change*, *4*(8), 684–688. <https://doi.org/10.1038/nclimate2269>
- Bernardino, J., Bispo, R., Costa, H., & Mascarenhas, M. (2013). Estimating bird and bat fatality at wind farms: a practical overview of estimators, their assumptions and limitations. *New Zealand Journal of Zoology*, *40*(1), 63–74. <https://doi.org/10.1080/03014223.2012.758155>
- Bezerra, F. D. (2018). Energia Eólica gera Riquezas no Nordeste. *Caderno Setorial ETENE*, Ano 3(4), 1–20.
- BirdLife International. (2019). Country profile: Brazil. Obtido 23 de Janeiro de 2019, de Data Zone website: <http://datazone.birdlife.org/country/brazil>
- Böhning-Gaese, K., & Lemoine, N. (2004). Importance of Climate Change for the Ranges, Communities and Conservation of Birds. *Advances in Ecological Research*, *35*(04), 211–236. [https://doi.org/10.1016/S0065-2504\(04\)35010-5](https://doi.org/10.1016/S0065-2504(04)35010-5)
- Bradie, J., & Leung, B. (2017). A quantitative synthesis of the importance of variables used in MaxEnt species distribution models. *Journal of Biogeography*, *44*(6), 1344–1361. <https://doi.org/10.1111/jbi.12894>
- Brooks, T. M., Mittermeier, R. A., da Fonseca, G. A. B., Gerlach, J., Hoffmann, M., Lamoreux, J. F., Mittermeier, C. G., Pilgrim, J. D., & Rodrigues, A. S. L. (2006). Global Biodiversity Conservation Priorities. *Science*, *313*(5783), 58–61. <https://doi.org/10.1126/science.1127609>
- Bruckner, T., Bashmakov, I. A., Mulugetta, Y., Chum, H., Navarro, A. de la V., Edmonds, J., ... Zhang, X. (2014). Energy Systems. Em O. Edenhofer, R. Pichs-Madruga, Y. Sokona, E. Farahani, S. Kadner, K. Seyboth, ... J. C. Minx (Eds.), *Climate Change 2014: Mitigation of Climate Change. Contribution of Working Group III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA: Cambridge University Press.
- Cardinale, B. J., Duffy, J. E., Gonzalez, A., Hooper, D. U., Perrings, C., Venail, P., ... Naeem, S. (2012). Biodiversity loss and its impact on humanity. *Nature*, *486*, 59–67. <https://doi.org/10.1038/nature11148>
- Carneiro, T. C., & Carvalho, P. C. M. de. (2015). Caracterização de Potencial Eólico : Estudo de Caso para Maracanaú (Ce), Petrolina (Pe) E Parnaíba (Pi). *Revista Brasileira de Energia Solar*, *6*(1), 1–10.
- Carvalho, J. S., Graham, B., Rebelo, H., Bocksberger, G., Meyer, C. F. J., Wich, S., & Kühl, H. S. (2019). A global risk assessment of primates under climate and land use/cover scenarios. *Global Change Biology*, *00*(1), 1–16. <https://doi.org/10.1111/gcb.14671>
- CEMAVE. (2014). *Resultado da Avaliação do Estado de Conservação das Aves Brasileiras Ciclo 2010-2014*. Cabedelo, Paraíba: ICMBio/MMA.
- COPPETEC-UFRJ. (2019). Catálogo Taxonômico da Fauna do Brasil. Obtido 23 de Janeiro de 2019, de Catálogo Taxonômico da Fauna do Brasil (CTFB) website: <http://fauna.jbrj.gov.br/fauna/listaBrasil/ConsultaPublicaUC/ConsultaPublicaUC.do>
- Copping, A., Gartman, V., May, R., & Bennet, F. (2019). Wind Energy and Wildlife Impacts. Em R. Bispo, J. Bernardino, H. Coelho, & J. Lino Costa (Eds.), *Wind Energy and Wildlife Impacts*. <https://doi.org/10.1007/978-3-030-05520-2>
- Coxen, C. L., Frey, J. K., Carleton, S. A., & Collins, D. P. (2017). Species distribution models for a

- migratory bird based on citizen science and satellite tracking data. *Global Ecology and Conservation*, 11(1), 298–311. <https://doi.org/10.1016/j.gecco.2017.08.001>
- Cranmer, A., Smetzer, J. R., Welch, L., & Baker, E. (2017). A Markov model for planning and permitting offshore wind energy: A case study of radio-tracked terns in the Gulf of Maine, USA. *Journal of Environmental Management*, 193(1), 400–409. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2017.02.010>
- Cryan, P. M., Gorresen, P. M., Hein, C. D., Schirmacher, M. R., Diehl, R. H., Huso, M. M., ... Dalton, D. C. (2014). Behavior of bats at wind turbines. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 111(42), 15126–15131. <https://doi.org/10.1073/pnas.1406672111>
- Cubasch, U., Wuebbles, D., Chen, M.C. Facchini, D. Frame, N. Mahowald, & J.-G. Winther. (2013). Introduction. Em T. F. Stocker, D. Qin, G.-K. Plattner, M. Tignor, S. K. Allen, J. Boschung, ... P. M. Midgley (Eds.), *Climate Change 2013 - The Physical Science Basis* (pp. 119–158). <https://doi.org/10.1017/CBO9781107415324.007>
- de Jong, P., Barreto, T. B., Tanajura, C. A. S., Kouloukoui, D., Oliveira-Esquerre, K. P., Kiperstok, A., & Torres, E. A. (2019). Estimating the impact of climate change on wind and solar energy in Brazil using a South American regional climate model. *Renewable Energy*, 141(1), 390–401. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2019.03.086>
- Dew, R. M., Silva, D. P., & Rehan, S. M. (2019). Range expansion of an already widespread bee under climate change. *Global Ecology and Conservation*, 17, e00584. <https://doi.org/10.1016/j.gecco.2019.e00584>
- Drewitt, A. L., & Langston, R. H. W. (2006). Assessing the impacts of wind farms on birds. *Ibis*, 148(1), 29–42. <https://doi.org/10.1111/j.1474-919X.2006.00516.x>
- Drewitt, A. L., & Langston, R. H. W. (2008). Collision Effects of Wind-power Generators and Other Obstacles on Birds. *Annals of the New York Academy of Sciences*, 1134(1), 233–266. <https://doi.org/10.1196/annals.1439.015>
- Elith, J., & Graham, C. H. (2009). Do they? How do they? WHY do they differ? On finding reasons for differing performances of species distribution models. *Ecography*, 32(1), 66–77. <https://doi.org/10.1111/j.1600-0587.2008.05505.x>
- Elith, J., Graham, C. H., Anderson, R. P., Dudík, M., Ferrier, S., Guisan, A., ... Lehmann, A. (2006). Novel methods improve prediction of species' distributions from occurrence data. *Ecography*, 29(2), 129–151.
- Elith, J., Phillips, S. J., Hastie, T., Dudík, M., Chee, Y. E., & Yates, C. J. (2011). A statistical explanation of MaxEnt for ecologists. *Diversity and Distributions*, 17(1), 43–57. <https://doi.org/10.1111/j.1472-4642.2010.00725.x>
- Embrapa. (2018). Áreas Urbanas no Brasil em 2015. Obtido 31 de Janeiro de 2019, de GEOINFO Camadas website: http://geoinfo.cnpm.embrapa.br/layers/geonode%3Aareas_urbanas_br_15
- Empresa de Comunicação do Brasil. (2017). Energias renováveis. Obtido 2 de Maio de 2019, de Para onde caminha a geração de energia do Brasil? website: <http://www.ebc.com.br/especiais/energias-renovaveis>
- Empresa de Pesquisa Energética. (2019). *Cadastramento para o Leilão A-4 de 2019*. Rio de Janeiro: EPE.
- Erickson, W. P., Gregory, D. J., Strickland, M. D., Young Jr., D. P., Sernka, K. J., & Good, R. E. (2001). *Avian Collisions with Wind Turbines: Summary of Existing Studies and Comparisons of Avian Collision Mortality in the United States*. Washington, D.C.: NWCC.
- European Network for Earth System Modelling. (2015). HadGEM2 - Met Office Hadley Centre ESM.

Obtido 28 de Maio de 2019, de Models and Tools website: <https://portal.enes.org/models/earthsystem-models/metoffice-hadley-centre/hadgem2-es>

- Farfán, M. Á., Duarte, J., Fa, J. E., Real, R., & Vargas, J. M. (2017). Testing for errors in estimating bird mortality rates at wind farms and power lines. *Bird Conservation International*, 27(3), 431–439. <https://doi.org/10.1017/s0959270916000460>
- Farr, T. G., Rosen, P. A., Caro, E., Crippen, R., Duren, R., Hensley, S., ... Alsdorf, D. (2007). The Shuttle Radar Topography Mission. *Reviews of Geophysics*, 45(2), RG2004. <https://doi.org/10.1029/2005RG000183>
- Fick, S. E., & Hijmans, R. J. (2017). Worldclim 2: New 1-km spatial resolution climate surfaces for global land areas. *International Journal of Climatology*, 37(12), 4302–4315. Obtido de <http://worldclim.org/version2>
- Fourcade, Y., Engler, J. O., Rödder, D., & Secondi, J. (2014). Mapping Species Distributions with MAXENT Using a Geographically Biased Sample of Presence Data: A Performance Assessment of Methods for Correcting Sampling Bias. *PLoS ONE*, 9(5), e97122. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0097122>
- Freeman, E. A., & Moisen, G. G. (2008). A comparison of the performance of threshold criteria for binary classification in terms of predicted prevalence and kappa. *Ecological Modelling*, 217(1), 48–58. <https://doi.org/10.1016/j.ecolmodel.2008.05.015>
- Gasparatos, A., Doll, C. N. H., Esteban, M., Ahmed, A., & Olang, T. A. (2017). Renewable energy and biodiversity: Implications for transitioning to a Green Economy. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 70(1), 161–184. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2016.08.030>
- Gent, P. R., Danabasoglu, G., Donner, L. J., Holland, M. M., Hunke, E. C., Jayne, S. R., ... Zhang, M. (2011). The Community Climate System Model Version 4. *Journal of Climate*, 24(19), 4973–4991. <https://doi.org/10.1175/2011JCLI4083.1>
- Giannini, T. C., Acosta, A. L., Garófalo, C. A., Saraiva, A. M., Alves-dos-Santos, I., & Imperatriz-Fonseca, V. L. (2012). Pollination services at risk: Bee habitats will decrease owing to climate change in Brazil. *Ecological Modelling*, 244(1), 127–131. <https://doi.org/10.1016/j.ecolmodel.2012.06.035>
- Gianninia, T. C., Acosta, A. L., Silva, C. I. da, Oliveira, P. E. A. M. de, Imperatriz-Fonseca, V. L., & Saraiva, A. M. (2013). Identifying the areas to preserve passion fruit pollination service in Brazilian Tropical Savannas under climate change. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 171(1), 39–46. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2013.03.003>
- Global Wind Atlas 2.0. (2018). Wind Speed. Obtido 22 de Fevereiro de 2019, de Global Wind Atlas 2.0, a free, web-based application developed, owned and operated by the Technical University of Denmark (DTU) in partnership with the World Bank Group, utilizing data provided by Vortex, with funding provided by the Energy Sector Managem website: <https://globalwindatlas.info/>
- Global Wind Energy Council. (2018). *Global Wind Report - Annual Market Update 2017*. Brussels, Belgium: GWEC.
- Global Wind Energy Council. (2019). *Global Wind Report 2018*. Brussels, Belgium: GWEC.
- Gomes, V. H. F., IJff, S. D., Raes, N., Amaral, I. L., Salomão, R. P., Coelho, L. de S., ... Steege, H. Ter. (2018). Species Distribution Modelling: Contrasting presence-only models with plot abundance data. *Scientific Reports*, 8(1), 1003. <https://doi.org/10.1038/s41598-017-18927-1>
- Gonçalves, A. R., Costa, R. S., Martins, F. R., & Pereira, E. B. (2017). Spatial modelling of wind farms expansion in northeastern Brazil. *4th International Conference Energy & Meteorology*. Brazil: INPE.

- Graham, R. M. (2011). Understanding bird collisions with man-made objects: a sensory ecology approach. *Ibis*, 153(1), 239–254.
- Griffies, S. M., Winton, M., Donner, L. J., Horowitz, L. W., Downes, S. M., Farneti, R., ... Zadeh, N. (2011). The GFDL CM3 coupled climate model: Characteristics of the ocean and sea ice simulations. *Journal of Climate*, 24(13), 3520–3544. <https://doi.org/10.1175/2011JCLI3964.1>
- Guisan, A., Thuiller, W., & Zimmermann, N. E. (2017). *Habitat Suitability and Distribution Models With an Application in R*. Cambridge: Cambridge University Press.
- Handbook of the Birds of the World, & BirdLife International. (2018). Handbook of the Birds of the World and BirdLife International digital checklist of the birds of the world. Version 3. Obtido 8 de Fevereiro de 2019, de http://datazone.birdlife.org/userfiles/file/Species/Taxonomy/HBW-BirdLife_Checklist_v3_Nov18.zip.
- Hansen, M. C., Potapov, P. V., Moore, R., Hancher, M., Turubanova, S. A., Tyukavina, A., ... Townshend, J. R. G. (2013). High-Resolution Global Maps of 21st-Century Forest Cover Change. *Science*, 342(6160), 850–853.
- Heikkinen, R. K., Luoto, M., Araújo, M. B., Virkkala, R., Thuiller, W., & Sykes, M. T. (2006). Methods and uncertainties in bioclimatic envelope modelling under climate change. *Progress in Physical Geography*, 30(6), 751–777. <https://doi.org/10.1177/0309133306071957>
- Hijmans, R. J. (2019). *Package «raster» - version 2.8-19*. Obtido de <https://www.rspatial.org/>
- Hijmans, R. J., Cameron, S. E., Parra, J. L., Jones, P. G., & Jarvis, A. (2005). Very high resolution interpolated climate surfaces for global land areas. *International Journal of Climatology*, 25(1), 1965–1978. <https://doi.org/10.1002/joc.1276>
- Hijmans, R. J., & Graham, C. H. (2006). The ability of climate envelope models to predict the effect of climate change on species distributions. *Global Change Biology*, 12, 2272–2281. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2486.2006.01256.x>
- Hijmans, R. J., Phillips, S., Leathwick, J., & Elith, J. (2017). *dismo: Species Distribution Modeling - version 1.1-4*. Obtido 29 de Janeiro de 2019, de <https://cran.r-project.org/package=dismo>
- Hooper, D. U., Adair, E. C., Cardinale, B. J., Byrnes, J. E. K., Hungate, B. A., Matulich, K. L., ... O'Connor, M. I. (2012). A global synthesis reveals biodiversity loss as a major driver of ecosystem change. *Nature*, 486(1), 105–108. <https://doi.org/10.1038/nature11118>
- Hull, C. L., Stark, E. M., Peruzzo, S., & Sims, C. C. (2013). Avian collisions at two wind farms in Tasmania, Australia: Taxonomic and ecological characteristics of colliders versus non-colliders. *New Zealand Journal of Zoology*, 40(1), 47–62. <https://doi.org/10.1080/03014223.2012.757243>
- IBGE. (2002). Mapa do clima do Brasil. Obtido 5 de Junho de 2019, de Climatologia website: <https://www.ibge.gov.br/geociencias/informacoes-ambientais/climatologia/15817-clima.html?=&t=downloads>
- IBGE. (2005). Resolução PR 01/2005 - Altera a caracterização do Sistema Geodésico Brasileiro. Obtido 22 de Janeiro de 2019, de <https://ww2.ibge.gov.br/home/geociencias/geodesia/pmrg/faq.shtm>
- IBGE. (2016). Estimativas de população para 1º de julho de 2015. Obtido 21 de Março de 2019, de Estimativas de População website: https://ww2.ibge.gov.br/home/estatistica/populacao/estimativa2015/estimativa_tcu.shtm
- IBGE. (2017). Base cartográfica contínua. Obtido 31 de Janeiro de 2019, de Cartas e Mapas website: ftp://geoftp.ibge.gov.br/cartas_e_mapas/bases_cartograficas_continuas/bc250/versao2017/shapefile
- IBGE. (2018). Projeções da População. Obtido 22 de Março de 2019, de Estatísticas website: <https://www.ibge.gov.br/estatisticas-novoportal/sociais/populacao/9109-projecao-da->

populacao.html?=&t=resultados

- IBGE. (2019). Áreas dos Municípios. Obtido 15 de Maio de 2019, de Estrutura territorial website: <https://www.ibge.gov.br/geociencias/organizacao-do-territorio/estrutura-territorial/15761-areas-dos-municipios.html?=&t=o-que-e>
- ICMBio. (2019). Caatinga. Obtido 24 de Janeiro de 2019, de Unidades de Conservação website: <http://www.icmbio.gov.br/portal/unidadesdeconservacao/biomas-brasileiros/caatinga>
- Impacto Assessoria Ambiental. (2015). *Relatório de Impacto Ambiental Complexo Eólico Serra Azul*. Chapecó, Santa Catarina: Impacto Assessoria Ambiental Ltda.
- Instituto Nacional de Meteorologia. (2011). Normais Climatológicas do Brasil 1961-1990. Obtido 21 de Junho de 2019, de Climatologia website: <http://www.inmet.gov.br/webcdp/climatologia/normais/>
- International Energy Agency. (2019). Snapshot of Global PV Markets - 2019. Obtido 17 de Julho de 2019, de http://www.iea-pvps.org/fileadmin/dam/public/report/statistics/IEA-PVPS_T1_35_Snapshot2019-Report.pdf
- IPCC. (2013a). Annex II: Climate System Scenario Tables. Em T. F. Stocker, D. Qin, G.-K. Plattner, M. Tignor, S. K. Allen, J. Boschung, ... P. M. Midgley (Eds.), *Climate Change 2013 - The Physical Science Basis* (pp. 1395–1446). <https://doi.org/10.1017/CBO9781107415324.030>
- IPCC. (2013b). Annex III: Glossary. Em T. F. Stocker, D. Qin, G.-K. Plattner, M. Tignor, S. K. Allen, J. Boschung, ... P. M. Midgley (Eds.), *Climate Change 2013 - The Physical Science Basis* (Planton S., pp. 1447–1466). <https://doi.org/10.1017/CBO9781107415324.031>
- IUCN. (2019). The IUCN Red List of Threatened Species. Version 2019-1. Obtido 8 de Fevereiro de 2019, de <http://www.iucnredlist.org>
- Jardim Botânico do Rio de Janeiro. (2019). Lista de Espécies da Fauna do Brasil - Em construção. Obtido 23 de Janeiro de 2019, de Flora do Brasil 2020 - Algas, Fungos e Plantas website: <http://floradobrasil.jbrj.gov.br/reflora/listaBrasil/PrincipalUC/PrincipalUC.do>
- Jeschke, J. M., & Strayer, D. L. (2008). Usefulness of bioclimatic models for studying climate change and invasive species. *Annals of the New York Academy of Sciences*, 1134(1), 1–24. <https://doi.org/10.1196/annals.1439.002>
- Jetz, W., Wilcove, D. S., & Dobson, A. P. (2007). Projected Impacts of Climate and Land-Use Change on the Global Diversity of Birds. *PLoS Biology*, 5(6), e157. <https://doi.org/10.1371/journal.pbio.0050157>
- Junior, J. C. G. F., & Rodrigues, M. G. (2015). Um Estudo Sobre a Energia Eólica No Brasil. *Revista Científica Multidisciplinar das Faculdades São José*, 5(1), 02-13.
- Kalnay, E., & Cai, M. (2003). Impact of urbanization and land-use change on climate. *Nature*, 423(1), 528–531. <https://doi.org/10.1038/nature01675>
- Kirtman, B., Power, S. B., Adedoyin, J. A., Boer, G. J., Bojariu, R., Camilloni, I., ... Wang, H. J. (2013). Near-term Climate Change: Projections and Predictability. Em T. F. Stocker, D. Qin, G.-K. Plattner, M. Tignor, S. K. Allen, J. Boschung, ... P. M. Midgley (Eds.), *Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* (pp. 953–1028). Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA.
- Kunz, T. H., Arnett, E. B., Cooper, B. M., Erickson, W. P., Larkin, R. P., Mabee, T., Morrison, M. L., Strickland, M. D., & Szewczak, J. M. (2007a). Assessing Impacts of Wind-Energy Development on Nocturnally Active Birds and Bats: A Guidance Document. *Journal of Wildlife Management*, 71(8), 2449–2486. <https://doi.org/10.2193/2007-270>

- Kunz, T. H., Arnett, E. B., Erickson, W. P., Hoar, A. R., Johnson, G. D., Larkin, R. P., Strickland, M. D., Thresher, R. W., & Tuttle, M. D. (2007b). Ecological impacts of wind energy development on bats: questions, research needs, and hypotheses. *Frontiers in Ecology and the Environment*, 5(6), 315–324. [https://doi.org/10.1890/1540-9295\(2007\)5\[315:EIOWED\]2.0.CO;2](https://doi.org/10.1890/1540-9295(2007)5[315:EIOWED]2.0.CO;2)
- La Sorte, F. A. (2006). Geographical expansion and increased prevalence of common species in avian assemblages: implications for large-scale patterns of species richness. *Journal of Biogeography*, 33(7), 1183–1191. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2699.2006.01480.x>
- Laranjeiro, T., May, R., & Verones, F. (2018). Impacts of onshore wind energy production on birds and bats: recommendations for future life cycle impact assessment developments. *The International Journal of Life Cycle Assessment*, 23(10), 2007–2023. <https://doi.org/10.1007/s11367-017-1434-4>
- Lewinsohn, T. M., & Prado, P. I. (2005). Quantas espécies há no Brasil. *Megadiversidade*, 1(1), 36–42.
- Lima, E. C. de, Santos, I. A., & Moizinho, L. C. S. (2018). Energia Eólica no Brasil; oportunidades e limitações para o desenvolvimento sustentável. *Revista Estudo & Debate*, 25(1), 216–236. <https://doi.org/10.22410/issn.1983-036X.v25i1a2018.1641>
- Liu, C., Berry, P. M., Dawson, T. P., & Pearson, R. G. (2005). Selecting thresholds of occurrence in the prediction of species distributions. *Ecography*, 28(3), 385–393. <https://doi.org/10.1111/j.0906-7590.2005.03957.x>
- Loarie, S. R., Carter, B. E., Hayhoe, K., McMahon, S., Moe, R., Knight, C. A., & Ackerly, D. D. (2008). Climate Change and the Future of California's Endemic Flora. *PLoS ONE*, 3(6), e2502. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0002502>
- Loyola, R. D., Nabout, João Carlos Trindade-Filho, Joaquim Lemes, P., Urbina-Cardona, J. N., Dobrovolski, R., Sagnoli, M. D., & Diniz-filho, J. A. F. (2012). Climate change might drive species into reserves: a case study of the American bullfrog in the Atlantic Forest Biodiversity Hotspot. *Alytes*, 29(1–4), 61–74.
- Lundy, M., Montgomery, I., & Russ, J. (2010). Climate change-linked range expansion of Nathusius' pipistrelle bat, *Pipistrellus nathusii* (Keyserling & Blasius, 1839). *Journal of Biogeography*, 37(12), 2232–2242.
- Mapas.MMA. (2018). Unidades de Conservação. Obtido 2 de Abril de 2019, de Download de dados geográficos website: <http://mapas.mma.gov.br/i3geo/datadownload.htm>
- MapBiomias. (2018). Infraestruturas. Obtido 28 de Janeiro de 2019, de Download de dados geográficos website: <http://mapbiomas.org/pages/infra-data>
- Marengo, J. A. (2006). *Mudanças Climáticas Globais e seus Efeitos sobre a Biodiversidade - Caracterização do Clima Atual e Definição das Alterações Climáticas para o Território Brasileiro ao longo do Século XXI*. Brasília: MMA.
- Marini, M. Â., Barbet-Massin, M., Lopes, L. E., & Jiguet, F. (2010). Predicting the occurrence of rare Brazilian birds with species distribution models. *Journal of Ornithology*, 151(4), 857–866. <https://doi.org/10.1007/s10336-010-0523-y>
- 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(1), 40–52. <https://doi.org/10.1016/j.biocon.2014.08.017>
- Marques, A. T., Santos, C. D., Hanssen, F., Muñoz, A., Onrubia, A., Wikelski, M., Moreira, F., Palmeirim, J. M., & Silva, J. P. (2019). Wind turbines cause functional habitat loss for migratory soaring birds. *Journal of Animal Ecology*, 00(0), 1–11. <https://doi.org/10.1111/1365-2656.12961>

- Mascarenhas, M., Bernardino, J., Paula, A., Costa, H., Castos, C., Cordeiro, A., ... Fonseca, C. (2015). *Biodiversity & Wind Energy: a bird's and bat's perspective*. Aveiro, Portugal: Bio3 and University of Aveiro.
- McInnes, K. L., Erwin, T. A., & Bathols, J. M. (2011). Global Climate Model projected changes in 10 m wind speed and direction due to anthropogenic climate change. *Atmospheric Science Letters*, *12*(4), 325–333. <https://doi.org/10.1002/asl.341>
- McKee, J. J., Rose, A. N., Bright, E. A., Huynh, T., & Bhaduri, B. L. (2015). Locally adaptive, spatially explicit projection of US population for 2030 and 2050. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, *112*(5), 1344–1349. <https://doi.org/10.1073/pnas.1405713112>
- Merow, C., Smith, M. J., & Silander, J. A. (2013). A practical guide to MaxEnt for modeling species' distributions: what it does, and why inputs and settings matter. *Ecography*, *36*(1), 1058–1069. <https://doi.org/10.1111/j.1600-0587.2013.07872.x>
- Ministério de Minas e Energia, & Empresa de Pesquisa Energética. (2017). *Plano Decenal de Expansão de Energia 2026*. Brasília: MMA/EPE.
- Ministério do Meio Ambiente. (2016). *Subsídios para um Plano de Ação Governamental e Diretrizes para o PPQ 2016-19: Conservação e Uso Sustentável da Biodiversidade*. Brasília - DF: MMA.
- Ministério do Meio Ambiente. (2017). *Estratégia e Plano de Ação Nacionais para a Biodiversidade*. Brasília, DF: MMA.
- Naimi, B., & Araújo, M. B. (2016). Sdm: A reproducible and extensible R platform for species distribution modelling. *Ecography*, *39*(4), 368–375. <https://doi.org/10.1111/ecog.01881>
- Nakicenovic, N., & Swart, R. (2000). *A Special Report of Working Group III of Intergovernmental Panel on Climate Change*. Cambridge, United Kingdom: Cambridge University Press.
- Nascimento, E. R. do, Correia, I., Ruiz-Esparza, J. M., & Gouveia, S. F. (2018). Disentangling phylogenetic from non-phylogenetic functional structure of bird assemblages in a tropical dry forest. *Oikos*, *127*(8), 1–9. <https://doi.org/10.1111/oik.04910>
- Onkelinx, T. (2015). abuff.R. Obtido 25 de Março de 2019, de GitHub website: <https://gist.github.com/ThierryO/03c496c44db1a3c349cf>
- Owusu, P. A., & Asumadu-Sarkodie, S. (2016). A review of renewable energy sources, sustainability issues and climate change mitigation. *Cogent Engineering*, *3*(1), 1–14. <https://doi.org/10.1080/23311916.2016.1167990>
- Parmesan, C., & Yohe, G. (2003). A globally coherent fingerprint of climate change impacts across natural systems. *Nature*, *421*(6918), 37–42. <https://doi.org/10.1038/nature01286>
- Pearson, R. G., & Dawson, T. P. (2003). Predicting the impacts of climate change on the distribution of species: are bioclimate envelope models useful? *Global Ecology & Biogeography*, *12*(1), 361–371.
- Pecl, G. T., Araújo, M. B., Bell, J. D., Blanchard, J., Bonebrake, T. C., Chen, I.-C., ... Williams, S. E. (2017). Biodiversity redistribution under climate change: Impacts on ecosystems and human well-being. *Science*, *355*(6332). <https://doi.org/10.1126/science.aai9214>
- Pereira, E. B. (2016). Segurança Energética: perspectivas no enfrentamento às mudanças climáticas globais - Conferência Internacional do INCT para Mudanças Climáticas. Obtido 21 de Maio de 2019, de <http://www.fapesp.br/eventos/2016/09/inct/ENIO.pdf>
- Phillips, S. J., Anderson, R. P., & Schapire, R. E. (2006). Maximum entropy modeling of species geographic distributions. *Ecological Modelling*, *190*(1), 231–259. <https://doi.org/10.1016/j.ecolmodel.2005.03.026>

- Phillips, S. J., Dudík, M., & Schapire, R. E. (2004). A Maximum Entropy Approach to Species Distribution Modeling. *Proceedings of the 21st International Conference on Machine Learning*, 83. Banff, Canada: Association of Computing Machinery.
- Phillips, S. J., Dudík, M., & Schapire, R. E. (2019). Maxent software for modeling species niches and distributions (Version 3.4.1). Obtido 25 de Janeiro de 2019, de http://biodiversityinformatics.amnh.org/open_source/maxent/
- Phipps, W. L., Diekmann, M., MacTavish, L. M., Mendelsohn, J. M., Naidoo, V., Wolter, K., & Yarnell, R. W. (2017). Due South: A first assessment of the potential impacts of climate change on Cape vulture occurrence. *Biological Conservation*, 210(March), 16–25. <https://doi.org/10.1016/j.biocon.2017.03.028>
- Piacentini, V., Aleixo, A., Eduardo Agne, C., Mauricio, G., Pacheco, F., Bravo, G., ... Oliveira Junior, E. (2015). Checklist CBRO 2015. *Revista Brasileira de Ornitologia*, 23(2), 91–298.
- Porfirio, L. L., Harris, R. M. B., Lefroy, E. C., Hugh, S., Gould, S. F., Lee, G., Bindoff, N. L., & Mackey, B. (2014). Improving the use of species distribution models in conservation planning and management under climate change. *PLoS ONE*, 9(11), 1–21. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0113749>
- Powlesland, R. (2009). *Impacts of wind farms on birds: a review* (A. Todd, Ed.). Wellington, New Zealand: New Zealand Department of Conservation.
- Proosdij, A. S. J. van, Sosef, M. S. M., Wieringa, J. J., & Raes, N. (2016). Minimum required number of specimen records to develop accurate species distribution models. *Ecography*, 39(6), 542–552. <https://doi.org/10.1111/ecog.01509>
- Pryor, S. C., & Barthelmie, R. J. (2010). Climate change impacts on wind energy: A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 14(1), 430–437. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2009.07.028>
- Qin, A., Liu, B., Guo, Q., Bussmann, R. W., Ma, F., Jian, Z., Xu, G., & Pei, S. (2017). Maxent modeling for predicting impacts of climate change on the potential distribution of *Thuja sutchuenensis* Franch., an extremely endangered conifer from southwestern China. *Global Ecology and Conservation*, 10(1), 139–146. <https://doi.org/10.1016/j.gecco.2017.02.004>
- R Core Team. (2018). *R: A language and Environment for statistical computing*. R Foundation for Statistical Computing. Vienna, Austria.
- Raimundo, D. R., & Santos, I. F. S. dos. (2015). Estudo de um projeto para geração de energia eólica no Brasil: Viabilidade econômica e emissões evitadas. *Revista Brasileira de Energias Renováveis*, 4(1), 65–75. <https://doi.org/10.5380/rber.v4i4.44156>
- Rosalino, L. M., Guedes, D., Cabecinha, D., Serronha, A., Grilo, C., Santos-Reis, M., ... Hipólito, D. (2019). Climate and landscape changes as driving forces for future range shift in southern populations of the European badger. *Scientific Reports*, 9(1), 3155. <https://doi.org/10.1038/s41598-019-39713-1>
- Saidur, R., Rahim, N. A., Islam, M. R., & Solangi, K. H. (2011). Environmental impact of wind energy. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 15(5), 2423–2430. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2011.02.024>
- Sales, L. P., Neves, O. V., De Marco, P., & Loyola, R. (2017). Model uncertainties do not affect observed patterns of species richness in the Amazon. *PLOS ONE*, 12(10), 1–19. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0183785>
- Salino, P. J. (2011). *Energia eólica no Brasil: uma comparação do PROINFA e dos novos leilões* (Escola Politécnica, Universidade Federal do Rio de Janeiro). Obtido de <http://www.monografias.poli.ufrj.br/monografias/monopoli10001705.pdf>

- Schaeffer, R., Szklo, A. S., Lucena, A. F. P. de, Souza, R. R. de, Borba, B. S. M. C., Costa, I. V. L. da, Júnior, A. O. P., & Cunha, S. H. F. da. (2008). *Mudanças climáticas e segurança energética no Brasil*. Rio de Janeiro: Nova Brasileira.
- Secretariat of the Convention on Biological Diversity. (2014). *Global Biodiversity Outlook 4*. Montréal: Secretariat of the Convention on Biological Diversity.
- Silva, D. P., Dias, A. C., Lecci, L. C., & Simião-Ferreira, J. (2018). Potential Effects of Future Climate Changes on Brazilian Cool-Adapted Stoneflies (Insecta: Plecoptera). *Neotropical Entomology*, 48(1), 57–70. <https://doi.org/10.1007/s13744-018-0621-8>
- Silva, D. P., Macêdo, A. C. B. A., Ascher, J. S., & De Marco, P. (2015). Range increase of a Neotropical orchid bee under future scenarios of climate change. *Journal of Insect Conservation*, 19(5), 901–910. <https://doi.org/10.1007/s10841-015-9807-0>
- Silveira, C. da S., Filho, F. de A. de S., Junior, F. das C. V., & Martins, E. S. P. R. (2016). Projections of the Affluent Natural Energy (ANE) for the Brazilian electricity sector based on RCP 4.5 and RCP 8.5 scenarios of IPCC-AR5. *Hydrology and Earth System Sciences Discussions*, 1–18. <https://doi.org/10.5194/hess-2016-135>
- Simon, L. M., Oliveira, G. de, Barreto, B. de S., Nabout, J. C., Rangel, T. F. L. V. B., & Diniz-Filho, J. A. F. (2013). Effects of global climate changes on geographical distribution patterns of economically important plant species in cerrado. *Revista Árvore*, 37(2), 267–274. <https://doi.org/10.1590/s0100-67622013000200008>
- Sistema de Informação sobre a Biodiversidade Brasileira. (2019). Biodiversidade Brasileira. Obtido 24 de Janeiro de 2019, de Biodiversidade website: <http://www.sibbr.gov.br/areas/?area=biodiversidade>
- Sohl, T. L. (2014). The Relative Impacts of Climate and Land-Use Change on Conterminous United States Bird Species from 2001 to 2075. *PLoS ONE*, 9(11), e112251. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0112251>
- Souza, T. V. de, Lorini, M. L., Alves, M. A. S., Cordeiro, P., & Vale, M. M. (2011). Redistribution of Threatened and Endemic Atlantic Forest Birds Under Climate Change. *Natureza & Conservação*, 9(2), 214–218. <https://doi.org/10.4322/natcon.2011.028>
- Sovernigo, M. H. (2009). *Impacto dos aerogeradores sobre avifauna e quiropterofauna no Brasil* (Universidade Federal de Santa Catarina - Centro de Ciências Biológicas - Departamento de Ecologia e Zoologia). Obtido de <https://core.ac.uk/download/pdf/30408445.pdf>
- Stephens, J. C., Rand, G. M., & Melnick, L. L. (2009). Wind Energy in US Media: A Comparative State-Level Analysis of a Critical Climate Change Mitigation Technology. *Environmental Communication*, 3(2), 168–190. <https://doi.org/10.1080/17524030902916640>
- Stürck, J., Levers, C., van der Zanden, E. H., Schulp, C. J. E., Verkerk, P. J., Kuemmerle, T., ... Verburg, P. (2018). Simulating and delineating future land change trajectories across Europe. *Regional Environmental Change*, 18(3), 733–749. <https://doi.org/10.1007/s10113-015-0876-0>
- Teixeira, K. O. (2018). *Distribuição Potencial das subespécies de Melipona quadrifasciata, 1836, no Brasil em relação às Mudanças Climáticas* (Universidade do Extremo Sul Catarinense, Programa de Pós-Graduações em Ciências Ambientais, Criciúma). <https://doi.org/http://dx.doi.org/10.1097/TP.0b013e31822d08c1>
- Thuiller, W., Lafourcade, B., & Araujo, M. (2010). Presentation Manual for BIOMOD. Obtido 23 de Janeiro de 2019, de <http://r-forge.r-project.org/R/?group>
- Tiago, P., Pereira, H. M., & Capinha, C. (2017). Using citizen science data to estimate climatic niches and species distributions. *Basic and Applied Ecology*, 20(1), 75–85. <https://doi.org/10.1016/j.baae.2017.04.001>

- Tôrres, N. M., Jr., P. D. M., Diniz-Filho, J. A. F., & Silveira, L. (2008). Jaguar distribution in Brazil: past, present and future. *CAT News*, 4–8.
- Vale, M. M., Lorini, M. L., & Cerqueira, R. (2015). Neotropical wild cats susceptibility to climate change. *Oecologia Australis*, 19(1), 63–88. <https://doi.org/10.4257/oeco.2015.1901.05>
- Venter, O., Sanderson, E. W., Magrath, A., Allan, J. R., Beher, J., Jones, K. R., ... Watson, J. E. M. (2016). Sixteen years of change in the global terrestrial human footprint and implications for biodiversity conservation. *Nature Communications*, 7(1), 12558. <https://doi.org/10.1038/ncomms12558>
- Waldron, A., Miller, D. C., Redding, D., Mooers, A., Kuhn, T. S., Nibbelink, N., Roberts, J. T., Tobias, J. A., & Gittleman, J. L. (2017). Reductions in global biodiversity loss predicted from conservation spending. *Nature*, 551(1), 364–367. <https://doi.org/10.1038/nature24295>
- Welch, J. B., & Venkateswaran, A. (2009). The dual sustainability of wind energy. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 13(5), 1121–1126. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2008.05.001>
- Wiens, J. A., Stralberg, D., Jongsomjit, D., Howell, C. A., & Snyder, M. A. (2009). Niches, models, and climate change: Assessing the assumptions and uncertainties. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 106(Supplement 2), 19729–19736. <https://doi.org/10.1073/pnas.0901639106>
- Williams, S. E., Bolitho, E. E., & Fox, S. (2003). Climate change in Australian tropical rainforests: an impending environmental catastrophe. *Proceedings of the Royal Society of London. Series B: Biological Sciences*, 270(1), 1887–1892. <https://doi.org/10.1098/rspb.2003.2464>
- World Bank. (2012). *Visão Geral dos Padrões de Desempenho sobre Sustentabilidade Socioambiental*. Washington, D.C.: World Bank Group.
- WorldClim. (2019). Bioclimatica variables. Obtido 22 de Janeiro de 2019, de WorldClim - Global Climate Data website: <http://www.worldclim.org/>
- Worrell, E., Bernstein, L., Roy, J., Price, L., & Harnisch, J. (2009). Industrial energy efficiency and climate change mitigation. *Energy Efficiency*, 2(1), 109–123. <https://doi.org/10.1007/s12053-008-9032-8>
- Yates, C. J., McNeill, A., Elith, J., & Midgley, G. F. (2010). Assessing the impacts of climate change and land transformation on *Banksia* in the South West Australian Floristic Region. *Diversity and Distributions*, 16(1), 187–201. <https://doi.org/10.1111/j.1472-4642.2009.00623.x>
- Zanin, M., Tessarolo, G., Machado, N., Luisa, A., & Albernaz, M. (2017). Climatically-mediated landcover change: impacts on Brazilian territory. *Annals of the Brazilian Academy of Sciences*, 89(2), 939–952. <https://doi.org/10.1590/0001-3765201720160226>

ANEXOS

Figura A.1 – Esquema da metodologia desenvolvida

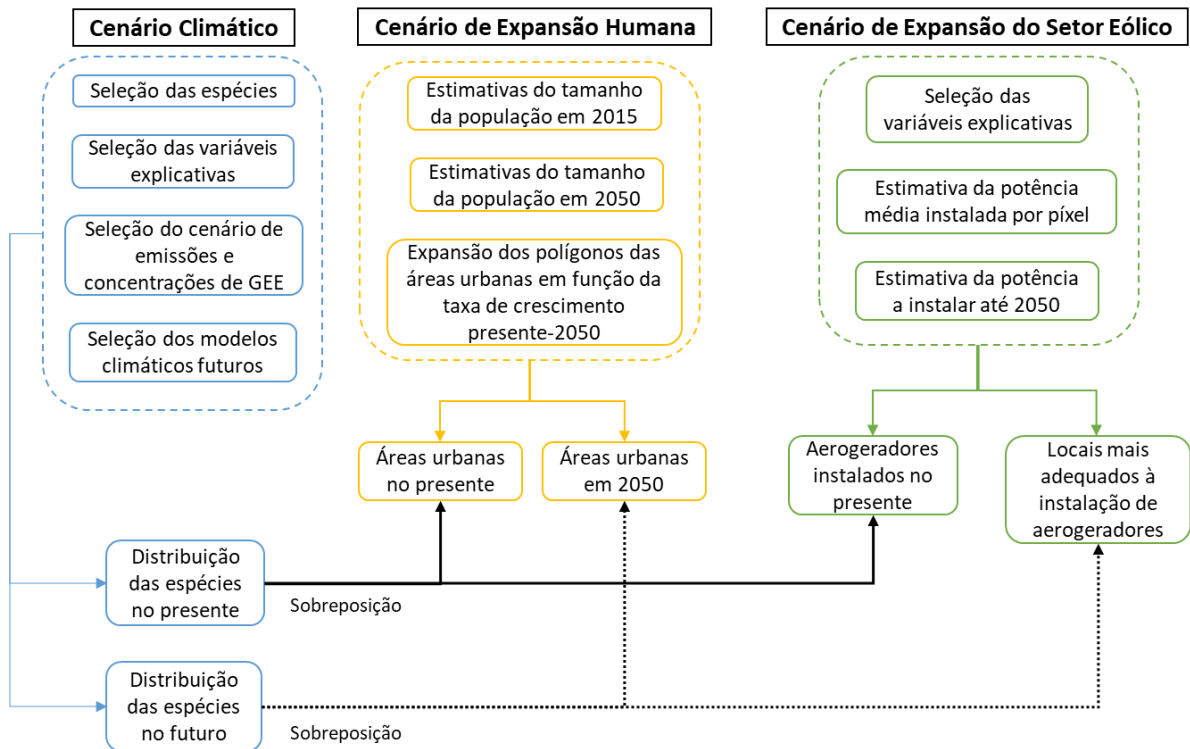


Tabela A.1 – Valores das variáveis dos modelos climáticos futuros (para 2050 com o cenário RCP4.5) utilizados na modelação da distribuição das espécies de aves sensíveis aos impactos do Setor Eólico no Nordeste no Brasil.

	Temperatura Média Anual			Intervalo Médio Diurno			Sazonalidade da Temperatura			Precipitação Anual (mm)			Precipitação do Mês mais Seco (mm)			Precipitação do Trimestre mais Quente (mm)		
	Min	Média	Max	Min	Média	Max	Min	Média	Max	Min	Média	Max	Min	Média	Max	Min	Média	Max
Presente	15.92	24.88	28.04	5.25	11.26	16.10	25.86	107.44	206.85	290.73	941.15	2988.00	0.00	4.07	148.00	10.00	180.53	602.80
CCSM4	17.43	26.71	29.75	5.80	11.20	15.70	27.81	110.82	205.61	307.46	849.20	2861.95	0.00	4.00	105.00	4.01	130.54	520.95
GFDL-CM3	18.02	27.32	30.30	5.85	11.40	16.10	40.32	114.05	203.11	280.00	780.10	3017.80	0.00	4.00	105.00	5.63	135.70	529.95
HadGEM2-ES	17.99	27.30	30.40	5.70	10.90	15.50	39.86	122.08	198.80	335.10	883.05	2805.65	0.00	3.90	98.00	4.00	140.63	641.00

Tabela A.2 – Alcance das variáveis bioclimáticas utilizadas no presente e no futuro (2050). As variáveis do presente correspondem às médias anuais entre 1970 e 2000. As variáveis do futuro correspondem à média dos três modelos climáticos futuros selecionados (CCM4, GFDL-CM3 e HadGEM-ES) para o cenário RCP4.5.

Variáveis bioclimáticas	Presente		Futuro	
	Min.	Máx.	Min.	Máx.
Temperatura Média Anual (°C)	15.9	28.0	18.7	30.0
	5.3	16.1	5.9	15.8
Intervalo Médio Diurno (°C)	25.9	206.9	38.6	202.1
	290.7	2 988.0	325.3	2 858.5
Precipitação Anual (mm)	0.0	148.0	0.0	105.3
	10.0	602.8	7.7	562.3
Precipitação do Mês mais Seco (mm)	0.0	148.0	0.0	105.3
	10.0	602.8	7.7	562.3
Precipitação do Trimestre mais Quente (mm)	0.0	148.0	0.0	105.3
	10.0	602.8	7.7	562.3

Tabela A.3 – Desempenho dos modelos de distribuição das espécies. Está descrito o AUC para cada ordem e para cada espécie. Para efeitos de classificação, os valores de AUC não foram arredondados. No canto inferior direito da tabela estão ainda descritos os valores médios do número de presenças utilizadas e o valor médio de AUC obtido.

Ordem	Família	Desempenho	AUC	Nome científico	Número de presenças	AUC	Desempenho
Anseriformes	Anatidae	Bom	0.846	<i>Amazonetta brasiliensis</i>	58	0.797	Aceitável
				<i>Dendrocygna viduata</i>	82	0.895	Bom
Gruiformes	Rallidae	Bom	0.859	<i>Gallinula galeata</i>	97	0.840	Bom
				<i>Porphyrio martinicus</i>	67	0.819	Bom
Pelecaniformes	Ardeidae	Bom	0.882	<i>Ardea alba</i>	174	0.904	Excelente
				<i>Bubulcus ibis</i>	128	0.859	Bom
				<i>Butorides striata</i>	140	0.894	Bom
				<i>Egretta thula</i>	144	0.874	Bom
				<i>Tigrisoma lineatum</i>	53	0.762	Aceitável
Suliformes	Phalacrocoracidae	Bom	0.831	<i>Nannopterum brasilianus</i>	45	0.831	Bom
Charadriiformes	Recurvirostridae	Bom	0.844	<i>Himantopus himantopus</i>	63	0.838	Bom
	Jacanidae			<i>Jacana jacana</i>	146	0.836	Bom
	Charadriidae			<i>Vanellus chilensis</i>	230	0.859	Bom
Stringiformes	Strigidae	Aceitável	0.767	<i>Athene cunicularia</i>	87	0.791	Aceitável
				<i>Glaucidium brasilianum</i>	83	0.765	Aceitável
				<i>Megascops choliba</i>	56	0.743	Aceitável
Cathartiformes	Cathartidae	Bom	0.854	<i>Cathartes aura</i>	259	0.836	Bom
				<i>Cathartes burrovianus</i>	168	0.848	Bom
				<i>Coragyps atratus</i>	363	0.877	Bom
Accipitriformes	Accipitridae	Aceitável	0.797	<i>Buteogallus meridionalis</i>	46	0.746	Aceitável
				<i>Geranoaetus albicaudatus</i>	30	0.788	Aceitável
				<i>Parabuteo unicinctus</i>	14	0.804	Bom
				<i>Rupornis magnirostris</i>	252	0.851	Bom
Falconiformes	Falconidae	Bom	0.852	<i>Caracara plancus</i>	250	0.869	Bom
				<i>Falco sparverius</i>	79	0.845	Bom
				<i>Herpetotheres cachinnans</i>	82	0.808	Bom
				<i>Milvago chimachima</i>	152	0.885	Bom
					124	0.832	Bom

Tabela A.4 – Importância das variáveis (%) na distribuição de todas as espécies modeladas calculada pelo Maxent (permutation importance). Nas linhas inferiores da tabela estão ainda descritos os valores médios de cada variável, bem como do grupo das variáveis relacionadas com a temperatura e com a precipitação.

Ordem	Família	Nome Científico	Importância das variáveis (%)					
			Temperatura Média Anual	Sazonalidade da Temperatura	Intervalo Médio Diário	Precipitação Anual	Precipitação do Mês mais Seco	Precipitação do Trimestre mais Quente
Anseriformes	Anatidae	<i>Amazonetta brasiliensis</i>	11.84	4.98	34.71	32.93	12.18	3.36
		<i>Dendrocygna viduata</i>	11.49	1.72	43.45	16.83	13.58	12.94
Gruiformes	Rallidae	<i>Gallinula galeata</i>	5.92	4.56	50.88	20.72	6.75	11.17
		<i>Porphyrrio martinicus</i>	6.16	4.27	54.23	10.00	4.25	21.09
Pelecaniformes	Ardeidae	<i>Ardea alba</i>	12.69	2.07	63.55	7.84	3.46	10.40
		<i>Bubulcus ibis</i>	9.93	3.29	52.92	15.79	3.28	14.79
		<i>Butorides striata</i>	12.99	2.00	61.24	7.32	3.20	13.25
		<i>Egretta thula</i>	18.34	0.98	54.11	10.72	4.07	11.78
		<i>Tigrisoma lineatum</i>	7.32	5.94	58.97	10.04	7.13	10.60
Suliformes	Phalacrocoracidae	<i>Nannopterum brasilianus</i>	23.90	4.55	37.49	19.67	0.92	13.48
Charadriiformes	Recurvirostridae	<i>Himantopus himantopus</i>	19.70	3.72	34.46	23.03	8.93	10.16
	Jacaniidae	<i>Jacana jacana</i>	11.98	4.71	51.97	14.74	3.44	13.16
	Charadriidae	<i>Vanellus chilensis</i>	12.78	2.50	52.90	14.89	4.07	12.86
Strigiformes	Strigidae	<i>Athene cunicularia</i>	5.28	4.61	51.82	23.33	6.11	8.86
		<i>Glaucidium brasilianum</i>	12.82	9.42	44.08	15.70	7.19	10.80
		<i>Megascops choliba</i>	19.34	15.46	22.54	18.88	5.44	18.34
Cathartiformes	Cathartidae	<i>Cathartes aura</i>	5.26	5.54	66.99	8.11	3.99	10.11
		<i>Cathartes burrovianus</i>	6.13	3.55	64.62	11.77	3.10	10.83
		<i>Coragyps atratus</i>	5.78	3.20	63.81	11.52	3.99	11.71
Accipitriformes	Accipitridae	<i>Buteogallus meridionalis</i>	15.16	5.05	40.58	20.11	10.63	8.47
		<i>Geranoaetus albicaudatus</i>	38.64	13.64	21.37	8.40	8.87	9.07
		<i>Parabuteo unicinctus</i>	19.39	2.24	19.51	28.49	18.32	12.05
		<i>Rupornis magnirostris</i>	3.52	4.29	64.41	7.86	1.76	18.16
Falconiformes	Falconidae	<i>Caracara plancus</i>	9.33	1.56	55.92	9.40	2.70	21.09
		<i>Falco sparverius</i>	13.41	3.40	34.74	17.86	2.62	27.98
		<i>Herpetotheres cachinnans</i>	8.77	8.85	59.45	11.10	4.29	7.55
		<i>Milvago chimachima</i>	21.84	7.34	41.04	3.78	4.29	21.71
			12.95	4.94	48.21	14.85	5.87	13.18
			66.11			33.89		

Tabela A.5 – Cenários e área ocupada pelas espécies de aves sensíveis ao Setor Eólico no Nordeste do Brasil. O cenário climático refere-se à área ocupada pelas espécies em relação a toda a AE, com base nos modelos climáticos.

CENÁRIO	RIQUEZA DE ESPÉCIES	ÁREA OCUPADA			
		PRESENTE		FUTURO	
		Km ²	%	Km ²	%
Climático	0	657 245.2	42.3%	134 829.97	8.7%
	≥ 1	895 274.83	57.7%	1 416 326.06	91.3%
Expansão urbana	0	1 613.4	0.2%	215.7	0.0 %
	≥ 1	9 293.1	1.0%	11 441.3	0.7 %
Expansão Setor Eólico	0	364.4	0.0%	2 256.2	0.2%
	≥ 1	3 194.2	0.4%	10 641.7	0.8%

Tabela A.6 – Área da distribuição das espécies modeladas no presente e no futuro, bem como a diferença entre a área futura e presente. Valores positivos indicam que a área de distribuição da espécie aumentará e valores negativos que diminuirá. A última linha da tabela corresponde à média de cada variável para o total de espécies.

Ordem	Família	Nome científico	Área da distribuição das espécies (km ²)			
			Presente	Futuro	Diferença	Diferença (%)
Anseriformes	Anatidae	<i>Amazonetta brasiliensis</i>	522 464	781 693	259 229	49.62
		<i>Dendrocygna viduata</i>	212 022	409 260	197 238	93.03
Gruiformes	Rallidae	<i>Gallinula galeata</i>	469 721	1 152 815	683 094	145.43
		<i>Porphyrio martinicus</i>	436 703	732 789	296 086	67.80
Pelecaniformes	Ardeidae	<i>Ardea alba</i>	265 778	1 022 266	756 487	284.63
		<i>Bubulcus ibis</i>	283 087	978 003	694 916	245.48
		<i>Butorides striata</i>	236 797	994 806	758 009	320.11
		<i>Egretta thula</i>	232 451	1 094 392	861 942	370.81
		<i>Tigrisoma lineatum</i>	374 042	561 873	187 832	50.22
Suliformes	Phalacrocoracidae	<i>Nannopterum brasilianus</i>	366 514	1 135 588	769 074	209.84
Charadriiformes	Recurvirostridae	<i>Himantopus himantopus</i>	355 972	1 015 441	659 469	185.26
	Jacanidae	<i>Jacana jacana</i>	425 379	1 146 824	721 445	169.60
	Charadriidae	<i>Vanellus chilensis</i>	356 717	1 123 244	766 527	214.88
Stringiformes	Strigidae	<i>Athene cucularia</i>	382 967	1 107 632	724 665	189.22
		<i>Glaucidium brasilianum</i>	382 950	341 575	-41 375	-10.80
		<i>Megascops choliba</i>	432 169	326 511	-105 658	-24.45
Cathartiformes	Cathartidae	<i>Cathartes aura</i>	307 412	793 261	485 849	158.05
		<i>Cathartes burrovianus</i>	333 896	876 566	542 670	162.53
		<i>Coragyps atratus</i>	306 568	878 441	571 873	186.54
Accipitriformes	Accipitridae	<i>Buteogallus meridionalis</i>	470 690	1 087 464	616 774	131.04
		<i>Geranoaetus albicaudatus</i>	239 616	1 05 956	-133 660	-55.78
		<i>Parabuteo unicinctus</i>	474 390	1 084 343	609 953	128.58
		<i>Rupornis magnirostris</i>	248 395	260 242	11 847	4.77
Falconiformes	Falconidae	<i>Caracara plancus</i>	336 151	980 488	644 337	191.68
		<i>Falco sparverius</i>	367 538	1 155 382	787 844	214.36
		<i>Herpethotes cachinnans</i>	313 914	128 105	-185 809	-59.19
		<i>Milvago chimachima</i>	267 531	735 036	467 505	174.75
			348 216	815 185	466 969	140.67

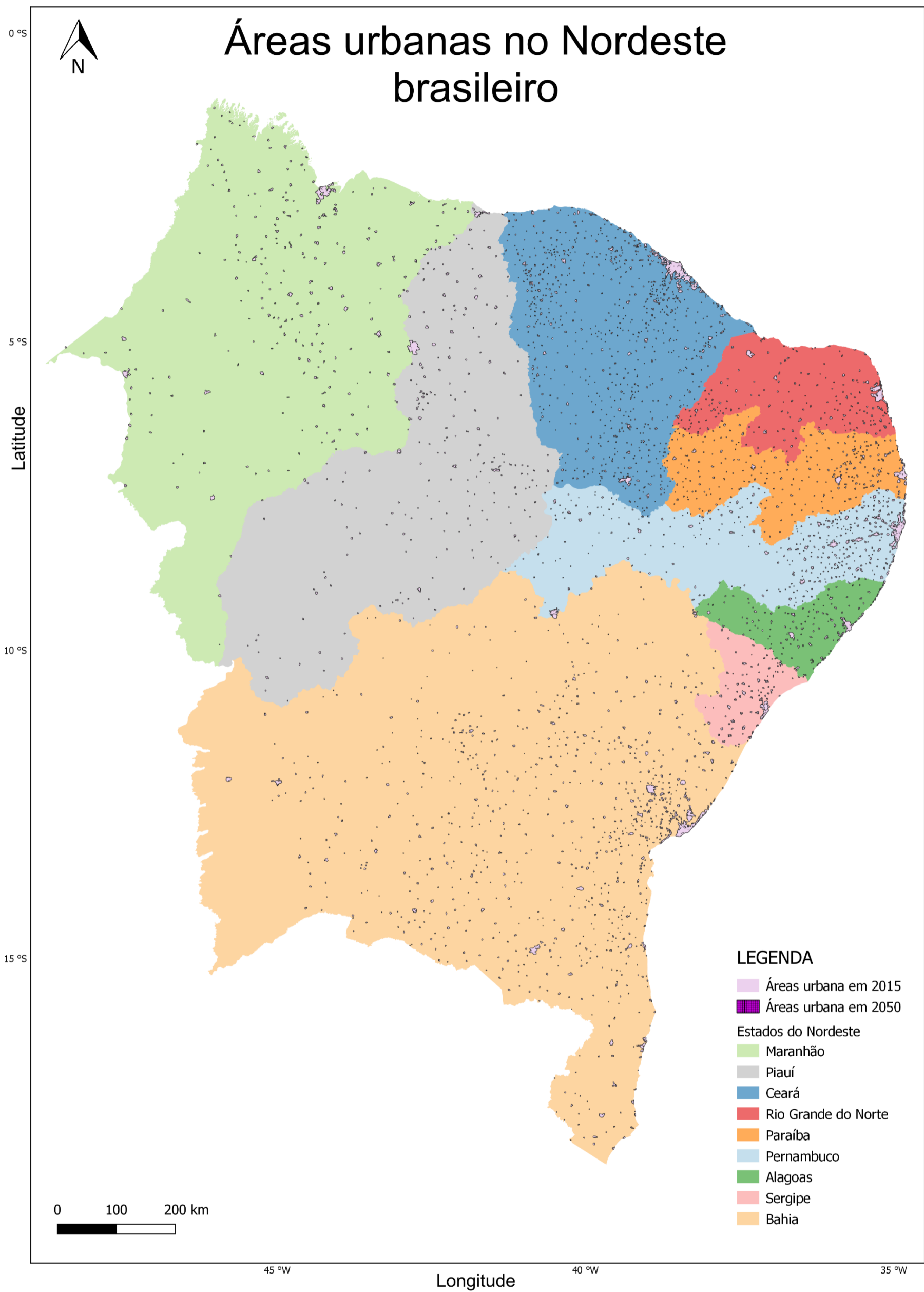


Figura A.2 – Cenário 2050 para a expansão humana com sobreposição das áreas urbanas no futuro (2050) sobre as áreas urbanas do presente (2015).

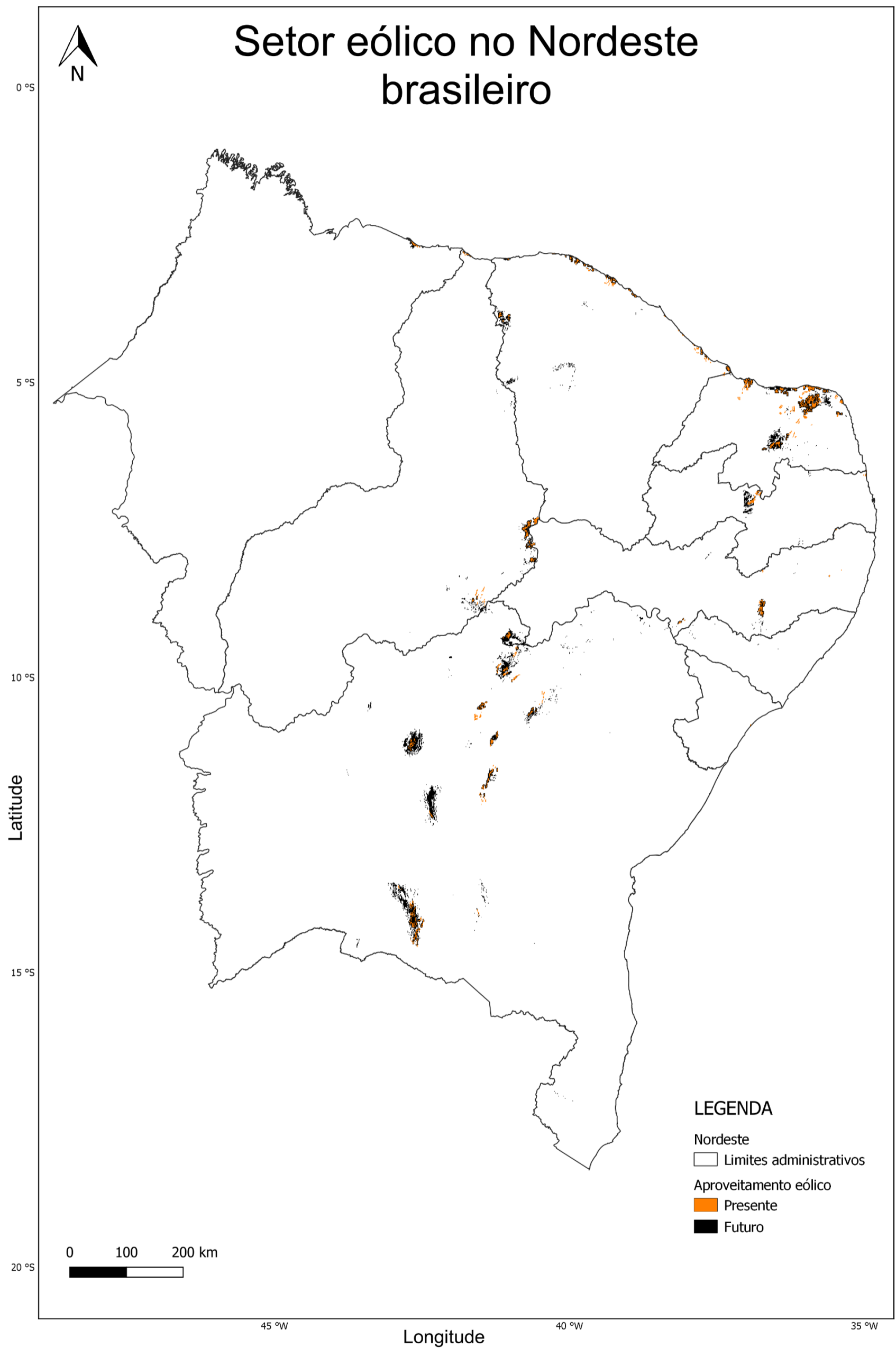


Figura A.3 – Cenário 2050 para a expansão do Setor Eólico no Nordeste do Brasil. Os píxeis com aproveitamento eólico no presente estão representados a preto e os píxeis com aproveitamento eólico em 2050, segundo o cenário construído, estão representados a vermelho.

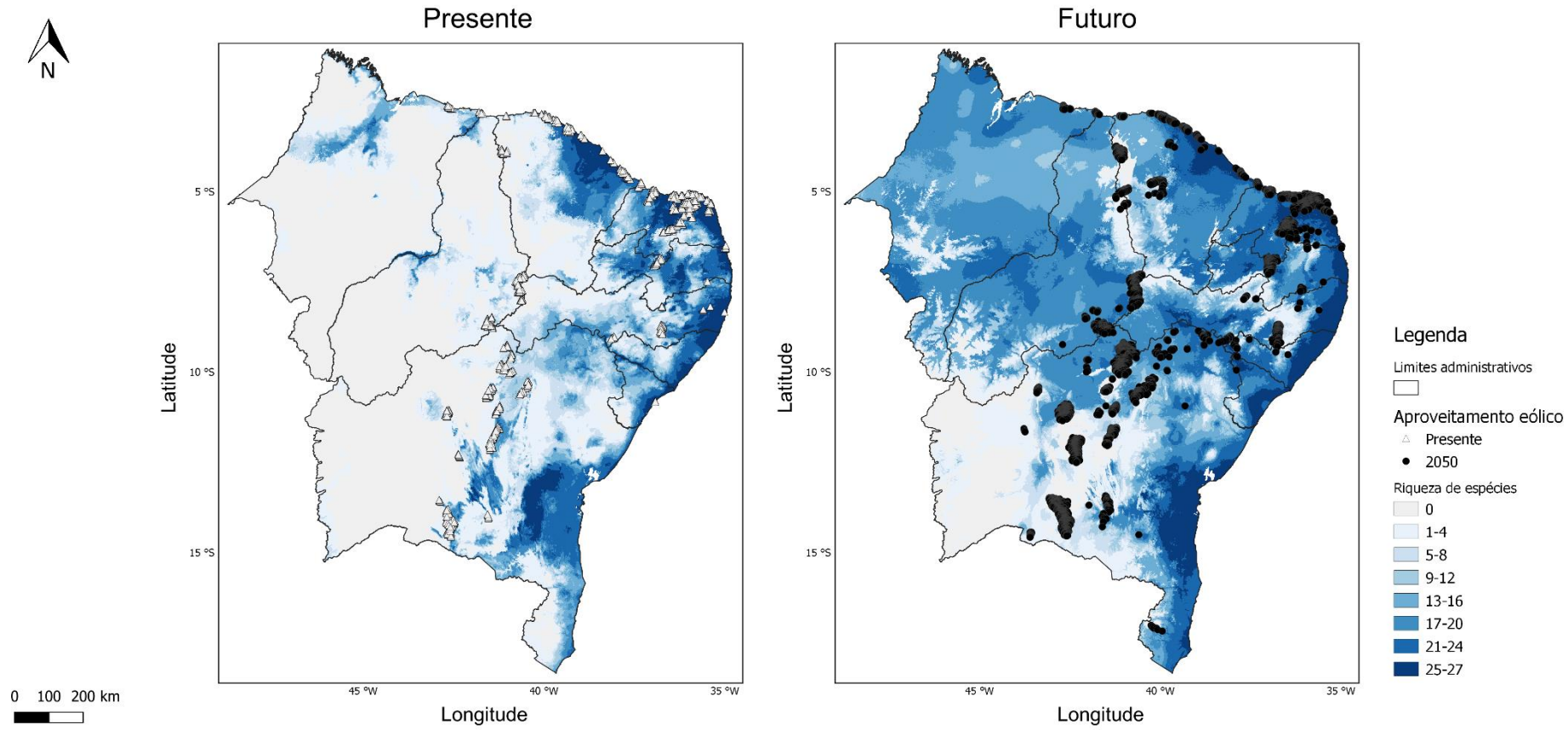


Figura A.4 – Aproveitamento eólico e riqueza de espécies de aves sensíveis aos impactos do setor no Nordeste do Brasil. A figura do lado esquerdo ilustra a riqueza de espécies no presente, bem como o aproveitamento já instalado. A figura da direita representa a riqueza de espécies em 2050 bem como a expansão do Setor Eólico no futuro.