



Universidade Federal Rural do Semi-Árido
Campus Mossoró
Curso de Ecologia

LANNA FARIAS LINO

**CONTRASTANDO PADRÕES E DIRECIONADORES DE
DIVERSIDADE BETA DE ASSEMBLEIAS DE PEIXES NATIVOS E
EXÓTICOS DA ECORREGIÃO CAATINGA NORDESTE E
DRENAGENS COSTEIRAS**

MOSSORÓ-RN

2023

LANNA FARIAS LINO

**CONTRASTANDO PADRÕES E DIRECIONADORES DE
DIVERSIDADE BETA DE ASSEMBLEIAS DE PEIXES NATIVOS E
EXÓTICOS DA ECORREGIÃO CAATINGA NORDESTE E
DRENAGENS COSTEIRAS**

Monografia apresentada à Universidade
Federal Rural do Semi-Árido – UFERSA,
Campus Mossoró para a obtenção do título de
Ecólogo.

Orientador (a): Prof.Dr. Rodrigo Fernandes

MOSSORÓ-RN

2023

©Todos os direitos estão reservados à Universidade Federal Rural do Semi-Árido. O conteúdo desta obra é de inteira responsabilidade do (a) autor (a), sendo o mesmo, passível de sanções administrativas ou penais, caso sejam infringidas as leis que regulamentam a Propriedade Intelectual, respectivamente, Patentes: Lei nº 9.279/1996, e Direitos Autorais: Lei nº 9.610/1998. O conteúdo desta obra tornar-se-á de domínio público após a data de defesa e homologação da sua respectiva ata, exceto as pesquisas que estejam vinculadas ao processo de patenteamento. Esta investigação será base literária para novas pesquisas, desde que a obra e seu (a) respectivo (a) autor (a) seja devidamente citado e mencionado os seus créditos bibliográficos.

Ficha catalográfica elaborada pelo Sistema de Bibliotecas
da Universidade Federal Rural do Semi-Árido, com os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

F224c Farias Lino, Lanna.
Contrastando padrões e direcionadores de
diversidade beta de assembleias de peixes nativos
e exóticos da ecorregião caatinga nordestina e
drenagens costeiras / Lanna Farias Lino. - 2023.
19 f. : il.

Orientador: Rodrigo Fernandes.
Monografia (graduação) - Universidade Federal
Rural do Semi-árido, Curso de Ecologia, 2023.

1. diversidade beta. 2. padrões espaciais. 3.
peixes de água doce. 4. espécies exóticas. 5.
conservação da biodiversidade. I. Fernandes,
Rodrigo, orient. II. Título.

O serviço de Geração Automática de Ficha Catalográfica para Trabalhos de Conclusão de Curso (TCC's) foi desenvolvido pelo Instituto de Ciências Matemáticas e de Computação da Universidade de São Paulo (USP) e gentilmente cedido para o Sistema de Bibliotecas da Universidade Federal Rural do Semi-Árido (SISBI-UFERSA), sendo customizado pela Superintendência de Tecnologia da Informação e Comunicação (SUTIC) sob orientação dos bibliotecários da instituição para ser adaptado às necessidades dos alunos dos Cursos de Graduação e Programas de Pós-Graduação da Universidade.

LANNA FARIAS LINO

**CONTRASTANDO PADRÕES E DIRECIONADORES DE
DIVERSIDADE BETA DE ASSEMBLEIAS DE PEIXES NATIVOS E
EXÓTICOS DA ECORREGIÃO CAATINGA NORDESTE E
DRENAGENS COSTEIRAS**

Monografia apresentada à Universidade
Federal Rural do Semi-Árido – UFERSA,
Campus Mossoró para a obtenção do título de
Ecólogo.

APROVADO EM: 18 / 05 / 2023

BANCA EXAMINADORA

Documento assinado digitalmente
 RODRIGO FERNANDES
Data: 24/05/2023 12:51:55-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Dr. Rodrigo Fernandes – UFERSA

Presidente

EVELINE

Assinado digitalmente por EVELINE
ND: CN=EVELINE:03928868985, OU=UFERSA -
Universidade Federal Rural Do Semi-Arido, O=
ICPEdu, C=BR
Razão:
Localização:
Data: 2023.05.25 13:23:57-03'00'
Foxit PDF Reader Versão: 12.1.0

Dra. Eveline de Almeida Ferreira – UFERSA

Primeiro Membro

Documento assinado digitalmente
 MILENA WACHLEWSKI MACHADO
Data: 24/05/2023 14:33:37-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Dra. Milena Wachlevski Machado – UFERSA

Segundo Membro

AGRADECIMENTOS

Agradeço a todos que compartilharam comigo essa fase da vida, pelos momentos de acertos, erros e ensinamentos, espero de alguma forma ter contribuído com reflexões e momentos a serem lembrados. Não tem como expressar em palavras os meus agradecimentos a minha família, pelos apoios iniciais e confiança depositada em mim, para poder seguir em frente e realizar essa graduação. Primeiro que não seria nada se não fosse pelo menos 1% do que minha mãe é. Para vocês todos, o meu amor pela paciência, compreensão e doação.

Imensamente agradecida pelos amigos próximos, por termos vivenciado tantos processos e se desenvolvido juntos. Não esperem aqui agradecimentos específicos, mas para todos aqueles que sabem que a mensagem é para vocês, se lembrem de coração dos momentos compartilhados e que com sinceridade dedico muita luz a vocês.

Agradeço aos professores, que dentro de tantas diferenças e proximidades, tornaram a experiência da graduação um momento de autoconhecimento, me proporcionando força de vontade para superar os desafios e um amor ao conhecimento.

Agradeço aos que me perceberam e pude de alguma forma trocar experiências, obrigado por todas as conversas profundas e momentos de sorrisos. Certamente, finalizo essa graduação muito diferente, obrigado pela força.

Momento especial para agradecer ao prof. Rodrigo Fernandes, por toda paciência, horizontalidade, compreensão e por fim, todos os discursos motivacionais, incluindo o de escrever os agradecimentos do TCC, porque chorei até desidratar.

No finalzinho, mais longe de ser menos especial, agradeço por ter sido aqui, dentre todos os lugares, onde conheci e encontrei um grande companheiro.

RESUMO

Nesse estudo, comparamos os padrões de diversidade beta de assembleias de peixes nativos e exóticos de água doce da ecorregião Caatinga Nordeste e Drenagens Costeiras (ECNDC), uma importante área prioritária para a conservação da biodiversidade aquática global. Adicionalmente, investigamos a importância relativa de filtros ambientais (área da bacia, precipitação anual média, temperatura anual média, amplitude da altitude) e restrição de dispersão na composição dessas assembleias. Usando um extenso banco de dados de registros de ocorrência de diversos museus ictiológicos brasileiros, construímos duas matrizes com a distribuição espacial de assembleias nativas e exóticas de 38 bacias de drenagem da ECNDC. Listamos um total de 102 espécies de peixes de água doce, dos quais 89 são nativas e 13 exóticas. Encontramos níveis semelhantes de dissimilaridade de Jaccard entre as assembleias nativas e exóticas, mas esses padrões foram direcionados por processos diferentes. A dissimilaridade das assembleias de peixes nativos foi direcionada principalmente por *turnover* de espécies, enquanto as assembleias exóticas apresentaram um padrão aninhado. Análises de redundância simples e parciais demonstraram que filtros ambientais e espaciais explicam uma porção significativa da variação da composição das assembleias de peixes, mas a composição das assembleias exóticas foi direcionada somente por filtros ambientais. Nossos resultados evidenciam que diferentes mecanismos determinam a diversidade beta de assembleias de peixes nativos e exóticos da ECNDC. Adicionalmente, nossos achados reforçam a necessidade de priorizar a conservação de toda ECNDC, visto a importância do turnover de espécies nativas entre as bacias de drenagem.

Palavras-chave: turnover; aninhamento; filtragem ambiental, limitação de dispersão, endemismo.

ABSTRACT

In this study, we compared the beta diversity patterns of native and exotic freshwater fish assemblages of the Caatinga Nordeste e Drainagens Costeiras (ECNDC) ecoregion, an important priority area for the conservation of global aquatic biodiversity. Additionally, we investigated the relative importance of environmental filters (basin area, mean annual precipitation, mean annual temperature, altitude range) and dispersal constraint on the composition of these assemblages. Using an extensive database of occurrence records from several Brazilian ichthyological museums, we built two matrices with the spatial distribution of native and exotic assemblages from 38 ECNDC drainage basins. We list a total of 102 species of freshwater fish, of which 89 are native and 13 are exotic. We found similar levels of Jaccard dissimilarity between native and exotic assemblages, but these patterns were driven by different processes. The dissimilarity of native fish assemblages was mainly driven by species turnover, while exotic assemblages showed a nested pattern. Simple and partial redundancy analyzes demonstrated that environmental and spatial filters explain a significant portion of the variation in the composition of fish assemblages, but the composition of exotic assemblages was driven only by environmental filters. Our results show that different mechanisms determine the beta diversity of native and exotic fish assemblages in ECNDC. Additionally, our findings reinforce the need to prioritize the conservation of the entire ECNDC, given the importance of turnover of native species between drainage basins.

Keywords: turnover; nesting; environmental filtration, dispersion limitation, endemism.

LISTA DE FIGURAS

- Figura 1 – Distribuição espacial das bacias de drenagem da ecorregião Caatinga Nordeste e Drenagens Costeiras (ECNDC). 1 - Abiaí, 2 - Acaraú, 3 - Apodi/Mossoró, 4 - Boqueirão, 5 - Camaragibe, 6 - Camaratuba, 7 - Capibaribe, 8 - Catú, 9 - Ceará Mirim, 10 - CELMM, 11 - Coreaú, 12 - Coruripe, 13 - Curimataú, 14 - Curu, 15 - Goiana, 16 - Gramame, 17 - Ipojuca, 18 - Jacú, 19 - Jaguaribe, 20 - Litoral-CE, 21 - Litoral-Norte, 22 - Mamanguape, 23 - Maxaranguape, 24 - Metropolitana, 25 - Miriri, 26 - Mundaú, 27 - Paraíba, 28 - Paraíba do Norte, 29 - Pirangi, 30 - Piranhas Açu, 31 - Potengi, 32 - Pratagi, 33 - Punaú, 34 - Rio Doce, 35 - São Miguel, 36 - Sirinhaém, 37 - Trairí e 38 - Una..... 12
- Figura 2 – Análises de dispersão multivariada de diversidade beta, turnover e aninhamento de espécies nativas e exóticas das Bacias Hidrográficas da Ecorregião Caatinga Nordeste e Drenagens Costeiras..... 16
- Figura 3 – Distribuição espacial dos valores de diversidade beta total (Jaccard), turnover e aninhamento para assembleias de peixes nativas e exóticas por Bacias Hidrográficas da Ecorregião Caatinga Nordeste e Drenagens Costeiras.....17
- Figura 4 – Diagramas de Venn com a partição de variação dos efeitos puros e combinados de fatores ambientais e espaciais para as assembleias de peixes nativas e exóticas das Bacias Hidrográficas da Ecorregião Caatinga Nordeste e Drenagens Costeiras..... 18

LISTA DE TABELAS

Tabela 1	–	Valores médios de diversidade beta total (Jaccard), turnover e aninhamento para assembleias de peixes nativas e exóticas das Bacias Hidrográficas da Ecorregião Caatinga Nordeste e Drenagens Costeiras.....	16
----------	---	--	----

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	10
2	MATERIAIS E MÉTODOS.....	11
2.1	Área do estudo.....	11
2.2	Distribuição espacial das assembleias nativas e exóticas.....	12
2.3	Padrões de diversidade beta das assembleias nativas e exóticas.....	13
2.4	Direcionadores ambientais e espaciais da composição das assembleias nativas e exóticas.....	13
2.5	Análise de dados.....	14
3	RESULTADOS.....	15
3.1	Padrões de diversidade beta de assembleias nativas e exóticas.....	15
3.2	Processos de diversidade beta de peixes nativos e exóticos.....	18
4	DISCUSSÃO.....	19
5	CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	20
	REFERÊNCIAS.....	21
	ANEXO I.....	24

1 INTRODUÇÃO

A diversidade beta é uma medida da variação na composição da comunidade de um local para outro (KOLEFF; GASTON; LENNON, 2003; BASELGA, 2009). Dois processos podem direcionar os padrões espaciais dessa variação, sendo eles: 1) o *turnover* de espécies, no qual as mudanças de composição são determinadas pela substituição de espécies entre locais; e 2) o aninhamento, no qual as mudanças são determinadas pela diferença na riqueza de espécies entre locais, de forma que a composição de uma comunidade menos diversa é um subconjunto de uma comunidade mais diversa (GASTON; BLACKBURN, 2000; OLDEN, 2006).

Os padrões espaciais de diversidade beta podem ser explicados principalmente por dois mecanismos principais: 1) a hipótese de filtragem ambiental, a qual considera que as mudanças na composição da comunidade com a distância geográfica ocorrem por diferenças evolutivas de espécies adaptadas a diferentes nichos ao longo de gradientes ambientais, e 2) a hipótese de limitação de dispersão, a qual considera as diferentes capacidades de dispersão das espécies e a influência de diferentes estruturas na paisagem, como filtros ambientais e barreiras geográficas naturais e antrópicas, moldando a composição biológica (LEPRIEUR *et al.*, 2009; BORGES *et al.*, 2020). O entendimento da atuação desses mecanismos na produção dos padrões espaciais de diversidade beta tem contribuído para o planejamento de estratégias para manutenção da biodiversidade (WIERSMA *et al.*, 2005; SOCOLAR *et al.*, 2016; OIKONOMOU; STEFANIDIS, 2020). Por exemplo, se o componente de *turnover* for o que mais contribui para a variação das comunidades é indicado o estabelecimento de várias áreas de proteção prioritárias (BASELGA, 2009; LOISEAU *et al.*, 2016; HILL *et al.*, 2019), pois os padrões de rotatividade estão associados a fatores que propiciam o endemismo (BOND; SMYTHE; BALFOUR, 2008; BASELGA, 2009).

Recentemente, tem se discutido se os padrões espaciais e os mecanismos associados à diversidade beta de assembleias exóticas são similares aos de assembleias nativas (LEPRIEUR *et al.*, 2009). Por exemplo, a distribuição recente de espécies exóticas não é produto de fatores históricos (por exemplo, eventos glaciais e geológicos) (OBERDORFF; HUGUENY; GUEGAN, 1997). Além disso, as introduções humanas transpõem limitações físicas como barreiras geográficas naturais, tornando menores os efeitos da filtragem ambiental e limitação de dispersão quando comparado com as espécies nativas (OLDEN, 2006). Para peixes de água doce de bacias hidrográficas europeias, a composição de assembleias exóticas foi mais aninhada do que a de assembleias nativas, porque assembleias

menores foram compostas por um subgrupo de espécies cosmopolitas de assembleias maiores (LEPRIEUR *et al.*, 2009). A comparação entre os padrões e direcionadores de diversidade beta de assembleias nativas e exóticas nos ajuda a entender como as assembleias são estruturadas e isso poderá auxiliar na antecipação de impactos das espécies exóticas invasoras (LEPRIEUR *et al.*, 2009).

Os padrões espaciais vêm sendo estudados em peixes de água doce principalmente porque bacias hidrográficas podem ser analisadas como ilhas biogeográficas (LEPRIEUR *et al.*, 2009). As bacias hidrográficas da ecorregião Caatinga Nordeste e Drenagens Costeiras (ECNDC) possuem elevado nível de endemismos de peixes e é área prioritária para a conservação da biodiversidade aquática mundial (ABELL *et al.*, 2008).

Nesse estudo, comparamos os padrões espaciais de diversidade beta de assembleias nativas e exóticas de peixes de água doce da ECNDC. Mais especificamente, nossos objetivos foram: 1) quantificar e comparar padrões espaciais de dissimilaridade de assembleias nativas e exóticas; 2) avaliar a contribuição de componentes de turnover e aninhamento de espécies; e 3) quantificar os efeitos puros e combinados de fatores ambientais e espaciais na composição das assembleias nativas e exóticas. Para a composição das assembleias nativas é esperado que os padrões espaciais de dissimilaridade sejam maiores do que nas exóticas, tendo a principal variação pelo componente de *turnover* e que os efeitos combinados de fatores ambientais e espaciais sejam os principais direcionadores da variação. Já para a composição das assembleias exóticas é esperado que os padrões espaciais de dissimilaridade sejam menores do que nas nativas, tendo a principal variação pelo componente de aninhamento e que os efeitos puros de fatores ambientais sejam os principais direcionadores da variação.

2 MATERIAIS E MÉTODOS

2.1 Área do estudo

O estudo foi conduzido em 38 bacias de drenagem localizadas na ECNDC, as quais abrangem mais de 85% do seu território (Figura 1). A ECNDC está localizada principalmente no bioma Caatinga, na região Nordeste do Brasil, entre a Ecorregião Parnaíba (PNB) e São Francisco (SAFR) (ABELL *et al.*, 2008), compreendendo uma área total de 272.882,587 km² o clima regional é predominantemente semiárido, com temperaturas médias superiores a 20°C anuais e a precipitação total média variando na faixa de 280 a 800 mm por ano (ARAÚJO, 2011). Os principais rios são de regime intermitentes, marcados por períodos chuvosos com

conexão hidrológica superficial entre os meses de dezembro e maio, seguidos por períodos secos caracterizados por descontinuidade hidrológica superficial (STROMBERG, 2009).

Figura 1 – Distribuição espacial das bacias de drenagem da ecorregião Caatinga Nordeste e Drenagens Costeiras (ECNDC) (segundo ABELL *et al.*, 2008). 1 - Abiaí, 2 - Acaraú, 3 - Apodi/Mossoró, 4 - Boqueirão, 5 - Camaragibe, 6 - Camaratuba, 7 - Capibaribe, 8 - Catú, 9 - Ceará Mirim, 10 - CELMM, 11 - Coreaú, 12 - Coruripe, 13 - Curimataú, 14 - Curu, 15 - Goiana, 16 - Gramame, 17 - Ipojuca, 18 - Jacú, 19 - Jaguaribe, 20 - Litoral-CE, 21 - Litoral-Norte, 22 - Mamanguape, 23 - Maxaranguape, 24 - Metropolitana, 25 - Miriri, 26 - Mundaú, 27 - Paraíba, 28 - Paraíba do Norte, 29 - Pirangi, 30 - Piranhas Açu, 31 - Potengi, 32 - Pratagi, 33 - Punaú, 34 - Rio Doce, 35 - São Miguel, 36 - Sirinhaém, 37 - Trairí e 38 - Una.



Fonte: Filipe Mateus de Oliveira Costa (2023).

2.2 Distribuição espacial das assembleias nativas e exóticas

Para construir um banco de dados com a distribuição geográfica das assembleias nativas e exóticas, usamos registros georreferenciados de ocorrência de espécies de peixes e

cruzamos essas informações com *shapefiles* das bacias selecionadas. Os dados foram obtidos através de bancos de dados online de museus ictiológicos no portal digital Species Link (<http://www.splink.org.br/>) e de material depositado nas coleções ictiológicas da Universidade Federal da Bahia (UFBA), Universidade Federal da Paraíba (UFPB), Universidade Federal do Rio Grande do Norte (UFRN) e Universidade Federal de Sergipe (UFS) (dados não disponibilizados online). Como todos os rios principais das bacias selecionadas desaguam no Oceano Atlântico e apresentam estuários, na nossa primeira filtragem listamos a ocorrência de várias espécies marinhas. Essas espécies foram posteriormente removidas e a nossa matriz de composição específica final foi composta exclusivamente por espécies de peixes de água doce. Em seguida, as espécies de água doce foram classificadas em relação à origem biogeográfica (nativas e exóticas), segundo Lima *et al.* (2017). Por fim, dividimos essa matriz final em uma contendo somente as espécies nativas e outra com as exóticas. Com ajuda de especialistas (Telton e Yuri), todos os nomes das espécies registrados no banco de dados foram revisados.

2.3 Padrões de diversidade beta das assembleias nativas e exóticas

Para quantificar os padrões espaciais gerais de diversidade beta, usamos o índice de dissimilaridade de Jaccard, considerando as matrizes de espécies nativas e exóticas separadas. Em seguida, usamos o método de partição de dissimilaridade proposto por Baselga (2009) para avaliar a contribuição relativa dos componentes de turnover e aninhamento na dissimilaridade de Jaccard.

2.4 Direcionadores ambientais e espaciais da composição das assembleias nativas e exóticas

Para representar a variação ambiental das bacias de drenagem, medimos a área (km²), a precipitação anual média (mm); temperatura anual média (°C), e amplitude da altitude (m). A área das bacias foi calculada através de arquivos vetoriais disponíveis no portal da Agência Nacional de Águas (ANA), a precipitação média e temperatura média foram obtidas a partir de imagens *raster* disponíveis no portal WorldClim version 2.1 (Fick & Hijmans, 2017) climate data (1970-2000) (<https://www.worldclim.org/>) e a amplitude de altitude foi calculada

através de imagens *rasters* disponíveis no site do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE, <http://www.webmapit.com.br/inpe/topodata/>).

Para representar a estrutura espacial, calculamos uma matriz de distância euclidiana usando as coordenadas geográficas (centróides) de cada bacia de drenagem. Em seguida, usamos uma análise de coordenadas principais de matrizes vizinhas (*principal coordinate of neighbour*, PCNM) com a matriz de distância para gerar mapas de autovetores espaciais (BORCARD; LEGENDRE, 2002; BORCARD *et al.*, 2004). Por fim, usamos as três primeiras coordenadas principais (PCNM1, PCNM2, PCNM3) como filtros espaciais (GRIFFITH; PERES-NETO, 2006).

2.5 Análise de dados

Para avaliar a importância dos componentes de turnover e aninhamento nos valores de dissimilaridade geral, calculamos a proporção relativa de contribuição, dividindo os valores de dissimilaridade dos componentes pelos de dissimilaridade de Jaccard.

Para comparar os níveis de diversidade beta e dos componentes de turnover e aninhamento entre assembleias nativas e exóticas, usamos análises de dispersão multivariada (ANDERSON; ELLINGSEN; MCARDLE, 2006). A significância dos testes foi calculada através de 999 permutações.

Para avaliar a influência das variáveis ambientais e filtros espaciais na composição das assembleias nativas e exóticas foram aplicadas Análises de Redundância (RDA) e Análises de Redundância Parcial (LEGENDRE *et al.*, 1998). Todas as variáveis explanatórias foram previamente padronizadas (média = 0 e desvio padrão =1) para remover o efeito da dimensionalidade. Calculamos o fator de inflação de variância (FIV) para avaliar a colinearidade entre as variáveis explanatórias. Nenhuma variável explanatória ambiental teve valores elevados de FIV (<2) e todas foram mantidas para a análise. As variáveis explanatórias foram selecionadas através de um processo de seleção *forward*. Por fim, a contribuição relativa dos efeitos puros e combinados foi calculada através do método de partição de variância proposto por Borcard, Legendre e Drapeau (1992). A significância das RDA 's foi calculada através de 999 permutações.

Todas as análises foram realizadas no programa estatístico R. A partição foi calculada usando a biblioteca betapart (BASELGA; ORME, 2012). As dispersões multivariadas, mapas de autovetores e as RDA 's foram calculadas utilizando o pacote vegan (OKSANEN *et al.*, 2013) no programa R (R Development Core Team, 2006).

3 RESULTADOS

3.1 Padrões de diversidade beta de assembleias nativas e exóticas

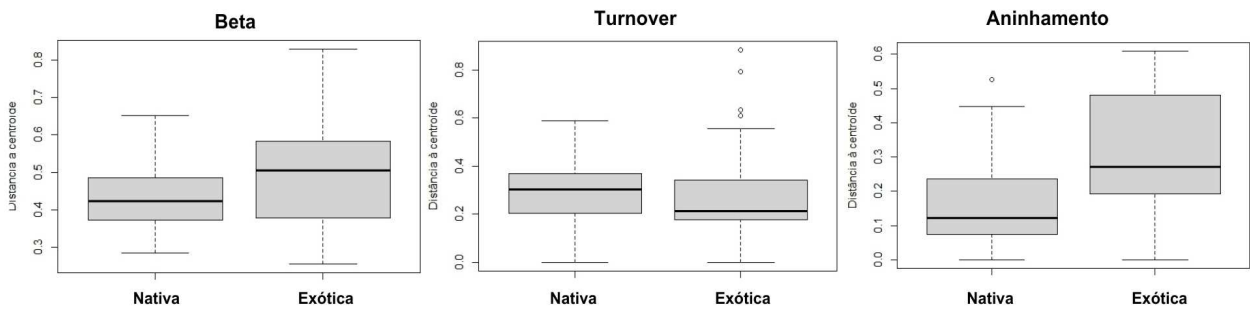
Listamos um total de 102 espécies de peixes, das quais 83 são nativas e 19 exóticas (ANEXO I). Tanto as assembleias nativas como as exóticas apresentaram níveis intermediários de diversidade beta geral, os quais não diferiram significativamente ($F = 2,63$, $P = 0,13$) (Tabela 1 e Figuras 2). Entretanto, a diversidade beta geral das assembleias nativas foi direcionada 63,9% pelo turnover de espécies, enquanto nas assembleias exóticas foram influenciados de forma semelhante pelos componentes de turnover (47,3%) e aninhamento (52,7%), porém comparado com espécies nativas, o aninhamento foi significativamente mais elevado para as assembleias exóticas ($F = 10,16$, $P = 0,020$). A distribuição espacial dos valores de diversidade beta total (Jaccard), turnover e aninhamento para assembleias de peixes nativas e exóticas por bacias hidrográficas apresentaram um padrão espacial heterogêneo, para assembleias de peixes nativas algumas bacias ficaram agrupadas com valores próximos de diversidade (Figuras 3).

Tabela 1 - Valores médios de diversidade beta total (Jaccard), turnover e aninhamento para assembleias de peixes nativas e exóticas das Bacias Hidrográficas da Ecorregião Caatinga Nordeste e Drenagens Costeiras.

Espécies de peixes	Componentes	Média
Nativas	Jaccard	0,63
	Turnover	0,40
	Aninhamento	0,23
Exóticas	Jaccard	0,70
	Turnover	0,33
	Aninhamento	0,37

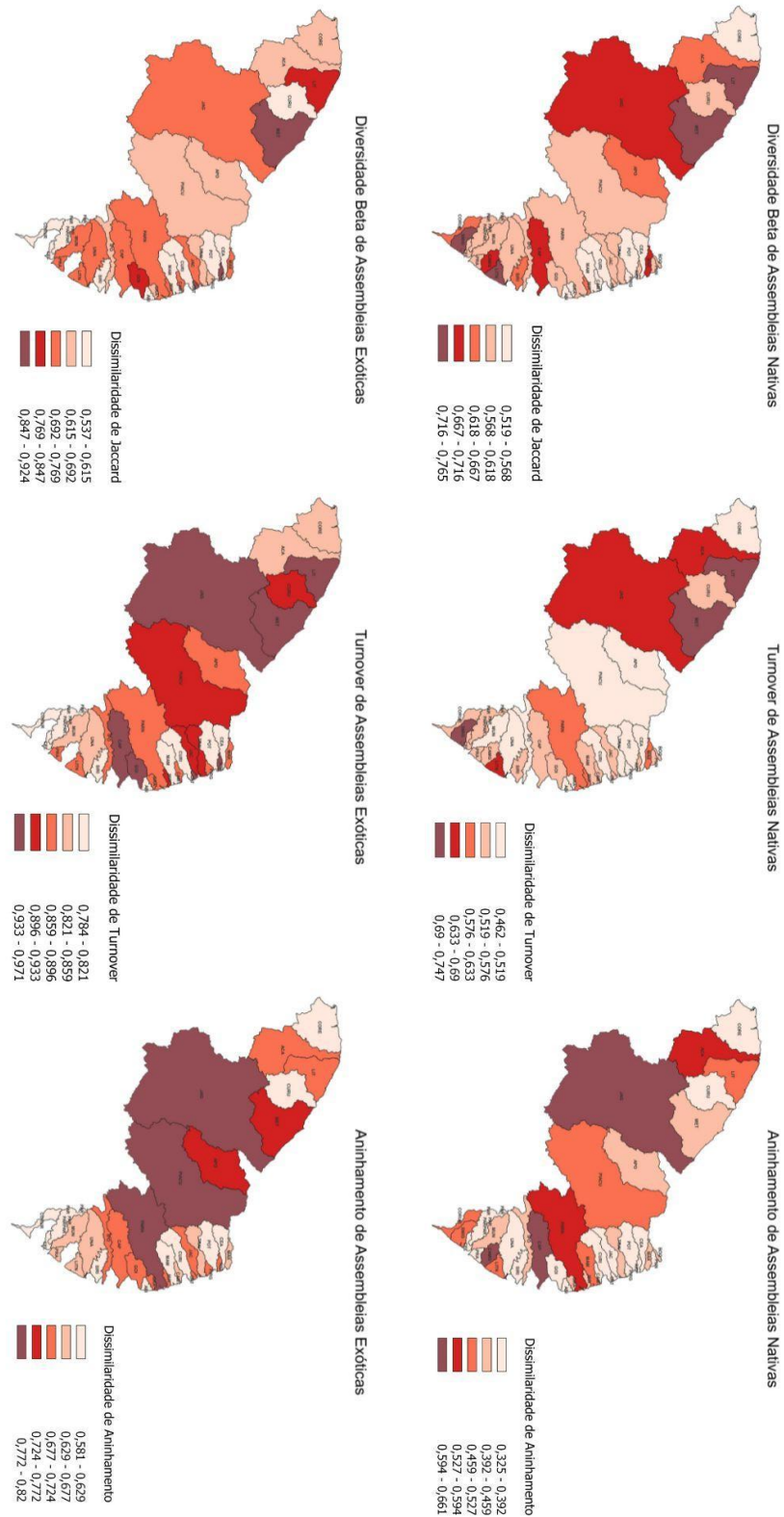
Fonte: Autoria própria (2023).

Figura 2 - Análises de dispersão multivariada de diversidade beta, turnover e aninhamento de espécies nativas e exóticas das Bacias Hidrográficas da Ecorregião Caatinga Nordeste e Drenagens Costeiras.



Fonte: R Development Core Team (2023).

Figura 3 - Distribuição espacial dos valores de diversidade beta total (Jaccard), turnover e aninhamento para assembleias de peixes nativas e exóticas por Bacias Hidrográficas da Ecorregião Caatinga Nordeste e Drenagens Costeiras.



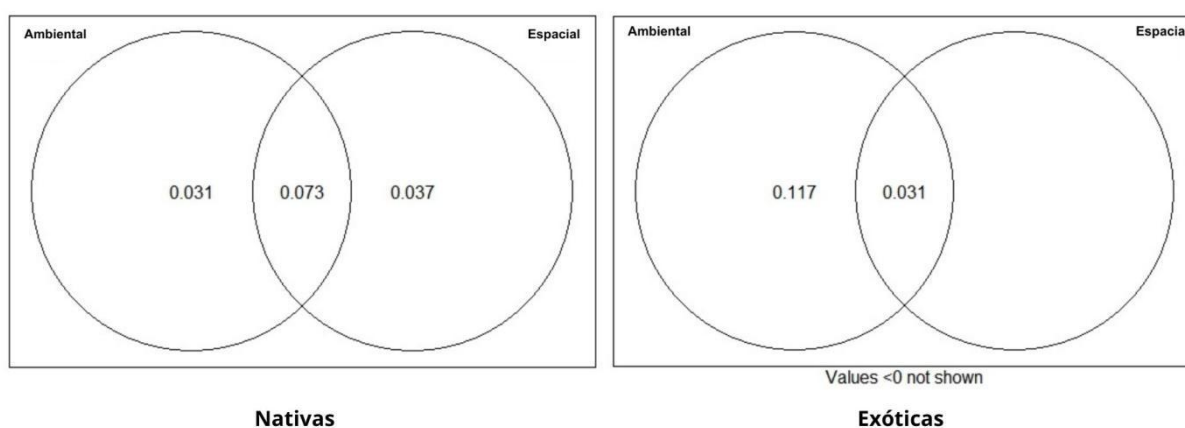
Fonte: Autoria própria (2023).

3.2 Processos de diversidade beta de peixes nativos e exóticos

O processo de seleção *forward* demonstrou que as variáveis: amplitude de altitude, temperatura média anual e precipitação média anual foram correlacionadas significativamente com a composição das assembleias nativas ($F = 1,4$, $P = 0,014$), explicando 3,1% da sua variação (Figura 4). Similarmente, todos os filtros espaciais (PCNM1; PCNM2 e PCNM3) tiveram relação significativa com a composição de assembleias nativas ($F = 1,5$, $P = 0,014$), explicando 3,7% da sua variação. O efeito combinado da variação ambiental e espacial, explicaram 7% da variação da composição das assembleias nativas, o modelo final da RDA foi significativo ($F = 1,9$, $P = 0,001$).

Somente a área das bacias foi associada à composição das assembleias exóticas, explicando 11,7% da sua variação ($F = 5,1$, $P = 0,001$). Os filtros espaciais não explicaram uma quantidade significativa da composição das assembleias exóticas ($F = 0,9$, $P = 0,506$). O efeito combinado da variação ambiental e espacial explicou 3,1% da variação da composição das assembleias exóticas, o modelo final da RDA foi significativo ($F = 3,6$, $P = 0,001$).

Figura 4 – Diagramas de Venn com a partição de variação dos efeitos puros e combinados de fatores ambientais e espaciais para as assembleias de peixes nativos e exóticos das Bacias Hidrográficas da Ecorregião Caatinga Nordeste e Drenagens Costeiras.



Fonte: R Development Core Team (2023).

4 DISCUSSÃO

O componente de *turnover* foi o que mais contribui para a variação das assembleias de peixes nativos das bacias de drenagem da ECNDC, os padrões de rotatividade estão associados a fatores que propiciam o endemismo (BOND; SMYTHE; BALFOUR, 2008; BASELGA, 2009), processos de substituição de espécies foram mais importantes do que diferenças na riqueza entre bacias. Esses resultados sugerem a necessidade da conservação das assembleias das diferentes bacias para a manutenção de biodiversidade da ictiofauna da ECNDC.

As diferenças na composição das assembleias de peixes nativas foram afetadas principalmente por mecanismos de filtragem ambiental e limitações espaciais e históricas, como contingência biogeográfica (MELO; RANGEL; DINIZ-FILHO, 2009); GEORGOPOULOU *et al.*, 2016). Nosso resultado é similar a outros estudos para espécies de peixes de água doce em outras bacias hidrográficas (LANSAC-TÔHA *et al.*, 2019; OIKONOMOU; STEFANIDIS, 2020; LIU *et al.*, 2023), mas diferente de Leprieur *et al.* (2009) que encontrou fortes padrões de aninhamento na composição de espécies de peixes nativas de bacias hidrográficas. De acordo com Leprieur *et al.* (2011), essa diferença de padrões pode ser explicada pela maior estabilidade climática no quaternário nos continentes sul-americano e africano, resultando maiores níveis de turnover de espécies, enquanto que no Hemisfério Norte foram observadas maiores oscilações climáticas. O que justifica a diversidade beta geral das assembleias nativas terem sido direcionadas principalmente pelo turnover nas bacias de drenagem da ECNDC.

A maior contribuição para a explicação da diversidade beta de peixes nativos foi o compartilhamento dos fatores ambientais com os fatores espaciais. A dissimilaridade na composição de espécies nativas é resultado da dispersão e adaptações históricas em resposta à distância geográfica e diferentes gradientes ambientais (MELO; RANGEL; DINIZ-FILHO, 2009; GEORGOPOULOU *et al.*, 2016; OIKONOMOU; STEFANIDIS, 2020).

A variação pelo componente de aninhamento indica que comunidades perderam ou ganharam espécies devido à colonização e extinção seletiva em processos de dispersão de gradientes ambientais aninhados (WHITTAKER *et al.*, 2007; LEPRIEUR *et al.*, 2009; BASELGA, 2009). Os padrões de diversidade beta das assembleias de peixes exóticas foram influenciados de forma semelhante pelos componentes de turnover e aninhamento, porém comparado com espécies nativas, o aninhamento foi significativamente mais elevado e a área da bacia explicou parte dessa variação. Esse padrão pode ser explicado porque a maioria das

espécies exóticas foi introduzida deliberadamente, e uma parcela delas apresentou uma ampla distribuição espacial, como por exemplo, *Oreochromis niloticus*, *Poecilia reticulata* e *Cichla* spp. A adição desse grupo de espécies na maioria das bacias aumenta artificialmente o aninhamento entre as assembleias, favorecendo o padrão observado. Diferenças na riqueza de espécies exóticas entre bacias com diferentes tamanhos, podem ser explicadas porque a pressão de propágulos tende a aumentar com a área da bacia de drenagem (LEPRIEUR *et al.*, 2009), de forma que a fauna de peixes de bacias menores são subgrupos de bacias maiores. A colonização e extinção de espécies podem ser hierárquicas de modo que espécies generalistas com maiores capacidades de dispersão e tolerantes a condições ambientais diversas, podem ocorrer em áreas menores e maiores, enquanto as especialistas tendem a colonizar somente áreas grandes (PATTERSON; ATMAR, 1986). Adicionalmente, bacias de drenagem maiores apresentam maior heterogeneidade ambiental, possuindo maior disponibilidade de nichos, o que favorece mais o estabelecimento de espécies exóticas, quando comparado a áreas menores e mais homogêneas (WHITTAKER *et al.*, 2007). Costa (2023) observou que bacias da ECNDC maiores, mais populosas, com maiores densidades de barragens e ambientalmente heterogêneas apresentavam maiores riquezas de espécies exóticas.

Os padrões de diversidade beta das assembleias de peixes exóticas não foram afetados por fatores espaciais, demonstrando que limitações de dispersão não parecem direcionar a composição das assembleias exóticas. Essa fraca relação com fatores espaciais pode ser explicada porque introduções humanas transpõem limitações como barreiras geográficas naturais (GARCIA-BERTHOU *et al.*, 2005; OLDEN, 2006) e artificiais.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os padrões de diversidade beta das assembleias de peixes nativas das Bacias Hidrográficas da Ecorregião Caatinga Nordeste e Drenagens Costeiras apresentou componente de turnover elevado, se tratando de uma área prioritária para a conservação da biodiversidade aquática mundial com elevado nível de endemismo de peixes é indicado o estabelecimento de várias áreas de proteção prioritárias.

Diferentes mecanismos influenciaram os padrões espaciais das assembleias de peixe nativas e exóticas. Enquanto as nativas foram afetadas principalmente por mecanismos como filtragem ambiental e/ou limitações espaciais e históricas, as assembleias de peixes exóticas apresentaram uma relação principalmente com a área das bacias, com os fatores espaciais puros não afetando sua composição.

REFERÊNCIAS

- ABELL, R. et al. Freshwater Ecoregions of the World: a new map of biogeographic units for freshwater biodiversity conservation. **Bioscience**, v. 58, n. 5, p. 403-414, 1 may. 2008. Oxford University Press (OUP). <http://dx.doi.org/10.1641/b580507>.
- ANDERSON, M. J.; ELLINGSEN, K. E.; MCARDLE, B. H. Multivariate dispersion as a measure of beta diversity. **Ecology Letters**, v. 9, n. 6, p. 683-693, jun. 2006. <http://dx.doi.org/10.1111/j.1461-0248.2006.00926.x>.
- ARAÚJO, SMS de. A região semiárida do nordeste do Brasil: questões ambientais e possibilidades de uso sustentável dos recursos. **Rios Eletrônica-Revista Científica da FASETE**, v. 5, n. 5, p. 89-98, dezembro 2011. Disponível em: <https://www.publicacoes.unirios.edu.br/index.php/revistarios/article/view/617>. Acesso em: 4 maio. 2023.
- BASELGA, A. Partitioning the turnover and nestedness components of beta diversity. **Global Ecology And Biogeography**, v. 19, n. 1, p. 134-143, 1 out. 2009. <http://dx.doi.org/10.1111/j.1466-8238.2009.00490.x>.
- BASELGA, A.; ORME, C. D. L. Betapart: an r package for the study of beta diversity. **Methods In Ecology And Evolution**, v. 3, n. 5, p. 808-812, 18 jun. 2012. <http://dx.doi.org/10.1111/j.2041-210x.2012.00224.x>.
- BOND, W. J.; SMYTHE, K.; BALFOUR, D. A. Acacia species turnover in space and time in an African savanna. **Journal Of Biogeography**, v. 28, n. 1, p. 117-128, 7 jul. 2008. <http://dx.doi.org/10.1046/j.1365-2699.2001.00506.x>.
- BORCARD, D.; LEGENDRE, P.; DRAPEAU, P. Partialling out the Spatial Component of Ecological Variation. **Ecology**, v. 73, n. 3, p. 1045-1055, jun. 1992. <http://dx.doi.org/10.2307/1940179>.
- BORCARD, D.; LEGENDRE, P. All-scale spatial analysis of ecological data by means of principal coordinates of neighbour matrices. **Ecological Modelling**, v. 153, n. 1-2, p. 51-68, jul. 2002. Elsevier BV. [http://dx.doi.org/10.1016/s0304-3800\(01\)00501-4](http://dx.doi.org/10.1016/s0304-3800(01)00501-4).
- BORCARD, D. et al. Dissecting the spatial structure of ecological data at multiple scales. **Ecology**, v. 85, n. 7, p. 1826-1832, jul. 2004. <http://dx.doi.org/10.1890/03-3111>.
- BORGES, P. et al. Stream fish metacommunity organisation across a Neotropical ecoregion: The role of environment, anthropogenic impact and dispersal-based processes. **PLoS One**, v. 15, n. 5, p. e0233733, 26 may. 2020. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0233733>.
- COSTA, F. **Padrões Espaciais e Direcionadores de Invasões de Peixes Exóticas na Ecorregião Caatinga Nordeste e Drenagens Costeiras**. Monografia (Graduação em Ecologia) – Universidade Federal Rural do Semi-Árido, Mossoró, 2023.
- GARCÍA-BERTHOU, E. et al. Introduction pathways and establishment rates of invasive aquatic species in Europe. **Canadian Journal Of Fisheries And Aquatic Sciences**, v. 62, n. 2, p. 453-463, 1 fev. 2005. Canadian Science Publishing. <http://dx.doi.org/10.1139/f05-017>.

GASTON, K. J.; BLACKBURN, T. M. **Pattern and process in macroecology**.v. 414, p. 751-756, 18 September 2000. Oxford: Blackwell Science.
<http://dx.doi.org/10.1002/9780470999592>.

GEORGOPOULOU, E. et al. Distribution patterns of European lacustrine gastropods: a result of environmental factors and deglaciation history. **Hydrobiologia**, v. 775, n. 1, p. 69-82, 1 mar. 2016. Springer Science and Business Media LLC.
<http://dx.doi.org/10.1007/s10750-016-2713-y>.

GRIFFITH, D. A.; PERES-NETO, P. R. Spatial modeling in ecology: the flexibility of eigenfunction spatial analyses. **Ecology**, v. 87, n. 10, p. 2603-2613, out. 2006.
[http://dx.doi.org/10.1890/0012-9658\(2006\)87\[2603:smietf\]2.0.co;2](http://dx.doi.org/10.1890/0012-9658(2006)87[2603:smietf]2.0.co;2).

HILL, M. J. et al. Environmental factors are primary determinants of different facets of pond macroinvertebrate alpha and beta diversity in a human-modified landscape. **Biological Conservation**, v. 237, p. 348-357, set. 2019. Elsevier BV.
<http://dx.doi.org/10.1016/j.biocon.2019.07.015>.

KOLEFF, P.; GASTON, K. J.; LENNON, J. J. Measuring beta diversity for presence-absence data. **Journal of Animal Ecology**, v. 72, n. 3, p. 367-382, maio 2003.
<http://dx.doi.org/10.1046/j.1365-2656.2003.00710.x>.

LANSAC-TÔHA, F. M. et al. Differently dispersing organism groups show contrasting beta diversity patterns in a dammed subtropical river basin. **Science of the Total Environment**, v. 691, p. 1271-1281, nov. 2019. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.07.236>.

LEGENDRE, P.; LEGENDRE, L. **Numerical ecology**. 2nd English edn. Elsevier, Amsterdam, 1998.

LEPRIEUR, F. et al. Contrasting patterns and mechanisms of spatial turnover for native and exotic freshwater fish in Europe. **Journal of Biogeography**, v. 36, n. 10, p. 1899-1912, out. 2009. <http://dx.doi.org/10.1111/j.1365-2699.2009.02107.x>.

LEPRIEUR, F. et al. Partitioning global patterns of freshwater fish beta diversity reveals contrasting signatures of past climate changes. **Ecology letters**, v. 14, n. 4, p. 325-334, 9 fev. 2011. <http://dx.doi.org/10.1111/j.1461-0248.2011.01589.x>.

LIMA, S. M. Q. et al. Diversity, distribution, and conservation of the Caatinga fishes: advances and challenges. **Caatinga: The largest tropical dry forest region in South America**, p. 97-131, 2017. Springer International Publishing.
http://dx.doi.org/10.1007/978-3-319-68339-3_4.

LIU, H. et al. Taxonomic, functional, and phylogenetic diversity patterns reveal different processes shaping river fish assemblages in the Eastern Huai River Basin, China. **Water Biology and Security**, v. 2, n. 1, p. 100078, jan. 2023. Elsevier BV.
<http://dx.doi.org/10.1016/j.watbs.2022.100078>.

LOISEAU, N. et al. Multi-component β -diversity approach reveals conservation dilemma between species and functions of coral reef fishes. **Journal of Biogeography**, v. 44, n. 3, p. 537-547, 8 ago. 2016. <http://dx.doi.org/10.1111/jbi.12844>.

MELO, A S.; RANGEL, T. F. LVB.; DINIZ-FILHO, J. A. F. Environmental drivers of beta-diversity patterns in New-World birds and mammals. **Ecography**, v. 32, n. 2, p. 226-236, abr. 2009. <http://dx.doi.org/10.1111/j.1600-0587.2008.05502.x>.

OBERDORFF, T; HUGUENY, B; GUÉGAN, J. Is there an influence of historical events on contemporary fish species richness in rivers? Comparisons between Western Europe and North America. **Journal of biogeography**, v. 24, n. 4, p. 461-467, jul. 1997. <http://dx.doi.org/10.1111/j.1365-2699.1997.00113.x>.

OIKONOMOU, A.; STEFANIDIS, K. α - and β -diversity patterns of macrophytes and freshwater fishes are driven by different factors and processes in lakes of the unexplored southern Balkan biodiversity hotspot. **Water**, v. 12, n. 7, p. 1984, 13 jul. 2020. MDPI AG. <http://dx.doi.org/10.3390/w12071984>.

OKSANEN, J. et al. Package ‘vegan’. **Community ecology package, version**, v. 2, n. 9, p. 1-295, 2013.

OLDEN, J. D. Biotic homogenization: a new research agenda for conservation biogeography. **Journal of Biogeography**, v. 33, n. 12, p. 2027-2039, dez. 2006. <http://dx.doi.org/10.1111/j.1365-2699.2006.01572.x>.

PATTERSON, B. D.; ATMAR, W. Nested subsets and the structure of insular mammalian faunas and archipelagos. **Biological journal of the Linnean society**, v. 28, n. 1-2, p. 65-82, maio 1986. Oxford University Press (OUP). <http://dx.doi.org/10.1111/j.1095-8312.1986.tb01749.x>.

R Development Core Team (2006) R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna. <http://www.r-project.org>.

SOCOLAR, J. B. et al. How should beta-diversity inform biodiversity conservation?. **Trends in ecology & evolution**, v. 31, n. 1, p. 67-80, jan. 2016. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.tree.2015.11.005>.

STROMBERG, J. C. et al. Ephemeral wetlands along a spatially intermittent river: temporal patterns of vegetation development. **Wetlands**, v. 29, n. 1, p. 330-342, mar. 2009. Springer Science and Business Media LLC. <http://dx.doi.org/10.1672/08-124.1>.

WHITTAKER, R. J.; FERNÁNDEZ-PALACIOS, J. M. **Island biogeography: ecology, evolution, and conservation**. Oxford University Press, 2007.

WIERSMA, Y. F.; URBAN, D. L. Beta diversity and nature reserve system design in the Yukon, Canada. **Conservation biology**, v. 19, n. 4, p. 1262-1272, 30 jun. 2005. <http://dx.doi.org/10.1111/j.1523-1739.2005.00099.x>.

ANEXO I

Anexo I - Lista de espécies nativas e exóticas registradas na ecorregião caatinga nordeste e drenagens costeiras e vetores de introdução.

Espécie/Família	Origem	Vetor
Anostomidae		
<i>Leporinus melanopleura</i>	Exótica	Estocagem
<i>Leporinus piau</i>	Nativa	-
<i>Leporinus taeniatus</i>	Nativa	-
<i>Megaleporinus obtusidens</i>	Exótica	Estocagem
Auchenipteridae		
<i>Trachelyopterus cratensis</i>	Nativa	-
<i>Trachelyopterus galeatus</i>	Nativa	-
Osphronemidae		
<i>Betta splendens</i>	Exótica	Aquarismo
Callichthyidae		
<i>Aspidoras depinnai</i>	Nativa	-
<i>Callichthys callichthys</i>	Nativa	-
<i>Megalechis thoracata</i>	Nativa	-
<i>Hoplosternum littorale</i>	Nativa	-
<i>Aspidoras raimundi</i>	Nativa	-
<i>Aspidoras rochai</i>	Nativa	-
Characidae		
<i>Astyanax bimaculatus</i>	Nativa	-
<i>Cheirodon jaguaribensis</i>	Nativa	-
<i>Hemigrammus guyanensis</i>	Nativa	-
<i>Hemigrammus marginatus</i>	Nativa	-
<i>Hemigrammus rodwayi</i>	Nativa	-
<i>Hemigrammus unilineatus</i>	Nativa	-
<i>Hyphessobrycon piabinhas</i>	Nativa	-
<i>Moenkhausia costae</i>	Exótica	Transposição do Rio São Francisco
<i>Moenkhausia dichrourea</i>	Nativa	-
<i>Phenacogaster calverti</i>	Nativa	-
<i>Psalidodon fasciatus</i>	Nativa	-
<i>Psellogrammus kennedyi</i>	Nativa	-
<i>Serrapinnus heterodon</i>	Nativa	-
<i>Serrapinnus piaba</i>	Nativa	-
<i>Serrapinnus potiguar</i>	Nativa	-
<i>Tetragonopterus argenteus</i>	Nativa	-
<i>Compsura heterura</i>	Nativa	-
Cichlidae		
<i>Astronotus ocellatus</i>	Exótica	Estocagem
<i>Cichla kelberi</i>	Exótica	Estocagem
<i>Cichla monoculus</i>	Exótica	Estocagem
<i>Cichla ocellaris</i>	Exótica	Estocagem

<i>Cichlasoma orientale</i>	Nativa	-
<i>Cichlasoma sanctifranciscense</i>	Nativa	-
<i>Geophagus brasiliensis</i>	Nativa	-
<i>Oreochromis niloticus</i>	Exótica	Aquarismo
<i>Parachromis managuensis</i>	Exótica	Aquarismo
<i>Coptodon rendalli</i>	Exótica	Estocagem
<i>Crenicichla brasiliensis</i>	Nativa	-
<i>Laetacara curviceps</i>	Exótica	Aquarismo
Clariidae		
<i>Clarias gariepinus</i>	Nativa	-
Crenuchidae		
<i>Characidium bimaculatum</i>	Nativa	-
Curimatidae		
<i>Psectrogaster rhomboides</i>	Nativa	-
<i>Psectrogaster saguiru</i>	Nativa	-
<i>Steindachnerina notonota</i>	Nativa	-
<i>Curimatella lepidura</i>	Nativa	-
Engraulidae		
<i>Anchoviella vailanti</i>	Exótica	Transposição do Rio São Francisco
Erythrinidae		
<i>Erythrinus erythrinus</i>	Nativa	-
<i>Hoplerythrinus unitaeniatus</i>	Nativa	-
<i>Hoplias malabaricus</i>	Nativa	-
Gymnotidae		
<i>Gymnotus darwini</i>	Nativa	-
<i>Gymnotus carapo</i>	Nativa	-
Heptapteridae		
<i>Pimelodella dorseyi</i>	Nativa	-
<i>Pimelodella enochi</i>	Nativa	-
<i>Pimelodella papariae</i>	Nativa	-
<i>Pimelodella witmeri</i>	Nativa	-
<i>Rhamdia quelen</i>	Nativa	-
Lebiasinidae		
<i>Nannostomus beckfordi</i>	Nativa	-
Loricariidae		
<i>Aphanotorulus gomesi</i>	Nativa	-
<i>Hypostomus carvalhoi</i>	Nativa	-
<i>Hypostomus jaguribensis</i>	Nativa	-
<i>Hypostomus nudiventris</i>	Nativa	-
<i>Hypostomus paparie</i>	Nativa	-
<i>Hypostomus pusarum</i>	Nativa	-
<i>Hypostomus salgadae</i>	Nativa	-
<i>Hypostomus sertanejo</i>	Nativa	-
<i>Loricariichthys derbyi</i>	Nativa	-

<i>Loricariichthys platymetopom</i>	Nativa	-
<i>Paratocinclus cesarpintoi</i>	Nativa	-
<i>Parotocinclus cearensis</i>	Nativa	-
<i>Parotocinclus haroldoi</i>	Nativa	-
<i>Parotocinclus jacksoni</i>	Nativa	-
<i>Parotocinclus jumbo</i>	Nativa	-
<i>Parotocinclus seridoensis</i>	Nativa	-
<i>Parotocinclus spilosoma</i>	Nativa	-
<i>Parotocinclus spilurus</i>	Nativa	-
<i>Pseudancistrus genisetiger</i>	Nativa	-
<i>Pseudancistrus papariae</i>	Nativa	-
Parodontidae		
<i>Apareiodon davisi</i>	Nativa	-
Poeciliidae		
<i>Pamphorichthys hollandi</i>	Nativa	-
<i>Poecilia reticulata</i>	Exótica	Biocontrole/Aquarismo
<i>Poecilia sarrafae</i>	Nativa	-
<i>Poecilia vivipara</i>	Nativa	-
<i>Xiphophorus helleri</i>	Exótica	Aquarismo
Prochilodontidae		
<i>Prochilodus brevis</i>	Nativa	-
Rivulidae		
<i>Anablepsoides cearensis</i>	Nativa	-
<i>Cynolebias microphthalmus</i>	Nativa	-
<i>Hypsolebias antenori</i>	Nativa	-
<i>Hypsolebias martinsi</i>	Nativa	-
<i>Kryptolebias hermaphroditus</i>	Nativa	-
Sciaenidae		
<i>Plagioscion squamosissimus</i>	Exótica	Aquarismo
Serrasalminidae		
<i>Colossoma macropomum</i>	Exótica	Estocagem
<i>Metynnis lippincottianus</i>	Nativa	-
<i>Myleus micans</i>	Exótica	Aquarismo
<i>Pygocentrus nattereri</i>	Nativa	-
<i>Serrasalmus brandtii</i>	Nativa	-
<i>Serrasalmus rhombeus</i>	Nativa	-
<i>Serrasalmus spilopleura</i>	Nativa	-
Synbranchidae		
<i>Synbranchus aff. marmoratus</i>	Nativa	-
Triportheidae		
<i>Triportheus signatus</i>	Nativa	-
