

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL  
DEPARTAMENTO DE BOTÂNICA  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM BOTÂNICA**

LUÍZ FERNANDO ESSER

Tese de Doutorado

**Distribuição e refúgios de comunidades arbóreas da Mata Atlântica**

Porto Alegre

2022

LUÍZ FERNANDO ESSER

**Distribuição e refúgios de comunidades arbóreas da Mata Atlântica**

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Botânica, da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, como requisito para a obtenção do título de Doutor em Botânica.

Orientador: Prof. Dr. João André Jarenkow  
Coorientador: Prof. Dr. Danilo Mesquita Neves

## **AGRADECIMENTOS**

Esta tese não seria possível sem o apoio de familiares e amigos que estiveram juntos de mim, presencialmente ou virtualmente, durante esse período. Agradeço à minha mãe, Thais, através da qual agradeço toda a família, pelo apoio e preocupação, embora não saibam e/ou não entendam o conteúdo deste documento. Agradeço ao meu sogro e minha sogra, Edison e Jussara que foram rede de apoio incontestes.

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), pela bolsa que possibilitou dedicação integral a esse projeto e à Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS) pelo acolhimento, aprendizado e ajuda financeira. Aos professores e funcionários do PPG-Botânica que viram no meu projeto uma pesquisa digna, pela convivência respeitosa, principalmente durante meu período como representante discente, e pelos ensinamentos.

Agradeço ao professor João André Jarenkow pela orientação, pelo respeito e pela inspiração nos âmbitos profissional e pessoal. Igualmente, agradeço ao professor Danilo Neves que me orientou e me inspira enormemente como pesquisador. Também agradeço ao professor Reginaldo Ré que me incentivou a estudar os modelos de distribuição de espécies cada vez mais fundo.

Agradeço também ao colega e colaborador Daniel Saraiva, amigo sempre disposto a tirar dúvidas e conversar sobre o processo acadêmico. Da mesma forma, agradeço a todos os colegas do PPG-Botânica e da lista de e-mails do pacote sdm do R, que me buscaram como fonte de respostas às suas dúvidas e me fizeram crescer como pesquisador e professor. Agradeço também ao colega Matias Köhler e àqueles colegas pesquisadores que me buscaram como fonte segura para gerar modelos de distribuição para seus trabalhos. Vocês foram o reconhecimento direto que recebi pelo conhecimento adquirido.

Finalmente, agradeço à minha companheira Náthali e ao meu filho Caetano, que são as pessoas mais importantes da minha vida. À minha companheira pelo auxílio acadêmico, reflexões, incentivo, inspiração, compreensão e amor. Ao meu filho pela motivação e pelo carinho.

## RESUMO

Padrões de diversidade e endemismo de espécies são supostamente influenciados por três processos principais no espaço e no tempo: (i) limitações históricas e evolutivas, incluindo dispersão em grande escala; (ii) filtros ambientais, representados pelo espaço abiótico em múltiplas escalas; e (iii) filtros bióticos, considerando relações inter- e intraespecíficas. Padrões de biodiversidade na Mata Atlântica brasileira também são supostamente causados por dois fatores principais. O primeiro é a presença de áreas relativamente protegidas das mudanças climáticas ao longo do tempo (i.e. refúgios). O segundo é a heterogeneidade ambiental que organiza as espécies em múltiplos habitats. Mapear e detectar esses habitats e refúgios é fundamental para estudos aplicados (e.g. conservação da biodiversidade) e teóricos (e.g. efeitos de escala). Somado a isso, uma tese vigora na literatura propondo que modelos de distribuição de espécies podem ser utilizados para inferir a distribuição de comunidades. Aplicações deste método agrupam a heterogeneidade interna em um único modelo, o que pode ocultar a capacidade dispersiva de espécies menos comuns ou que ocupam ambientes menos comuns. Por meio deste documento, eu exploro uma antítese ao segregar análises em diferentes habitats. Primeiro, reviso a literatura para entender alternativas para modelar as distribuições das comunidades e exploro, por meio de algoritmos de Machine Learning, uma alternativa para detecção de habitats usando apenas componentes taxonômicos. Em seguida, uso modelos de distribuição de espécies (SDMs) para inferir a distribuição de habitats da Mata Atlântica brasileira no passado e uso a análise categórica de neo- e paleoendemismo (CANAPE) para corroborar os resultados. Por fim, apresento um estudo de caso em nível de espécie com *Paubrasilia echinata*, segregando SDMs em ocorrências naturais e ocorrências cultivadas. Outros artigos onde aplico esta tese também são apresentados. Os estudos incluídos aqui: (1) elucidam como os processos históricos, bióticos e abióticos são atualmente e potencialmente contabilizados em SDMs, destacando alternativas para construir modelos correlativos biologicamente significativos; (2) propõem um modelo para mapear as distribuições de habitats usando a riqueza de espécies em famílias-chave; (3) indicam que a persistência das espécies e a estabilidade climática são cruciais para a manutenção e detecção de padrões de diversidade; (4) revelam regiões de endemismo para a Mata Atlântica brasileira com a persistência de linhagens mais antigas e a diversificação de novas linhagens; e (5) informam sobre dados relevantes para o planejamento de estratégias de conservação.

Como síntese, defendo aqui que comunidades vegetais com grande variação ambiental podem ter sua distribuição melhor mensurada ao se considerar diferentes partições da mesma.

## ABSTRACT

Current patterns of species diversity and endemism are allegedly influenced by three main processes in space and time: (i) Historical and evolutionary constraints, including dispersal at large scales; (ii) environmental filters, represented by the abiotic space at multiple scales; and (iii) biotic drivers, accounting for inter- and intraspecific relationships. Biodiversity patterns in Brazilian Atlantic Forest are also allegedly caused by two main factors. The first is the presence of areas relatively buffered from climatic change over time, i.e. refugia. The second is the environmental heterogeneity that sorts species into multiple habitats. Mapping and detecting those habitats and refugia is key for applied (e.g. biodiversity conservation) and theoretical (e.g. scale effects) studies. Moreover, there is a current thesis in the literature that proposes that species distribution models can be used to infer the distribution of communities. Applications of this method group the internal heterogeneity into a single model, which may hide the dispersive capacity of less common species or that occupy less common environments. I hereby explore an antithesis by segregating analysis into different habitats. I first review the literature to understand alternatives for modeling the communities distributions and explore, through Machine Learning algorithms, an alternative to habitats detection by using only taxonomical components. Then I use species distribution models (SDMs) to infer Brazilian Atlantic Forest habitats distribution to past and Categorical Analysis of Neo- and Paleo-endemism (CANAPE) to corroborate findings. I finally present a study case at the species level with *Paubrasilia echinata*, by segregating SDMs into natural and cultivated occurrences. Further articles where I apply this thesis are also presented. Studies included here: (1) elucidate how historical, biotic and abiotic processes are currently and potentially accounted for in SDMs, highlighting alternatives to build biologically meaningful correlative models; (2) propose a model to map habitat distributions using species richness in key families; (3) indicate that species persistence and climatic stability are crucial for the maintenance and detection of diversity patterns; (4) unveil endemism regions for Brazilian Atlantic Forest with the persistence of older lineages and the diversification of new lineages; (5) inform regarding relevant data for conservation planning. As a synthesis, I defended here that plant communities with great environmental variation can have their distribution better measured when considering different partitions of itself.

## SUMÁRIO

<b>INTRODUÇÃO GERAL</b>	<b>11</b>
<b>PRIMEIRA PARTE</b>	
<b>CAPÍTULO 1: SPECIES DISTRIBUTION MODELS TO HELP INTEGRATE COMMUNITY ECOLOGY</b>	<b>15</b>
Introduction	15
Community Concept	18
Metacommunity Concept	20
Environmental filters	22
Biotic drivers	24
Species Information	26
Challenges and Perspectives	27
Conclusions	29
References	30
<b>CAPÍTULO 2: A MULTI-CLASS CLASSIFICATION FRAMEWORK TO SEGREGATE HABITATS WITH CONFIDENCE</b>	<b>35</b>
Introduction	35
Methods	38
Data base	38
Framework selection	38
Algorithms Selection	39
Instance Selection	39
Algorithms Tuning	40
Final Model	41
Results	41
Discussion	47
Acknowledgements	48
Authors Contributions	48
Data Availability	48
References	49

## SEGUNDA PARTE

<b>CAPÍTULO 3: SPECIES PERSISTENCE AND CLIMATIC STABILITY HAVE SHAPED THE MULTIPLE HABITATS OF THE ATLANTIC BIODIVERSITY HOTSPOT THROUGH FOREST REFUGIA</b>	<b>51</b>
Introduction	52
Methods	55
Study area	55
Species data	56
Climatic data	57
Stacked Species Distribution Modeling	57
Modeling occurrence probability	58
Species dispersal ability profiles	59
Modeling climatic suitability	60
Range size profiles	60
Forest Refugia	61
Validation with pollen data	61
Results	62
Models attributes	62
Projections and forest refugia from habitats	63
Previously and newly hypothesized forest refugia	67
Discussion	68
The refugia theory	68
Species dispersal ability and range size	69
Paleoenvironmental validation	69
Limitations	70
Conclusion	70
Data Availability Statement	71
References	72
<b>CAPÍTULO 4: DELINEATING AND CHARACTERIZING FOREST REFUGIA FROM BRAZILIAN ATLANTIC RAINFOREST HABITATS TO UNDERSTAND THE HISTORY OF A BIODIVERSITY HOTSPOT</b>	<b>77</b>
Introduction	78
Methods	81
Study Area	81
Species Presence Data	82



Molecular Phylogeny of Species	83
Categorical Analysis of Neo- and Paleo-Endemism	83
Results	84
Endemism regions considering Brazilian Atlantic Forest as a whole	84
Endemism regions from Brazilian Atlantic Forest habitats	86
Discussion	89
Conclusion	92
References	92

### **TERCEIRA PARTE**

<b>CAPÍTULO 5: FUTURE UNCERTAINTIES FOR THE DISTRIBUTION AND CONSERVATION OF PAUBRASILIA ECHINATA UNDER CLIMATE CHANGE</b>	<b>96</b>
Introduction	96
Methods	98
Study species	98
Datasets	98
Variable Selection	100
Ecological Niche Modeling	101
Area Calculation	101
Results	102
Discussion	107
Acknowledgements	109
References	109

### **QUARTA PARTE**

<b>CAPÍTULO 6: ARTIGOS PUBLICADOS E SOB REVISÃO EM PARCERIA COM OUTROS PESQUISADORES</b>	<b>112</b>
ARTIGO 1: Beyond endemism, expanding conservation efforts: What can new distribution records reveal?	112
Abstract:	112
ARTIGO 2: Protected areas network is not adequate to protect a critically endangered East Africa Chelonian: Modelling distribution of pancake tortoise, <i>Malacochersus tornieri</i> under current and future climates.	113
Abstract:	113

ARTIGO 3: Distribution shifts, potential refugia, and the performance of protected areas under climate change in the Araucaria moist forests ecoregion	114
ARTIGO 4: Ensemble modeling for the potential distribution <i>Verbesina encelioides</i> (Cav.) Benth. & Hook. Fil ex Gray in South Africa from 2020 to 2090.	115
ARTIGO 5: Climate changes could jeopardize a main source of livelihood in Africa's drylands.	116
<b>CAPÍTULO 7: OUTRAS ATIVIDADES DESENVOLVIDAS</b>	<b>118</b>
<b>CONCLUSÃO GERAL</b>	<b>122</b>
<b>MATERIAL SUPLEMENTAR</b>	<b>125</b>
<b>CAPÍTULO 3: SPECIES PERSISTENCE AND CLIMATIC STABILITY HAVE SHAPED THE MULTIPLE HABITATS OF THE ATLANTIC BIODIVERSITY HOTSPOT THROUGH FOREST REFUGIA</b>	<b>125</b>
Species Metadata	125
Maps of excluded variables	134
PCA cumulative proportions	135
Maps of Habitats Distributions	136
Validation with Pollen Data	148
References for paleoenvironmental studies	151
<b>CAPÍTULO 5: FUTURE UNCERTAINTIES FOR THE DISTRIBUTION AND CONSERVATION OF PAUBRASILIA ECHINATA UNDER CLIMATE CHANGE</b>	<b>154</b>
Table S1	154
Table S2	166

## 1. INTRODUÇÃO GERAL

O presente documento tem como objetivo reunir o trabalho acadêmico produzido no período que compreende o meu doutoramento. Usarei neste texto, por muitas vezes, este termo, que é mais familiar aos portugueses: doutoramento. Prefiro ele ao usual "doutorado", uma vez que o sufixo -mento é usado para transformar verbo em nome. Assim, aquilo que geralmente lemos como nome (doutorado) agora é lido como um verbo (doutorar) transformado em nome (doutoramento). Traz assim também a ideia de processo e movimento. Além do mais, "doutorado" é utilizado coloquialmente como sinônimo de "tese" e eu aprendi durante esse período que o produto do doutoramento não é uma tese, mas sim um doutor.

Fez-se lógico, portanto, separar esta tese em quatro partes, sendo as três primeiras trazendo cinco pesquisas originais concebidas por mim, duas de cunho teórico-metodológico, seguidas de duas de cunho biogeográfico-ecológico e uma última focada na área de conservação. A última parte busca descrever de forma mais breve pesquisas originais produzidas, mas não concebidas por mim, bem como elencar outras atividades desenvolvidas diretamente relacionadas ao doutoramento. Abaixo descrevo brevemente cada uma das partes e, ao final do documento, trago uma conclusão para cada uma das partes.

A primeira etapa que muitos doutorandos se dedicam no início do doutoramento é a elaboração de uma revisão da literatura acerca do tema da sua pesquisa. É claro que isso traz muitas vantagens, pois é necessário um conhecimento profundo de um tema para elaborar hoje uma pesquisa que continuará sendo relevante daqui a quatro anos. Eu sempre evitei essa abordagem, pois achava muito desgastante produzir esse tipo de artigo. No entanto, é isso que eu apresento na primeira parte deste documento. Em um simpósio que eu tive a oportunidade de participar, o então editor-chefe da revista *Ecography* revelou em uma intervenção que precisávamos de uma nova revisão sobre como a modelagem de distribuição de espécies pode ser utilizada para modelar a distribuição de comunidades. Ou seja: exatamente o que eu estava propondo em me especializar. Logo na sequência, ele revelou que estavam abertas as inscrições para o E4, premiação da revista *Ecography* para artigos de revisão. Quando voltei para casa, depois do simpósio, não havia dúvidas na minha cabeça de que eu precisaria me inscrever no concurso. Nós submetemos a proposta e ela foi aprovada. O primeiro capítulo desta tese é a revisão do artigo submetido naquela ocasião.

Uma observação que pude fazer durante meus estudos, é que já existia uma lógica biológica bem clara em algumas partes do processo de modelagem de distribuição de espécies. Um exemplo claro disso é a partição de dados em treino e teste, bem como o cuidado em selecionar variáveis preditoras que possuam relação causal, fugindo de correlações espúrias. No entanto, os algoritmos utilizados ainda são considerados por muitos uma caixa preta. Ou seja, pesquisadores seguem utilizando algoritmos cegamente sem saber como eles funcionam. Excetua-se aqui o MaxEnt que, nesse momento, já contava com diversos trabalhos explicando seu funcionamento, além de ter sido desenvolvido por um pesquisador da área ambiental. A partir disso, desenvolvi um interesse grande em saber como cada algoritmo funcionava e como eu poderia carregar a lógica biológica para os processos que eles executam. Tendo me aprofundado nisso, pensei em desenvolver um artigo breve sobre métodos que eu incluí também na primeira parte deste documento. A ideia era utilizar os algoritmos de aprendizado de máquina para separar habitats considerando três famílias de árvores bastante relevantes na Mata Atlântica. O uso desses algoritmos nesse artigo seria bem diferente do seu uso em modelagem de distribuição de espécies, mas traria à tona os potenciais de seu uso. Esse trabalho também abriu a possibilidade de eu me aprofundar nas mecânicas de cada algoritmo (ou grupos de algoritmos).

De forma geral, a primeira parte sumariza o que eu construí de conhecimento ao longo dos primeiros anos de doutoramento. Nessa etapa, eu pude me aprofundar na compreensão das mecânicas que envolvem a modelagem de distribuição de espécies, algo que seria importante para a próxima etapa.

Uma vez dominados os conceitos que permeiam as modelagens de nicho e de distribuição de espécies, foi possível dar início à segunda parte deste documento e ao artigo que mais me motivou: revisitar a hipótese de Carnaval-Moritz para os refúgios do Pleistoceno, considerando os diferentes habitats da Mata Atlântica e utilizando uma abordagem mais refinada de modelagem. Os refúgios são elementos que explicam padrões de diversidade observados atualmente. Detectá-los pode nos ajudar a entender os processos que levam algumas regiões a serem mais biodiversas que outras, assegurando que essas regiões sejam conservadas. Meu objetivo com esse estudo é tanto trazer novas informações acerca dos refúgios da mata atlântica quanto apresentar uma abordagem biológica para diferentes métodos de modelagem. No entanto, algumas perguntas acerca da distribuição e da delimitação dos refúgios ficaram em aberto. O

segundo artigo da segunda parte traz uma tentativa de resolver questões abertas no capítulo anterior. Aqui eu propus um olhar mais profundo no tempo incluindo informações filogenéticas. Esta segunda parte da tese teve como principal alvo as comunidades arbóreas da mata atlântica.

A terceira parte considera minha formação como indivíduo desde o início da escolarização. Durante todo esse período cultivei um olhar atento para as questões ambientais. Quando comecei meus estudos na graduação, foi imperativo que buscasse conhecimento acerca da conservação das espécies e do ambiente. Dessa forma, busco produzir pesquisa voltada para a conservação desde o início da minha jornada como pesquisador. Não poderia ser diferente durante o doutoramento. Incluo aqui este artigo que publicamos na edição especial da *Acta Botanica Brasilica* em homenagem ao aniversário de 50 anos do nosso Programa de Pós-Graduação, o primeiro em Botânica no Brasil. Nele, utilizei a modelagem de distribuição de espécies para comparar projeções para o futuro de uma árvore que tenho muito apreço: o pau-brasil. Desde que me aprofundei em modelagem de distribuição venho pensando em escrever esses artigos voltados para espécies que eu tenho apreço. Por isso, penso ainda em escrever artigos semelhantes para a figueira-de-folha-miúda, palmeira-juçara, corticeiras, butiás dentre outras.

Sabendo que a academia não é um espaço de construções individuais, mas sim um espaço de construções coletivas, de troca intensa e contato com ideias distintas, eu me dediquei durante este percurso também a trabalhos e ideias de outros pesquisadores, sumarizados na quarta parte. Nesta última parte eu dedico um breve espaço para apresentar artigos que publiquei e elaborei em parceria com diferentes pesquisadores. Alguns desses trabalhos foram concebidos e elaborados por amigos próximos, mas outros foram elaborados por pessoas que nunca vi. Essa possibilidade surgiu no momento em que comecei a responder perguntas sobre SDM em uma lista de e-mails (a lista de e-mails do pacote sdm no R). Em determinado ponto, eu respondia tantas perguntas que outros pesquisadores achavam que eu tinha feito o pacote.

Foi também a partir das perguntas que eu respondia na lista que veio a ideia de criar um blog reunindo alguns questionamentos que eram muito frequentes. O blog ([luizfesser.wordpress.com.br](http://luizfesser.wordpress.com.br)) recebe poucas atualizações, mas guarda um acervo de ideias importantes que eu tento escrever de forma didática e pouco academicista. Um dos usos que consegui dar ao material publicado no blog foi servir de auxílio na

elaboração de aulas. A convite do Prof. Danilo Neves, eu pude dar uma disciplina de introdução aos modelos de distribuição de espécies usando o R na Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG). As aulas construídas na ocasião carregaram muita informação contida no blog.

Finalmente, encerro com uma conclusão, expondo os principais resultados obtidos nas pesquisas elaboradas, bem como elencando outros aprendizados importantes.

O conjunto de artigos trazidos aqui tem como tema comum a heterogeneidade ambiental presente na mata atlântica. Essa heterogeneidade filtra as espécies presentes, formando diferentes habitats. Existe uma tese vigente na literatura que propõe que modelos de distribuição de espécies podem ser utilizados para obter a distribuição de comunidades. Aplicações desse método agrupam a heterogeneidade interna em um único modelo, podendo ocultar a capacidade dispersiva de espécies menos comuns ou que ocupem ambientes menos comuns. A antítese defendida aqui diz que: considerar a heterogeneidade ambiental interna a uma comunidade, dividindo-a em subcomunidades ou, em outro nível de organização, dividir uma espécie em diferentes populações, pode revelar novos padrões que não podem ser detectados quando consideramos a comunidade (ou espécie) como um todo.

## 4. TERCEIRA PARTE

### CAPÍTULO 5: FUTURE UNCERTAINTIES FOR THE DISTRIBUTION AND CONSERVATION OF PAUBRASILIA ECHINATA UNDER CLIMATE CHANGE

#### Authors

Luíz Fernando Esser<sup>1\*</sup> ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2982-7223>

Daniel Dutra Saraiva<sup>1</sup> ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2471-4529>

João André Jarenkow<sup>2</sup> ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2747-3468>

#### Abstract

*Paubrasilia echinata* is a widely cultivated endangered tree species with small populations restricted to a narrow strip of habitats along the Brazilian coast. The potential impacts of climate change on the distribution of *P. echinata* have yet to be investigated, and so it remains unknown whether protected areas will ensure the persistence of the species in the future. Here, we estimate the impacts of climate change on the distribution of *P. echinata* inside and outside of protected areas considering different climate change scenarios and two different sets of presence records: natural distribution and cultivated records. Future scenarios showed a gradual reduction in climatically suitable areas both inside and outside of protected areas. Projections indicate a trend for a shift to the highlands of Southeast Brazil, and the loss of several areas throughout the entire distribution of the species. Predicted climatic conditions will be unsuitable for *P. echinata* inside most protected areas. Information provided here will be relevant in planning future national actions for this species, which is a must to properly protect this long-exploited tree.

**Keywords:** Ecological Niche Modeling, Species Distribution Modeling, Biodiversity Conservation, Tree species, Fabaceae

#### Introduction

Climate change is a major threat to biodiversity and natural ecosystems on a global scale (Parmesan & Yohe 2003; Root et al. 2003). Shifts in species phenology and distribution in response to ongoing climate change have been reported for marine,

freshwater, and terrestrial groups (Parmesan 2006; Franklin, Serra-Diaz, Syphard, & Regan 2016). Several species of vertebrates and plants are expected to lose suitable climate conditions both inside and outside of protected areas (Araújo, Alagador, Cabeza, Nogués-Bravo, & Thuiller 2011; Li et al. 2015). Conserving future biodiversity in a changing climate is a complex issue, as some protected areas will become less effective in the future, while others will maintain their conservation value (Thomas and Gillingham 2015; Berteaux et al. 2018). Therefore, predicting future climate scenarios and their effects on the species ranges is crucial to effective conservation strategies and to mitigate the impacts of climate change on biodiversity.

When planning for conservation strategies, it is crucial to take climate change and species redistribution into account, if not, jeopardizing species persistence. Ecological niche modeling is the main tool to predict the impacts of climate change in species distribution (Peterson, Egbert, Sánchez-Cordero & Price, 2000; Peterson et al. 2002; Peterson 2001). With the development of new algorithms (Guisan & Thuiller 2005) and more accurate future climate predictions with multiple scenarios (Moss et al. 2010), we can reduce uncertainties to better support conservation decisions (Elith et al. 2006).

*Paubrasilia echinata* (Lam.) Gagnon, H.C.Lima & G.P.Lewis (Fabaceae), locally known as '*pau-brasil*' is an endemic and endangered tree species with small populations restricted to narrow habitats along the Brazilian coast. *Pau-brasil* is estimated to have been widely distributed before the arrival of Europeans, as documented by Américo Vespúcio (1504) when he wrote to the king of Portugal saying the Brazilian coast had no profitable resource, but an infinity of *pau-brasil*. Commercial exploitation until 1875 drastically reduced populations (Souza 1939), despite conservation attempts such as the *Pau-Brasil* statute (Brasil 1605). Since the development of synthetic dyes, the main use of *pau-brasil* shifted to luthiery, as the building material of high-end violin and cello bows (Skeaping 1955; Longui et al. 2010). In 1978, *pau-brasil* was declared as Brazil's national tree (LEI N° 6.607). Currently it is widely distributed due to conservation efforts. It is cultivated in plant nurseries for urban landscaping and educational purposes. Although the species is found in 11 protected areas, it is unknown whether these areas will maintain viable populations under global climate change, which is the main driver of species redistribution in the XXI century (Thuiller 2004; Diniz-Filho et al. 2009; Thuiller et al. 2011; Loyola et al. 2014; Sales et al. 2017). So far no studies have estimated the potential impacts of climate change on the distribution of *P. echinata*. This



is particularly alarming given the low levels of gene flow and genetic diversity of its populations in nature (Lira et al. 2003; Cardoso et al. 2005).

Our goal is to estimate the impacts of climate changes on the distribution of *P. echinata*, searching for climatic stable areas where a long-term conservation strategy could be applied, as well as to assess its potential distribution inside of protected areas in different climate change scenarios. We expect a decline of climatically suitable areas for *P. echinata* both inside and outside of protected areas, as the Atlantic forest habitats where it occurs are highly vulnerable to climate changes (Bellard et al. 2014, Esser et al. 2019). A secondary goal is to estimate the contribution of cultivated records to the models. We expect those records to help find sites where the species will have a long-term persistence and in which the species would never reach despite human mediated migration. It is important to point out that the use of non-natural records is not recommended in ecological niche modeling, since they may include biased information (i.e. environmental information where the species is not actually suitable without human management), and further inferences over this results should be taken with caution.

## Methods

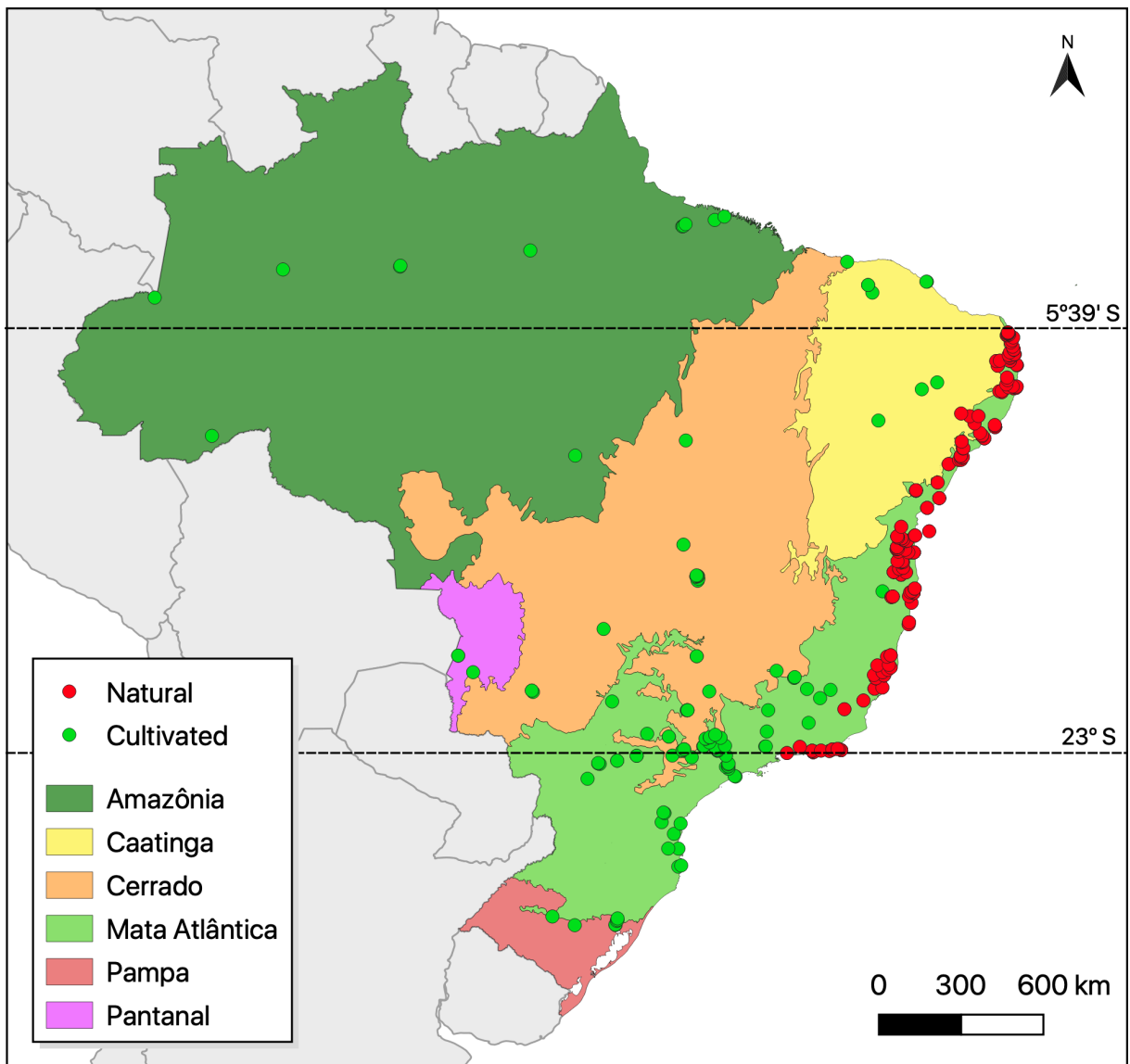
### *Study species*

*Paubrasilia echinata* is a semideciduous or deciduous medium sized tree (up to 20m tall), armed with prickles, chestnut brown to almost black bark; red heartwood and when injured the trunk exudates a red sap (Gagnon et al. 2016). *Paubrasilia* is a monospecific genus endemic to Eastern Brazil, with occurrence from the Brazilian states of Rio Grande do Norte to Rio de Janeiro within the Brazilian Atlantic Forest hotspot. Its main habitats are well-drained soils in coastal white-sand woodlands (tall *restinga*), seasonal forest (semideciduous forest) and rain forest (Gagnon et al. 2016; Lima 2019). This species is listed in CITES Appendix II and is listed as endangered at the national (CNCFlora, 2012) and global (IUCN, 2019) level due to a population size reduction of 50% in three generations.

### *Datasets*

Species occurrence data was obtained from SpeciesLink, GBIF, JABOT and ReFlora, and were subject to a data cleaning approach, where we deleted miswritten coordinates, as well as records with zero degrees. We also deleted duplicated records within the same

cell of a raster with 5-arcmin resolution. Data were then divided in a natural distribution and a cultivated group. The first group was build considering Castro (2002), which after an extensive literature review, based on 23 studies, proposed that the natural distribution of *P. echinata* is the Brazilian coast, extending from 5°39' S in Rio Grande do Norte to 23° S in Rio de Janeiro. Records selection was made manually using QGIS. The second group comprised all records, including both natural distribution and cultivated records (Fig. 1). Presence records summed a total of 237 sites, of which 180 were considered from its natural distribution (Tab. S1 and S2). We considered this second approach due to the potential resistance to be unveiled by environmental conditions in those sites, expanding the niche breath of the species. The following routine was then applied for both datasets.



**Figure 1** Records of *Paubrasilia echinata*, segregated in natural occurrences and cultivated occurrences.

### Variable Selection

Variable selection was conducted in two steps. We firstly pre-selected WorldClim 1.4 (Hijmans et al. 2006) 5-arcmin bioclimatic variables that matched species ecology and habitats where it is found (Esser et al. 2019). Rainforest variables were mean temperature of wettest quarter (BIO 8) and precipitation of warmest quarter (BIO 18), which are both proxy of tropical climate, and annual precipitation (BIO 12), which, together with BIO 18, tracks the lack of dry season. *Restinga* forest was represented by mean diurnal range, temperature seasonality and precipitation of driest month (BIO 2, 4 and 14), which are respectively proxy of maritimity, altitude and dry. BIO 14 was also representative of seasonal forest, since it is also a dry formation. To represent this last habitat, were selected also mean temperature of driest quarter (BIO 9), which is proxy of dry and heat, and precipitation seasonality (BIO 15), which is proxy of seasonality. The summarized pre-selection is presented in Table 1. Secondly, we conducted a statistical selection using a Variance Inflation Factor (VIF) approach with the *usdm* package from R environment (Naimi et al. 2014; R Core Team 2018), selecting variables with correlation between 0.5 and -0.5; and VIF lower than 3. This grants a lower dependency from variables and high predictability. This statistical approach is dependent on the background data, so we masked bioclimatic variables with a one-degree width buffer for each presence coordinate, which better describes the distribution of the species and their surroundings.

Habitat	Variables
Rainforest	*BIO8 = Mean Temperature of Wettest Quarter
	*BIO12 = Annual Precipitation
	BIO18 = Precipitation of Warmest Quarter
Restinga	BIO2 = Mean Diurnal Temperature Range
	*BIO4 = Temperature Seasonality
	BIO14 = Precipitation of Driest Month
Semideciduous	BIO5 = Max Temperature of Warmest Month
	BIO9 = Mean Temperature of Driest Quarter
	BIO14 = Precipitation of Driest Month

**Table 1** Pre-selection of variables according to each habitat. Variables marked with a \* are those that most appeared in the selection routine, thus used to build models.

### *Ecological Niche Modeling*

Models were generated using 10 algorithms (Artificial Neural Network, ANN, Classification Tree Analysis, CTA, Flexible Discriminant Analysis, FDA, Generalized Additive Model, GAM, Generalized Boosting Model, GBM, Generalized Linear Model, GLM, Surface Range Envelope, SRE, Multiple Adaptive Regression Splines, MARS, Random Forest, RF, and MaxEnt) in three independent runs, selecting in each run 1000 pseudo-absences randomly distributed in the study area, of 5-fold cross-validation, keeping 20% of records for model evaluation. We calculated True Skill Statistic (TSS) that minimized the error for each model and made a weighted ensemble model summing those with optimum TSS greater than 0.7. Then, models were projected to current and four future scenarios (RCP-2.6, RCP-4.5, RCP-6.0, RCP-8.5; IPCC 2013) to the years of 2050 and 2070. To reduce uncertainties, we used 11 General Circulation Models (BCC-CSM1-1, CCSM4, GISS-E2-R, HadGEM2-AO, HadGEM2-ES, IPSL-CM5A-LR, MIROC-ESM-CHEM, MIROC-ESM, MIROC5, MRI-CGCM3 and NorESM1-M). Finally, we calculated the committee average of projections, which returns both a prediction and a measure of uncertainty, since it is the simple average of binary predictions (i.e. cells with values close to one are those that most models agree with a presence, cells with values close to zero are those that most models agree with an absence and cells with value of 0.5 are those that half of models predict a presence, while the other half predict an absence). Ecological niche models were made using biomod2 package in R (Thuiller et al. 2016).

### *Area Calculation*

Area value was obtained with a weighted method, where presence probability is multiplied by cell's area, then summing all raster values (Esser et al. 2019). This approach results in a conservative area that considers that occupancy is not equal between cells. When we first obtained area values we realized the *Amazônia* biome had a great bias in results. Given the fact that its soil properties are a key factor to species persistence and we have not considered it in these models, we decided to exclude suitability values in *Amazônia* in this step. Despite this fact, we present here the complete projections.

## Results

Models TSS' values ranged in natural distribution from 0.186 to 0.744 with mean value of 0.562 and standard deviation of 0.112. When considering complete data, the values ranged from 0.151 to 0.787 with mean value of 0.569 and standard deviation of 0.116. Ecological niche model unveiled that currently *P. echinata* has a potential suitable distribution ranging from 1,137,920 to 1,794,434 km<sup>2</sup> (Tab. 2). Of this total area, 7.1% to 7.39% are considered to be within protected areas (Tab. 3). Future scenarios showed a gradual reduction in species suitable area (with increasing CO<sub>2</sub> concentration), ranging from 1,648,148 km<sup>2</sup> for RCP 2.6 in the year 2070, considering both natural and cultivated records, to 376,479 km<sup>2</sup> for RCP 8.5 in the year 2070, considering just records in the natural occurrence area (Tab. 2). In the same way, potential distribution inside protected areas in future scenarios ranges from 144,155 km<sup>2</sup> for RCP 4.5 in the year 2070, considering both natural and cultivated records, to 45,645 km<sup>2</sup> for RCP 8.5 in the year 2070, considering records in the natural occurrence area (Tab. 3).

Scenario	Natural (km2)	Cultivated (km2)	Difference (km2)
Current	1,137,920	1,794,434	656,513
RCP-2.6/2050	850,905	1,648,148	797,243
RCP-2.6/2070	844,532	1,691,666	847,135
RCP-4.5/2050	718,347	1,532,665	814,318
RCP-4.5/2070	608,911	1,528,558	919,647
RCP-6.0/2050	780,776	1,586,449	805,673
RCP-6.0/2070	609,799	1,487,229	877,430
RCP-8.5/2050	605,881	1,533,199	927,318
RCP-8.5/2070	376,479	1,409,438	1,032,959

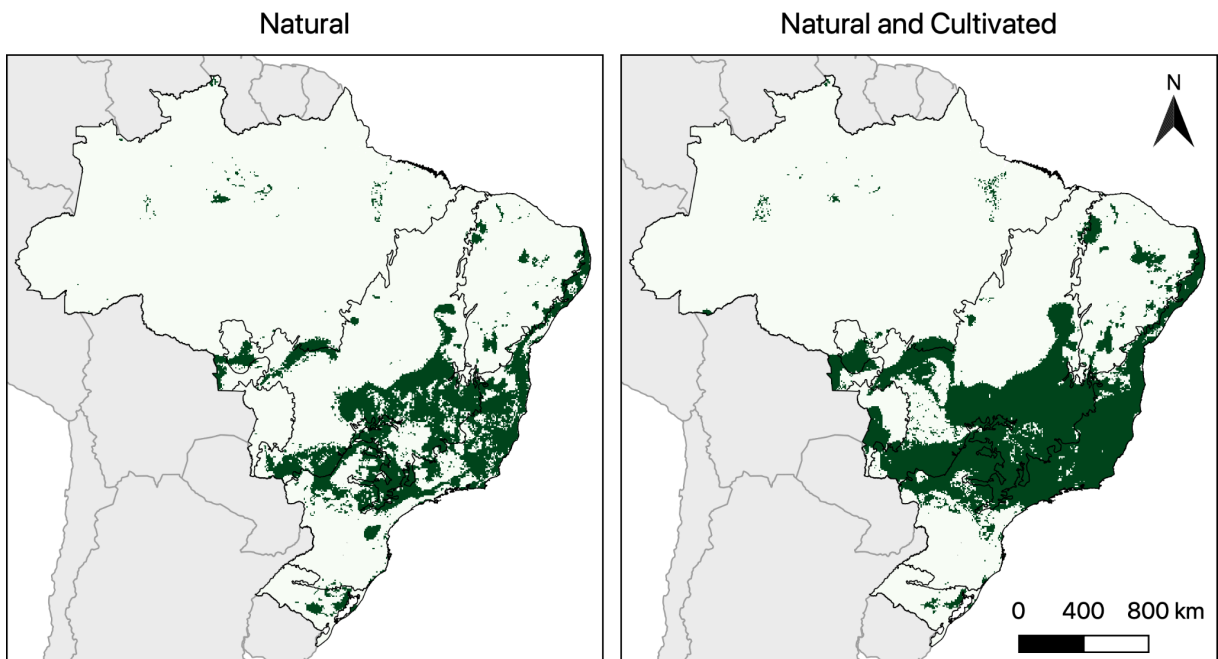
**Table 2** Total summed area in current and future scenarios using a weighted method, which results in conservative values.

Scenario	Natural (km2)	Natural (%)	Cultivated (km2)	Cultivated (%)	Difference (km2)
Current	84,048	7.39	127,347	7.10	43,299
RCP-2.6/2050	84,293	9.91	137,040	8.31	52,747
RCP-2.6/2070	87,183	10.32	141,573	8.37	54,390
RCP-4.5/2050	81,693	11.37	143,090	9.34	61,397

RCP-4.5/2070	71,646	11.77	144,155	9.43	72,509
RCP-6.0/2050	88,431	11.33	143,465	9.04	55,034
RCP-6.0/2070	70,951	11.64	138,180	9.29	67,229
RCP-8.5/2050	68,561	11.32	141,270	9.21	72,708
RCP-8.5/2070	45,645	12.12	132,435	9.40	86,791

**Table 3** Protected area in current and future scenarios considering current Brazilian protected areas network. Percentage values are in terms of the area presented in Table 2.

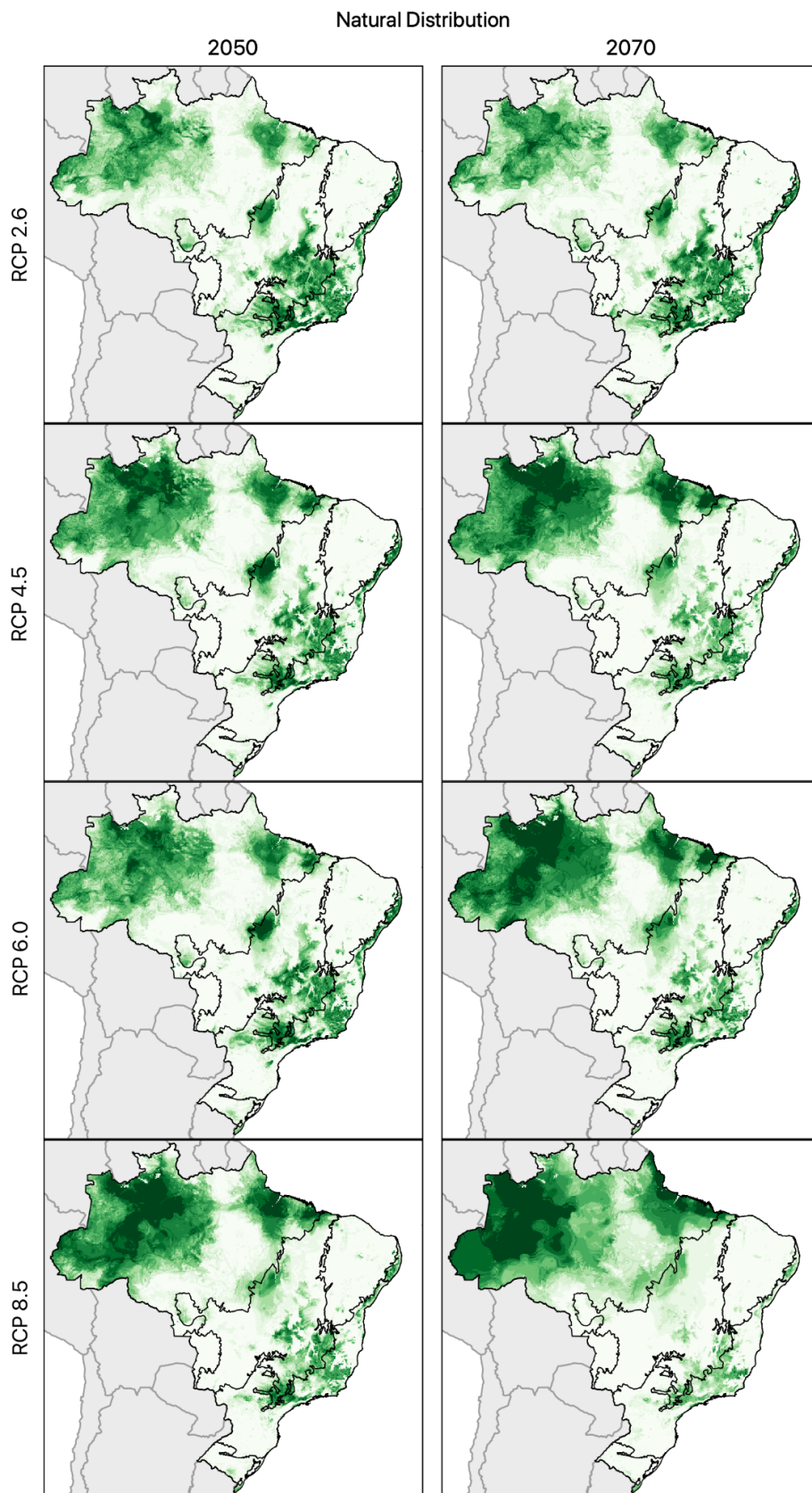
Projections from natural occurrence models revealed a considerably larger distribution than the previously known for *P. echinata* (Fig. 2). The states of Mato Grosso, Goiás, Minas Gerais and the continental portion of Bahia seem to have the same environmental suitability as its natural distribution. Furthermore, the state of São Paulo, as well as scattered sites in Mato Grosso do Sul and even Paraná may also be considered good places for that species to grow.



**Figure 2** Committee average of projections for current scenario.

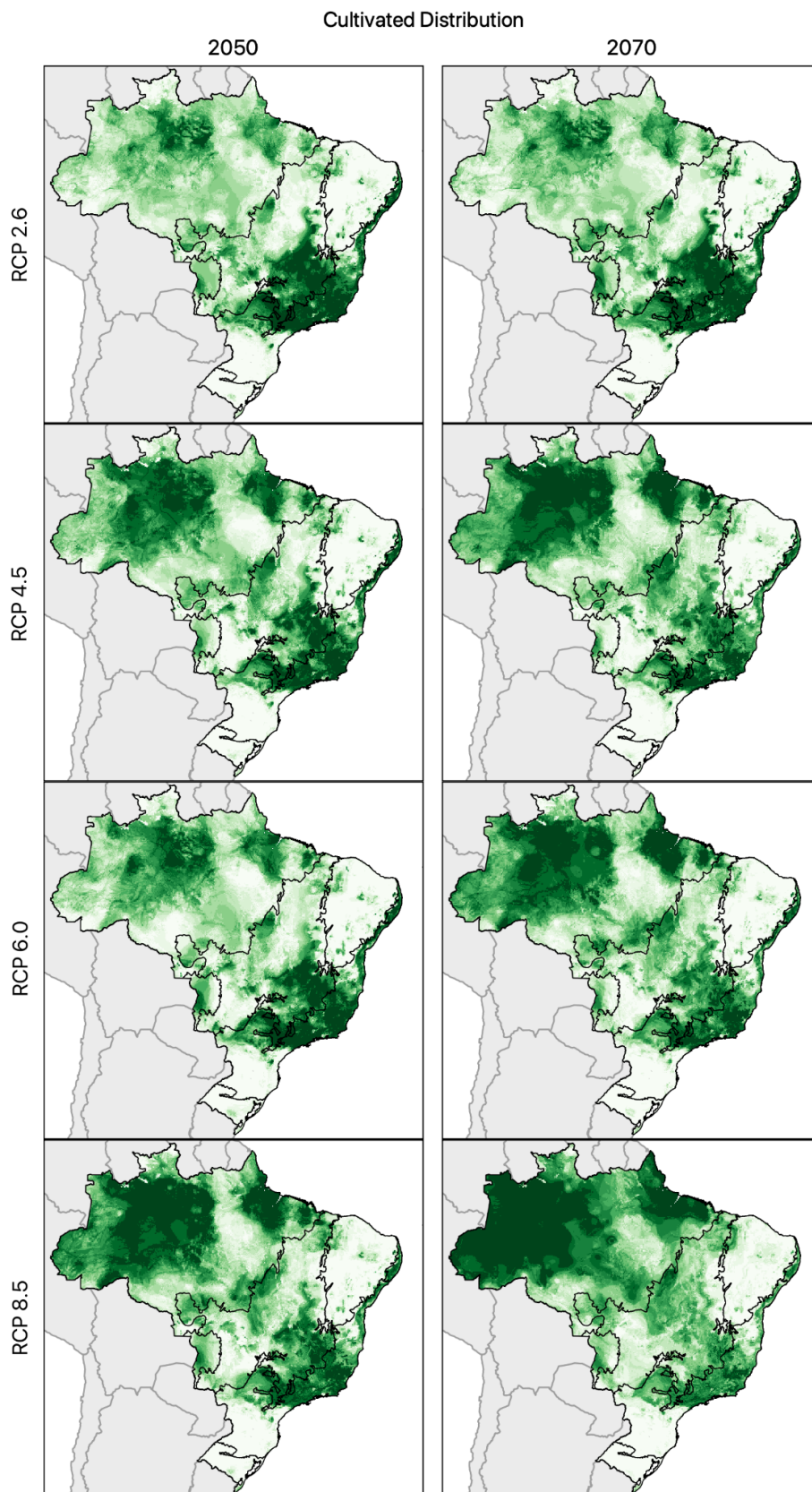
Future projections indicate a shift trend to Southeast Brazil and loss of several areas throughout its distribution range. It is expected to remain, in the worst cases, in few places along the Brazilian coast (states of Espírito Santo and Alagoas) and in the states of Minas Gerais and São Paulo (Fig. 3). Considering cultivated records, projections showed a similar trend along its distribution, but with higher overall adequability, remaining, in the worst case, with suitable areas in the states of São Paulo and Rio de

Janeiro in addition to projections considering just natural occurrences (Fig. 4). Most of all, the coastal region of Pernambuco and Alagoas, as well as the South of Espírito Santo and São Paulo are key regions to the preservation of *P. echinata*, since they will have high suitability even in the worst scenarios. We identified three main climatic stable areas: the Northeast Brazil (Fig. 5A, a), the highlands of Southeast Brazil (mountains of Espírito Santo and Minas Gerais, Fig. 5A, b) and highlands of São Paulo (Fig. 5A, c). Stable areas presented a low number of future scenarios agreeing with the presence of *P. echinata* inside most protected areas.

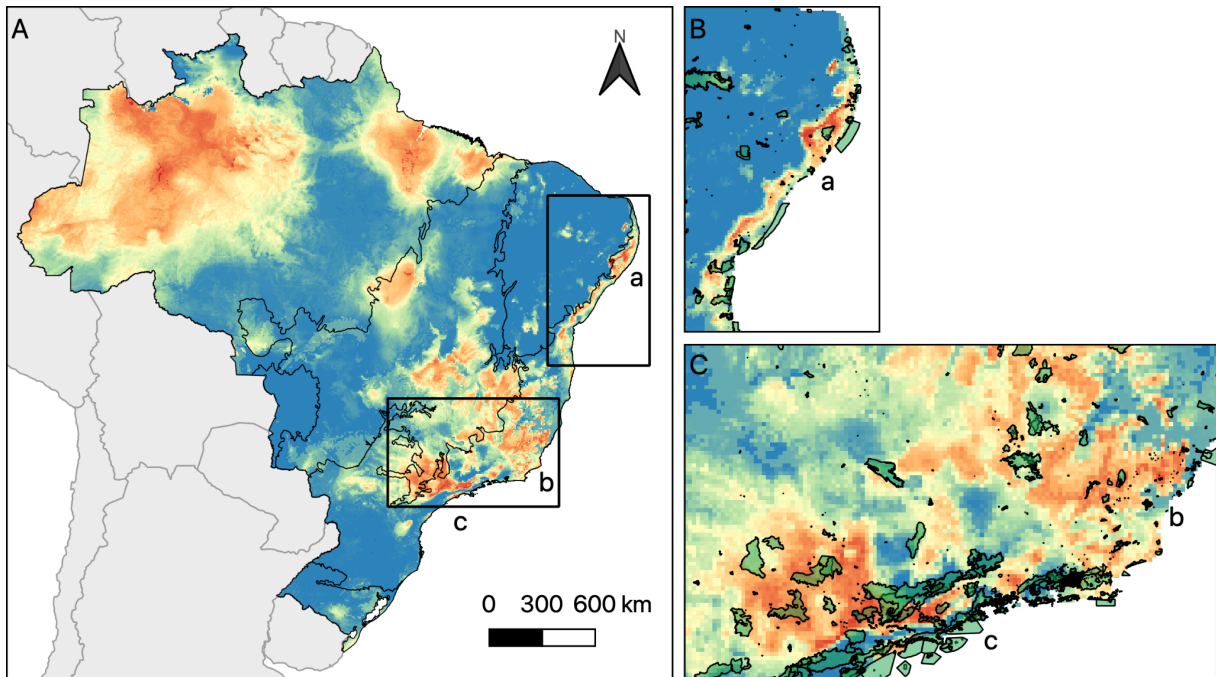


**Figure 3** Future projections (committee average) of *Paubrasilia echinata* considering records in its natural occurrence only.





**Figure 4** Future projections (committee average) of *Paubrasilia echinata* considering records in its natural occurrence, as well as cultivated records.



**Figure 5** Climatic stable areas to *Paubrasilia echinata* along future scenarios considering natural presence records. Red cells indicate high-stability sites. Blue cells indicate low-stability sites. In zoomed panels, green polygons indicate protected areas' boundaries. Lowercase letters identify the three main climatic stable areas: the Northeast Brazil (a), the highlands of Southeast Brazil (mountains in the states of Espírito Santo and Minas Gerais, b) and highlands of state of São Paulo (c).

## Discussion

Climatically suitable area for *P. echinata* is larger than previously considered (Gagnon et al. 2016), although it may not fully colonize area within the continent since the coast of Brazil has a major altitudinal shift. In this way, sierras of the Brazilian coast are possibly acting as a barrier to migration, even though there is a suitable area for the species to grow. The Mean Diurnal Temperature Range (BIO2) variable was firstly selected to generate models, since it is a proxy of continentality, but it had high correlation with other variables, thus it was discarded after our selection routine. *P. echinata* thrives in a relatively wide variety of habitats, from coastal outcrops and white-sand forests (Restinga forest) to seasonal and rain forests, but always in well-drained soils (Gagnon et al. 2016). To consider soil attributes in ecological niche models may be particularly difficult, especially when projecting models into future scenarios, since soil will not change as quickly as the climate, resulting in a higher importance to this variable. The lack of studies on the species distribution limits our inferences over which environmental filters are working to prevent *P. echinata*'s expansion into areas where it could potentially occur. Its relation with well-drained

soils may give us a clue on why it does not colonize inner continent areas and other biomes such as Amazônia and Pantanal, despite the evidenced climatic suitability. Regardless of that, projections show an altitudinal shift in suitability through future scenarios.

As we didn't consider landscape metrics in this study, such as structural and functional connectivity, edge effect or patch size, our inferences over population dynamics are weak, and it is essential in further studies. The increase of relatively protected area within future scenarios, followed by a decrease in absolute protected and total area, indicates that habitat loss will be more intense outside conservation units. This leads us to a problematic scenario, since a major driver of species extinction is habitat fragmentation, which is particularly severe in *P. echinata* populations due to exploitation and selective logging (Cardoso et al. 2005). Despite that, it makes necessary to point out that, due to this long-term relative isolation of the natural populations, there is a high genetic diversity, with markedly morphological differences that may be recognized in future studies as new taxa (Lima 2019), and which may grant species quick adaptation, resilience and persistence through scenarios, although genetic diversity within populations is very low due to the discontinuity of the distribution.

Despite the fact that none of the protected areas that houses *pau-brasil* nowadays may sustain it in future scenarios, the species will not be unprovided of protection. *Parque Nacional da Serra de Itabaiana* (Sergipe), *Refúgio da Vida Silvestre Mata do Urucu* (Pernambuco), *Reserva Biológica da Pedra Talhada* (Alagoas), *Reserva Biológica Augusto Ruschi* (Espírito Santo), *Área de Proteção Ambiental Bacia do Paraíba do Sul* (São Paulo) and *Parque Estadual da Serra do Mar* (São Paulo), as well as three different private reserves (*Reservas Particulares do Patrimônio Natural* – RPPNs) are predicted to harbor *P. echinata* in the next 50 years.

Climate stability maps (Fig. 5) can also be interpreted as potential areas for reforestation and restoration, which is particularly interesting for *P. echinata*, since light intensity in open areas of the forest positively influences growth rates (Zani et al. 2012). This species can act as a colonizer and thus as a promoter of the restoration process in degraded sections on forest edges (Sattler et al. 2018), facilitating as well the species migration.

*Paubrasilia echinata* will have a major obstacle in future scenarios, which is to adapt to new environments where it is not growing naturally. It may be capable to do

that, since cultivated organisms show a high adaptation capacity to a myriad of habitats, developing relatively well. The significant difference in area between models (natural vs. cultivated) unveiled a huge potential for species adaptation. To consider cultivated records can drive future researches with ecological niche models to other cultivated species as well. Although some cultivated organisms may not bloom or fruit (e.g. due to ecological needs) or generate viable seeds (e.g. due to pollinators absence), these records amplify the niche breath of the species.

Even if *P. echinata* suffers greatly with climate changes, it is not likely to be extinct since it is an important symbol of our country, having not just a crucial role in Brazil's history, but also in the development of Brazilian culture. *P. echinata* may be a potential flagship species for the conservation of Brazilian flora, since it has public appeal and is not restricted to one habitat. This research may also be key to a future national action plan for this species, which is a must to properly protect this long-exploited tree.

### **Acknowledgements**

This study was financed in part by the *Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil* (CAPES) - Finance Code 001. LFE was supported by CAPES PhD scholarship and DDS was supported by a postdoctoral fellowship (PNPD-CAPES). We thank three helpful anonymous reviewers for their contribution to improve this manuscript.

### **References**

- Araújo MB, Alagador D, Cabeza M, Nogués-Bravo D & Thuiller W. 2011. Climate change threatens European conservation areas. *Ecology Letters* 14: 484–492. <https://doi.org/10.1111/j.1461-0248.2011.01610.x>
- Bellard C, Leclerc C, Leroy B, Bakkenes M, Veloz S, Thuiller W & Courchamp F. 2014. Vulnerability of biodiversity hotspots to global change. *Global Ecology and Biogeography* 23: 1376–1386.
- Berteaux D, Ricard M, St-Laurent MH, Casajus N, Périé C, Beauregard F & de Blois S. 2018. Northern protected areas will become important refuges for biodiversity tracking suitable climates. *Scientific Reports* 8: 4623.
- Brasil. 1605. Regimento do Pau-Brasil. Available at: <https://www.historiadorbrasil.net/docum-entos/pau-brasil.htm>.
- Cardoso SRS, Provan J, Lira CDF, Pereira LDOR, Ferreira PCG & Cardoso MA. 2005. High levels of genetic structuring as a result of population fragmentation in the tropical tree species *Caesalpinia echinata* Lam. *Biodiversity and Conservation* 14: 1047-1057.

- Castro CFA. 2002. *Gestão Florestal No Brasil Colônia*. PhD Thesis, Universidade de Brasília, Brasília.
- CNCFlora. 2012. *Caesalpinia echinata*. In: Lista Vermelha da flora brasileira versão 2012.2. Centro Nacional de Conservação da Flora.
- Diniz-Filho JAF, Bini LM, Rangel TF et al. 2009. Partitioning and mapping uncertainties in ensembles of forecasts of species turnover under climate change. *Ecography* 32: 897–906.
- Elith J, Graham H, Anderson R et al. 2006. Novel methods improve prediction of species' distributions from occurrence data. *Ecography* 29: 129–151.
- Esser LF, Neves DM & Jarenkow JA. 2019. Habitat-specific impacts of climate change in the Mata Atlântica biodiversity hotspot. *Diversity and Distributions* 00: 1-11. <https://doi.org/10.1111/ddi.12984>
- Franklin J, Serra-Diaz JM, Syphard AD & Regan HM. 2016. Global change and terrestrial plant community dynamics. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 113: 3725–3734. <https://doi.org/10.1073/pnas.1519911113>
- Gagnon E, Bruneau A, Hughes CE, Paganucci L & Lewis GP. 2016. A new generic system for the pantropical *Caesalpinia* group (Leguminosae). *PhytoKeys* 71: 1-160.
- Guisan A and Thuiller W. 2005. Predicting species distribution: Offering more than simple habitat models. *Ecology Letters* 8: 993–1009.
- Hijmans RJ, Cameron SE & Parra JL. 2006. Worldclim global climate layers Version 1.4. Available from WorldClim database: <http://www.worldclim.org>.
- IPCC. 2013. IPCC Fifth Assessment Report (AR5). IPCC, s. 10-12.
- IUCN 2019. The IUCN Red List of Threatened Species. Version 2019-1. Available from IUCN Red List of Threatened Species: <http://www.iucnredlist.org>.
- Li X, Clinton N, Si Y, Liao J, Liang L & Gong P. 2015. Projected impacts of climate change on protected birds and nature reserves in China. *Science Bulletin* 60: 1644–1653. <https://doi.org/10.1007/s11434-015-0892-y>
- Lima HC. 2019. Paubrasilia. In: *Flora do Brasil 2020 em construção*. Jardim Botânico do Rio de Janeiro.
- Lira CF, Cardoso SRS, Ferreira PCG, Cardoso MA & Provan J. 2003. Long-term population isolation in the endangered tropical tree species *Caesalpinia echinata* Lam. revealed by chloroplast microsatellites. *Molecular Ecology* 12: 3219-3225.
- Longui EL, Yojo T, Lombardi DR & Alves ES. 2010. The potential of ipê (*Handroanthus* spp.) and Macarandura (*Manilkara* spp.) woods in the manufacture of bows for string instruments. *IAWA Journal* 31:149-160.
- Loyola RD, Lemes P, Brum FT, Provete DB & Duarte LD. 2014. Clade-specific consequences of climate change to amphibians in Atlantic Forest protected areas. *Ecography* 37: 65–72.
- Moss RH, Edmonds JA & Hibbard KA. 2010. The next generation of scenarios for climate change research and assessment. *Nature* 463: 747-756.
- Naimi B, Hamm Na, Groen TA, Skidmore AK & Toxopeus AG (2014). Where is positional uncertainty a problem for species distribution modeling. *Ecography* 37: 191-203.
- Parmesan C & Yohe G. 2003. A globally coherent fingerprint of climate change impacts across natural systems. *Nature* 421: 37–42. <https://doi.org/10.1038/nature01286>



- Parmesan C. 2006. Ecological and Evolutionary Responses to Recent Climate Change. *Annual Review of Ecology, Evolution, and Systematics* 37: 637–669. <https://doi.org/10.1146/annurev.ecolsys.37.091305.110100>
- Peterson AT. 2001. Predicting species' geographic distributions based on ecological niche modeling. *The Condor* 103: 599–605.
- Peterson AT, Egbert SL, Sánchez-Cordero V & Price KP. 2000. Geographic analysis of conservation priority: Endemic birds and mammals in Veracruz, Mexico. *Biological Conservation* 93: 85–94.
- Peterson AT, Ortega-Huerta MA, Bartley J, et al. 2002. Future projections for Mexican faunas under global climate change scenarios. *Nature* 416: 626–629.
- R Core Team. 2018. R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. URL <https://www.R-project.org/>.
- Root TL, Price JT, Hall KR, Schneider SH, Rosenzweig C & Pounds JA. 2003. Fingerprints of global warming on wild animals and plants. *Nature* 421: 57–60. <https://doi.org/10.1038/nature01333>
- Sales LP, Neves OV, De Marco Jr. P, Loyola R. 2017. Model uncertainties do not affect observed patterns of species richness in the Amazon. *PLoS ONE* 12: e0183785.
- Sattler D, Raedig C, Hebner A & Wesenberg J. 2018. Use of native plant species for ecological restoration and rehabilitation measures in Southeast Brazil. In: Nehren U, Schlüter S, Raedig C, Sattler D & Hissa H. (eds.) *Strategies and tools for a sustainable rural Rio de Janeiro*. Springer International Publishing.
- Skeaping K. 1955. Some speculations on a crisis in the history of the violin. *Galpin Society Journal* 8: 3-12.
- Souza BJ. 1939. *O pau-brasil na História nacional*. São Paulo: Companhia Editora Nacional e MEC.
- Thomas CD & Gillingham PK. 2015. The performance of protected areas for biodiversity under climate change. *Biological Journal of the Linnean Society* 115: 718–730. <https://doi.org/10.1111/bij.12510>
- Thuiller W. 2004. Patterns and uncertainties of species' range shifts under climate change. *Global Change Biology* 10: 2020–2027.
- Thuiller W, Georges D, Engler R & Breiner F. 2016. biomod2: Ensemble Platform for Species Distribution Modeling. R package version 3.3-7.
- Thuiller W, Lavergne S, Roquet C, Boulangeat I, Lafourcade B & Araujo MB. 2011. Consequences of climate change on the tree of life in Europe. *Nature* 470: 531–534.
- Vespúcio A. 1504. Lettera a Soderini.
- Zani LB, Sarnaglia Junior VB, Gomes JML & Thomaz LD. 2012. Estrutura de um fragmento de Floresta Atlântica em regeneração com ocorrência de *Caesalpinia echinata* Lam. (pau-brasil). *Biotemas* 25: 75–89.

## 5. QUARTA PARTE

### 5.1. CAPÍTULO 6: ARTIGOS PUBLICADOS E SOB REVISÃO EM PARCERIA COM OUTROS PESQUISADORES

Creio que uma das principais atividades que tive a oportunidade de participar e criar e que ajudaram a aprimorar minha cultura científica foi a participação em trabalhos acadêmicos, estando eles publicados ou não. Poder escutar as ideias de outros pesquisadores que traziam seus problemas e tentar responder-lhes principalmente com modelos de distribuição de espécies é muito engrandecedor. Esses modelos já são utilizados para diferentes fins, os quais eu tive a oportunidade de explorar, como espécies invasoras, impactos de mudanças climáticas e modelagem de espécies raras. Abaixo eu cito alguns dos artigos que foram publicados ou que estão submetidos.

#### **ARTIGO 1: Beyond endemism, expanding conservation efforts: What can new distribution records reveal?**

**Citação:** Köhler, M., Esser, L. F., Font, F., Souza-Chies, T. T., & Majure, L. C. (2020). Beyond endemism, expanding conservation efforts: What can new distribution records reveal?. *Perspectives in plant ecology, evolution and systematics*, 45, 125543.

#### **Abstract:**

Geographical range is one of the critical features for species conservation assessment. Nevertheless, species distribution is frequently unknown, undervalued or overlooked. During a broad taxonomic and floristic study of the southern South American prickly pear species (*Opuntia* spp.), new records of a species previously considered endemic to Argentina have been found in Uruguay and Brazil. Molecular phylogenetic inference was carried out to further evaluate the identity of the new records, and ecological niche models were implemented to test how the new records would fit in the previous known distribution of the species. Through molecular and morphological evidence, we confirmed the new records of *Opuntia bonaerensis* for Brazilian and Uruguayan floras and discussed its phylogenetic relationship and morphological similarities with closely

related species. Our new records uncovered a distribution pattern congruent with the Neotropical Peripampasic Orogenic Arc, which must be further explored to better determine the biogeographic history of the species. Ecological niche models (ENM) revealed that *O. bonaerensis* likely had a putative ancient distribution across the grasslands and shrublands in the Pampean region largely congruent with the populations found in Brazil and Uruguay, suggesting relictual Pleistocene populations of the species and the role of glacial/interglacial cycles on the distribution of the species. In a prospective climate change scenario, ENM suggests that the species would in general be more restricted to the southernmost limits of the Pampa region and previous outlying records from Mendoza (Argentina) are a putative future refuge for *O. bonaerensis*. The importance of these new records for biodiversity and conservation assessment efforts that are ongoing at different scales in Brazil and neighboring areas is highlighted.

**Keywords:** Cactaceae, Ecological niche modelling, Molecular systematics, *Opuntia*, Pampa, Pleistocene.

**ARTIGO 2: Protected areas network is not adequate to protect a critically endangered East Africa Chelonian: Modelling distribution of pancake tortoise, *Malacochersus tornieri* under current and future climates.**

**Citação:** Eustace, A., Esser, L. F., Mremi, R., Malonza, P. K., & Mwaya, R. T. (2021). Protected areas network is not adequate to protect a critically endangered East Africa Chelonian: Modelling distribution of pancake tortoise, *Malacochersus tornieri* under current and future climates. *PloS one*, 16(1), e0238669.

**Abstract:**

While the international pet trade and habitat destruction have been extensively discussed as major threats to the survival of the pancake tortoise (*Malacochersus tornieri*), the impact of climate change on the species remains unknown. In this study, we used species distribution modelling to predict the current and future distribution of pancake tortoises in Zambezian and Somalian biogeographical regions. We used 224 pancake tortoise occurrences obtained from Tanzania, Kenya and Zambia to estimate



suitable and stable areas for the pancake tortoise in all countries present in these regions. We also used a protected area network to assess how many of the suitable and stable areas are protected for the conservation of this critically endangered species. Our model predicted the expansion of climatically suitable habitats for pancake tortoises from four countries and a total area of 90,668.75 km<sup>2</sup> to ten countries in the future and an area of 343,459.60–401,179.70 km<sup>2</sup>. The model also showed that a more significant area of climatically suitable habitat for the species lies outside of the wildlife protected areas. Based on our results, we can predict that pancake tortoises may not suffer from habitat constriction. However, the species will continue to be at risk from the international pet trade, as most of the identified suitable habitats remain outside of protected areas. We suggest that efforts to conserve the pancake tortoise should not only focus on protected areas but also areas that are unprotected, as these comprise a large proportion of the suitable and stable habitats available following predicted future climate change.

**Keywords:** Pancake tortoise, *Malacochersus tornieri*, species distribution modelling, suitable habitat, stable habitat, protected area, climate change.

### **ARTIGO 3: Distribution shifts, potential refugia, and the performance of protected areas under climate change in the Araucaria moist forests ecoregion**

Citação: Saraiva, D. D., **Esser, L. F.**, Grasel, D., & Jarenkow, J. A. (2021). Distribution shifts, potential refugia, and the performance of protected areas under climate change in the Araucaria moist forests ecoregion. *Applied Vegetation Science*, 24(4), e12628.

#### **Abstract:**

**Aim:** Araucaria moist forests are particularly vulnerable to climate change due to their strict climatic requirements and patchy distribution. Therefore, identifying areas where these forests are expected to lose or retain climatically suitable space (i.e., climate change refugia) is urgently required. Here, we modeled the current and future climatic suitability for Araucaria moist forests aiming: (a) to identify areas of suitable climate

(i.e., in situ and ex situ refugia); (b) to identify areas of climate retraction; and (c) to assess the effectiveness of protected areas to capture climatically suitable space.

**Location:** Araucaria moist forests ecoregion, southern Brazil and northeast Argentina.

**Methods:** We mapped the potential distribution of Araucaria moist forests using an ensemble forecasting approach with 18 indicator tree species (all wet- and cold-adapted taxa), six algorithms, eight global circulation models, three representative concentration pathways (RCPs 4.5, 6.0, and 8.5), and three periods (current, 2050, and 2070).

**Results:** We predicted substantial losses of future climatic suitability across almost the entire range where these forests occur, ranging from 43% to 64% under optimistic (RCP4.5/2050) and high-emissions (RCP8.5/2070) scenarios. We found that the protected-areas network captured only 3% of the climatically suitable space under current conditions. We found that only 4% (top 1% of cells) and 12% (top 5% of cells) of the potential refugia would be protected in the future, with less than half of their areas corresponding to in situ refugia.

**Conclusions:** Projected losses of potential distribution and the low efficacy of protected areas to buffer climate change impacts point to a high-risk scenario for Araucaria moist forests in the near future. Cold-adapted tree species likely will face increased extinction risk, especially as climate change will interact with other anthropogenic drivers.

**Keywords:** Biodiversity conservation, climate change refugia, ensemble modeling, global warming, species distribution models.

**ARTIGO 4: Ensemble modeling for the potential distribution *Verbesina encelioides* (Cav.) Benth. & Hook. Fil ex Gray in South Africa from 2020 to 2090.**

Citação: Moshobane, M.C., **Esser, L.F.** (2022). Ensemble modeling for the potential distribution of invasive weed *Verbesina encelioides* in South Africa from 2020 to 2090. *Management of Biological Invasions* 13 (in press)

**Abstract:**

*Verbesina encelioides* (Cav.) Benth. & Hook. Fil ex Gray (Asteraceae) is a perennial herb species belonging to the family Asteraceae. The plant is an aggressive, obligate out breeder weed that has invaded vast expanses of pastures, orchards and forest areas in tropical and subtropical regions. The purpose of this study was to determine the current and potential future habitat suitability for *Verbesina encelioides*, an invasive weed in South Africa. The result of the ensemble model based on current climatic conditions, highlights that *Verbesina encelioides* has high probability of occurrence in all the nine provinces of South Africa. Area values ranged from 810,612.09 km<sup>2</sup> in 2070, an increase in 4.23% in relation to current projection, to 663,356.44 km<sup>2</sup> in 2090, a decrease in 14.7% in relation to current projection. The outcome of the future predictions showed that *Verbesina encelioides* would benefit from predicted climate change in South Africa. The findings may be used as a precautionary measure for implementing early detection and rapid response or developing one.

**Keywords:** Invasive plant species, golden crown-beard, Asteraceae, *Ximenesia encelioides*, South Africa.

**ARTIGO 5: Climate changes could jeopardize a main source of livelihood in Africa's drylands.**

**Citação:** Esser, L.F. & Elias, C. (2022). Climate changes could jeopardize a main source of livelihood in Africa's drylands. *Journal for Nature Conservation*. *Under review*.

**Abstract:**

Climate change in Africa poses a serious threat to many ecosystems and livelihoods, making them vulnerable to climate-related risks. Gum and resin bearing tree species as the genus *Boswellia* are the main economic and livelihood sources in most dryland areas of Africa. We use species distribution models to find critical sites where *Boswellia* species may no longer occur in the future. Our models identify potential regions that could benefit from their cultivation and promote conservation efforts for the species to thrive. We projected models to new CMIP6 scenarios and different dispersion profiles.

Despite the prevailing aridity already imposed on the species, *Boswellia* distribution shows a dramatic reduction. Future investments in *Boswellia* restoration and strategies to promote sustainable extraction of resources may be key to sustain populations and *Boswellia* dominated forests in many parts of the African continent.

**Keywords:** non-timber forest products, *Boswellia*, global warming.

## 5.2. CAPÍTULO 7: OUTRAS ATIVIDADES DESENVOLVIDAS

Um outro ponto que foi importante nesta etapa, foi a criação de um blog ([luizfesser.wordpress.com.br](http://luizfesser.wordpress.com.br)). Nele, eu escrevi alguns textos para difundir alguns conhecimentos sobre SDMs, mas atualmente o escopo acabou crescendo e uma das principais atividades que eu mantenho é montar funções no R que solucionem problemas comuns entre pesquisadores de diversas áreas. Assim, por exemplo, em uma ocasião eu queria obter dados de presença do GBIF através do R para rodar SDMs. Então eu montei uma função que baixasse os dados do GBIF e os organizasse de forma a ficarem prontos para entrarem em uma função de SDM. De forma parecida, eu também criei uma função que retorna o status de conservação de uma espécie segundo a IUCN, facilitando o trabalho daqueles que querem acessar o status de muitas espécies ao mesmo tempo. Outro caso foi quando me perguntaram sobre uma função no R para baixar dados climáticos. Quem costumeiramente acessa esses dados sabe que o pacote raster tem uma função para obter dados de diferentes fontes. No entanto, esta função estava desatualizada, retornando dados do WorldClim 1.4. Então eu criei uma função para obter dados do WorldClim 2.1 no mesmo molde da função do pacote raster. O mesmo foi feito para dados do PaleoClim, que também não tinha nenhum acesso direto através do R. Mais dois artigos do blog envolvem variáveis ambientais. O primeiro sobre as 19 variáveis bioclimáticas onde eu explico um pouco o significado ecológico de cada uma, bem como problemas que podem surgir no uso delas. O segundo fala sobre seleção de variáveis, um tópico sensível em modelagem de nicho e distribuição de espécies. Esse post deu origem a uma aula na disciplina de Introdução à Modelagem de Distribuição de Espécies no R. Outro post que contribuiu para uma aula foi o post em que eu diferencio dois conjuntos de dados que são comumente confundidos em SDM: pseudoausências e background. Naturalmente que todas as funções criadas e postadas no blog também estão no GitHub.

No primeiro semestre de 2021 eu tive a oportunidade de ministrar no Programa de Pós-Graduação em Biologia Vegetal da UFMG a disciplina TÓPICOS EM BIOLOGIA VEGETAL III: Fundamentos de Modelagem de Distribuição de Espécies no R. A disciplina foi pensada para ser semanalmente com metade da carga horária teórica (20 horas) e metade prática (25 horas). Ela se propunha a abordar os principais tópicos envolvendo modelos de distribuição de espécies, compreendendo: conceitos teóricos, conceitos

estatísticos, desenvolvimento de modelos em R, o estado-da-arte e futuros desdobramentos desta técnica. Como a ideia era ser introdutória, não havia pré-requisito, embora conhecimento de R e geoprocessamento pudessem ajudar bastante. As aulas eram on-line através do Microsoft Teams e síncronas, mas toda semana eu deixava atividades assíncronas para serem realizadas. Nas duas primeiras aulas teóricas, foi discutido o que determina a distribuição das espécies, o diagrama BAM (biotic-abiotic-movement), os ambientes biótico e abiótico, a teoria neutra e conceitos de nicho, a Dualidade de Hutchinson, alguns princípios de Machine Learning, o framework de SDMs e suas suposições, bem como a apresentação de diferentes possibilidades para aplicar SDMs. Nos cursos e disciplinas que eu havia participado como discente, a base teórica inicial era pouco frisada, então resolvi aumentá-la montando duas aulas teóricas. Essas aulas eram seguidas de práticas no ambiente R com uma introdução bem geral sobre a linguagem e uma introdução ao pacote sdm, que seria utilizado nas outras aulas. A disciplina então seguiu o framework dos SDMs: primeiro falamos sobre dados de espécies e dados ambientais, depois sobre algoritmos e validação de modelos, depois projeções e aplicações. Dentro dos dados de espécies foi falado sobre a organização e manipulação de dados de espécies (presença, ausências, pseudo-ausências e background), problemas de resolução e extensão, obtenção e manipulação de dados no R, bem como a diferença entre os tipos de seleção de background, para o mesmo conjunto de dados. A aula sobre dados ambientais levou em conta aspectos de seleção de variáveis e causalidade, variáveis de confusão e multicolinearidade, variáveis categóricas e contínuas, bem como problemas de resolução e extensão. Ao falar sobre algoritmos eu evitei uma abordagem específica, muito comum em cursos de SDM. Ao invés de explicar com precisão como cada algoritmo funciona, eu exemplifico em linhas gerais o funcionamento geral de cada classe de algoritmos. Assim, é possível entender o que cada algoritmo faz de diferente sem entrar em questões matemáticas que podem assustar os alunos buscando uma informação introdutória. Com os modelos prontos, o próximo tópico foi a validação de modelos. Métodos de validação, matriz de confusão e suas métricas, overfitting, limiares para binarização de resultados e Erros de comissão e omissão foram os principais tópicos. Projeções no tempo e no espaço foram os tópicos que se seguiram, com discussão sobre mudanças climáticas, espécies invasoras, ensemble models e incerteza. Esse conjunto de aulas era suficiente para se obter um modelo de distribuição de uma espécie, mas a disciplina seguiu ainda com uma aula

sobre aplicações e outra sobre o estado-da-arte. Na primeira, foi discutido como transformar os modelos obtidos em informação biologicamente relevante, isto é, como observar padrões, planejar conservação e inferir processos. Na segunda, espécies raras, modelagem de conjuntos de espécies e interações biológicas. Parte das aulas práticas consistia em demonstrar a teoria em R, mas principalmente explorar diferentes abordagens dentro do mesmo tópico. A avaliação final foi um resumo estendido que os alunos fizeram dos próprios projetos com SDMs.

Além dessa disciplina, minha atuação como professor também chegou ao ensino básico. Em algumas situações aceitei o desafio de falar sobre mudanças climáticas e sobre pesquisa acadêmica para alunos do ensino fundamental e médio. Essas ocasiões foram muito valiosas, pois necessitam que o discurso seja revisado para englobar uma audiência mais ampla. De forma semelhante, fui convidado para ser avaliador de feiras de ciências. É possível traçar um paralelo entre uma palestra para alunos do ensino fundamental/médio sobre um tema complexo e a avaliação de um trabalho científico feito por esses mesmos alunos. Um artigo científico requer um rigor que é cobrado pelo revisor. O revisor possui um papel crucial na ciência: garantir os padrões do processo científico. Assim, minha atitude nessas situações foi puramente essa.

Existe um fenômeno comum quando trabalhamos com ensino que é pressupor a incapacidade do outro (principalmente crianças e jovens) de compreender fenômenos complexos. Alguns teóricos da educação fazem um contraponto a essa ideia. Vygotsky, por exemplo, propôs a ideia de zona de desenvolvimento proximal, ou seja: aquele problema que uma pessoa consegue resolver com ajuda. Crianças pequenas já são capazes de entender fenômenos complexos (como mudanças climáticas) desde que propriamente inseridos. Assim, nunca poupei os alunos (e meu filho) de uma boa explicação até que eu tivesse certeza que eles tinham compreendido o meu ponto.

Disso, é possível trazer aqui mais dois pontos que contribuíram para minha formação científica: a graduação como licenciado e a atuação como revisor. Durante o doutoramento, estive envolvido com uma segunda graduação: a de licenciatura em ciências biológicas. Esse período me permitiu uma reflexão maior sobre o que é ciência, uma vez que estive imerso em um ramo completamente diferente deste em que o doutoramento está inserido. Meu trabalho de conclusão foi voltado para um tema que sinto falta na academia, embora o Brasil seja um país líder: a divulgação científica. Eu acredito que nós cientistas temos um papel importante na difusão do conhecimento, a

qual começa justamente na tradução de um texto voltado para o público acadêmico para um texto voltado para o público geral. Somado a isso, eu tive a oportunidade de revisar artigos para cinco revistas diferentes. Assumir esse papel de fiador é bastante preocupante para um neófito, mas o tempo é capaz de deixar o processo de revisão mais leve.



## 6. CONCLUSÃO GERAL

Pesquisas anteriores a este documento, encontradas na literatura acadêmica, construíam modelos de distribuição para comunidades da mata atlântica considerando a tese de que essas comunidades seriam ambientalmente homogêneas. Neste documento, tentei sintetizar uma antítese construída durante meu doutoramento: a heterogeneidade ambiental dentro de uma comunidade vegetal afeta sua distribuição em macroescala. Para este debate, foi feita uma preparação metodológica, um estudo de caso testando a teoria de refúgios (uma vez que já temos o modelo de Carnaval-Moritz para refúgios da mata atlântica brasileira) e uma aplicação focada na conservação de uma espécie. A última destinando-se a observar se a antítese também se aplicaria ao nível de espécies, o que também pode ser observado no primeiro artigo do capítulo 6 (*Beyond endemism, expanding conservation efforts: What can new distribution records reveal?*).

No primeiro capítulo (revisão bibliográfica sobre modelagem de distribuição de espécies para inferir informações sobre comunidades) foi possível atribuir algumas explicações biológicas a métodos de modelagem. Sua elaboração foi conturbada, uma vez que o tempo para submissão do E4 era curto. O artigo em sua versão anterior, chegou a ser submetido e rejeitado. As principais críticas à versão anterior foram sobre a organização do texto, bem como a falta de novidades para o campo. A versão apresentada neste texto é revisada tendo em vista os comentários dos revisores. Este artigo me inspirou a buscar modelos de distribuição para traços funcionais, o que eu considero um dos desdobramentos futuros para SDMs. Outro desdobramento necessário é o de novas técnicas para lidar com espécies raras (menos de 10 registros). Esta, eu já venho trabalhando com o Prof. Reginaldo Ré, Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR), trazendo métodos de aprendizado de máquina para dados biológicos.

O segundo capítulo partiu da ideia de que seria possível inferir comunidades pretéritas a partir de dados de pólen. Um modelo seria gerado para os dados de pólen do presente, classificando-os em diferentes habitats da mata atlântica. Com isso, seria possível usar o modelo para recriar comunidades pretéritas com base em dados de pólen pretéritos. No entanto, a falta de dados foi uma barreira intransponível. Com isso, tentamos uma abordagem diferente usando dados de famílias arbóreas e obtivemos uma boa concordância entre a riqueza de espécies dessas famílias e diferentes comunidades.

Na literatura é possível encontrar uma miríade de estudos sobre distribuição de espécies em cenários de mudanças climáticas, tanto no passado quanto no futuro. Mas

ainda são escassos os estudos que contemplam mais de um tipo vegetacional. Essa abordagem causa confusão, uma vez que necessita o esclarecimento de diversos conceitos (vide Capítulo 1). Dessa forma, ao aplicar modelos de distribuição de espécies com espécies arbóreas distribuídas em diferentes tipos vegetacionais, foi possível observar refúgios que antes não eram percebidos quando se olhava para todos os tipos vegetacionais como um conjunto único. Nesse ínterim, a segunda parte trouxe luz para a possibilidade de novas abordagens detectarem padrões que antes não eram encontrados. Foi possível detectar áreas previamente hipotetizadas como refúgios de árvores da mata atlântica, mas que não possuíam evidências suficientes. Da mesma forma, o delineamento feito considerando uma maior escala temporal demonstrou uma barreira separando grandes refúgios em dois. Desta parte eu pretendo levar para os próximos trabalhos uma maior inserção de algoritmos de aprendizagem de máquina para entender os processos que levam algumas regiões a serem mais biodiversas que outras. Como posto anteriormente, o último artigo trazido na íntegra aqui, juntamente com o primeiro artigo do capítulo 6, mostrou indícios de que há lógica em considerar a heterogeneidade ambiental em outras escalas de organização.

A síntese que emerge desses trabalhos é a de que comunidades vegetais (e possivelmente outros níveis de organização biológica) com grande variação ambiental podem ter sua distribuição (pretérita, presente e futura) melhor aferida ao considerar diferentes partições desta mesma comunidade.

No transcurso do doutoramento, nos últimos quatro anos e meio, me possibilitou aprendizados valiosos tanto dentro quanto fora da academia. Na academia, passei a valorizar mais a comunicação. Foi através de e-mails respondendo perguntas e criando material que entrei em contato com pesquisadores de diversos países e pude publicar artigos que nunca imaginei que me envolveria (fora da área da botânica). Resiliência foi uma das habilidades mais presentes no período. Resiliência para poder adaptar o projeto a um novo estilo de vida e seguir em constante adaptação. O gerenciamento de tempo veio junto, uma vez que passei a estar com meu filho em tempo integral. Adaptar-se ao novo: aprender novas habilidades. Mais do que isso, desenvolver apreço pelo novo. Querer novidades, pois é assim que crescemos.

Como posto no início deste documento, reforço aqui no final: o produto do doutoramento não é uma tese, mas sim um doutor. Assim, o que esperar de alguém que chegou ao fim desta etapa? Eu acredito que motivar-se pelo desafio e pela resolução dos

problemas é o que faz um doutor. A curiosidade para buscar novas (ou velhas) formas de responder novas (ou velhas) perguntas.

CAPÍTULO 5: FUTURE UNCERTAINTIES FOR THE DISTRIBUTION AND  
CONSERVATION OF PAUBRASILIA ECHINATA UNDER CLIMATE CHANGE

**Table S1**

**Table S1** Raw data from each of the dataset

Source	Latitude	Longitude
GBIF	22.193167	-8.509361
GBIF	-6.705	-32.935556
GBIF	-7.137417	-34.846417
GBIF	-7.115	-34.863056
GBIF	-7.115	-34.863056
GBIF	-7.115	-34.863056
GBIF	-7.115	-34.863056
GBIF	-8.12328	-34.931058
GBIF	-6.680889	-34.947528
GBIF	-8.012778	-34.950278
GBIF	-8.012778	-34.950278
GBIF	-8.012778	-34.950278
GBIF	-8.012778	-34.950278
GBIF	-8.012778	-34.950278
GBIF	-8.012778	-34.950278
GBIF	-8.012778	-34.950278
GBIF	-8.012778	-34.950278
GBIF	-8.0786	-34.9686
GBIF	-8.078611	-34.968611
GBIF	-8.078611	-34.968611
GBIF	-8.076667	-34.975833
GBIF	-6.5022	-34.9769
GBIF	-6.502222	-34.976944
GBIF	-6.493556	-34.978583
GBIF	-6.493556	-34.978583
GBIF	-8.115635	-34.990612
GBIF	-6	-35
GBIF	-6.374122	-35.023558
GBIF	-6.374122	-35.023558
GBIF	-6.374194	-35.023611
GBIF	-6.838889	-35.125833
GBIF	-6.604444	-35.129167
GBIF	-6.604444	-35.129167
GBIF	-6.960278	-35.135
GBIF	-6.960278	-35.135

Source	Latitude	Longitude
GBIF	-6.960278	-35.135
GBIF	-6.9603	-35.135
GBIF	-6.820028	-35.138944
GBIF	-6.960278	-35.14
GBIF	-6.741861	-35.142056
GBIF	-5.883333	-35.166667
GBIF	-6.719722	-35.181833
GBIF	-5.825	-35.183333
GBIF	-5.842278	-35.193361
GBIF	-5.842278	-35.193361
GBIF	-5.841944	-35.194167
GBIF	-8.040139	-35.194556
GBIF	-5.816667	-35.2
GBIF	-5.816667	-35.2
GBIF	-5.908333	-35.225
GBIF	-5.908333	-35.225
GBIF	-55.102778	-35.226111
GBIF	-5.8525	-35.226944
GBIF	-5.849167	-35.229444
GBIF	-7.639167	-35.248333
GBIF	-7.92	-35.28
GBIF	-7.92	-35.28
GBIF	-8.188611	-35.470444
GBIF	-9.614667	-35.740778
GBIF	-9.583333	-35.75
GBIF	-10.126861	-36.175611
GBIF	-10.033333	-36.266667
GBIF	-10.000556	-36.266667
GBIF	-10.05	-36.27
GBIF	-10.047778	-36.273611
GBIF	-10.026667	-36.298611
GBIF	-10.026667	-36.298611
GBIF	-10.026667	-36.298611
GBIF	-10.03	-36.3

Source	Latitude	Longitude
GBIF	-10.03	-36.3
GBIF	-10.03	-36.3
GBIF	-9.212449	-36.418083
GBIF	-10.33	-36.49
GBIF	-10.328056	-36.493889
GBIF	-9.518611	-36.575833
GBIF	-9.220833	-36.773056
GBIF	-10.529179	-37.03148
GBIF	-10.544	-37.0418
GBIF	-10.544	-37.0418
GBIF	-10.890033	-37.053817
GBIF	-10.531778	-37.057194
GBIF	-10.923889	-37.099722
GBIF	-10.923889	-37.099722
GBIF	-10.924056	-37.099889
GBIF	-10.924056	-37.099889
GBIF	-10.925117	-37.101703
GBIF	-10.926806	-37.101861
GBIF	-10.256944	-37.103056
GBIF	-11.0053	-37.1223
GBIF	-10.844667	-37.140194
GBIF	-10.842778	-37.141111
GBIF	-10.842917	-37.141194
GBIF	-11.014772	-37.206389
GBIF	-11.18	-37.633333
GBIF	-11.180056	-37.633472
GBIF	-12.5736	-38.0161
GBIF	-12.573611	-38.016111
GBIF	-12.573611	-38.016111
GBIF	-13.926944	-38.426944
GBIF	-3.721	-38.520222
GBIF	-4.235833	-38.910111
GBIF	-12.25	-38.966667
GBIF	-12.25	-38.966667
GBIF	-12.25	-38.966667
GBIF	-12.25	-38.966667
GBIF	-12.25	-38.97
GBIF	-14.1	-39
GBIF	-16.266667	-39.016667
GBIF	-14.79290678	-39.04908681
GBIF	-14.79290678	-39.04908681

Source	Latitude	Longitude
GBIF	-14.399722	-39.059722
GBIF	-16.85	-39.15
GBIF	-16.85	-39.15
GBIF	-14.794722	-39.170833
GBIF	-16.3825	-39.174167
GBIF	-16.425833	-39.183611
GBIF	-16.419167	-39.202222
GBIF	-16.419167	-39.202222
GBIF	-16.419167	-39.202222
GBIF	-16.419167	-39.202222
GBIF	-16.419167	-39.202222
GBIF	-17.65	-39.25
GBIF	-17.65	-39.25
GBIF	-14.25	-39.25
GBIF	-14.25	-39.25
GBIF	-16.58	-39.25
GBIF	-16.583333	-39.25
GBIF	-16.58	-39.25
GBIF	-15.606667	-39.3725
GBIF	-14.333333	-39.383333
GBIF	-14.683333	-39.4
GBIF	-14.683333	-39.4
GBIF	-14.683056	-39.4
GBIF	-14.683333	-39.4
GBIF	-14.273056	-39.483889
GBIF	-14.273056	-39.483889
GBIF	-14.273056	-39.483889
GBIF	-14.273056	-39.488889
GBIF	-15.158056	-39.528611
GBIF	-15.158333	-39.535
GBIF	-15.158333	-39.535
GBIF	-15.163611	-39.543333
GBIF	-15.163611	-39.543333
GBIF	-14.2139	-39.5522
GBIF	-14.2139	-39.5522
GBIF	-14.213889	-39.552222
GBIF	-14.213889	-39.552222
GBIF	-14.213333	-39.5525
GBIF	-14.2125	-39.5533
GBIF	-14.2125	-39.553333
GBIF	-14.2125	-39.553333



Source	Latitude	Longitude
GBIF	-16.598611	-39.913611
GBIF	-16.599722	-39.913889
GBIF	-16.596944	-39.915
GBIF	-16.616667	-39.966667
GBIF	-16.616667	-39.966667
GBIF	-19	-40
GBIF	-19	-40
GBIF	-19.5	-40
GBIF	-19.5	-40
GBIF	-19	-40
GBIF	-19	-40
GBIF	-19.5	-40
GBIF	-19.591556	-40.114278
GBIF	-19.056944	-40.147222
GBIF	-19.056944	-40.147222
GBIF	-19.056944	-40.147222
GBIF	-19.676667	-40.15
GBIF	-19.676667	-40.15
GBIF	-19.675278	-40.151111
GBIF	-19.675278	-40.151111
GBIF	-19.675278	-40.151111
GBIF	-19.68	-40.16
GBIF	-19.68	-40.26
GBIF	-19.678333	-40.261667
GBIF	-19.729167	-40.278056
GBIF	-19.729167	-40.278056
GBIF	-19.724444	-40.279444
GBIF	-19.72	-40.28
GBIF	-19.73	-40.28
GBIF	-20.278056	-40.302222
GBIF	-19.688417	-40.328327
GBIF	-19.688333	-40.328333
GBIF	-15.061944	-40.678056
GBIF	-15.061944	-40.678056
GBIF	-15.060556	-40.68
GBIF	-15.060556	-40.68
GBIF	-15.060556	-40.68
GBIF	-15.060556	-40.68
GBIF	-15.060556	-40.68
GBIF	-15.060556	-40.68
GBIF	-12.705271	-41.373547

Source	Latitude	Longitude
GBIF	-22.806389	-41.960556
GBIF	-22.716667	-41.966667
GBIF	-22.804722	-41.982778
GBIF	-22.753889	-41.996944
GBIF	-22.753889	-41.996944
GBIF	-22.83	-42.17
GBIF	-22.83	-42.17
GBIF	-22.83	-42.17
GBIF	-22.83	-42.17
GBIF	-22.852777	-42.377777
GBIF	-22.852778	-42.377778
GBIF	-20.412778	-42.454444
GBIF	-22.928611	-42.461111
GBIF	-22.929167	-42.461389
GBIF	-22.92	-42.5
GBIF	-22.92	-42.5
GBIF	-22.751667	-42.593889
GBIF	-22.451105	-42.771084
GBIF	-22.451105	-42.771084
GBIF	-22.451105	-42.771084
GBIF	-20.704456	-42.832902
GBIF	-22.896667	-42.842222
GBIF	-22.896944	-42.8425
GBIF	-22.896944	-42.8425
GBIF	-22.896944	-42.8425
GBIF	-22.869722	-42.887778
GBIF	-22.826389	-42.988889
GBIF	-22.832222	-43.072778
GBIF	-22.832222	-43.072778
GBIF	-22.918056	-43.077778
GBIF	-22.945555	-43.0875
GBIF	-22.944444	-43.0875
GBIF	-22.94	-43.09
GBIF	-22.950833	-43.103889
GBIF	-22.940278	-43.115556
GBIF	-22.940278	-43.115556
GBIF	-22.944167	-43.116667
GBIF	-22.963889	-43.161389
GBIF	-22.963611	-43.161667
GBIF	-22.963611	-43.161667

Source	Latitude	Longitude
GBIF	-22.963611	-43.161667
GBIF	-22.963889	-43.162778
GBIF	-22.963333	-43.163056
GBIF	-22.963333	-43.163056
GBIF	-22.963333	-43.163056
GBIF	-22.963333	-43.163056
GBIF	-22.964722	-43.186111
GBIF	-22.964722	-43.186111
GBIF	-22.967642	-43.224864
GBIF	-22.993742	-43.346797
GBIF	-22.844266	-43.369561
GBIF	-23.022778	-43.4725
GBIF	-22.984167	-43.638333
GBIF	-22.984167	-43.638333
GBIF	-19.891611	-43.915972
GBIF	-22.725889	-45.094417
GBIF	-23.938556	-46.372694
GBIF	-23.429444	-46.616667
GBIF	-23.640417	-46.623917
GBIF	-23.4625	-46.630833
GBIF	-23.4625	-46.630833
GBIF	-23.533959	-46.665945
GBIF	-23.578912	-46.671521
GBIF	-23.56423	-46.692346
GBIF	-23.558944	-46.722389
GBIF	-23.4048	-46.727985
GBIF	1.056722	-46.786556
GBIF	-22.892389	-47.064306
GBIF	-22.9056	-47.065751
GBIF	-22.862167	-47.086278
GBIF	-22.250722	-47.158444
GBIF	-22.786	-47.162222
GBIF	-22.733556	-47.177778
GBIF	-22.38374	-47.266702
GBIF	-20.475944	-47.405139
GBIF	-22.411694	-47.546917
GBIF	-22.710111	-47.630583
GBIF	-22.708306	-47.630778
GBIF	-22.708417	-47.631083
GBIF	-22.7253	-47.6492
GBIF	-15.866667	-47.85

Source	Latitude	Longitude
GBIF	-15.866667	-47.85
GBIF	-15.7583	-47.8667
GBIF	-15.76	-47.87
GBIF	-15.947222	-47.877778
GBIF	-15.947222	-47.877778
GBIF	-15.947222	-47.877778
GBIF	-15.731944	-47.925
GBIF	-21.24525	-48.292194
GBIF	-21.246472	-48.293944
GBIF	-21.246583	-48.294278
GBIF	-21.246194	-48.303917
GBIF	-22.843056	-48.427389
GBIF	-22.842222	-48.4325
GBIF	-1.455481	-48.441283
GBIF	-1.45965	-48.489828
GBIF	-1.455731	-48.490178
GBIF	-22.891472	-48.496917
GBIF	-22.888833	-48.498472
GBIF	-23.099972	-48.912333
GBIF	-22.32975	-49.05175
GBIF	-22.3235	-49.057556
GBIF	-26.905556	-49.079167
GBIF	-25.825	-49.347278
GBIF	-25.825	-49.347278
GBIF	-11.783333	-50.866667
GBIF	-30.019139	-51.237222
GBIF	-23.403611	-51.937222
GBIF	-23.404722	-51.938056
GBIF	-24.04925	-52.373361
GBIF	-21.03591	-56.457005
GBIF	-19.016667	-57.65
GBIF	-3.106353	-59.852464
GBIF	-3.105711	-59.873409
GBIF	-3.03036	-59.97586
GBIF	-10.024722	-67.705
JABOT	-8.0127778	-34.9502778
JABOT	-6.9602778	-35.135
JABOT	-5.8166667	-35.2
JABOT	-7.92	-35.28
JABOT	-10.0333333	-36.2666667
JABOT	-10.0477777	-36.2736111



Source	Latitude	Longitude
JABOT	-10.0266667	-36.2986111
JABOT	-10.0266667	-36.2986111
JABOT	-10.0266667	-36.2986111
JABOT	-10.3280556	-36.4938889
JABOT	-12.5736111	-38.0161111
JABOT	-16.4191667	-39.2022222
JABOT	-16.4191667	-39.2022222
JABOT	-17.65	-39.25
JABOT	-14.6833334	-39.4
JABOT	-14.2730556	-39.4838889
JABOT	-15.1636111	-39.5433333
JABOT	-14.2138889	-39.5522222
JABOT	-14.2133333	-39.5525
JABOT	-14.2125	-39.5533333
JABOT	-15.7127778	-39.5672223
JABOT	-16.9775	-39.5688889
JABOT	-16.9761111	-39.5713889
JABOT	-15.6986111	-39.5777778
JABOT	-16.9683334	-39.5794445
JABOT	-15.7388889	-39.5844444
JABOT	-15.7388889	-39.5844444
JABOT	-15.7388889	-39.5844444
JABOT	-15.5641667	-39.6291667
JABOT	-15.5722223	-39.6525
JABOT	-15.5722223	-39.6525
JABOT	-15.565	-39.6591667
JABOT	-14.65	-39.7333333
JABOT	-14.5666667	-39.7333333
JABOT	-14.5666667	-39.7333333
JABOT	-14.5666667	-39.7333333
JABOT	-14.5666667	-39.7333333
JABOT	-19.0569444	-40.1472222
JABOT	-19.6766667	-40.15
JABOT	-19.6752778	-40.1511111
JABOT	-19.6752778	-40.1511111
JABOT	-19.6752778	-40.1511111
JABOT	-19.6783334	-40.2616667
JABOT	-19.7291667	-40.2780556
JABOT	-19.7291667	-40.2780556
JABOT	-19.7244445	-40.2794445
JABOT	-15.0619444	-40.6780556

Source	Latitude	Longitude
JABOT	-15.0605556	-40.68
JABOT	-15.0605556	-40.68
JABOT	-15.0605556	-40.68
JABOT	-15.0605556	-40.68
JABOT	-22.8063889	-41.9605556
JABOT	-22.7166667	-41.9666667
JABOT	-22.8047222	-41.9827778
JABOT	-22.7538889	-41.9969444
JABOT	-22.9286111	-42.4611111
JABOT	-22.9291667	-42.4613889
JABOT	-22.7516667	-42.5938889
JABOT	-22.8966666	-42.8422222
JABOT	-22.8969444	-42.8425
JABOT	-22.8969444	-42.8425
JABOT	-22.8697223	-42.8877777
JABOT	-22.8263889	-42.9888889
JABOT	-22.8322223	-43.0727778
JABOT	-22.9180556	-43.0777778
JABOT	-22.9455555	-43.0875
JABOT	-22.9444444	-43.0875
JABOT	-22.9508333	-43.1038889
JABOT	-22.9402777	-43.1155556
JABOT	-22.9441666	-43.1166667
JABOT	-22.9638889	-43.1613889
JABOT	-22.9636111	-43.1616667
JABOT	-22.9638889	-43.1627778
JABOT	-22.9633333	-43.1630556
JABOT	-22.9633333	-43.1630556
JABOT	-22.9647222	-43.1861111
JABOT	-22.9647222	-43.1861111
JABOT	-23.0227778	-43.4725
JABOT	-22.9841666	-43.6383333
JABOT	-22.9841666	-43.6383333
JABOT	-15.9472222	-47.8777778
JABOT	-11.7833333	-50.8666667
REFLORA	-12	0
REFLORA	-16	-0.010833333
REFLORA	-19.5	-0.011111111
REFLORA	-19	-0.011111111
REFLORA	-19	-0.011111111
REFLORA	-22	-0.011666667

Source	Latitude	Longitude
REFLORA	-22.94416667	-0.128611111
REFLORA	-5.9	-0.259722222
REFLORA	-17.65	-0.260833333
REFLORA	-10.03333333	-0.276666667
REFLORA	-11.78333333	-0.880555556
REFLORA	-22.71666667	-0.978055556
REFLORA	-5.510833333	-1.143055556
REFLORA	-8.012777778	-1.959444444
REFLORA	-8.012777778	-1.959444444
REFLORA	-8.012777778	-1.959444444
REFLORA	-14.27305556	-2.494166667
REFLORA	-15.71277778	-2.5775
REFLORA	-14.13722222	-2.744166667
REFLORA	-5.8425	-3.209722222
REFLORA	-19.67527778	-4.161111111
REFLORA	-19.67527778	-4.161111111
REFLORA	-19.67527778	-4.161111111
REFLORA	-5.842777778	-4.209722222
REFLORA	-15.73888889	-4.594166667
REFLORA	-15.73888889	-4.594166667
REFLORA	-15.73888889	-4.594166667
REFLORA	-22.87944444	-6.028333333
REFLORA	-6.960277778	-6.143055556
REFLORA	-6.960277778	-6.143055556
REFLORA	-5.849166667	-6.143055556
REFLORA	-8.078611111	-7.976111111
REFLORA	-16.41916667	-8.210833333
REFLORA	-16.41916667	-8.210833333
REFLORA	-14.21388889	-8.560833333
REFLORA	-14.21388889	-8.560833333
REFLORA	-16.9775	-8.5775
REFLORA	-14.21333333	-9.560833333
REFLORA	-15.57222222	-9.660833333
REFLORA	-15.57222222	-9.660833333
REFLORA	-22.96472222	-10.19527778
REFLORA	-22.96472222	-10.19527778
REFLORA	-6.329166667	-10.35972222
REFLORA	-6.329166667	-10.35972222
REFLORA	-6.329166667	-10.35972222
REFLORA	-22.83	-12.17833333
REFLORA	-22.83	-12.17833333

Source	Latitude	Longitude
REFLORA	-14.2125	-12.56083333
REFLORA	-14.2125	-12.56083333
REFLORA	-22.95083333	-14.11194444
REFLORA	-22.94555556	-15.09527778
REFLORA	-22.94444444	-15.09527778
REFLORA	-22.86972222	-16.895
REFLORA	-16.97611111	-17.5775
REFLORA	-22.98416667	-18.64527778
REFLORA	-22.98416667	-18.64527778
REFLORA	-14.27305556	-20.49416667
REFLORA	-22.82638889	-20.995
REFLORA	-23.02277778	-21.47861111
REFLORA	-22.83222222	-22.07861111
REFLORA	-5.836944444	-22.24305556
REFLORA	-19.82055556	-23.27777778
REFLORA	-24.04916667	-24.38111111
REFLORA	-10.04777778	-25.27666667
REFLORA	-5.938055556	-30.25972222
REFLORA	-15.73194444	-30.92972222
REFLORA	-22.89666667	-32.845
REFLORA	-15.565	-33.66083333
REFLORA	-22.89694444	-33.845
REFLORA	-22.89694444	-33.845
REFLORA	-55.10277778	-34.22638889
REFLORA	-15.16361111	-36.54416667
REFLORA	-10.32805556	-38.49333333
REFLORA	-22.75166667	-38.595
REFLORA	-5.841944444	-39.19305556
REFLORA	-22.91805556	-40.07861111
REFLORA	-22.92861111	-40.46166667
REFLORA	-15.69861111	-40.5775
REFLORA	-15.69861111	-40.5775
REFLORA	-15.69861111	-40.5775
REFLORA	-15.94722222	-40.87972222
REFLORA	-15.94722222	-40.87972222
REFLORA	-22.96388889	-41.16194444
REFLORA	-19.72916667	-41.27777778
REFLORA	-19.72916667	-41.27777778
REFLORA	-22.92916667	-41.46166667
REFLORA	-15.06194444	-41.67777778
REFLORA	-22.96361111	-42.16194444

Source	Latitude	Longitude
REFLORA	-19.67833333	-42.26111111
REFLORA	-15.56416667	-45.6275
REFLORA	-22.96388889	-46.16194444
REFLORA	-19.72444444	-46.27777778
REFLORA	-16.96833333	-46.5775
REFLORA	-15.77972222	-46.92972222
REFLORA	-22.96333333	-47.16194444
REFLORA	-22.96333333	-47.16194444
REFLORA	-22.96333333	-47.16194444
REFLORA	-7.92	-48.27638889
REFLORA	-15.55	-48.66083333
REFLORA	-15.06055556	-48.67777778
REFLORA	-15.06055556	-48.67777778
REFLORA	-15.06055556	-48.67777778
REFLORA	-22.75388889	-49.99472222
REFLORA	-19.05694444	-50.14444444
REFLORA	-10.02666667	-55.29333333
REFLORA	-10.02666667	-55.29333333
REFLORA	-10.02666667	-55.29333333
REFLORA	-22.94027778	-56.11194444
REFLORA	-14.78916667	-57.04416667
REFLORA	-14.78916667	-57.04416667
REFLORA	-5.46944444	-57.29305556
REFLORA	-12.57361111	-58.01055556
REFLORA	-12.57361111	-58.01055556
REFLORA	-22.80472222	-58.97805556
REFLORA	-19.67666667	-60.14444444
REFLORA	-14.68333333	-60.39416667
REFLORA	-14.65	-60.7275
REFLORA	-14.56666667	-60.7275
REFLORA	-14.56666667	-60.7275
REFLORA	-14.56666667	-60.7275
REFLORA	-14.56666667	-60.7275
SpeciesLink	1.05672222	46.78655556
SpeciesLink	22.193167	-8.509361
SpeciesLink	-6.705	-32.935556
SpeciesLink	-7.137417	-34.846417
SpeciesLink	-8.008890152	-34.8553009
SpeciesLink	-7.115	-34.863056
SpeciesLink	-7.114999771	-34.86309814
SpeciesLink	-8.053890228	-34.8810997

Source	Latitude	Longitude
SpeciesLink	-8.053890228	-34.8810997
SpeciesLink	-8.05389	-34.8811
SpeciesLink	-8.054167	-34.881111
SpeciesLink	-8.056484	-34.881777
SpeciesLink	-6.688330173	-34.93579865
SpeciesLink	-6.680889	-34.947528
SpeciesLink	-8.0127778	-34.95027778
SpeciesLink	-8.012778	-34.950278
SpeciesLink	-8.0786	-34.9686
SpeciesLink	-8.078611	-34.968611
SpeciesLink	-8.076667	-34.975833
SpeciesLink	-6.5022	-34.9769
SpeciesLink	-6.502222	-34.976944
SpeciesLink	-6.493556	-34.978583
SpeciesLink	-6	-35
SpeciesLink	-8.002220154	-35.0182991
SpeciesLink	-6.374122	-35.023558
SpeciesLink	-6.374194	-35.023611
SpeciesLink	-6.12	-35.054
SpeciesLink	-6.2	-35.094444
SpeciesLink	-6.838889	-35.125833
SpeciesLink	-6.604444	-35.129167
SpeciesLink	-6.960278	-35.135
SpeciesLink	-6.960278	-35.135
SpeciesLink	-6.9603	-35.135
SpeciesLink	-6.960278	-35.135
SpeciesLink	-6.820028	-35.138944
SpeciesLink	-6.741861	-35.142056
SpeciesLink	-5.883333	-35.166667
SpeciesLink	-6.719722	-35.181833
SpeciesLink	-5.825	-35.183333
SpeciesLink	-5.842278	-35.193361
SpeciesLink	-5.841944	-35.194167
SpeciesLink	-8.040139	-35.194556
SpeciesLink	-5.816667	-35.2
SpeciesLink	-5.795	-35.2094
SpeciesLink	-5.795000076	-35.20940018
SpeciesLink	-5.795000076	-35.20940018
SpeciesLink	-5.8	-35.216667
SpeciesLink	-5.908333	-35.225
SpeciesLink	-55.102778	-35.226111

Source	Latitude	Longitude
SpeciesLink	-5.8525	-35.226944
SpeciesLink	-7.74167	-35.2278
SpeciesLink	-5.849167	-35.229444
SpeciesLink	-7.639167	-35.248333
SpeciesLink	-5.915559769	-35.26279831
SpeciesLink	-7.92	-35.28
SpeciesLink	-8.238329887	-35.46170044
SpeciesLink	-8.188611111	-35.47044444
SpeciesLink	-6.95	-35.544722
SpeciesLink	-8.201109886	-35.56470108
SpeciesLink	-7.158329964	-35.63000107
SpeciesLink	-6.963333	-35.691389
SpeciesLink	-9.665833	-35.735278
SpeciesLink	-9.665829659	-35.73529816
SpeciesLink	-9.665829659	-35.73529816
SpeciesLink	-9.66583	-35.7353
SpeciesLink	-9.614667	-35.740778
SpeciesLink	-9.583333	-35.75
SpeciesLink	-10.12559986	-36.17559814
SpeciesLink	-10.126861	-36.175611
SpeciesLink	-10.033333	-36.266667
SpeciesLink	-10.000556	-36.266667
SpeciesLink	-9.905280113	-36.35279846
SpeciesLink	-9.212449	-36.418083
SpeciesLink	-9.518611	-36.575833
SpeciesLink	-9.220833	-36.773056
SpeciesLink	-10.529179	-37.03148
SpeciesLink	-10.544	-37.0418
SpeciesLink	-10.890033	-37.053817
SpeciesLink	-10.531778	-37.057194
SpeciesLink	-10.923889	-37.099722
SpeciesLink	-10.924056	-37.099889
SpeciesLink	-10.925117	-37.101703
SpeciesLink	-10.926806	-37.101861
SpeciesLink	-10.256944	-37.103056
SpeciesLink	-11.0053	-37.1223
SpeciesLink	-9.111390114	-37.12310028
SpeciesLink	-10.844667	-37.140194
SpeciesLink	-10.842778	-37.141111
SpeciesLink	-10.842917	-37.141194
SpeciesLink	-11.01469994	-37.20640182

Source	Latitude	Longitude
SpeciesLink	-11.18	-37.633333
SpeciesLink	-11.180056	-37.633472
SpeciesLink	-12.5736	-38.0161
SpeciesLink	-12.573611	-38.016111
SpeciesLink	-11.933333	-38.083333
SpeciesLink	-7.838059902	-38.10169983
SpeciesLink	-13.926944	-38.426944
SpeciesLink	-12.97109985	-38.51079941
SpeciesLink	-12.9711	-38.5108
SpeciesLink	-3.721	-38.520222
SpeciesLink	-3.717220068	-38.54309845
SpeciesLink	-8.120280266	-38.72940063
SpeciesLink	-12.25	-38.966667
SpeciesLink	-12.25	-38.966667
SpeciesLink	-12.25	-38.966667
SpeciesLink	-12.2667	-38.9667
SpeciesLink	-12.26669979	-38.96670151
SpeciesLink	-12.26669979	-38.96670151
SpeciesLink	-14.1	-39
SpeciesLink	-14.10309982	-39.01470184
SpeciesLink	-16.266667	-39.016667
SpeciesLink	-16.27809906	-39.02470016
SpeciesLink	-14.7892	-39.0492
SpeciesLink	-14.7889	-39.0494
SpeciesLink	-14.7889	-39.0494
SpeciesLink	-14.78890038	-39.04940033
SpeciesLink	-14.78890038	-39.04940033
SpeciesLink	-16.4497	-39.0647
SpeciesLink	-16.4497	-39.0647
SpeciesLink	-16.4496994	-39.06470108
SpeciesLink	-16.383333	-39.133333
SpeciesLink	-16.85	-39.15
SpeciesLink	-14.794722	-39.170833
SpeciesLink	-16.425833	-39.183611
SpeciesLink	-16.419167	-39.202222
SpeciesLink	-17.65	-39.25
SpeciesLink	-16.58333	-39.25
SpeciesLink	-17.73189926	-39.26580048
SpeciesLink	-14.78559971	-39.28030014
SpeciesLink	-14.3125	-39.32329941
SpeciesLink	-14.3125	-39.3233

Source	Latitude	Longitude
SpeciesLink	-15.606667	-39.3725
SpeciesLink	-14.333333	-39.383333
SpeciesLink	-14.683333	-39.4
SpeciesLink	-14.273056	-39.483889
SpeciesLink	-14.273056	-39.488889
SpeciesLink	-15.1914	-39.4953
SpeciesLink	-15.4192	-39.4958
SpeciesLink	-15.41919994	-39.49580002
SpeciesLink	-15.158056	-39.528611
SpeciesLink	-15.158333	-39.535
SpeciesLink	-15.163611	-39.543333
SpeciesLink	-15.163611	-39.543333
SpeciesLink	-14.2139	-39.5522
SpeciesLink	-14.213889	-39.552222
SpeciesLink	-14.2125	-39.5533
SpeciesLink	-14.2125	-39.553333
SpeciesLink	-13.742278	-39.569889
SpeciesLink	-15.705556	-39.573333
SpeciesLink	-15.703333	-39.575
SpeciesLink	-15.203333	-39.575
SpeciesLink	-15.203333	-39.575
SpeciesLink	-15.6986	-39.5778
SpeciesLink	-15.4642	-39.6511
SpeciesLink	-15.4642	-39.6511
SpeciesLink	-15.4642	-39.6511
SpeciesLink	-14.757778	-39.681667
SpeciesLink	-14.1814	-39.7075
SpeciesLink	-14.181389	-39.7075
SpeciesLink	-14.181389	-39.7075
SpeciesLink	-14.640833	-39.713056
SpeciesLink	-15.1475	-39.721944
SpeciesLink	-14.1372	-39.7339
SpeciesLink	-14.1372	-39.7339
SpeciesLink	-14.658889	-39.735833
SpeciesLink	-14.576944	-39.736944
SpeciesLink	-14.575833	-39.736944
SpeciesLink	-14.576944	-39.736944
SpeciesLink	-14.578056	-39.737222
SpeciesLink	-14.578056	-39.737222
SpeciesLink	-14.575833	-39.738333
SpeciesLink	-14.575278	-39.738333

Source	Latitude	Longitude
SpeciesLink	-14.658889	-39.758333
SpeciesLink	-15.5947	-39.8767
SpeciesLink	-15.5947	-39.8767
SpeciesLink	-15.5947	-39.8767
SpeciesLink	-15.5947	-39.8767
SpeciesLink	-16.598611	-39.913611
SpeciesLink	-16.599722	-39.913889
SpeciesLink	-16.596944	-39.915
SpeciesLink	-16.616667	-39.966667
SpeciesLink	-16.616667	-39.966667
SpeciesLink	-19.5	-40
SpeciesLink	-19	-40
SpeciesLink	-19.0004956	-40.0006681
SpeciesLink	-19.39109993	-40.07220078
SpeciesLink	-19.591556	-40.114278
SpeciesLink	-19.056944	-40.147222
SpeciesLink	-19.8206	-40.2731
SpeciesLink	-19.8203	-40.2733
SpeciesLink	-19.82029915	-40.27330017
SpeciesLink	-19.82029915	-40.27330017
SpeciesLink	-19.688417	-40.328327
SpeciesLink	-19.688333	-40.328333
SpeciesLink	-16.383333	-40.333333
SpeciesLink	-20.31940079	-40.33779907
SpeciesLink	-9.398610115	-40.50080109
SpeciesLink	-19.41279984	-40.54169846
SpeciesLink	-19.93560028	-40.60029984
SpeciesLink	-19.93560028	-40.60029984
SpeciesLink	-19.9356	-40.6003
SpeciesLink	-19.9356	-40.6003
SpeciesLink	-19.936111	-40.616667
SpeciesLink	-20.36330032	-40.65919876
SpeciesLink	-20.36330032	-40.65919876
SpeciesLink	-19.805556	-40.681389
SpeciesLink	-4.166940212	-40.74750137
SpeciesLink	-3.854439974	-40.92110062
SpeciesLink	-3.854439974	-40.92110062
SpeciesLink	-20.84889984	-41.1128006
SpeciesLink	-2.904720068	-41.77669907
SpeciesLink	-21.20499992	-41.88779831
SpeciesLink	-22.8794	-42.0183

Source	Latitude	Longitude
SpeciesLink	-22.8794	-42.0186
SpeciesLink	-22.87940025	-42.01860046
SpeciesLink	-22.83919907	-42.10279846
SpeciesLink	-22.83	-42.17
SpeciesLink	-22.852777	-42.377777
SpeciesLink	-22.852778	-42.377778
SpeciesLink	-20.412778	-42.454444
SpeciesLink	-22.91666	-42.5
SpeciesLink	-22.896944	-42.8425
SpeciesLink	-20.75390053	-42.88190079
SpeciesLink	-22.940278	-43.115556
SpeciesLink	-22.9636111	-43.1616667
SpeciesLink	-22.963611	-43.161667
SpeciesLink	-22.963333	-43.163056
SpeciesLink	-22.9028	-43.2075
SpeciesLink	-22.90279961	-43.20750046
SpeciesLink	-22.90279961	-43.20750046
SpeciesLink	-21.76420021	-43.35029984
SpeciesLink	-20.37779999	-43.41609955
SpeciesLink	-22.7439003	-43.70750046
SpeciesLink	-19.891611	-43.915972
SpeciesLink	-19.9208	-43.9378
SpeciesLink	-19.92079926	-43.93780136
SpeciesLink	-22.9976	-44.2347
SpeciesLink	-19.6328	-44.6589
SpeciesLink	-21.24530029	-44.99969864
SpeciesLink	-22.1164	-45.0544
SpeciesLink	-22.725889	-45.094417
SpeciesLink	-22.72999954	-45.11999893
SpeciesLink	-23.95999908	-46.33000183
SpeciesLink	-23.938556	-46.372694
SpeciesLink	-23.429444	-46.616667
SpeciesLink	-23.640417	-46.623917
SpeciesLink	-23.5448	-46.6271
SpeciesLink	-23.54000092	-46.63000107
SpeciesLink	-23.4625	-46.630833
SpeciesLink	-23.5475	-46.6361
SpeciesLink	-23.1	-46.72
SpeciesLink	-23.558944	-46.722389
SpeciesLink	-22.70000076	-46.75999832
SpeciesLink	-22.37220001	-46.94219971

Source	Latitude	Longitude
SpeciesLink	-22.89999962	-47.06000137
SpeciesLink	-22.892389	-47.064306
SpeciesLink	-22.9056	-47.065751
SpeciesLink	-22.862167	-47.086278
SpeciesLink	-22.76000023	-47.15000153
SpeciesLink	-22.250722	-47.158444
SpeciesLink	-22.786	-47.162222
SpeciesLink	-22.733556	-47.177778
SpeciesLink	-1.195829988	-47.18080139
SpeciesLink	-22.35000038	-47.38000107
SpeciesLink	-22.3569	-47.3842
SpeciesLink	-22.55999947	-47.40000153
SpeciesLink	-20.475944	-47.405139
SpeciesLink	-22.411694	-47.546917
SpeciesLink	-22.40999985	-47.56000137
SpeciesLink	-22.710111	-47.630583
SpeciesLink	-22.708306	-47.630778
SpeciesLink	-22.708417	-47.631083
SpeciesLink	-22.71999931	-47.63999939
SpeciesLink	-22.71999931	-47.63999939
SpeciesLink	-22.72	-47.64
SpeciesLink	-22.7253	-47.6492
SpeciesLink	-15.866667	-47.85
SpeciesLink	-15.758333	-47.866667
SpeciesLink	-15.7583	-47.8667
SpeciesLink	-15.947222	-47.877778
SpeciesLink	-15.947222	-47.877778
SpeciesLink	-15.744444	-47.887778
SpeciesLink	-19.03860092	-47.91690063
SpeciesLink	-19.03860092	-47.91690063
SpeciesLink	-15.731944	-47.925
SpeciesLink	-15.7797	-47.9294
SpeciesLink	-15.77970028	-47.92969894
SpeciesLink	-15.77970028	-47.92969894
SpeciesLink	-23.17000008	-48.11999893
SpeciesLink	-21.24525	-48.292194
SpeciesLink	-21.246472	-48.293944
SpeciesLink	-21.246583	-48.294278
SpeciesLink	-21.246194	-48.303917
SpeciesLink	-21.25	-48.31999969
SpeciesLink	-10.21280003	-48.36029816

Source	Latitude	Longitude
SpeciesLink	-1.365560055	-48.37220001
SpeciesLink	-22.843056	-48.427389
SpeciesLink	-22.842222	-48.4325
SpeciesLink	-1.435556	-48.446944
SpeciesLink	-14.47389984	-48.45970154
SpeciesLink	-1.455731	-48.490178
SpeciesLink	-22.891472	-48.496917
SpeciesLink	-22.888833	-48.498472
SpeciesLink	-1.45583	-48.5044
SpeciesLink	-27.59670067	-48.54919815
SpeciesLink	-25.88279915	-48.5746994
SpeciesLink	-26.90780067	-48.66189957
SpeciesLink	-27.64529991	-48.6678009
SpeciesLink	-26.3044	-48.8456
SpeciesLink	-23.099972	-48.912333
SpeciesLink	-22.32975	-49.05175
SpeciesLink	-22.3235	-49.057556
SpeciesLink	-26.9055556	-49.0791667
SpeciesLink	-25.453	-49.2301
SpeciesLink	-25.42779922	-49.27310181
SpeciesLink	-25.825	-49.347278
SpeciesLink	-22.20999908	-49.93999863
SpeciesLink	-23.11000061	-50.36750031
SpeciesLink	-23.11000061	-50.36750031
SpeciesLink	-29.76029968	-51.14720154
SpeciesLink	-29.8246994	-51.14830017
SpeciesLink	-23.31030083	-51.16279984
SpeciesLink	-23.31030083	-51.16279984
SpeciesLink	-29.8614006	-51.17919922
SpeciesLink	-30.03310013	-51.22999954
SpeciesLink	-30.01913889	-51.23722222
SpeciesLink	-20.88999939	-51.36999893
SpeciesLink	-17.9230556	-51.7172223
SpeciesLink	-23.4435997	-51.87390137
SpeciesLink	-23.403611	-51.937222
SpeciesLink	-23.4253006	-51.93859863
SpeciesLink	-24.04925	-52.373361
SpeciesLink	-10.8339	-52.8731
SpeciesLink	-30.0392	-52.8939
SpeciesLink	-29.6842	-53.8069
SpeciesLink	-20.5	-54.6

Source	Latitude	Longitude
SpeciesLink	-20.44280052	-54.64640045
SpeciesLink	-20.44280052	-54.64640045
SpeciesLink	-2.443059921	-54.70830154
SpeciesLink	-19.691806	-57.042889
SpeciesLink	-19.016667	-57.65
SpeciesLink	-19.00919914	-57.65330124
SpeciesLink	-3.06552	-60.0105
SpeciesLink	-3.101939917	-60.02500153
SpeciesLink	-3.220829964	-64.80419922
SpeciesLink	-10.0247223	-67.705
SpeciesLink	-4.3683056	-70.0377778

**Table S2****Table S2** Cleaned data used to generate models

Set	long	lat
Cultivated&Natural	-51.22999954	-30.03310013
Cultivated&Natural	-49.079167	-26.905556
Cultivated&Natural	-49.347278	-25.825
Cultivated&Natural	-52.373361	-24.04925
Cultivated&Natural	-46.372694	-23.938556
Cultivated&Natural	-46.623917	-23.640417
Cultivated&Natural	-46.692346	-23.56423
Cultivated&Natural	-46.722389	-23.558944
Cultivated&Natural	-46.6361	-23.5475
Cultivated&Natural	-46.630833	-23.4625
Cultivated&Natural	-46.616667	-23.429444
Cultivated&Natural	-46.727985	-23.4048
Cultivated&Natural	-51.937222	-23.403611
Cultivated&Natural	-48.912333	-23.099972
Cultivated&Natural	-43.4725	-23.02277778
Cultivated&Natural	-43.346797	-22.993742
Cultivated&Natural	-43.6383333	-22.9841666
Cultivated&Natural	-43.20750046	-22.90279961
Cultivated&Natural	-43.16305556	-22.96333333
Cultivated&Natural	-43.1155556	-22.9402777
Cultivated&Natural	-42.46111111	-22.92861111
Cultivated&Natural	-47.06000137	-22.89999962
Cultivated&Natural	-42.8425	-22.896944
Cultivated&Natural	-48.496917	-22.891472
Cultivated&Natural	-48.498472	-22.888833
Cultivated&Natural	-42.01860046	-22.87940025
Cultivated&Natural	-42.887778	-22.869722
Cultivated&Natural	-47.086278	-22.862167
Cultivated&Natural	-42.377777	-22.852777
Cultivated&Natural	-43.369561	-22.844266
Cultivated&Natural	-48.427389	-22.843056
Cultivated&Natural	-43.07277778	-22.83222222
Cultivated&Natural	-42.17	-22.83
Cultivated&Natural	-42.9888889	-22.8263889
Cultivated&Natural	-41.982778	-22.804722
Cultivated&Natural	-47.162222	-22.786

Set	long	lat
Cultivated&Natural	-42.593889	-22.751667
Cultivated&Natural	-45.11999893	-22.72999954
Cultivated&Natural	-47.6492	-22.7253
Cultivated&Natural	-41.966667	-22.716667
Cultivated&Natural	-47.630778	-22.708306
Cultivated&Natural	-42.771084	-22.451105
Cultivated&Natural	-47.56000137	-22.40999985
Cultivated&Natural	-47.266702	-22.38374
Cultivated&Natural	-49.05175	-22.32975
Cultivated&Natural	-47.158444	-22.250722
Cultivated&Natural	-48.303917	-21.246194
Cultivated&Natural	-56.457005	-21.03591
Cultivated&Natural	-42.832902	-20.704456
Cultivated&Natural	-47.405139	-20.475944
Cultivated&Natural	-42.454444	-20.412778
Cultivated&Natural	-40.302222	-20.278056
Cultivated&Natural	-43.915972	-19.891611
Cultivated&Natural	-40.2733	-19.8203
Cultivated&Natural	-40.2794445	-19.7244445
Cultivated&Natural	-40.26	-19.68
Cultivated&Natural	-40.328327	-19.688417
Cultivated&Natural	-40.1511111	-19.6752778
Cultivated&Natural	-40.114278	-19.591556
Cultivated&Natural	-40	-19.5
Cultivated&Natural	-40.147222	-19.056944
Cultivated&Natural	-57.65	-19.016667
Cultivated&Natural	-40	-19
Cultivated&Natural	-39.25	-17.65
Cultivated&Natural	-39.57138889	-16.97611111
Cultivated&Natural	-39.579444	-16.968333
Cultivated&Natural	-39.15	-16.85
Cultivated&Natural	-39.966667	-16.616667
Cultivated&Natural	-39.913611	-16.598611
Cultivated&Natural	-39.25	-16.58
Cultivated&Natural	-39.202222	-16.419167
Cultivated&Natural	-39.174167	-16.3825
Cultivated&Natural	-39.016667	-16.266667



Set	long	lat
Cultivated&Natural	-47.87777778	-15.94722222
Cultivated&Natural	-47.85	-15.866667
Cultivated&Natural	-47.925	-15.731944
Cultivated&Natural	-47.8667	-15.7583
Cultivated&Natural	-39.5844444	-15.7388889
Cultivated&Natural	-39.573333	-15.705556
Cultivated&Natural	-39.3725	-15.606667
Cultivated&Natural	-39.65	-15.57
Cultivated&Natural	-39.56	-15.57
Cultivated&Natural	-39.66333333	-15.55
Cultivated&Natural	-39.575	-15.203333
Cultivated&Natural	-39.528611	-15.158056
Cultivated&Natural	-39.721944	-15.1475
Cultivated&Natural	-40.68	-15.060556
Cultivated&Natural	-39.170833	-14.794722
Cultivated&Natural	-39.04916667	-14.78916667
Cultivated&Natural	-39.681667	-14.757778
Cultivated&Natural	-39.4	-14.683333
Cultivated&Natural	-39.713056	-14.640833
Cultivated&Natural	-39.7333333	-14.5666667
Cultivated&Natural	-39.05972222	-14.39972222
Cultivated&Natural	-39.383333	-14.333333
Cultivated&Natural	-39.488889	-14.273056
Cultivated&Natural	-39.25	-14.25
Cultivated&Natural	-39.553333	-14.2125
Cultivated&Natural	-39.7075	-14.181389
Cultivated&Natural	-39.7338889	-14.13722222
Cultivated&Natural	-39	-14.1
Cultivated&Natural	-38.426944	-13.926944
Cultivated&Natural	-39.569889	-13.742278
Cultivated&Natural	-41.373547	-12.705271
Cultivated&Natural	-38.0161111	-12.5736111
Cultivated&Natural	-38.966667	-12.25
Cultivated&Natural	-50.866667	-11.783333
Cultivated&Natural	-37.633333	-11.18
Cultivated&Natural	-37.206389	-11.014772
Cultivated&Natural	-37.1223	-11.0053
Cultivated&Natural	-37.099722	-10.923889
Cultivated&Natural	-37.053817	-10.890033
Cultivated&Natural	-37.140194	-10.844667
Cultivated&Natural	-37.057194	-10.531778

Set	long	lat
Cultivated&Natural	-37.03148	-10.529179
Cultivated&Natural	-36.49	-10.33
Cultivated&Natural	-37.103056	-10.256944
Cultivated&Natural	-36.17559814	-10.12559986
Cultivated&Natural	-36.27	-10.05
Cultivated&Natural	-36.2986111	-10.0266667
Cultivated&Natural	-67.705	-10.024722
Cultivated&Natural	-35.75	-9.583333
Cultivated&Natural	-36.575833	-9.518611
Cultivated&Natural	-36.773056	-9.220833
Cultivated&Natural	-36.418083	-9.212449
Cultivated&Natural	-35.470444	-8.188611
Cultivated&Natural	-34.931058	-8.12328
Cultivated&Natural	-34.9686	-8.0786
Cultivated&Natural	-35.194556	-8.040139
Cultivated&Natural	-34.8810997	-8.053890228
Cultivated&Natural	-35.28	-7.92
Cultivated&Natural	-35.248333	-7.639167
Cultivated&Natural	-34.863056	-7.115
Cultivated&Natural	-35.135	-6.960278
Cultivated&Natural	-35.125833	-6.838889
Cultivated&Natural	-35.142056	-6.741861
Cultivated&Natural	-35.181833	-6.719722
Cultivated&Natural	-34.947528	-6.680889
Cultivated&Natural	-35.129167	-6.604444
Cultivated&Natural	-34.976944	-6.502222
Cultivated&Natural	-35.023558	-6.374122
Cultivated&Natural	-35	-6
Cultivated&Natural	-35.26279831	-5.915559769
Cultivated&Natural	-35.2	-5.816667
Cultivated&Natural	-35.226944	-5.8525
Cultivated&Natural	-38.910111	-4.235833
Cultivated&Natural	-38.520222	-3.721
Cultivated&Natural	-59.852464	-3.106353
Cultivated&Natural	-59.873409	-3.105711
Cultivated&Natural	-59.97586	-3.03036
Cultivated&Natural	-48.490178	-1.455731
Cultivated&Natural	-48.446944	-1.435556
Cultivated&Natural	-46.786556	-1.056722
Cultivated&Natural	-52.8939	-30.0392
Cultivated&Natural	-51.17919922	-29.8614006

Set	long	lat
Cultivated&Natural	-51.14720154	-29.76029968
Cultivated&Natural	-53.8069	-29.6842
Cultivated&Natural	-48.6678009	-27.64529991
Cultivated&Natural	-48.54919815	-27.59670067
Cultivated&Natural	-48.66189957	-26.90780067
Cultivated&Natural	-48.8456	-26.3044
Cultivated&Natural	-48.5746994	-25.88279915
Cultivated&Natural	-49.27310181	-25.42779922
Cultivated&Natural	-46.33000183	-23.95999908
Cultivated&Natural	-51.16279984	-23.31030083
Cultivated&Natural	-48.11999893	-23.17000008
Cultivated&Natural	-50.36750031	-23.11000061
Cultivated&Natural	-46.72	-23.1
Cultivated&Natural	-44.2347	-22.9976
Cultivated&Natural	-42.10279846	-22.83919907
Cultivated&Natural	-43.70750046	-22.7439003
Cultivated&Natural	-46.75999832	-22.70000076
Cultivated&Natural	-47.40000153	-22.55999947
Cultivated&Natural	-46.94219971	-22.37220001
Cultivated&Natural	-47.38000107	-22.35000038
Cultivated&Natural	-49.93999863	-22.20999908
Cultivated&Natural	-45.0544	-22.1164
Cultivated&Natural	-43.35029984	-21.76420021
Cultivated&Natural	-44.99969864	-21.24530029
Cultivated&Natural	-41.88779831	-21.20499992
Cultivated&Natural	-51.36999893	-20.88999939
Cultivated&Natural	-41.1128006	-20.84889984
Cultivated&Natural	-42.88190079	-20.75390053
Cultivated&Natural	-54.6	-20.5
Cultivated&Natural	-54.64640045	-20.44280052
Cultivated&Natural	-43.41609955	-20.37779999
Cultivated&Natural	-40.65919876	-20.36330032
Cultivated&Natural	-40.33779907	-20.31940079
Cultivated&Natural	-40.60029984	-19.93560028
Cultivated&Natural	-40.681389	-19.805556
Cultivated&Natural	-57.042889	-19.691806
Cultivated&Natural	-44.6589	-19.6328
Cultivated&Natural	-40.54169846	-19.41279984
Cultivated&Natural	-40.07220078	-19.39109993
Cultivated&Natural	-47.91690063	-19.03860092
Cultivated&Natural	-51.7172223	-17.9230556

Set	long	lat
Cultivated&Natural	-39.26580048	-17.73189926
Cultivated&Natural	-39.06470108	-16.4496994
Cultivated&Natural	-40.333333	-16.383333
Cultivated&Natural	-39.8767	-15.5947
Cultivated&Natural	-39.6511	-15.4642
Cultivated&Natural	-39.49580002	-15.41919994
Cultivated&Natural	-39.28030014	-14.78559971
Cultivated&Natural	-48.45970154	-14.47389984
Cultivated&Natural	-39.32329941	-14.3125
Cultivated&Natural	-38.5108	-12.9711
Cultivated&Natural	-38.083333	-11.933333
Cultivated&Natural	-52.8731	-10.8339
Cultivated&Natural	-48.36029816	-10.21280003
Cultivated&Natural	-36.35279846	-9.905280113
Cultivated&Natural	-35.73529816	-9.665829659
Cultivated&Natural	-40.50080109	-9.398610115
Cultivated&Natural	-37.12310028	-9.111390114
Cultivated&Natural	-35.46170044	-8.238329887
Cultivated&Natural	-35.56470108	-8.201109886
Cultivated&Natural	-38.72940063	-8.120280266
Cultivated&Natural	-34.8553009	-8.008890152
Cultivated&Natural	-35.0182991	-8.002220154
Cultivated&Natural	-38.10169983	-7.838059902
Cultivated&Natural	-35.2278	-7.74167
Cultivated&Natural	-35.63000107	-7.158329964
Cultivated&Natural	-35.691389	-6.963333
Cultivated&Natural	-35.544722	-6.95
Cultivated&Natural	-35.094444	-6.2
Cultivated&Natural	-35.054	-6.12
Cultivated&Natural	-35.20940018	-5.795000076
Cultivated&Natural	-70.0377778	-4.3683056
Cultivated&Natural	-40.74750137	-4.166940212
Cultivated&Natural	-40.92110062	-3.854439974
Cultivated&Natural	-38.54309845	-3.717220068
Cultivated&Natural	-64.80419922	-3.220829964
Cultivated&Natural	-60.0105	-3.06552
Cultivated&Natural	-41.77669907	-2.904720068
Cultivated&Natural	-54.70830154	-2.443059921
Cultivated&Natural	-48.37220001	-1.365560055
Cultivated&Natural	-47.18080139	-1.195829988
Cultivated&Natural	-46.78655556	-1.05672222

Set	long	lat
Natural	-43.346797	-22.993742
Natural	-43.6383333	-22.9841666
Natural	-43.224864	-22.967642
Natural	-43.1861111	-22.9647222
Natural	-43.16305556	-22.96333333
Natural	-43.1038889	-22.9508333
Natural	-43.0875	-22.94444444
Natural	-43.1155556	-22.9402777
Natural	-42.46111111	-22.92861111
Natural	-42.5	-22.92
Natural	-43.0777778	-22.9180556
Natural	-42.8425	-22.8969444
Natural	-42.0183	-22.8794
Natural	-42.8877778	-22.86972222
Natural	-42.377777	-22.852777
Natural	-43.369561	-22.844266
Natural	-43.0727778	-22.8322223
Natural	-42.17	-22.83
Natural	-42.98888889	-22.82638889
Natural	-41.960556	-22.806389
Natural	-41.9827778	-22.80472222
Natural	-41.9969444	-22.7538889
Natural	-42.5938889	-22.7516667
Natural	-41.9666667	-22.7166667
Natural	-42.771084	-22.451105
Natural	-40.302222	-20.278056
Natural	-40.27330017	-19.82029915
Natural	-40.28	-19.73
Natural	-40.328327	-19.688417
Natural	-40.26	-19.68
Natural	-40.16	-19.68
Natural	-40.261667	-19.678333
Natural	-40.151111	-19.675278
Natural	-40.114278	-19.591556
Natural	-40	-19.5
Natural	-40.14722222	-19.05694444
Natural	-40.0006681	-19.0004956
Natural	-39.25	-17.65
Natural	-39.57138889	-16.97611111
Natural	-39.15	-16.85
Natural	-39.966667	-16.616667

Set	long	lat
Natural	-39.913611	-16.598611
Natural	-39.25	-16.58
Natural	-39.183611	-16.425833
Natural	-39.2022222	-16.4191667
Natural	-39.174167	-16.3825
Natural	-39.016667	-16.266667
Natural	-39.584444	-15.738889
Natural	-39.575	-15.703333
Natural	-39.5777778	-15.69861111
Natural	-39.3725	-15.606667
Natural	-39.6525	-15.572222
Natural	-39.56	-15.57
Natural	-39.6591667	-15.565
Natural	-39.629167	-15.564167
Natural	-39.66333333	-15.55
Natural	-39.575	-15.203333
Natural	-39.5433333	-15.1636111
Natural	-39.528611	-15.158056
Natural	-39.721944	-15.1475
Natural	-39.170833	-14.794722
Natural	-39.04940033	-14.78890038
Natural	-39.681667	-14.757778
Natural	-39.4	-14.683056
Natural	-39.735833	-14.658889
Natural	-39.758333	-14.658889
Natural	-39.733333	-14.65
Natural	-39.713056	-14.640833
Natural	-39.736944	-14.576944
Natural	-39.73333333	-14.56666667
Natural	-39.059722	-14.399722
Natural	-39.383333	-14.333333
Natural	-39.48388889	-14.27305556
Natural	-39.488889	-14.273056
Natural	-39.25	-14.25
Natural	-39.55333333	-14.2125
Natural	-39.7075	-14.1814
Natural	-39.7339	-14.1372
Natural	-39	-14.1
Natural	-38.426944	-13.926944
Natural	-39.569889	-13.742278
Natural	-38.0161111	-12.5736111

Set	long	lat
Natural	-38.966667	-12.25
Natural	-37.633472	-11.180056
Natural	-37.633333	-11.18
Natural	-37.206389	-11.014772
Natural	-37.1223	-11.0053
Natural	-37.101861	-10.926806
Natural	-37.101703	-10.925117
Natural	-37.099889	-10.924056
Natural	-37.053817	-10.890033
Natural	-37.141111	-10.842778
Natural	-37.0418	-10.544
Natural	-37.057194	-10.531778
Natural	-37.03148	-10.529179
Natural	-36.49388889	-10.32805556
Natural	-37.103056	-10.256944
Natural	-36.17559814	-10.12559986
Natural	-36.27	-10.05
Natural	-36.27361111	-10.04777778
Natural	-36.266667	-10.033333
Natural	-36.3	-10.03
Natural	-36.266667	-10.000556
Natural	-35.740778	-9.614667
Natural	-35.75	-9.583333
Natural	-36.575833	-9.518611
Natural	-36.773056	-9.220833
Natural	-36.418083	-9.212449
Natural	-35.47044444	-8.188611111
Natural	-34.931058	-8.12328
Natural	-34.990612	-8.115635
Natural	-34.975833	-8.076667
Natural	-35.194556	-8.040139
Natural	-34.95027778	-8.01277778
Natural	-35.28	-7.92
Natural	-35.248333	-7.639167
Natural	-34.846417	-7.137417
Natural	-34.863056	-7.115
Natural	-35.135	-6.960278
Natural	-35.125833	-6.838889
Natural	-35.138944	-6.820028
Natural	-35.142056	-6.741861
Natural	-35.181833	-6.719722

Set	long	lat
Natural	-34.947528	-6.680889
Natural	-35.129167	-6.604444
Natural	-34.976944	-6.502222
Natural	-35.023611	-6.374194
Natural	-35	-6
Natural	-35.25833333	-5.938055556
Natural	-35.225	-5.908333
Natural	-35.25	-5.9
Natural	-35.166667	-5.883333
Natural	-35.226944	-5.8525
Natural	-35.193361	-5.842278
Natural	-35.183333	-5.825
Natural	-35.2	-5.816667
Natural	-44.2347	-22.9976
Natural	-43.2075	-22.9028
Natural	-42.10279846	-22.83919907
Natural	-43.70750046	-22.7439003
Natural	-41.88779831	-21.20499992
Natural	-41.1128006	-20.84889984
Natural	-40.65919876	-20.36330032
Natural	-40.33779907	-20.31940079
Natural	-40.616667	-19.936111
Natural	-40.60029984	-19.93560028
Natural	-40.681389	-19.805556
Natural	-40.54169846	-19.41279984
Natural	-40.07220078	-19.39109993
Natural	-39.26580048	-17.73189926
Natural	-39.0647	-16.4497
Natural	-39.133333	-16.383333
Natural	-39.02470016	-16.27809906
Natural	-39.8767	-15.5947
Natural	-39.6511	-15.4642
Natural	-39.4958	-15.4192
Natural	-39.4953	-15.1914
Natural	-39.28030014	-14.78559971
Natural	-39.3233	-14.3125
Natural	-39.01470184	-14.10309982
Natural	-38.51079941	-12.97109985
Natural	-38.9667	-12.2667
Natural	-38.083333	-11.933333
Natural	-36.35279846	-9.905280113

Set	long	lat
Natural	-35.7353	-9.66583
Natural	-37.12310028	-9.111390114
Natural	-35.46170044	-8.238329887
Natural	-35.56470108	-8.201109886
Natural	-34.881111	-8.054167
Natural	-34.8553009	-8.008890152
Natural	-35.0182991	-8.002220154
Natural	-35.2278	-7.74167
Natural	-35.63000107	-7.158329964
Natural	-35.691389	-6.963333
Natural	-35.544722	-6.95
Natural	-34.93579865	-6.688330173
Natural	-35.094444	-6.2
Natural	-35.054	-6.12
Natural	-35.26279831	-5.915559769
Natural	-35.20940018	-5.795000076