



**UNIVERSIDADE FEDERAL DE RONDÔNIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO
EM BIODIVERSIDADE E BIOTECNOLOGIA
DA REDE BIONORTE**



**AVALIAÇÃO DAS CAUSAS E MECANISMOS ESSENCIAIS
DA PRESSÃO DE PROPÁGULOS DE *Oreochromis niloticus*
(LINNAEUS, 1768) NA AMAZÔNIASUL OCIDENTAL**

LARIESSA MOURA DE ARAÚJO SOARES

Porto Velho - RO

2021

LARIESSA MOURA DE ARAÚJO SOARES

**AVALIAÇÃO DAS CAUSAS E MECANISMOS ESSENCIAIS
DA PRESSÃO DE PROPÁGULOS DE *Oreochromis niloticus*
(LINNAEUS, 1768) NA AMAZÔNIA SUL OCIDENTAL**

Tese de doutorado apresentada ao Curso de Doutorado do Programa de Pós-Graduação da Rede de Biodiversidade e Biotecnologia da Amazônia Legal, na Universidade Federal de Rondônia, como requisito parcial para a obtenção do título de Doutor em Biodiversidade e Conservação.

Orientadora: Prof^ª. Dr^ª. Carolina R. da Costa Doria

Coorientador: Prof. Dr. Jean R. Simões Vitule

Porto Velho - RO

AGOSTO/2021

FICHA CATALOGRÁFICA

(a ser revisada pela biblioteca da Universidade)

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação

Soares, Lariessa Moura de Araújo

Avaliação das Causas e Mecanismos Essenciais da Pressão de Propágulos de *Oreochromis niloticus* (Linnaeus, 1768) na Amazônia/ Lariessa Moura de Araújo Soares. –Porto Velho, RO, 2021.

123 f.

Tese de Doutorado – Rede de Biodiversidade e Biotecnologia da Amazônia Legal, Programa de Pós-Graduação em Biodiversidade e Biotecnologia, Universidade Federal de Rondônia, 2021.

Orientadora: Carolina Rodrigues da Costa Dória

Co-orientador: Jean R. Simões Vitule

1. Invasão Biológica 2. Ictiofauna 3. Não nativos. I. Título

CDU

TODOS OS DIREITOS RESERVADOS – A reprodução total ou parcial, de qualquer forma ou por qualquer meio deste documento é autorizada desde que citada a fonte. A violação dos direitos do autor (Lei nº 9.610/98) é crime estabelecido pelo artigo 184 do Código Penal.

LARIESSA MOURA DE ARAÚJOS SOARES

**AVALIAÇÃO DAS CAUSAS E MECANISMOS ESSENCIAIS
DA PRESSÃO DE PROPÁGULOS DE *Oreochromis niloticus*
(LINNAEUS, 1768) NA AMAZÔNIA SUL OCIDENTAL**

Tese de doutorado apresentada ao Curso de Doutorado do Programa de Pós-Graduação da Rede de Biodiversidade e Biotecnologia da Amazônia Legal, na Universidade Federal de Rondônia, como requisito parcial para a obtenção do título de Doutor em Biodiversidade e Conservação.

Aprovada em: ____/____/____

Banca examinadora

Profa. Dra. Carolina Rodrigues da Costa Doria (Orientadora)
Universidade Federal de Rondônia

Profa. Dra. Mariluce Messias
Universidade Federal de Rondônia

Prof. Dr. Izaias Médice Fernandes
Universidade Federal de Rondônia

Dra. Sandra Forneck
Universidade Federal do Paraná

Dra. Vanessa Salete Daga
Membro Externo

*Dedico esta tese
a minha família,
Djany, Pedro, Larissa e Luisa.*

AGRADECIMENTOS

Primeiramente, agradeço a Deus, que é pai, mãe e vida; ao Mestre Jesus e à Mestra Kwan Yin, que me deram sabedoria e suporte para lidar com todos os desafios ao longo desses quatro anos de jornada.

Ao meu pai Pedro, minha mãe Djany e minha irmã Larissa, que acalentaram todas as minhas inúmeras tentativas de desistir, desanimar, não concluir esta etapa tão sonhada. Sou grata por sermos da mesma egrégora de luz. Vocês me fazem forte! Amo-os muito!

À Professora Carolina, que me acolheu quando eu estava desacreditada, colocou fé na nossa parceria, me mostrou que sou capaz, muito além do que imaginava ser. Professora, a senhora é uma verdadeira mestra! Além de ensinar o conteúdo propriamente dito, me guiou, orientou e cobrou de forma a extrair o meu melhor (de que muitas vezes duvidei existir, mas estava lá). Quantas palavras duras, fortes, amáveis, lindas, carinhosas... Esses três anos não seriam os mesmos se eu não a tivesse conhecido. Saio dessa experiência fortalecida, grata, entre tantos adjetivos positivos que espelham a minha mestra Carol. Obrigada por tudo! Serei eternamente grata.

Ao Professor Jean... Quantas cervejas teremos que tomar para celebrar nossa parceria? Que presente a professora Carol me deu, ao nos apresentar e colocar em nosso projeto tanto o seu conhecimento em uma área que eu pouco havia adentrado! Ela sempre me alertou que eu teria que “correr atrás”. Que bom que corri atrás de ti! E espero continuar correndo, bebendo água da fonte limpa - que às vezes parece ilimitada - do teu conhecimento. Obrigada por ter vindo a Rondônia e nos apoiar nas coletas. Sem dúvidas, teu apoio irrestrito foi fundamental. Obrigada por tanto! Serei eternamente grata.

Aos meus ex-chefes Sorrival e Basílio. Acredito muito na gestão humana, que entende e acolhe. Vocês são meus espelhos profissionais, por terem esse perfil. Conduzem a direção dos trabalhos, requerendo resultados que vão além dos números; olham para as pessoas com carinho e atenção. Eu não teria continuado sem o apoio e, muitas vezes, o “empurrão” dos dois. Cada um, à sua época, me fez crescer e sou muito grata pelo que recebi.

Ao Robson, grande amigo que Brasília me deu, por me ajudar transformar as tabelas em lindos mapas, onde conseguimos ter dimensão do nosso desafio. Você é o melhor técnico em georreferenciamento que conheço; sua perspicácia e qualidade técnica são inigualáveis.

À professora Jucilene, que cedeu equipamentos, dados, tempo e toda sua bagagem de conhecimento. Encontrar pessoas com bom coração torna nossa jornada na terra mais leve. Gratidão pela parceria.

Ao professor Izaías, pela contribuição com os dados da bacia do Rio Branco.

Ao professor Rodrigo, pelo suporte com as análises estatísticas e paciência em me explicar como um bom mestre.

Ao colega Jerônimo, na época mestrando, e a todos os estagiários que aplicaram os questionários em campo. Sem uma equipe engajada não teríamos um resultado de excelência!

Às colegas Marcela e Day, por terem tornado o dia a dia na pós-graduação tão prazeroso, dando-me suporte e ideias enquanto (antes da pandemia) dividíamos nossa sala de estudos.

À professora Neiva, que, com sua experiência em legislações, revisou o segundo capítulo desta Tese.

À colega Dr^a. Patrícia Charvet, que abrilhantou o último capítulo com sua expertise em língua inglesa e sagacidade em sugerir melhorias no texto. Gratidão.

Ao Sr. Elarrat, servidor do IBGE, que nos atendeu com cuidado e atenção, ouvindo com delicadeza nossas demandas e nos ensinou a filtrar os dados corretamente. Gratidão pelo apoio.

A Cleber e Bruno, que, literalmente, entraram no esgoto por esta Tese, uma vez que coletamos em igarapés urbanos, com despejo de dejetos. Não tenho palavras para agradecer o apoio nas coletas, desde a alegria das viagens, a disposição em fazer com que este sonho se tornasse realidade; em especial ao Bruno, que me apoiou na identificação de todos os peixinhos coletados. Você é um mega profissional!

Ao Jairo, pelo suporte no laboratório e coletas.

O que fazer quando a ansiedade grita? Dar risada, treinar, ganhar um abraço, entre tantas outras atitudes de amor e carinho. Deixo registrado meu amor e agradecimentos às amigas de uma vida: Kelly, Carol, Débora, Taci, Lud, Rafa, Pri, Fer Guareschi e Fer Martins; às amigas que o *crossfit* me presenteou: Jana, Gio, Iara, Cris e Helo. Sem vocês, a jornada do doutorado não teria cor. Obrigada!

À Secretaria de Meio Ambiente do Estado de Rondônia (SEDAM), à Agência Agrossilvopastoril do Estado de Rondônia (IDARON), à Universidade Federal de Rondônia (UNIR), ao Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), que apoiaram diretamente o resultado deste trabalho.

A todos que, de alguma forma, contribuíram para meu crescimento pessoal e com o desenvolvimento desta pesquisa, que é apenas o início do levantamento de dados sobre *O. niloticus* em Rondônia.

SOARES, Lariessa Moura de Araújo. **Avaliação das causas e mecanismos essenciais da pressão de propágulos de *Oreochromis niloticus* (Linnaeus, 1768) na Amazônia Sul Ocidental**. 2021. 123f. Tese (Doutorado em Biodiversidade) - Universidade Federal de Rondônia, Porto Velho-RO, 2021.

RESUMO

A invasão de peixes exóticos em ecossistemas aquáticos naturais é, reconhecidamente, uma das grandes ameaças à biodiversidade mundial. Nesse cenário, regiões de grande diversidade íctica, como a Amazônia, apresentam lacunas no conhecimento e na delimitação da pressão de propágulos e impactos, embora isso seja essencial para a implantação de estratégias adequadas de gestão. O presente estudo teve como se mapear o alcance da invasão de espécies exóticas invasoras cultivadas em cursos d'água do estado de Rondônia e avaliar seu estabelecimento no ambiente estudado, assim, visando testar a hipótese de que a ocorrência e o estabelecimento de *Oreochromis niloticus* em cursos d'água da Amazônia está relacionada à elevada pressão de propágulos gerada por pisciculturas da *O. niloticus* na área de entorno. Para tanto, desenvolveu-se um estudo de caso no estado de Rondônia, em função de sua elevada produção aquícola frente aos demais estados da Amazônia. No primeiro capítulo, investigou-se a ocorrência de pisciculturas de *O. niloticus*, as formas de manejo dos empreendimentos e a ocorrência de indivíduos da espécie nas microbacias de Rondônia, utilizando-se: i) dados secundários oficiais sobre o número de pisciculturas por município; ii) entrevistas com piscicultores e pescadores. Observou-se um alto número de criadores da *O. niloticus* não registrados pelos órgãos competentes, com manejo inadequado da propriedade e relatos de escapes para ambiente natural, o que parece justificar a alta ocorrência da *O. niloticus* em cursos d'água do estado (observada em oito municípios, por 43% dos respondentes). No segundo capítulo, foram analisadas as normas para criação das espécies exóticas dos estados da Amazônia Legal e sua relação com o avanço da pressão de propágulos. Constatou-se que as diferentes legislações destoam das diretrizes federais e influenciam no avanço da criação de espécies exóticas, com diferenças entre os estados. No terceiro capítulo, analisou-se o potencial risco de invasão da *O. niloticus* exercido pela pressão de propágulos das pisciculturas e a relação com as características ambientais, considerando-se: os registros de ocorrência da *O. niloticus* em Rondônia obtidos em fontes secundárias e primárias (coleta de material biológico em oito município em dezoito pontos); parâmetros abióticos e ambientais da região de entorno das pisciculturas). Essas informações foram correlacionadas, revelando alta correlação entre o grau de urbanização de igarapés e evidências de estabelecimento da *O. niloticus* em Rondônia. Considerando-se um cenário em que se constata: a

existência de 1.300 pisciculturas da *O. niloticus* pulverizadas no estado, sem registro e fiscalização adequados; legislações que incentivam a criação de espécies exóticas, associadas à descaracterização ambiental, contribuem para diretamente para aumento da pressão de propágulos e indiretamente para um alto risco observado no Protocolo FISK (*Fish Invasiveness Scoring Kit*) potencializam a pressão de propágulos na região de Rondônia e, certamente, em outros estados da Amazônia com as mesmas características. Tais constatações reforçam a necessidade de medidas imediatas de mitigação e prevenção dos impactos, tais como: erradicação da espécie *O. niloticus* nos cursos d'água naturais (através de protocolos específicos); cadastramento e assinatura de termos de compromisso com os piscicultores da *O. niloticus* para que a legislação seja seguida e aplicada em campo, e diálogo entre os setores do legislativo, em diferentes níveis, e destes com os órgãos executivos e os aquicultores, com vistas a unificar as legislações para a Amazônia Legal.

Palavras-chave: Invasão biológica; Ictiofauna; Não-nativos; Espécie exótica invasora; Risco ambiental; Sustentabilidade; Tilápia-do-Nilo; Legislação ambiental; Piscicultura; Aquicultura.

SOARES, Lariessa Moura de Araújo. **Evaluation of the causes and essential mechanisms of *Oreochromis niloticus* (Linnaeus, 1768) propagule pressure in the South Occidental Amazon.** 2021. 123f. Thesis (Doctorate in Biodiversity) - Federal University of Rondônia, Porto Velho/RO, Brazil, 2021.

ABSTRACT

The invasion of exotic fish in natural aquatic ecosystems is recognized as one of the greatest threats to global biodiversity. In this scenario, regions of excellent fish diversity, such as the Amazon, present gaps in knowledge and the delimitation of pressure from propagules and impacts, although this is essential for implementing adequate management strategies. The present study aimed to map the range of invasion of invasive alien species cultivated in watercourses in the state of Rondônia and evaluate its establishment in the studied environment, thus, aiming to test the hypothesis that the occurrence and establishment of *Oreochromis niloticus* in Amazonian watercourses is related to the high pressure of propagules generated by *O. niloticus* fish farms in the surrounding area. Therefore, a case study was developed in the state of Rondônia due to its high aquaculture production compared to other states in the Amazon. In the first chapter, the occurrence of fish farms of *O. niloticus*, the forms of management of the enterprises, and the occurrence of individuals of the species in the micro basins of Rondônia was investigated, using: i) official secondary data on the number of fish farms per municipality; ii) interviews with fish farmers and fishers. There was a high number of *O. niloticus* breeders not registered by the competent bodies, with inadequate management of the property and reports of escapes to the natural environment, which seems to justify the high occurrence of *O. niloticus* in watercourses in the state (observed in eight municipalities, by 43% of respondents). In the second chapter, the norms for the creation of exotic species in states of the Legal Amazon and their relationship with the advance of the pressure of propagules were analyzed. It was found that different legislations clash with federal guidelines and influence the advancement of the creation of exotic species, with differences between states. In the third chapter, we analyzed the potential risk of *O. niloticus* invasion exerted by the pressure of fish farms propagules and the relationship with the environmental characteristics, considering: the occurrence records of *O. niloticus* in Rondônia obtained from secondary and primary (collection of biological material in eight cities in eighteen points); abiotic and environmental parameters of the region surrounding the fish farms). This information was correlated, revealing a high correlation between the degree of urbanization of streams and evidence of the establishment of *O. niloticus* in Rondônia. Considering a scenario in which it is verified: the existence of 1,300 fish farms of *O. niloticus*

sprayed in the state, without proper registration and inspection; laws that encourage the creation of exotic species, associated with environmental degradation, contribute to increasing the pressure of propagules directly and indirectly to a high risk observed in the FISK Protocol (Fish Invasiveness Scoring Kit) potentiate the pressure of propagules in the region of Rondônia and, indeed, in other Amazonian states with the same characteristics. These findings reinforce the need for immediate measures to mitigate and prevent impacts, such as eradicating the species *O. niloticus* in natural watercourses (through specific protocols). Also, registration and signing of terms of commitment with *O. niloticus* fish farmers so that the legislation is followed and applied in the field, and dialogue between the legislative sectors, of different levels, and between these with the executive bodies and aquaculture farmers, to unify the legislation for the Legal Amazon.

Keywords: Biological invasion; Ichthyofauna; Non-natives; Invasive alien species; Environmental risk; Sustainability; Nile Tilapia; Environmental legislation; Pisciculture; Aquaculture..

LISTA DE ILUSTRAÇÕES¹

Introdução

Figura 1. Exemplar da *O. niloticus* capturado em Ouro Preto d'Oeste pela equipe de campo da pesquisa.....18

Capítulo 1

Tabela 1. Resumos dos dados declarados pelos órgãos oficiais.....35

Figura 1. Adensamento das pisciculturas da *O. niloticus* no estado de Rondônia.....36

Figura 2. Número de piscicultores entrevistados durante os anos de 2018 e 2019 em diferentes municípios do estado de Rondônia, demonstrando o alcance amostral.....37

Tabela 2. Principais espécies de peixes cultivadas pelos entrevistados no estado de Rondônia.....37

Tabela 3. Principais meios de escoamento e comercialização da produção pesqueira oriunda da piscicultura de Rondônia, de acordo com os piscicultores entrevistados.....38

Tabela 4. Principais mecanismos de contenção utilizados pelos entrevistados.....38

Tabela 5. Principais parasitos de peixes relatados pelos entrevistados.....39

Figura 3. Número de pescadores esportivos e profissionais que afirmaram ter visualizado *O. niloticus* em ambiente natural por municípios do estado de Rondônia.....40

Figura 4. Número de pescadores entrevistados por município no estado de Rondônia, e municípios onde ocorreram visualizações da *O. niloticus* de acordo com os pescadores voluntários que responderam ao formulário.....40

Capítulo 2

Tabela 1. Legislações vigentes, número total de pisciculturas e número de pisciculturas e produção da *O. niloticus* entre os estados da Amazônia Legal.....50

Capítulo 3

Figura 1. Mapa dos locais onde foram efetuadas coletas biológicas no estado de Rondônia.....70

Figura 2. Sub-bacias hidrográficas amostradas com as pisciculturas da *O. niloticus* sobrepondo os pontos de coleta biológica com e sem a presença de *O. niloticus*.....74

Tabela 1. Estimativas de médias e intervalos de confiança ($p = 0,05$) de ocorrência da espécie *O. niloticus*, em relação à densidade de pisciculturas, do município e de desmatamento nos pontos amostrais do estado de Rondônia.....74

Tabela 2. Lista de exemplares da *O. niloticus* coletados em cursos d'água relacionados, com informações biométricas, sexo e estágio de maturação.....75

Figura 3. Destaques das localidades amostrais com desflorestamento e pisciculturas da *O. niloticus* (pontos amarelos) sobrepondo os pontos de coleta biológica com a presença de *O. niloticus*.....76

¹ Ilustrações listadas por seção/capítulo, na ordem de sua ocorrência ao longo do texto.

Tabela 3. Kit análise de potencial risco de invasão de peixes (FISK) sobre <i>O. niloticus</i> na região amazônica.....	77
MS 1.1 - Coleta dos parâmetros ambientais.....	86
MS 1.2 - Utilização do medidor de qualidade de água multiparâmetro AKSO (modelo 8603).....	87
MS 1.3 - Pesca ativa.....	88
MS 2A -Tabela com pontos de coleta biológica e parâmetros ambientais.....	89
MS 2B - Tabela com pontos de coleta biológica e parâmetros avaliados.....	90
MS 3A - Exemplares da <i>O. niloticus</i> coletados no córrego PtCol_13 em 12/06/2019-Porto Velho em 2019.....	92
MS 3B - Exemplares da <i>O. niloticus</i> capturados no córrego PtCol_13, Porto Velho em 12/06/2019, em fase reprodutiva/Maduro.....	92
MS 4 -Fish Invasiveness Scoring Kit (FISK) <i>O. niloticus</i> (COPP et al., 2005).....	93
Conclusão	
Fluxograma 1 - Resumo integrado dos capítulos 1, 2 e 3.....	98
Fluxograma 2 - Sugestão de ações imediatas para o estado de Rondônia.....	99

SUMÁRIO

INTRODUÇÃO	13
Teoria ecológica da invasão biológica.....	14
Características gerais da espécie invasora alvo do estudo: <i>Oreochromis niloticus</i>.....	18
Status da aquicultura mundial e brasileira de espécies exóticas.....	21
Objetivos do estudo	23
Referências bibliográficas.....	24
CAPÍTULO 1 - CIÊNCIA CIDADÃ COMO FORMA DE IDENTIFICAÇÃO DE OCORRÊNCIA DE ESPÉCIES NÃO NATIVAS NA AMAZÔNIA.....	31
CAPÍTULO 2 -ANÁLISE DOS EFEITOS DA LEGISLAÇÃO VIGENTE SOBRE ESPÉCIES EXÓTICAS NA AMAZÔNIA LEGAL BRASILEIRA.....	47
CAPÍTULO 3 - ANÁLISE DOS FATORES DE PAISAGEM E SUSCEPTIBILIDADE À INVASÃO DE <i>Oreochromis niloticus</i> (Linnaeus 1758) NO ESTADO DE RONDÔNIA, REGIÃO AMAZÔNICA.....	65
CONCLUSÃO.....	95
ANEXO 1. Primeiro capítulo publicado.....	101
ANEXO 2. Participação em artigo como coautora.....	102
ANEXO 3. Dados sobre criação de peixes, informados pela agência IDARON, 2017 levantados durante a 43ª Etapa da Campanha de Vacinação de Febre Aftosa.....	103
ANEXO 4. Formulário de pesquisa para identificação da <i>O. niloticus</i> aplicado aos pescadores via aplicativo de mensagens através de link do Google Formulário®.....	104
ANEXO 5. Formulário físico aplicado em entrevistas aos piscicultores em eventos relacionados a temática.....	105
ANEXO 6. Metodologia de coletas científicas da <i>O. niloticus</i> utilizadas por pesquisadores citados.....	106
ANEXO 7. Método FISK - The Fish Invasiveness Screening Kit (COPP, 2005).....	108
ANEXO 8. Termo de Autorização de Pesquisa emitido pela SEDAM/RO.....	119
ANEXO 9. Autorização Ambiental emitida pela SEDAM/RO para pesca científica.....	120
ANEXO 10. Parecer Favorável do Comitê de Ética/ Plataforma Brasil.....	121

INTRODUÇÃO

A conservação da biodiversidade enfrenta diferentes desafios, de diversas magnitudes, entre os quais está a introdução de espécies exóticas e a consequente invasão dessas espécies. As invasões biológicas têm sido apontadas como a segunda causa mundial de perda de biodiversidade (SILVA e SILVA-FORBESRG, 2015). A progressiva busca pelos fatores que podem indicar o sucesso de uma invasão se dá, visto que nem toda invasão culmina no estabelecimento e/ou invasão da espécie (SIMBERLOFF, 2009). As investigações sobre invasões biológicas perpassam não apenas pelos fatores ambientais (bióticos e abióticos) que os permeiam; faz-se necessário entender o funcionamento da pressão de propágulos, que é a quantidade de indivíduos introduzidos de determinada espécie (tamanho do propágulo) e quantas vezes houve eventos de introduções no ambiente (número de propágulos), sendo decisiva no êxito da invasão biológica (LOCKWOOD et al., 2005; BLACKBURN et al., 2015), sendo aplicada em nível global (<https://hi-knowledge.org/invasion-biology-large/>).

Nos ambientes aquáticos, invasão de espécies exóticas via vetores antropogênicos resultam em mudanças ecológicas (MACK et al., 2000; VITULE e PRODOCIMO, 2012; LOWRY et al., 2013; HAJ et al., 2021) e pode ocasionar consequências severas aos recursos pesqueiros, alterando os processos ecológicos dos quais os seres humanos dependem, criando ecossistemas homogêneos e empobrecidos (VITULE, 2009; MMA, 2020; CHARVET et al., 2021).

A criação de espécies exóticas é um dos principais vetores de introdução dessas espécies nos ambientes aquáticos (VITULE, 2009; ORSI et al., 2016). A implantação de pisciculturas de espécies exóticas no Brasil é normatizada pelos órgãos competentes, a fim de garantir a preservação ambiental e a conservação da biodiversidade nativa (BRASIL, 1994). No entanto, as medidas vigentes resultam em efeito inverso, em que instalações inadequadas, sem barreiras eficazes para prevenção de fugas em pisciculturas, propiciam escapes de milhares de indivíduos (ORSI et al., 2016; CASIMIRO et al., 2018a), na maioria, espécies exóticas (AGOSTINHO et al., 2006).

Os ambientes aquáticos, especialmente vulneráveis, possuem dinâmicas únicas (BELLAY et al., 2016) que precisam ser consideradas na implantação desses empreendimentos. Assim, além da necessidade de autorização legal para o cultivo, outros fatores devem ser observados na criação de espécies exóticas, tais como sua suscetibilidade ao processo de escapes e etapas iniciais do processo de invasão (VITULE, 2009; GARCIA et al., 2021), meios de contenção que previnam escapes de pisciculturas (FORNECK et al., 2020; CHARVET et al., 2021) e riscos à ictiofauna nativa (DORIA et al., 2021).

Esse cenário é ainda mais grave quando consideramos a implantação de criações de espécies exóticas em regiões - como a Amazônia - de grande riqueza íctica (GUBIANI et al. 2018), pouco conhecimento ambiental e baixa capacidade de monitoramento e fiscalização. Na Amazônia, a despeito das deficiências, há uma crescente pressão para a ampliação do parque aquícola, em regiões com características adequadas para pisciculturas (XAVIER, 2013) em função do aumento da demanda por alimentos. Contudo, apesar do grande investimento no desenvolvimento de tecnologias de espécies nativas (e.g. o tambaqui *Colossoma macropomum* em Rondônia), nos últimos 20 anos vem sendo observado um aumento na criação de espécies exóticas de peixes (DORIA et al., 2021), justificado pelo potencial produtivo e aporte tecnológico de algumas espécies (em particular a Tilápia *O. niloticus*).

Não obstante o conhecimento existente sobre o impacto da *O. niloticus* em ambientes naturais em diferentes partes do mundo, a criação dessa espécie na Amazônia é uma realidade (DORIA et al., 2021), apesar da baixa quantidade de informações sobre sua reprodução, presença em corpos d'água de diferentes regiões do Brasil, sua dieta e seu crescimento (LEÃO et al., 2011; SILVA e SILVA-FORBESRG, 2015). Esse fato ressalta a necessidade de avaliação dos mecanismos de invasão no ambiente, a pressão de propágulos exercida e seus riscos. Esses riscos podem ser elucidados através da teoria das invasões biológicas, que traz à tona todo processo de introdução, estabelecimento e invasão de espécies não nativas em novos habitats.

Teoria ecológica da invasão biológica

Uma espécie pode ser considerada exótica quando se encontra fora de sua área de distribuição natural, cuja presença se deve à introdução intencional ou acidental, como resultado da atividade humana, sendo a espécie exótica considerada invasora quando ameaça ecossistemas, habitat ou espécies (BRASIL, 1994; RICHARDSON et al., 2000) e se dispersa além do local em que foi introduzida, seguindo a sequência transporte, introdução, estabelecimento e dispersão (BLACKBURN et al., 2011).

Os invasores bióticos são espécies que se estabelecem em um novo ambiente, não-nativo, nos quais se proliferam, se dispersam e persistem, podendo ocasionar alterações nos processos ecológicos naturais e de espécies nativas (MACK et al., 2000) além de gerar efeitos muitas vezes irreversíveis, por exemplo extinção de espécies ativas (VITULE, 2009; BELLAY et al., 2016).

As introduções de espécies não nativas em ambientes aquáticos são uma das principais causas da redução na biodiversidade local (VITULE et al., 2012; PELICICE et al., 2014; CASIMIRO et al., 2018a), podendo levar ao declínio e até à extinção de espécies nativas

(DAGA et al., 2016); as espécies exóticas consistem na segunda ameaça mais comum a espécies que foram completamente extintas (BELLARD et al., 2016). As invasões podem gerar severas consequências aos organismos aquáticos e impactos ao meio ambiente, tais como: redução de diversidade genética, perda de funções e processos do sistema, desestruturação de habitat e aumento do risco de declínio e extinção de espécies nativas, tendo como resultado a homogeneização biótica do ambiente (DAGA et al., 2012; CASIMIRO et al., 2018a; BRITO et al., 2020; DORIA et al., 2021).

A invasão biológica pode ser percebida como negativa ecologicamente, como já destacado, porém pode ser percebida como positiva em alguns setores sociais, a exemplo da utilização de plantas ornamentais (SIMBERLOFF et al., 2013), mostrando a importância da disseminação das informações sobre os impactos ecológicos (ambientais) à sociedade, uma vez que a mesma, em geral, desconhece o efeito dos impactos a biodiversidade (AZEVEDO-SANTOS et al., 2015).

Impactos como a diminuição da qualidade dos recursos pesqueiros, modificações nas pressões evolutivas, predação e alterações na estrutura populacional da ictiofauna nativa, condução da teia alimentar para características bentônicas (ORSI et al., 2016), além de comprometer o mercado de peixes nativos e a fonte alimentar de populações locais (VILLÉGER et al., 2011; LOCKWOOD et al., 2013; PAVANELLI et al., 2013; BEZERRA et al., 2018).

Além da invasão, as espécies exóticas podem levar à introdução também de seus parasitas (LEÃO et al., 2011), como ocorre nas introduções provenientes de pisciculturas (TAVARES-DIAS et al., 2013), por exemplo o *Trichodina nobilis*, um tricodinídeo da *O. niloticus* que foi transmitido a *Aequidens tetramerus*, um ciclídeo nativo da bacia amazônica (BITTENCOURT et al., 2014).

Segundo a teoria da invasão biológica, há mecanismos que atuam em cascata, sendo primordiais para o sucesso da invasão: ação dos filtros ecológicos antes que eles alcancem novos ambientes que podem atuar impactando o avanço da espécie; a influência da pressão de propágulos no sucesso das invasões nos ecossistemas; a quantidade de mecanismos de dispersão e vetores de introdução e disseminação de espécies não-nativas, havendo necessidade de avaliação desses mecanismos e de sua interferência no processo de invasão (VITULE e PRODOCIMO, 2012). Entende-se que quanto maior for a pressão de propágulos exercida, maior o risco de estabelecimento das espécies introduzidas (LIMA et al., 2018).

Essas alterações podem representar perda de espécies e redução da biodiversidade (DAGA et al., 2012), prejuízos à economia e aos ecossistemas naturais (SIMBERLOFF et al., 2009; MMA, 2020). A cascata de eventos que levam à invasão de uma espécie exótica

culmina na pressão de propágulos (LOCKWOOD et al., 2009). A pressão de propágulos é a relação entre quantidade de tentativas de entrada de indivíduos em um novo ambiente, que não é seu habitat natural (LOCKWOOD et al., 2005), quantificado pelo número médio de indivíduos introduzidos por unidade de tempo (CASSEY et al., 2018), podendo ser dividida em dois tipos: (i) tamanho do propágulo, que é número médio de indivíduos introduzidos por evento de entrada e (ii) número de propágulos, que quantifica os eventos de invasão que ocorreram em determinado ambiente, ou seja, a frequência de introduções realizadas (SIMBERLOFF, 2009; WITTMANN et al., 2014).

Há consistente relação entre propágulos com tamanhos maiores e mais frequentes aumentarem a chance de estabelecimento e invasão (CASSEY et al., 2018). As etapas durante um processo de invasão biológica são transporte, introdução, estabelecimento, dispersão ou impacto como proposto por Blackburn (2011). Em cada estágio, existem barreiras que a espécie ou população introduzida tem que superar: são os chamados filtros ecológicos (VITULE, 2009), que podem impulsionar ou dificultar o estabelecimento das espécies introduzidas; como exemplos que dificultam tem-se as barreiras geográficas e impulsionadores os canais de transposição de rios (DAGA et al., 2020), a proximidade à pisciculturas (CASIMIRO et al., 2018a) e a ausência de predadores e competidores conforme exposto no parágrafo anterior (GARCIA et al., 2021).

O processo se inicia no transporte dos indivíduos e passagem pelas barreiras geográficas, com sua introdução no ambiente; para seu estabelecimento, os indivíduos precisam garantir sua sobrevivência, posterior reprodução (LOCKWOOD et al., 2005; BLACKBURN et al., 2011; CASSEY et al., 2018). Para o sucesso da invasão, a combinação de diversos fatores, como clima, habitat, número e frequência de introduções é decisiva no estabelecimento da espécie introduzida (HAYES e BARRY, 2008).

As espécies invasoras tendem a se estabelecer em habitats alterados, onde as espécies nativas encontram obstáculos a sua manutenção (HAJ et al., 2021). A alteração dos ambientes e o nível de urbanização que podem sofrer principalmente igarapés urbanos, potencializam as invasões, uma vez que modificam a qualidade da água, com presença de poluentes, alterações das fontes de energia e do regime hidrológico (GUARIDO, 2014; DAGA et al., 2012). As espécies exóticas podem suportar características ambientais desfavoráveis a espécies nativas, como aumento da temperatura, retirada da mata ciliar, altos níveis de poluição e ausência de potenciais predadores (GUARIDO, 2014; CZEGLÉDI et al., 2020).

Entre os principais vetores de introduções de espécies exóticas, tem-se a piscicultura (PELICICE et al. 2017; CASIMIRO et al., 2018b; LIMA JÚNIOR et al., 2018a; LIMA et al., 2018b; NOBILE et al., 2019; HAJ et al., 2021), que também se apresenta como vetor de

introdução de espécies exóticas em reservatórios de usinas hidroelétricas (DAGA et al., 2012; ORTEGA et al., 2015; BRITO et al., 2020; FREHSE et al., 2021), sendo a densidade de pisciculturas possivelmente um fator importante para estimar a pressão de propágulos gerada pela aquicultura, em que o sucesso de estabelecimento de espécies exóticas de peixes pode ser impulsionado pelo adensamento de pisciculturas (FORNECK et al., 2020). Algumas espécies são introduzidas para pesca esportiva, como a *Micropterus salmoides* (Lacepède, 1802) conhecido como *black bass*, listada pela União Internacional para a Conservação da Natureza e dos Recursos Naturais (IUCN) como uma das 100 piores espécies invasoras do mundo (VITULE et al., 2019).

Como resultado dos escapes, a invasão de espécies exóticas pode causar graves consequências aos recursos pesqueiros regionais e alterar processos ecológicos, criando ecossistemas homogêneos e empobrecidos (MACK et al., 2000; CARVAJAL-VALLEJOS et al., 2011; MMA, 2020; DORIA et al., 2020) e uma das principais causas de redução da biodiversidade local (LOCKWOOD et al. 2013; BRITO et al., 2020; MAGALHÃES et al., 2020); dependendo da pressão do propágulo, pode ocorrer o estabelecimento da(s) espécie(s) e possíveis impactos no ecossistema alvo (LATINI et al., 2016; ORTEGA, 2015; CHARVET et al., 2021), mesmo com a vigência de legislações que amparam o controle na criação de espécies exóticas.

Há possibilidade de quantificar e registrar as invasões através de múltiplas metodologias existentes, que, quando utilizadas em conjunto, potencializam os resultados esperados. Nesse sentido, o conhecimento social pode ser uma alternativa para se obter respostas; o uso de metodologias de pesquisa e entrevistas estruturadas pode ajudar a dimensionar a problemática estudada (OLIVEIRA et al.; 2017; GELLER et al., 2021), além de aprofundar o entendimento e discussão sobre as informações já geradas acerca de invasões biológicas (ORNELAS e LOCKWOOD, 2020).

Analisar os cenários e todos os fatores que influenciam uma possível invasão é de suma importância (FREHSE et al., 2016; VILIZZI et al., 2019). Através de protocolos de análise de potencial risco de invasão e impactos, relacionadas ao risco de invasão, tais como: comprimento máximo do adulto, agressividade, história de estabelecimento, reprodução na natureza, competição com espécies locais, entre outros (MAGALHÃES et al., 2017; VILIZZI et al., 2019); desse modo, pode-se avaliar o risco de invasões de determinada região (VILIZZI et al., 2021) e também o custo de determinada invasão (DIAGNE et al., 2020).

O protocolo de análise de risco para peixes, *FISK - Invasiveness Screening Kit* (COPP et al., 2005; GOZLAN, 2010), é eficiente ao que se propõe: predizer o risco de invasividade das espécies analisadas (MAGALHÃES et al., 2017). Conforme o protocolo FISK, a espécie

O. niloticus é classificada como sendo de alto potencial invasor em diferentes regiões avaliadas, como Grécia, África do Sul, Península Ibérica e Holanda (VILIZZI et al., 2019), em estados do nordeste brasileiro (LEÃO et al., 2011) e Amazônia (BRABO et al., 2015). Recentemente, o protocolo AS-ISK foi apresentado, adicionando variáveis climáticas por ecorregiões na predição do risco (VILIZZI et al., 2021). A espécie *O. niloticus* foi alvo desse estudo, priorizada com maior aporte tecnológico em aquicultura entre as espécies exóticas cultivadas no Brasil.

Características gerais da espécie invasora alvo do estudo: *Oreochromis niloticus*(LINNAEUS 1758)

A espécie invasora alvo deste estudo é *O. niloticus*, espécie exótica no Brasil, conhecido popularmente por Tilápia-do-Nilo, é amplamente utilizada na aquicultura comercial; entretanto, estudos sobre seus impactos à biodiversidade são escassos na Amazônia e inexistentes em Rondônia até o corrente momento (SOARES et al., 2019; OCCHI et al., 2021). Assim, o presente estudo trata do início da discussão sobre a ocorrência da *O. niloticus* em Rondônia, através do registro das coletas em cursos d'água e execução do protocolo de risco de invasão, em um cenário que pode favorecer a invasão da espécie citada e ameaçar a biodiversidade local.

A espécie *O. niloticus* é originária da África Ocidental, onde possui distribuição natural, abrangendo as bacias hidrográficas dos países Senegal, Gâmbia, Burquina Faso, Níger, Bêni e Chade (FAO, 2021). A *O. niloticus* tem origem africana, e apresenta habitats de vida diversificados, desde locais de água doce à salobra, podendo se adaptar a regiões neotropicais que tenham como principal característica clima com altas temperaturas (FISHBASE, 2021) adaptado a baixos níveis de oxigênio dissolvido (IABIN BRASIL, 2021).

Esta espécie encontra-se estabelecida em algumas regiões da Amazônia, nos estados do Amapá e Amazonas (TAVARES-DIAS et al., 2013; BITTENCOURT, 2014; GUARIDO, 2014) e possivelmente em Rondônia, estado no qual são necessárias informações mais aprofundadas sobre o estabelecimento, sendo registrada ocorrência no Rio Branco/Igarapé Saldanha, onde adultos e jovens foram capturados (DORIA et al., 2021), uma vez que a espécie está sendo utilizada em larga escala.

É um peixe onívoro, que atinge sua maturidade sexual entre o 3º e 6º mês de vida, com diversas desovas durante o ano (FISHBASE, 2021) ciclo de vida curto, rápido crescimento e maturação gonadal precoce (ATTAYDE et al. 2011), possui ampla tolerância às variações do ambiente, alta taxa de reprodução e crescimento populacional e facilidade de cultivo (ATTAYDE et al. 2007).

As nadadeiras peitorais, dorsais e caudais diferenciam de cor na época de desova, tornando-se avermelhadas, e a nadadeira caudal apresenta numerosas barras pretas (FISHBASE, 2021), conforme ilustra a Figura 1:

Figura 1 - Exemplar da *O. niloticus* capturado em Ouro Preto d'Oeste pela equipe de campo da pesquisa



Fonte: Arquivo pessoal da pesquisadora.

O tamanho médio de primeira maturação para machos e fêmeas é estimado em 20,9 e 18,5 cm, respectivamente, podendo variar conforme características ambientais, densidade populacional, entre outros fatores (AZEVEDO et al., 2012).

As características biológicas da *O. niloticus* a tornam extremamente adaptável e garantem seu potencial para aquicultura em diferentes ambientes (FAO, 2020; FARIA et al., 2021); logo, ao ser introduzida em ambientes propícios, sua invasividade aumenta (VILIZZI et al., 2019; GARCIA et al., 2021). *O. niloticus* afeta uma variedade de ecossistemas, particularmente aqueles localizados nos trópicos (VILIZZI et al. 2019), sendo a maioria das invasões resultado da aquicultura (ISSG, 2020).

A dispersão da *O. niloticus* é favorecida e principalmente gerada por escapes de tanques de cultivo (GUARIDO, 2014; ORTEGA et al., 2015; LATINI et al., 2016; CASIMIRO et al., 2018a; CHARVET et al., 2021) e/ou solturas realizadas por pescadores (amadores ou profissionais).

Os principais impactos gerados pela propagação da *O. niloticus* no meio ambiente são: alterações na composição do plâncton, alterações das condições abióticas e propagação de parasitos (TAVARES-DIAS et al., 2013, SOARES et al., 2020), que levam à redução da sobrevivência de espécies nativas (LATINI et al., 2016; ORTEGA et al., 2015) e à diversidade da ictiofauna nativa (CHARVET et al., 2021). Também a invasão da *O. niloticus* pode ser associada a mudanças drásticas nos ecossistemas, como mudança nos níveis de

transparência da água, por sua característica bentônica, prejudicando predadores nativos visualmente orientados (ORSI et al., 2016).

Historicamente, a chegada da *O. niloticus* no Brasil está associada com controle biológico de algas. Atilápia *Coptodon rendalli* Boulenger, 1897 (Tilápia Rendalli) foi trazida para o Brasil na década de 50, entre 1950 e 1952, com o objetivo de combater plantas aquáticas que estavam entupindo turbinas de hidrelétricas instaladas no estado de São Paulo. Porém, não se obteve eficiência no controle biológico da proposta inicial, observando-se seu potencial para piscicultura pela rápida reprodução (LATINI et al., 2016). Como não atingia peso suficiente para o mercado, os interessados passaram a importar *O. niloticus* na década de 70 (LATINI et al., 2016), sendo introduzida também no Nordeste através de incentivos governamentais (LEÃO et al., 2011).

No 1º *informe nacional sobre espécies não nativas invasoras*, Latini (2016) verificou 1.073 registros de peixes exóticos no Brasil, em que *O. niloticus* teve 64 registros de ocorrência; constatando que pode haver uma subestimativa da incidência desse peixe no Brasil. Porém, mais recentemente, alguns trabalhos em diferentes regiões do Brasil já demonstram a expansão dessa espécie em ambientes naturais (BITTENCOURT et al., 2014; GUARIDO, 2014; ORSI et al., 2016; FORNECK et al., 2020; DORIA et al., 2021), registrando-se ocorrência no bioma Amazônico nos estados do Amazonas nas cidades de Manaus e Presidente Figueiredo, e no Amapá em Macapá e Santana (IABIN, 2021).

Frente a essas ameaças, medidas drásticas têm sido planejadas em alguns países, como Austrália, Nauru, Fiji e Palau, para a erradicação da *O. niloticus* dos ambientes naturais (FORTES, 2015). No Palau, o Comitê que monitora invasão de espécies não nativas adotou um programa de erradicação para remover a espécie do país, além de promover campanhas de educação para alertar a população sobre os impactos negativos da infestação dessa espécie na flora e fauna locais. Um produto químico (Rotenona) foi aplicado diretamente nos locais infestados. Abaixo, apresenta-se a transcrição do relatório que indica o insucesso do programa na época, uma vez que houve persistência da espécie:

Erradicação da *O. niloticus* esta espécie de peixe altamente destrutiva pode ainda sobreviver em uma lagoa na pedreira nacional, apesar de três tentativas de erradicação usando rotenona. Os peixes conseguiram sobreviver a esses tratamentos porque existe uma fonte de água fresca que entra no fundo da lagoa. O operador da Pedreira começou a encher a lagoa e o trabalho está quase completo. Estamos confiantes de que isso finalmente livrará Palau dessa séria ameaça às nossas águas e zonas úmidas. No final de 2014, a lagoa já estava mais da metade cheia; deve ser preenchido completamente no início de 2015 (PALAU REPORT, 2014).

Programas de erradicação necessitam expertise para sua execução (SILVA e SILVA-FORBESRG, 2015) e há que existir justificativa técnica bem fundamentada para a atividade

(CONABIO, 2005); outras alternativas podem ser aplicadas, como controle da população não nativa através da pressão de pesca (DAGA et al., 2016) e intensificação na fiscalização das exigências legais para contenção de espécies exóticas, porém dependem de esforços conjuntos de todos os setores públicos e privados.

Sendo o Brasil signatário da Convenção sobre Diversidade Biológica (CDB), firmada em 1992, no tocante à espécies exóticas invasoras, a prioridade é “impedir que sejam introduzidas e deve controlar ou erradicar espécies exóticas que ameacem ecossistemas, habitats ou espécies” (MMA, 2009); essa poderia ser uma das diretrizes da aquicultura que impacta diretamente a pressão de propágulos exercida no ambiente (CASSEY et al., 2018; VITULE et al., 2019), principalmente por ser prática usual construir-se tanques escavados próximos a cursos d’água (MAGALHÃES et al., 2011). A seguir, discorre-se sobre a situação da aquicultura no mundo e no Brasil.

Status da aquicultura mundial e brasileira

A aquicultura cresceu 25% entre 2008 e 2017 e foi responsável por 82,1 milhões de toneladas métricas em 2018, representando cerca de 17% de toda a proteína animal consumida pela população mundial em 2017 (FAO, 2020), gerando cerca de 1 milhão de empregos diretos e indiretos (ABP, 2020). Entre a década de 60 até 2017, o aumento médio anual do consumo mundial de peixes (3,1%) superou o crescimento da população (1,6%) (FAO, 2020). Em termos *per capita*, o consumo de peixe aumentou de 9,0 kg, na década de 60, para 20,5 kg em 2018, a uma taxa média de cerca de 1,5% ao ano (FAO, 2020). Para suprir a crescente demanda, 46% da produção de peixes, em 2018, foi proveniente da aquicultura, destacando-se como maiores produtores os países asiáticos, respectivamente China, Indonésia e Coreia do Sul (FAO, 2020). As principais espécies cultivadas no mundo em 2018 foram: Carpa-capim (*Ctenopharynxodonidella*, Valenciennes, 1844) 10,5%; Carpa-prateada (*Hypophthalmichthys molitrix*, Valenciennes, 1844) 8,8 %; Tilápia, *Oreochromis niloticus* Linnaeus, 1758 8,3 %; Carpa-comum, (*Cyprinus carpio*, Linnaeus, 1758) 7,7% (FAO, 2020), as quais são criadas em diferentes partes do mundo, independentemente da sua origem.

A projeção é que, de 2018 até 2030, o Brasil aumentará sua produção pesqueira e aquícola em 12,9%, indicando que há potencial de crescimento no mercado externo, além do mercado interno já existente (FAO, 2020). Haja vista a diversidade íctica, seria previsível que a piscicultura no Brasil fosse baseada nas espécies nativas; no entanto, é influenciada e incentivada por espécies exóticas, como *O. niloticus* (MAGALHÃES et al., 2011; BARROSO, 2016; LIMA-JÚNIOR et al., 2018; FARIAS et al., 2021).

O Brasil é o 4º maior produtor mundial da *O. niloticus* (ABP, 2020) e somava, em 2018, 400.280 toneladas, com crescimento de 11,9% em relação ao ano anterior (2017-357.639 t). Com isso, a espécie representa 55,4% da produção total de peixes de cultivo (ABP, 2020). Diversos fatores fazem com que essa espécie desponte na produção mundial e brasileira, tais como oportunidade de inserção no mercado, boa aceitação (ABP, 2020), suporte de altas densidades, principalmente por já existir um pacote tecnológico consolidado para a produção da espécie, englobando produção de alevinos, inversão sexual, genética, nutrição, requerimentos de qualidade de água, manejo e processamento (BARROSO et al., 2018; SCHULTER e VIEIRA FILHO, 2018).

Dentre os estados amazônicos, Rondônia desponta como maior produtor de peixes nativos de cativeiro do país, com uma imensa malha hídrica em seu território. O estado tem uma produção de 90 mil toneladas, correspondendo a 18% da produção nacional e lidera a produção de espécies nativas, com 72.800 toneladas de espécies como Tambaqui *Colossomacropomum*, Pintado *Pseudoplatystoma corruscans*, SPIX e AGASSIZ, 1829, Jatuarana *Brycon cephalus*, GÜNTHER, 1869 e Pirarucu *Arapaima gigas*, SCHINZ, 1822 (IBGE, 2016; ABP, 2020). Em Rondônia, a piscicultura se caracteriza por pequenos piscicultores, visto que 82,7% dos empreendimentos são classificados como de pequeno porte, possuem baixo nível de tecnificação e profissionalização (SOUSA et al., 2019) e praticam policultivo com predominância do Tambaqui (*Colossomacropomum*) entre as espécies cultivadas (SOARES et al., 2020).

A introdução da *O. niloticus* em Rondônia, segundo relatos de pioneiros do estado, se deu para alimentar espécies carnívoras, em especial o Pirarucu (*Arapaima gigas*). Essa recomendação é comum no pacote tecnológico e produtivo do pirarucu, espécie com hábitos alimentares carnívoros (IMBIRIBA, 2001). Há décadas (MOURA CARVALHO e NASCIMENTO, 1992) a utilização da *O. niloticus* como peixe forrageiro é preconizada pelo baixo custo, através da diminuição do arraçamento de alimento artificial (SILVA et al., 2021).

Em Rondônia, bem como em outros estados da Amazônia, poucos estudos descrevem os reais impactos da liberação de peixes exóticos na Amazônia (DORIA et al., 2021). A baixa informação sobre os potenciais riscos à biodiversidade regional ressalta a necessidade de discussão sobre introduções de espécies exóticas e de entender e destacar os impactos dessa invasão nas comunidades aquáticas na região (FREHSE et al., 2016), dado que, mesmo em pequenos números de escapes, sabe-se que podem causar graves impactos econômicos e ambientais, com alterações biológicas graves (SILVA e SILVA-FORSBERG, 2015; ORSI et al., 2016).

Esse cenário ressaltou a necessidade de investigar os aspectos essenciais da pressão de propágulos e potencial risco de invasão da *O. niloticus* na Amazônia, tomando-se como estudo de caso o estado de Rondônia, por suas características de riqueza ictica, e por ser grande produtor de espécies nativas e também de *O. niloticus*.

A hipótese desta investigação é a de que a ocorrência e o estabelecimento da *O. niloticus* em cursos d'água da Amazônia está relacionada com a elevada pressão de propágulos gerada por pisciculturas de *O. niloticus*.

Isto posto, a presente Tese busca responder às seguintes questões: existem criações da *O. niloticus* em Rondônia? Quantas existem? Quais as características das pisciculturas de Rondônia? As legislações no âmbito amazônico convergem e limitam a criação de espécies nativas na região? Quais fatores determinam o estabelecimento da *O. niloticus* em ambientes amazônicos e seu risco a ictiofauna local? Visando responder a essas perguntas, este texto foi organizado em três capítulos, cada um dos quais se constitui de um artigo, conforme a seguir descritos:

Capítulo 1 - foram detectadas áreas potenciais de cultivo de *O. niloticus*, compreendendo focos com maior probabilidade de ocorrência no estado de Rondônia, utilizando-se a ferramenta *Ciência Cidadã* para a identificação de pontos de contaminação e de ocorrências nos ecossistemas naturais. Este capítulo foi publicado como artigo na revista SAJEBTT - *South American Journal of Basic Education, Technical and Technological* (<https://periodicos.ufac.br/index.php/SAJEBTT/article/view/3471>). (ANEXO 1).

Capítulo 2 - foram analisadas as normas para criação das espécies exóticas, sua relação com o avanço da pressão de propágulos e com o Objetivo 15 da *Agenda de Desenvolvimento Sustentável das Nações Unidas*, sendo este capítulo aceito para publicação na revista *Veredas do Direito* (<http://revista.domhelder.edu.br/index.php/veredas>).

Capítulo 3 - analisou-se o potencial risco de invasão da *O. niloticus* exercido pela pressão de propágulos das pisciculturas identificadas e, assim, gerar subsídios para práticas e políticas públicas em toda a região amazônica.

Vale registrar que parte dos dados dos Capítulos 2 e 3 foi utilizada no artigo intitulado *The silent threat of non-native fish in the Amazon: ANNF database and review*, na revista *Frontiers in Ecology and Evolution*, do qual a pesquisadora é co-autora. (<https://doi.org/10.3389/fevo.2021.646702>) (ANEXO 2).

Objetivos do estudo

Como objetivo geral deste estudo, buscou-se mapear o alcance da invasão de espécies exóticas invasoras cultivadas em cursos d'água do estado de Rondônia e avaliar seu estabelecimento no ambiente estudado.

Para tanto, foram traçados os seguintes objetivos específicos:

- Mapear e caracterizar as pisciculturas de *O. niloticus* no estado de Rondônia;
- Fazer uma compilação da legislação pertinente a criação de espécies exóticas na Amazônia Legal e relacionar com a expansão das pisciculturas na região Amazônica;
- Identificar possíveis locais com ocorrência da *O. niloticus* e pressão de propágulos da criação da mesma em cursos d'água de Rondônia;
- Definir o risco potencial de invasão da *O. niloticus* na rede hidrográfica de Rondônia e os fatores determinantes desse risco;
- Sobrepor o adensamento de pisciculturas, utilizado como um *proxy* para pressão de propágulos;
- Gerar subsídios para práticas e políticas públicas em toda a região amazônica.

Referências Bibliográficas

- AGOSTINHO, A. A. *et al.* Biodiversidade e introdução de espécies de peixes. In: CAMPOS, J. B. (Org.) *Unidades de conservação ações para valorização da biodiversidade*. Curitiba: Instituto Ambiental do Paraná (IAP), 2006, p. 95.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DA PISCICULTURA (ABP). *Anuário brasileiro da piscicultura - Peixe BR/2020*. São Paulo, 2020.
- ATTAYDE, J. L., J. BRASIL & R. A. MENESCAL. Impacts of introducing Nile tilapia on the fisheries of a tropical reservoir in North-eastern Brazil. *Fisheries Management and Ecology* v18 p 437-443, 2011.
- ATTAYDE, J. L., N. OKUN, J. BRASIL, R. MENEZES & P. MESQUITA. Impactos da introdução da tilápia do Nilo, *Oreochromis niloticus*, sobre a estrutura trófica dos ecossistemas aquáticos do Bioma Caatinga. *Oecologia Brasiliensis* v 11 p 450-461, 2007.
- AZEVEDO, J. W. de J. *et al.* Comprimento médio de primeira maturação para a Tilápia do Nilo, *Oreochromis Niloticus*, capturado na Bacia do Bacanga. In: 64ª REUNIÃO ANUAL DA SBPC. Anais [...]. São Luís, 2012. www.sbpnet.org.br/livro/64ra.
- AZEVEDO-SANTOS, V. M. *et al.*, 2015. How to avoid fish introductions in Brazil: education and information as alternatives. *Natureza & Conservação*, n. 1 v. 3, p. 123-132. <http://dx.doi.org/10.1016/j.ncon.2015.06.002>.
- BARROSO, R. M. *Discussão sobre a regularização da piscicultura brasileira: da produção à comercialização*. Palmas: EMBRAPA Pesca e Aquicultura, 2016.
- BARROSO, R. M. *et al.* *Dimensão socioeconômica da tilapicultura no Brasil*. Brasília: EMBRAPA, 2018.
- BELLARD C.; CASSEY P.; BLACKBURN T. M. Alien species as a driver of recent extinctions. *Biol. Lett.*, n. 12, 2015. <http://dx.doi.org/10.1098/rsbl.2015.0623>

- BELLAY, S. *et al.* Introdução de espécies em ecossistemas aquáticos: causas, prevenção e medidas de controle. *Rev. Agro. Amb.*, v. 9, n. 1, p. 181-201, 2016.
- BEZERRA, L. A. V.; ANGELINI, R.; Vitule, J. R. S.; COLL, M.; SÁNCHEZ-BOTERO, J. I. Food web changes associated with drought and invasive species in a tropical semiarid reservoir. *Hydrobiologia*, v. 817, p. 475-489, 2018. <https://doi.org/10.1007/s10750-017-3432-8>.
- BITTENCOURT, L. S.; LEITE-SILVA, U. R.; SILVA, L. M. A., TAVARES-DIAS, M. Impact of the invasion from Nile *O. niloticus* on natives *Cichlidae* species in tributary of Amazonas River, Brazil. *Biota Amazônia*, vol. 4, n. 3, 2014. <http://dx.doi.org/10.18561/2179-5746/biotaamazonia.v4n3p88-94>.
- BLACKBURN, T. M.; LOCKWOOD, J. L.; CASSEY, P., The influence of numbers on invasion success. *Molecular Ecology*, n. 24, p. 1942-1953, 2015.
- BLACKBURN, T. *et al.* A proposed unified framework for biological invasions. *Trends in ecology & evolution*, n. 26, p. 333-9, 2011. DOI: 10.1016/j.tree.2011.03.023.
- BRABO, M. F.; COSTA, M. W. M.; PAIXÃO, D. J. M. R.; COSTA, J. W. P.; VERAS, G. C. Potencial invasor de tilápia (*Oreochromis niloticus*) em microbacias hidrográficas do Nordeste paraense, Amazônia, Brasil. *Magistra*, Cruz das Almas/BA, n. 27, p. 227, 2015. Disponível em: <https://magistraonline.ufrb.edu.br/index.php/magistra/article/view/383>.
- BRABO, M. F.; MATOS, S. C. N.; SERRA, R. H. P. F.; COSTA, B. G. B.; CAMPELO, D. A. V.; VERAS, G. C. A tilapicultura no estado do Pará, Amazônia. *Informações Econômicas*, n. 50, p. 1-11, 2020.
- BRITO, M. F. G.; DAGA, V. S.; VITULE, J. R. S. Fisheries and biotic homogenization of freshwater fish in the Brazilian semiarid region. *Hydrobiologia*, v. 847, p. 3877-3895, 2020. <https://doi.org/10.1007/s10750-020-04236-8>.
- BRASIL. Decreto Legislativo nº 2, de 1994. Aprova texto da CDB - Convenção sobre Diversidade Biológica, assinado durante a Conferência das Nações Unidas sobre Meio Ambiente e Desenvolvimento - realizada na cidade do Rio de Janeiro, no período de 5 a 14 de junho de 1992. *Diário Oficial da União*, Seção 1, p. 1693. Brasília, 4/2/1994.
- CASIMIRO, A. C. R. *et al.* Escapes of non-native fish from flooded aquaculture facilities: the case of Paranapanema River, southern Brazil. *Zoologia*, n. 35, 2018a. 10.3897/zoologia.35.e14638. <https://doi.org/10.3897/zoologia.35.e14638>.
- CASIMIRO, A. C. R. *et al.* The invasive potential of *O. niloticus* (*Osteichthyes*, *Cichlidae*) in the Americas. *Hydrobiologia*, v 817, 2018b. DOI: 10.1007/s10750-017-3471-1.
- CASSEY P.; DELEAN, S.; LOCKWOOD, J. L.; SADOWSKI, J. S.; BLACKBURN, T. M. Dissecting the null model for biological invasions: a meta-analysis of the propagule pressure effect. *PLoS Biol*, 16(4): e2005987, 2018. <https://doi.org/10.1371/journal.pbio.2005987>.
- CHARVET, P. *et al.*, Tilapia farming threatens Brazil's waters. *Science*, n. 371, p. 3, 2021. <https://doi.org/10.1126/science.abg1346>.
- COPP, G. H.; GARTHWAITE, R.; GOZLAN, R. E. Risk identification and assessment of non-native freshwater fishes: concepts and perspectives on protocols for the UK. *Sci. Ser. Tech Rep.*, Cefas Lowestoft, n. 129, p. 32, 2005.
- CZEGLÉDI I., KERN B., TÓTH R., SERESS G. and ERŐS T. Impacts of Urbanization on Stream Fish Assemblages: The Role of the Species Pool and the Local Environment. *Front. Ecol. Evol.* p 8 vol137, 2020. <https://doi.org/10.3389/fevo.2020.00137>

- DAGA V. S.; GUBIANI, E. A.; CUNICO, A. M.; BAUMGARTNER, G. Effects of abiotic variables on the distribution of fish assemblages in streams with different anthropogenic activities in southern Brazil. *Neotrop. ichthyol.*, v 10, p. 643-65, 2012. <https://doi.org/10.1590/S1679-62252012000300018>.
- DAGA V. S.; DEBONA, T.; ABILHOA, V.; GUBIANI, E. A.; VITULE, J. R. S. Non-native fish invasions of a Neotropical ecoregion with high endemism: a review of the Iguazu River. *Aquatic Invasions*, n. 11, v. 2, p. 209-223, 2016. <http://doi.org/10.3391/ai.2016.11.2.10>.
- DAGA, V. S. *et al.* Water diversion in Brazil threatens biodiversity. *Ambio*, n. 49, p. 165-172, 2020. <https://doi.org/10.1007/s13280-019-01189-8>
- DIAGNE, C. *et al.* InvaCost, a public database of the economic costs of biological invasions worldwide. *Sci Data*, n. 7, p. 277, 2020. <https://doi.org/10.1038/s41597-020-00586-z>
- DORIA C. R. C. *et al.* The silent threat of non-native fish in the Amazon. ANNF - Database and Review. *Frontiers in ecology and evolution journal*, n. 9, p. 316, 2021. <https://doi.org/10.3389/fevo.2021.646702>.
- FARIA, L.; OCCHI, T. V. T.; CHARVET, P.; VITULE, J. R. S. Nem só de tilápia vive o homem: um peixe exótico invade as águas e a mesa dos brasileiros. *Bioika*, ed. 7, maio/2021. ISSN: 2619-3191 (Online).
- FISHBASE. *Oreochromis niloticus*. Disponível em: <https://www.fishbase.se/summary/oreochromis-niloticus.html>. Acesso em: 09 jul. 2021.
- FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS (FAO). Fisheries and Aquaculture Department. *Species fact sheets Oreochromis niloticus (Linnaeus, 1758)*. Disponível em: <http://www.fao.org/fishery/species/3217/en>. Acesso em: 09 jul. 2021.
- FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS (FAO). *The state of world fisheries and aquaculture- Meeting the sustainable development goals*. Rome: FAO, 2020.
- FORNECK, S. C. *et al.* Aquaculture facilities drive the introduction and establishment of non-native *Oreochromis niloticus* populations in neotropical streams. *Hydrobiologia*, n. 848, p. 1955-1966. Springer Nature Switzerland, 2021. <https://doi.org/10.1007/s10750-020-04430-8>.
- FORTES, R. D. Review of techniques and practices in controlling *O. niloticus* populations and identification of methods that may have practical applications in Nauru including a national *O. niloticus* plan. *Aquaculture technical paper*. Nauru: Secretary of the Pacific Community, 2015 (n. p).
- FREHSE, F. D., BRAGA, R., NOCERA, G., VITULE, J. Non-native species and invasion biology in a megadiverse country: scientometric analysis and ecological interactions in Brazil. *Biological Invasions*, 2016. <https://doi.org/10.1007/s10530-016-1260-9>.
- FREHSE, F. D., WEYL, O. L. F.; VITULE, J. R. S. Differential use of artificial habitats by native and non-native fish species in Neotropical reservoirs. *Hydrobiologia*, n. 848, p. 2355-2367, 2021. <https://doi.org/10.1007/s10750-021-04564-3>.
- GARCIA, D. A. Z. *et al.* Peixes não-nativos em riachos no Brasil: estado da arte, lacunas de conhecimento e perspectivas. *Oecologia Australis*, n. 25, p. 565-587, 2021. <https://doi.org/10.4257/oeco.2021.2502.21>.

- GELLER, I.V. *et al.* New conservation opportunities: using citizen science in monitoring non-native species in neotropical region. *J. Appl Ichthyol.*, 2021, p. 1-7. <https://doi.org/10.1111/jai.14231>.
- GOZLAN, R. E.; BRITTON, J. R.; COWX, I.; COPP, G. H. Current knowledge on non-native freshwater fish introductions. *Journal of Fish Biology*, n. 76, p. 751-786, 2010. <https://doi.org/10.1111/j.1095-8649.2010.02566.x>.
- GOZLAN, R. E. Introduction of non-native freshwater fish: is it all bad? *Fish and fisheries*, n. 9, p. 106-115, 2008.
- GUARIDO, P. C. P. *Degradação ambiental e presença de espécies de peixes não nativas em pequenos igarapés de terra firme de Manaus*. 2014. 58f. Dissertação (Mestrado em Ciências Biológicas, área de concentração em Biologia de Água Doce e Pesca Interior) – Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia (INPA), Manaus, 2014.
- GUBIANI, E. A. *et al.* Non-native fish species in neotropical freshwaters: how did they arrive, and where did they come from? Invasive species II. *Hydrobiologia*, n. 817, p. 57-69, 2018. <https://doi.org/10.1007/s10750-018-3617-9>.
- HAYES, K. R.; BARRY, S. C. Are there any consistent predictors of invasion success? *Biol Invasions*, n. 10, p. 483-506, 2008. <https://doi.org/10.1007/s10530-007-9146-5>.
- IABIN, 2021. *Invasive information network in Brasil*. Base de dados de espécies exóticas invasoras do Brasil, Instituto Hórus de Desenvolvimento e Conservação Ambiental, Florianópolis-SC. <http://bd.institutohorus.org.br/www>. Acesso em: 10 jul. 2021.
- IMBIRIBA, E. P. Potencial de criação de Pirarucu, *Arapaima gigas*, em cativeiro. *Zoologia, Acta Amaz.*, Jun, 2001. <https://doi.org/10.1590/1809-43922001312316>
- INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). *Censo Agropecuário 2018*. Dados informados via documento oficial, 2017.
- INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). *Produção da pecuária municipal*. Rio de Janeiro, 2019. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/estatisticas-novoportal/economicas/agriculturaepecuaria/9107producao-da-pecuaria-municipal.html?=&t=downloads>. Acesso em: 14 abr. 2020.
- INVASIVE SPECIES SPECIALIST GROUP (ISSG). *Global invasive species database species profile: Oreochromis niloticus*. 2020. Disponível em: <http://www.iucngisd.org/gisd/speciesname/Oreochromis+niloticus>. Acesso em: jul. 2020.
- LATINI, A. O.; RESENDE, D. C.; POMBO, V. B.; CORADIN, L. (Orgs.). *Espécies não nativas invasoras de águas continentais no Brasil*. Brasília: MMA, 2016. (Série Biodiversidade, 39). ISBN: 978-85-7738-176.
- LEÃO, T. C. C.; ALMEIDA, W. R.; DECHOUM, M.; ZILLER, S. R. *Espécies exóticas invasoras no nordeste do Brasil: contextualização, manejo e políticas públicas*. Recife: CEPAN, 2011.
- LIMA JUNIOR, D. P. *et al.* Aquaculture expansion in Brazilian freshwaters against the Aichi biodiversity targets. *Ambio*, n. 47(4), p. 427-440, maio 2018. DOI: 10.1007/s13280-017-1001-z. Epub: 6 Jan 2018.
- LIMA, L. B.; OLIVEIRA, F. J. M.; GIACOMINI, H. C.; LIMA-JUNIOR, D. P. Expansion of aquaculture parks and the increasing risk of non-native species invasions in Brazil. *Reviews in Aquaculture*, n. 10, p. 111-122, 2018.
- LOCKWOOD J. L., HOOPES, M. F.; MARCHETTI, M. P. *Invasion ecology*. Malden, Blackwell, 2013.

- LOCKWOOD J. L.; CASSEY, P.; BLACKBURN, T. M., The more you introduce the more you get: the role of colonization and propagule pressure in invasion ecology. *Diversity and Distributions*, n. 15, p. 904-910, 2009.
- LOCKWOOD J. L.; CASSEY, P.; BLACKBURN, T. M. The role of propagule pressure in explaining species invasions. *Trends in Ecology and Evolution*, n. 20, p. 223-228, 2005.
- LOWRY, E. *et al.* Biological invasions: a field synopsis, systematic review, and database of the literature. *Ecology and Evolution*, v. 3, p. 182-196, 2013. <https://doi.org/10.1002/ece3.431>.
- MACK, R. N. *et al.* Biotic invasions: causes, epidemiology, global consequences, and control. *Ecological Applications*, v. 10, n. 3, p. 689-710, 2000. Disponível em: <http://www.jstor.org/stable/2641039>. Acesso em: 16 abr. 2018.
- MAGALHÃES, A. L. B. *et al.* Small size today, aquarium dumping tomorrow: sales of juvenile non-native large fish as an important threat in Brazil. *Neotropical Ichthyology*, n. 15(4): e170033, 2017. DOI: 10.1590/1982-0224-20170033.
- MAGALHÃES, A. L. B.; CASATTI, L.; VITULE, J. R. S. Alterações no código florestal brasileiro favorecerão espécies não-nativas de peixes de água doce. *Natureza e Conservação*, n. 9, p. 121-124, 2011.
- MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE (MMA). *Resolução CONABIO nº 05*, de 21 de outubro de 2009. Estratégia nacional sobre espécies não nativas invasoras. Brasília: MMA, 2009. Disponível em: <http://www.mma.gov.br/biodiversidade/biosseguranca/especies-exoticas-invasoras/estrategia-nacional>. Acesso em: 17 abr. 2018.
- MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE (MMA). Disponível em: <http://www.mma.gov.br/biodiversidade/biosseguranca/especies-exoticas-invasoras>. Acesso em: 17 abr. 2020.
- MOURA CARVALHO, L. O. D.; NASCIMENTO, C. N. B. Engorda de pirarucus (*Arapaima gigas*) em associação com búfalos e suínos. *Circular Técnica*, 66. Belém: EMBRAPA-CPATU, 1992.
- NOBILE, A. B. *et al.* Status and recommendations for sustainable freshwater aquaculture in Brazil. *Reviews in Aquaculture*, v. 13, p.1495-1517, 2019. <https://doi.org/10.1111/raq.12393>.
- OCCHI, T. V. T. L.; CARNEIRO, L.; FARIA, N. O. R.; MILLER; VITULE, J. R. S. *Figshare Dataset*, 2021.
- OLIVEIRA, N. I. S.; SOUSA, R. G. C.; FLORENTINO, A. C. Overview on the fish farming in the Porto Grande municipality (Amapá, Brazil). *Acta Fish. Aquat. Res.*, n. 5 (3), p. 48-154, 2017.
- ORNELAS, C. R.; LOCKWOOD, J. L. The ‘known unknowns’ of invasive species impact measurement. *Biol Invasions*, n. 22, p. 1513–1525, 2020. <https://doi.org/10.1007/s10530-020-02200-0>.
- ORSI, M. L. *et al.* Influência da introdução de *Oreochromis niloticus* na estrutura de populações de peixes de um riacho da bacia do rio Tibagi. In: MMA (Org.) *Espécies não nativas invasoras de águas continentais no Brasil*. Brasília: MMA, 2016, p. 582-599.
- ORTEGA, J. C. G. *et al.* Fish farming as the main driver of fish introductions in neotropical reservoirs. *Hydrobiologia*, n. 746, p. 147-158, 2015. <https://doi.org/10.1007/s10750-014-2025-z>.
- PALAU REPORT. *National invasive species committee*. Palau: Annual Report, 2014.

- PAVANELLI, G. C., TAKEMOTO, R. M.; EIRAS, J. C. (Orgs.). *Parasitologia de peixes de água doce do Brasil*. Maringá: EDUEM, 2013, p. 169-193.
- PELICICE, F. M.; VITULE, J. R.; LIMA JUNIOR S. D. P.; ORSI, M. L.; AGOSTINHO A. A serious new threat to Brazilian freshwater ecosystems: the naturalization of nonnative fish by decree. *Conservation Letters*, n. 7, p. 55-60, 2014.
- PELICICE, F. M. et al. Neotropical freshwater fishes imperilled by unsustainable policies. *Fish and Fisheries*, n. 18, p. 1119-1133, 2017.
- RAJ, S.; KUMAR, A. B.; THARIAN, J. et al. Illegal and unmanaged aquaculture, unregulated fisheries and extreme climatic events combine to trigger invasions in a global biodiversity hotspot. *Biol Invasions*, n. 23, p.2373-2380, 2021. <https://doi.org/10.1007/s10530-021-02525-4>.
- RICHARDSON, D. M. et al. Naturalization and invasion of alien plants: concepts and definitions. *Diversity and Distributions*, v. 6, p. 93/107, 2000. <https://doi.org/10.1046/j.1472-4642.2000.00083>.
- SCHULTER, E. P.; VIEIRA FILHO, J. E. R. Desenvolvimento e potencial da tilapicultura no Brasil. *Revista de Economia e Agronegócio*, n. 16(2), p. 177-201, 2018. <https://doi.org/10.25070/rea.v16i2.554>.
- SILVA A. F.; SILVA-FORSBERG M. C. Espécies não nativas invasoras e seus riscos a Amazônia. *Scientia Amazônia*, v, 4, n. 2, p. 114-124, 2015.
- SILVA, L. R. B. et al. Cenário atual e perspectivas da tilapicultura no estado do Pará frente ao novo marco regulatório da atividade. *Desenvolvimento e Meio Ambiente*, vol. 56, p. 249-274, jan./jun. 2021. DOI: 10.5380/dma. v. 56i0.72881. ISSN 2176-9109.
- SIMBERLOFF, D. The role of propagule pressure in biological invasions. *Annu. Rev. Ecol. Evol.Syst.*, n. 40, p. 81-102, 2009. DOI: 10.1146/annurev.ecolsys.110308.120304.
- SIMBERLOFF, D. et al. Impacts of biological invasions: what's what and the way forward. *Trends in Ecology & Evolution*, Janeiro 2013, vol. 28, nº 1. <http://dx.doi.org/10.1016/j.tree.2012.07.013>
- SOARES, L. M. de A. et al. Tilápia do Nilo: uma realidade na Amazônia. In: XXIII EBI-ENCONTROBRASILEIRO DE ICTIOLOGIA. *Anais [...]*. Belém, 2019.
- SOARES, L. M. A. et al. *Legislação vigente sobre espécies exóticas na Amazônia Legal*. (No prelo).
- SOARES, L. M. A., CAVALI, J.; VITULE, J. R. S.; DORIA, C. R. C. Ciência cidadã como forma de identificação de ocorrência de espécies não nativas na amazônia. *SAJEBTT*, n. 7, p, 145-159, 2020. Disponível em: <https://periodicos.ufac.br/index.php/SAJEBTT/article/view/3471>
- SOUSA, R. G. C. et al. Socio-economic profile of fish farming in Presidente Médici (Rondônia-Brazil). *Biota Amazônia*. Macapá, v. 9, n. 1, p. 51-55, 2019. Disponível em: <http://periodicos.unifap.br/index.php/biota>. ISSN 2179-5746.
- TAVARES-DIAS, M.; MARCHIORI, N. C.; MARTINS, M. L. Paratrichodina africana (Ciliophora: Trichodinidae) of wild and cultured Nile tilapia in the Northern Brazil. *Rev. Bras. Parasitol. Vet.*, Jaboticabal, v. 22, n. 2, p. 248-252, abr.-jun. 2013.
- VILIZZI L. et al. A global review and meta-analysis of applications of the freshwater Fish Invasiveness Screening Kit. *Rev. Fish Biol. Fisheries*, n. 29, p. 529-568, 2019. <https://doi.org/10.1007/s11160-019-09562-2>

- VILIZZI, L.; COPP, G. H.; HILL, J. E. *et al.* A global-scale screening of non-native aquatic organisms to identify potentially invasive species under current and future climate conditions. *Sci Total Environ.*, vol. 788, 20 setembro 2021. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2021.147868.
- VILLÉGER, S. *et al.* Homogenization patterns of the world's freshwater fish faunas. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 2011. DOI: 10.1073/pnas.1107614108
- VITULE, J. R. S.; PRODOCIMO, V. Introdução de espécies não nativas e invasões biológicas. *Estud. Biol., Ambiente Divers*, v. 34, p. 225-237, 2012. v. 34, p. 225-237, 2012. <http://dx.doi.org/10.7213/estud.biol.7335>.
- VITULE, J. R.S. *et al.* Intra-country introductions unraveling global hotspots of alien fish species. *Biodiversity and Conservation*, n. 28, p. 3037-3043, 2019. <https://doi.org/10.1007/s10531-019-01815-7>.
- VITULE, J. R. S. Introdução de peixes em ecossistemas continentais brasileiros: revisão, comentários e sugestões de ações contra o inimigo quase invisível. *Neotropical Biology and Conservation*, v. 4, n. 2, p. 111-122, 2009. DOI: 10.4013/nbc.2009.42.07.
- WITTMANN, M. J. *et al.* Decomposing propagule pressure: the effects of propagule size and propagule frequency on invasion success. *Oikos* (Nordic Society Oikos), v. 123, p. 441-450, 2014.
- XAVIER, R. E. *Caracterização e prospecção da cadeia produtiva da piscicultura no estado de Rondônia*. 2013. 104 p. Dissertação (Mestrado em Desenvolvimento Regional e Meio Ambiente) - Fundação Universidade Federal de Rondônia, 2013.

CAPÍTULO 1

CIÊNCIA CIDADÃ COMO FORMA DE IDENTIFICAÇÃO DE OCORRÊNCIA DE ESPÉCIES NÃO NATIVAS NA AMAZÔNIA²

² Este artigo segue as normas de publicação da revista *SAJEBTT - South American Journal of Basic Education, Technical and Technological*, na qual foi publicado. *Qualis Capes A3*

<https://periodicos.ufac.br/index.php/SAJEBTT/article/view/3471>

CIÊNCIA CIDADÃ COMO FORMA DE IDENTIFICAÇÃO DE OCORRÊNCIA DE ESPÉCIES NÃO NATIVAS NA AMAZÔNIA

RESUMO

A *Ciência Cidadã* (CC) pode ser uma importante ferramenta na análise de impacto e mudanças na biodiversidade, especialmente pela ampla distribuição dos voluntários. A CC foi utilizada como ferramenta no presente trabalho com o intuito de detectar a ocorrência de *Oreochromis niloticus* em Rondônia. Registros de ocorrência foram obtidos com 129 pescadores, com auxílio de formulário de perguntas enviado pelo aplicativo *WhatsApp*®. 150 piscicultores foram entrevistados sobre o manejo das pisciculturas. Estas informações foram posteriormente cruzadas com os dados oficiais do número de produtores de *O. niloticus* no estado, do IDARON, do IBGE e do órgão ambiental (SEDAM). Os dados gerados evidenciam grande número de pisciculturas (~1300) de *O. niloticus* em Rondônia, sem registro no órgão ambiental. O risco de escape de indivíduos é grande, visto que apenas 29% dos piscicultores responderam utilizar sistemas de contenção, e 51% admitiram permitir escapes das espécies cultivadas no meio ambiente, o que é confirmado mediante relatos de visualização de *O. niloticus* em ambiente natural por 43% dos pescadores, em 24 locais.

Palavras-chave: Ciência cidadã; Invasão biológica; Não-nativos; Biodiversidade.

ABSTRACT

Citizen Science (CC) can be an important tool in the analysis of impacts and changes in biodiversity, especially due to the wide distribution of volunteers. CC was used as a tool in the present work to detect the occurrence of *Oreochromis niloticus* in Rondônia. Occurrence records were obtained from 129 fishermen, with the aid of a question form submitted by the *WhatsApp*® message application. 150 fish farmers were interviewed about the management of fish farms. This information was later cross-referenced with official data of the number of producers of *O. niloticus* in the state, IDARON, IBGE and the environmental agency (SEDAM). The data generated show numerous fish farmers in Rondônia (~1300) of *O. niloticus* without registration in the environmental agency. The risk of escape of individuals is great, as only 29% of fish farmers responded to use containment systems, and 51% admitted to

allowing escapes of species grown in the environment. This is confirmed by reports of visualization of *O. niloticus* in a natural environment by 43% of fishermen in 24 locations.

Keywords: Citizen science; Biological invasion; Non-natives; Biodiversity.

INTRODUÇÃO

Quem é o pesquisador? A primeira ideia que vem à cabeça é de cientistas ligados a instituições de pesquisas ou universidades; porém essa concepção vem mudando através da *Ciência Cidadã* - CC [4]. A CC tem se tornado muito popular em diversas partes do mundo, porém essa rápida expansão gera significados ambíguos à sua aplicação [5]. A CC é definida por [6] como o envolvimento dos cidadãos comuns em pesquisa científica, através de projetos que investigam questões importantes, nos quais os indivíduos coletam dados posteriormente usados pelos pesquisadores.

A colaboração de cientistas cidadãos é uma estratégia importante, que pode permitir aos pesquisadores o aumento do seu escopo de investigação, tanto espacial quanto temporal, dos conjuntos e processos em escala de ecossistemas [7]. Além disso, por meio de diferentes abordagens de CC, pode-se envolver a comunidade local, tanto na coleta de dados quanto na tomada de decisão frente aos resultados obtidos.

Os dados obtidos por projetos de CC podem ser usados para analisar os impactos das mudanças globais na biodiversidade, uma vez que os voluntários podem ser distribuídos em diversos locais [1], sendo o alcance geográfico relevante para documentar padrões ecológicos e mudanças no comportamento das espécies estudadas [8], com a geração simultânea de conhecimento científico útil e construção de redes entre diversas instituições [9]. O sucesso de um projeto de CC requer que seja simples operacionalização, garantir que os participantes estejam treinados e fornecer *feedback* dos resultados alcançados, sendo este último de suma importância, pois faz com que os participantes entendam a importância dos dados levantados [4]. Projetos que envolvem metodologias de CC geram conhecimentos confiáveis e legítimos e, além disso, podem trazer à tona lideranças emergentes nas comunidades participantes, podendo, assim, apoiar o desenvolvimento de políticas inovadoras para gestão do meio ambiente [9], [10].

Nos últimos anos, o uso da CC em estudos de ictiologia tornou-se uma poderosa ferramenta para se levantar informações sobre a produção pesqueira [11], sobre ecologia [7], sobre impactos ambientais aquáticos e até mesmo para monitorar a presença de espécies não nativas através de cidadãos treinados sobre a temática [12]. Essas ferramentas

são importantes, principalmente em regiões com grandes dimensões geográficas, como a região amazônica, com áreas muitas vezes inacessíveis aos pesquisadores e técnicos, tanto para levantamento de informações que permitam a caracterização de ambientes e sua biota, quanto para o acompanhamento, em tempo real, de modificações ambientais. Essa dificuldade na realização de estudos em grande escala temporal e espacial pode limitar a compreensão da dimensão de fatores de impacto em compartimentos aquáticos.

A invasão de espécies não nativas pode ocasionar consequências severas aos recursos pesqueiros regionais e alterar os processos ecológicos, criando ecossistemas homogêneos e empobrecidos [13], [14]. As introduções de espécies não nativas influenciam a ictiofauna nativa, sendo as principais causas da redução da biodiversidade local [15]. Apesar desse risco, no ambiente amazônico há poucos estudos sobre invasão de espécies não nativas [16], [11], [17] o que, a princípio, sugere a ausência de risco na região; por outro lado, pode indicar a dificuldade de amostragem e detecção nesse bioma.

Advindas da produção piscícola, algumas invasões podem estar relacionadas com introduções de espécies de pisciculturas [18], [19], [20]. Peixes não nativos podem ser ameaças invisíveis durante o início do seu processo de introdução, considerando que os habitats aquáticos estão menos expostos à visualização que os terrestres, por exemplo, o monitoramento precisa de maior acurácia, podendo ser até erroneamente considerados nativos pela população local, dependendo do seu grau de estabelecimento [21]. Considerando as medidas que reforçam a introdução de novos peixes não nativos (por exemplo, híbridos artificiais ou geneticamente modificados), um eventual aumento na riqueza de espécies locais ou regionais nem sempre é benéfico para a aquicultura, a biodiversidade, o bem-estar humano ou a natureza; a adoção de estratégias científicas úteis por países da América do Sul é fundamental para manter seu crescimento social e econômico, além de sua "natureza remanescente" [22].

Dentre as espécies utilizadas na aquicultura e com registros de escape em ambiente natural destaca-se a *O. niloticus* [18], [19]. Apesar do conhecimento existente sobre o impacto da *O.*

niloticus em ambientes naturais em diferentes partes do mundo, a criação desta espécie na Amazônia é uma realidade, bem como seu registro em ambientes aquáticos adjacentes [23], [20], o que reforça a necessidade de se buscar ferramentas metodológicas que permitam maior dimensionamento espacial da ocorrência de fontes de propágulos e da espécie em compartimentos aquáticos da Amazônia.

Nesse cenário, o presente estudo teve como objetivo mapear os cultivos de *O. niloticus* na Amazônia ocidental, compreendendo focos com maior probabilidade de ocorrência

dentro do estado de Rondônia, com a utilização da CC como ferramenta de identificação de pontos de contaminação e de ocorrências nos ecossistemas naturais.

MATERIAIS E MÉTODOS

Neste presente estudo, foram utilizados três tipos diferentes de fontes de dados:

1) Como base para o estudo, dados secundários oficiais sobre o número de pisciculturas licenciadas por município na base da Secretaria de Desenvolvimento Ambiental do Estado de Rondônia (SEDAM), sobre o número de produtores que se autodeclararam produtores de *O. niloticus* na base de dados da Agência de Defesa Agropecuária do Estado de Rondônia (IDARON) (ANEXO 3) e do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE).

2) Informação dos piscicultores sobre os sistemas de produção e características gerais dos empreendimentos, obtidas por meio de entrevistas. Os questionários aplicados aos piscicultores continham questões sobre: localização das propriedades; igarapés e rios próximos à piscicultura, espécie cultivada, procedência dos alevinos adquiridos, sistemas de contenção utilizados nos tanques, local de comercialização e observação de espécies de peixes invasoras no ambiente natural.

3) Informação dos pescadores esportivos e profissionais, para identificação dos pontos de registros de ocorrência de *O. niloticus* em corpos d'água das bacias. O formulário preenchido pelos pescadores voluntários foi elaborado utilizando-se a plataforma *Google Formulários*® e enviado o link por meio do aplicativo *WhatsApp*® a um grupo de pescadores esportivos e relacionados, ao longo de 2018, tendo como foco a visualização de *O. niloticus* em ambiente natural e identificação dos locais positivos. A divulgação contou com apoio de *youtubers* de pesca esportiva e dos próprios pescadores, que enviaram o link por plataformas digitais e aplicativos. Os formulários preenchidos incorretamente, com ausência de informações ou com descrição de dados fora dos limites do estado de Rondônia foram descartados.

Os questionários e o formulário contaram com questões quantitativas estruturadas (roteiro rígido, com questões objetivas) e questões qualitativas semiestruturadas (roteiro flexível, com questões abertas e direcionamento de respostas simplificadas), tanto os aplicados aos piscicultores quanto aos pescadores (ANEXOS 4 e 5). A utilização de questões estruturadas com respostas fechadas pré-definidas visou facilitar o planejamento das condições experimentais.

edotratamentoestatísticodosdados(adaptadade[24]).OprojetofoisubmetidoaoComitêdeÉticaePesquisa (CEP) da UNIR/RO eaprovado pelo Parecer N°3.427.108.

RESULTADOS

De acordo com os dados oficiais do IBGE [2], há cerca de 1300 piscicultores de *O. niloticus* emRondônia.Atéaoano2018,nãohaviaregistros,peloórgãoambientalestadual,dacriação de espécies não nativas, apesar dos registros da produção das mesmas no estado porentidadesligadas àpiscicultura, como o IDARONe oIBGE(Tabela 1;Figura1).

Fonte dos dados	Númeropisciculturas/ RO	Númerocriadorede <i>O. niloticus</i>	Lâmina d'água dedicadaaprodução de <i>O. niloticus</i> (hectares)	Produçãodeclarada de <i>O. niloticus</i> (Toneladas)
SEDAM	4308	0	0	0
IDARON	7258	778	9301	144
IBGE	*	1300	*	*

Tabela1. Resumodosdadosdeclaradospelosórgãosoficiais.*Dadosnãoinformados.
Fonte: Elaboração própria.

DeacordocomaSEDAM[25],existem,emRondônia,4308empreendimentospiscícolaslicenciadospeloórgão(Figura1, a seguir),totalizandoumaáreaalagadade15810,28hectaresdelâminad'águaeumacapacidadedeproduçãoestimadade95534,38toneladas/ano.Dentreaspisciculturaslicenciadas,estãoregistradasasespécies tambaqui e pirarucu,principalmentecomoespéciesnativas, não havendoregistro de licençasparacultivo de *O. niloticus*.

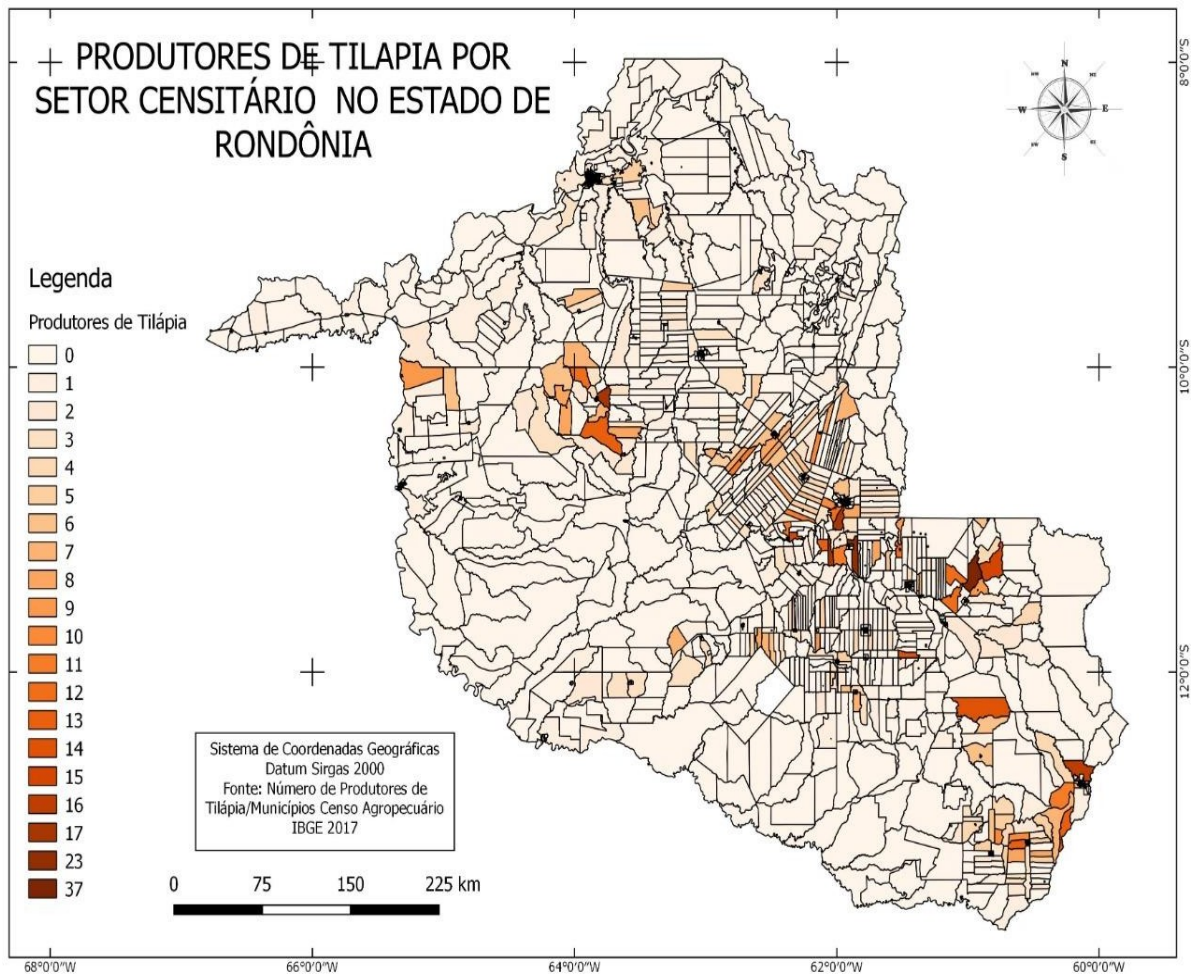


Figura 1. Adensamento das pisciculturas de *O. niloticus* no estado de Rondônia.

Fonte: Elaboração própria com dados do IBGE [2].

Segundo o IDARON [3], que emite a Guia de Transporte Animal (GTA), o tambaqui representa mais de 90% das GTA de finalidade abate, não havendo registros de emissão de GTA para *O. niloticus*. Contudo, durante a 43ª Campanha de Vacinação de Febre Aftosa (2017) o mesmo órgão questionou os produtores sobre criações e cultivos inerentes à propriedade, incluindo a piscicultura, e registrou 7258 produtores piscicultores (auto-declarados), sendo que 778 destes declararam produzir *O. niloticus* (690 declararam não comercializar e 88 realizam comercialização).

Foram entrevistados 150 piscicultores de 34 municípios de Rondônia (Figura 2), representando as três regiões de maior concentração de piscicultores do estado: o vale do rio Jamari, o território central e o con sul do estado de Rondônia.

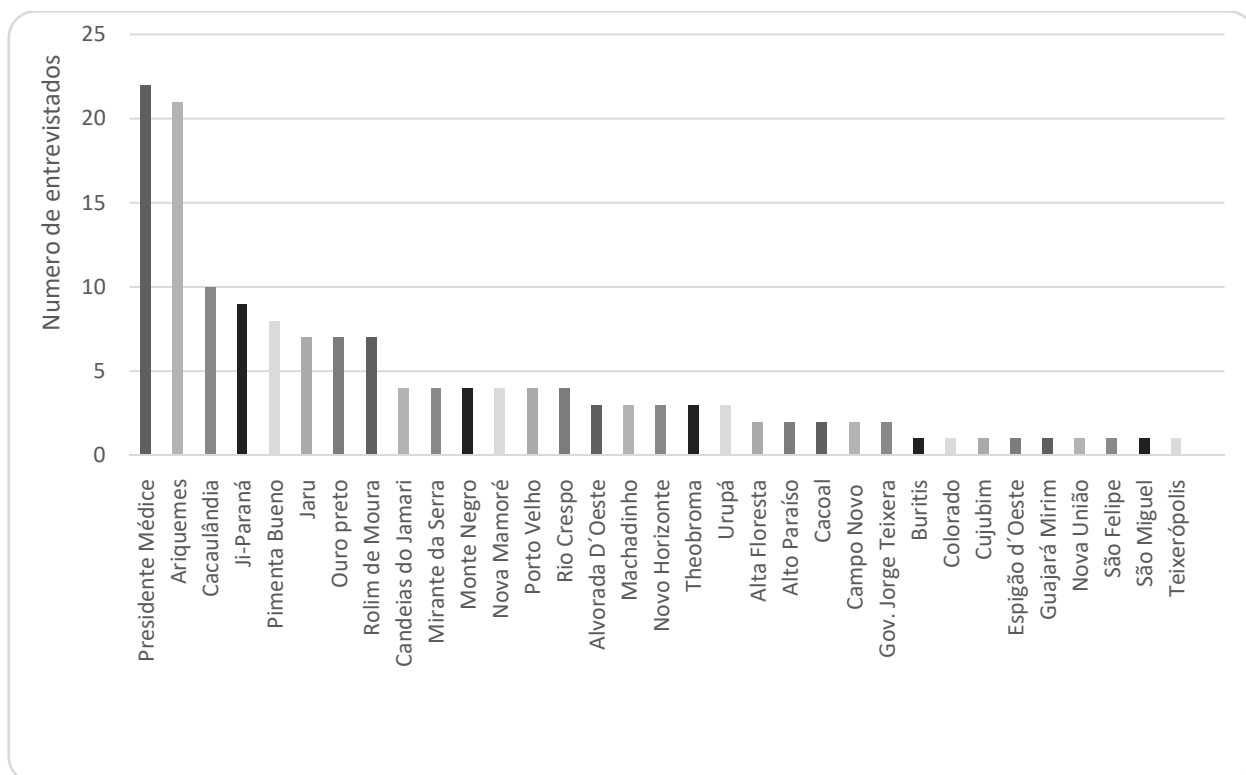


Figura 2. Número de piscicultores entrevistados durante os anos de 2018 e 2019 em diferentes municípios do estado de Rondônia, demonstrando o alcance amostral.

Fonte: Elaboração própria.

Dos piscicultores entrevistados, 48% declararam realizar o policultivo (Tabela 2) e apenas 3% declaram criar *O. niloticus*. Ressalta-se que, por não haver pisciculturas licenciadas no estado para a criação de tilápias, há a possibilidade de os entrevistados não terem se autodeclarado piscicultores de *O. niloticus*, quando souberam que a pesquisa era realizada em parceria com o órgão fiscalizador.

Principais espécies cultivadas	Porcentagem de entrevistados (%)	Média de Produção (toneladas)
Tambaqui (<i>Colossoma macropomum</i>)	95	30
Pintado (<i>Pseudoplatystoma corruscans</i>)	31	30
Pirarucu (<i>Arapaima gigas</i>)	27	11
Jatuarana (<i>Bryconcephalus</i>)	12	13
Tilápia (<i>Oreochromis niloticus</i>)	3	2

Tabela 2. Principais espécies de peixes cultivadas pelos entrevistados no estado de Rondônia.

Fonte: Elaboração própria.

Apenas 28% dos piscicultores relataram não possuir assistência técnica, enquanto 72% dos entrevistados informaram ter profissional técnico responsável pela qualidade do cultivo. Quanto à forma de comercialização, os entrevistados utilizam diversos meios, conforme descrito na Tabela 3.

Meios de escoamento e comercialização	Porcentagem de entrevistados (%)
Indústria e agroindústrias Locais	26
Mediadores de Compra (Atravessadores)	43
Venda para outros produtores	20
Venda para outros estados	10

Tabela 3. Principais meios de escoamento e comercialização da produção de peixe de aquicultura em Rondônia, de acordo com os piscicultores entrevistados.

Quanto ao manejo ambiental dos tanques de piscicultura, apenas 29% dos piscicultores responderam utilizar sistemas de contenção, tanto na entrada quanto na saída do sistema piscícola (Tabela 4).

Sistema de contenção utilizado	Porcentagem de entrevistados (%)
Tela	47
Não utiliza	41
Não responderam	9
Canos	2
Vazio sanitário	1

Tabela 4. Principais mecanismos de contenção utilizados pelos entrevistados.
Fonte: Elaboração própria.

Referente à proximidade dos viveiros de criação a cursos d'água, 40% dos entrevistados relataram que seus empreendimentos são próximos a rios, 22% próximos a igarapés, 19% possuem minas e 9% possuem nascentes de água na propriedade.

Quanto ao manejo dos viveiros piscícolas, 51% dos piscicultores admitiram permitir escapes das espécies cultivadas no meio ambiente, por não possuírem filtro de contenção em seus viveiros; 44% dos piscicultores responderam que possuem sistema de contenção, porém estes permitem saída de peixes pequenos, devido à espessura do material utilizado, sendo o principal

é todo o uso de telas. Alguns entrevistados assumiram que: o método de contenção falha algumas vezes, não impedindo o escape de peixes ao ambiente; no esvaziamento do tanque de piscicultura, ocorre descarte de peixes de menor tamanho comercial, podendo ser separados em outros tanques ou reintegrados à natureza junto à água da limpeza.

Sobre sanidade, 47% dos piscicultores responderam que os peixes, em algum momento da fase de criação, apresentaram parasitos, sendo relatada a ocorrência de pelo menos sete tipos diferentes de parasitos (Tabela 5).

Parasitos	Porcentagem de entrevistados(%)
Acantocéfalos	46
Endoparasitos	18
Lernaea	17
<i>Argulus</i> sp.	8
Monogenea	6
Fungos	3
Bactéria	2

Tabela 5. Principais parasitos de peixes relatados pelos entrevistados.
Fonte: Elaboração própria.

Participaram da pesquisa 129 pescadores (Figura 3, a seguir), entre esportivos (100) e profissionais (29). Dentre estes, 56 (43%) afirmaram já ter visualizado e 73 (57%) negaram ter visualizado *O. niloticus* nos cursos d'água. As respostas indicam a ocorrência de *O. niloticus* em pelo menos 24 municípios do estado de Rondônia.

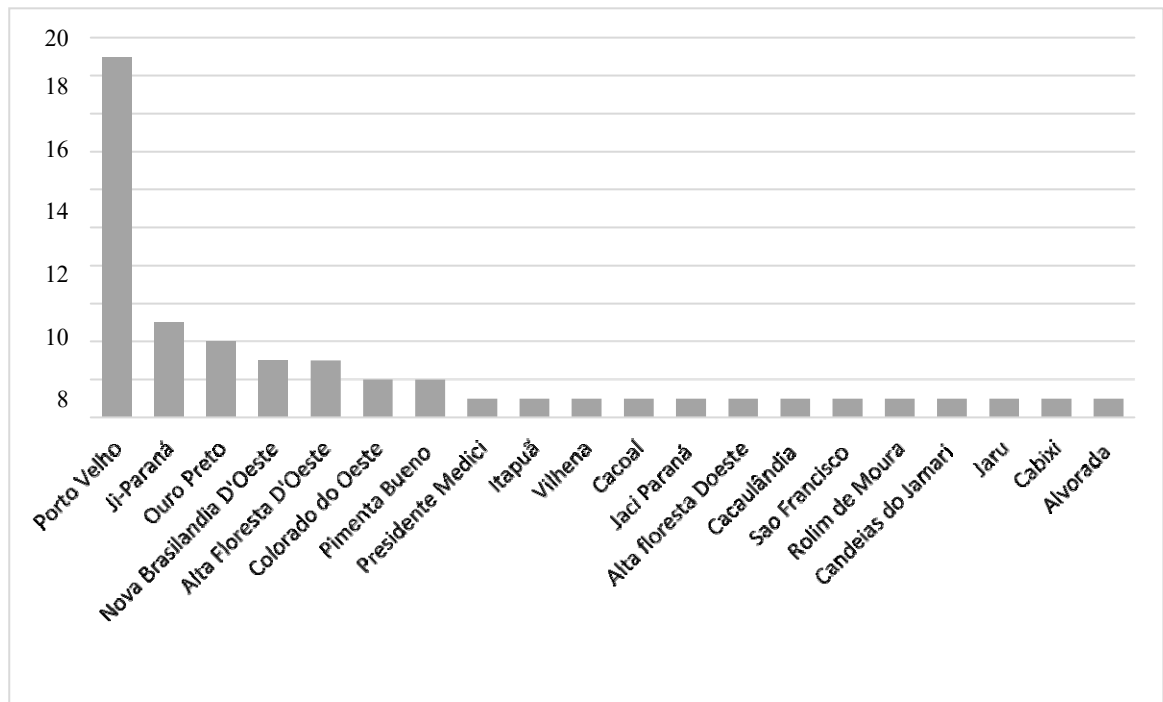


Figura3. Número de pescadores esportivos e profissionais que afirmaram ter visualizado *O. niloticus* em ambiente natural por municípios do estado de Rondônia.
Fonte: Elaboração própria.

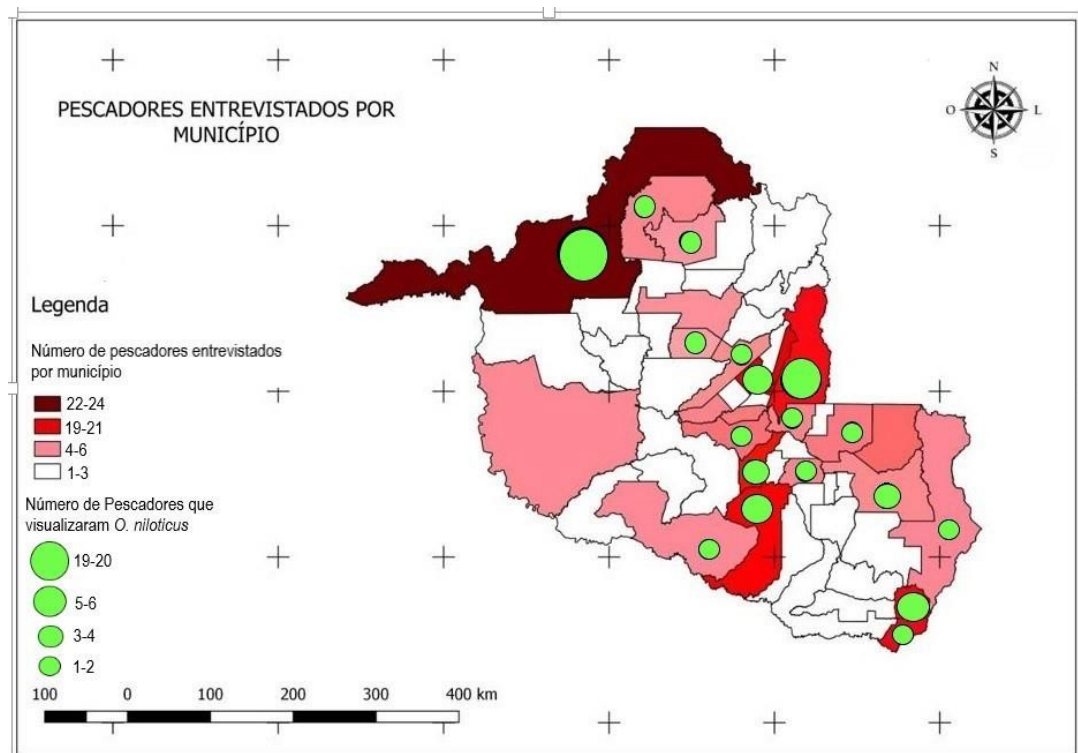


Figura4. Número de pescadores entrevistados por município no estado de Rondônia, em municípios onde ocorreram visualizações de *O. niloticus* de acordo com os pescadores voluntários que responderam ao formulário.
OBS: Os círculos verdes representam o número de participantes que declaram ter visualizado *O. niloticus* nos rios do município (variando entre 1 para a menor e 19 para o maior círculo).
Fonte: Elaborado por Robson Disarz e Lariessa Soares com base nas tabelas e dados da pesquisa.

DISCUSSÃO

A introdução de organismos exóticos e as invasões biológicas via vetores antropogênicos (i.e., diretamente advindos de atividades humanas) são causas de mudanças ecológicas em ambientes aquáticos [13], [26], [27]. Essas introduções podem ter diferentes finalidades ou causas, como pelo descarte de peixes ornamentais adquiridos como *pet* e, posteriormente, abandonados na natureza [28], outras por escapes de pisciculturas [18], [19], [20]. Contudo, mesmo em pequenos números de escapes, sabe-se que as espécies invasoras podem causar graves impactos econômico e ambiental ao ecossistema [29], [30].

O Brasil é signatário das metas de Aichi e diversos outros acordos que dizem respeito à proteção da diversidade ecológica, para melhorar políticas de conservação e equilíbrio econômico, desenvolvimento, bem-estar social e manutenção de serviços de biodiversidade. Contudo, a criação de espécies não nativas, sem regulamentação adequada, vem gerando sérios desequilíbrios nos ecossistemas aquáticos [31]. Ainda existem conflitos a serem superados no tocante a qualificação da metodologia de cultivo de espécies nativas na aquicultura, incentivo à utilização de tecnologias sustentáveis, permissão de criação de não nativas em sistemas fechados, criação de novas áreas de proteção, entre outros [31].

A legislação vigente em Rondônia [36] estabelece que a criação seja licenciável, desde que seja assegurado o distanciamento de área de preservação permanente; esses viveiros devem ser escavados e com efetiva contenção.

Art. 9º Na criação de espécies exóticas, alóctone e híbridas será de total responsabilidade do aquicultor assegurar a eficiente contenção, que só poderá ocorrer em viveiros escavados, em sistemas que impeçam o acesso dos espécimes, em qualquer fase de desenvolvimento, às águas de drenagem das bacias hidrográficas do Estado de Rondônia.

Porém não é o que se observa, haja vista o elevado de número de pisciculturas em Rondônia, com criação de *O. niloticus* sem registro no órgão ambiental. Esses piscicultores têm um alto poder de contaminação dos ambientes naturais, considerando-se especialmente sua alta capacidade produtiva de 3 a 5 toneladas/ano [37], a ausência de manejo adequado dessas pisciculturas e as lacunas no controle do estado.

Esse cenário facilita a criação e o escape de *O. niloticus* em algumas regiões do Brasil, inclusive na Amazônia, e justifica sua ocorrência em cursos d'água em diferentes municípios de Rondônia. Em particular na Amazônia, poucos estudos descrevem a ocorrência de espécies invasoras e seus impactos, possivelmente pela magnitude da região e pela complexidade de amostragem. Contudo, já há relatos de ocorrência de tilápias em ambientes naturais no Pará [33], [34] e em ambientes urbanos antropizados no Amazonas [20].

Atualmente, sabe-se que as populações invasoras geralmente se estabelecem em ambientes antropizados, com baixa qualidade ambiental (água, fatores bióticos e abióticos) [20], [38]; nesses locais, pode ocorrer substituição da ictiofauna nativa pela invasora [23] e, ainda, a transmissão de parasitos para espécies nativas (protozoários como *Trichodin compactae* e *Ichthyophthirius multifiliis* e os Monogeneoidea, *Dactylogyrus* e *Gyrodactylus*). Contudo, por se tratar do bioma amazônico, é de suma importância ampliar a investigação sobre o tema, considerando não somente os locais de ocorrência, mas também os fatores que podem favorecer o estabelecimento dessas espécies em ambientes naturais e antropizados, bem como seus impactos sobre a ictiofauna nativa, com vistas a propor medidas efetivas de controle da invasão.

Os resultados obtidos reforçam a ideia de que o uso da CC pode apoiar estudos ecológicos por meio de diferentes ferramentas, tais como aplicativos para celulares [39], [11], páginas de internet, mapeamento geográfico online [40], aumentando o poder de disseminação da informação e, conseqüentemente, do alcance da pesquisa. Além disso, essas informações podem ser utilizadas pelo poder público, como diretrizes em tomadas de decisão em relação ao meio ambiente, uma vez que a população se torna parte da investigação [41] [42].

CONCLUSÕES

Os dados gerados evidenciam o grande número de pisciculturas em Rondônia com presença de *O. niloticus* sem registro no órgão ambiental, assim como o manejo inadequado nas pisciculturas. Essas informações revelam o risco da invasão dessa espécie em cursos d'água de Rondônia, confirmado pelas informações levantadas através da CC, que apoiam a detecção dos locais de incidência dessa espécie invasora, além de evidenciar a ineficiência da fiscalização e registro da entrada de exóticos no estado.

Evidencia-se a necessidade de investigação na temática e o detalhamento da ocorrência de *O. niloticus* em outros locais, com urgência de adoção de medidas mitigadoras, evitando-se, assim, a homogeneização biótica e a substituição de espécies.

AGRADECIMENTOS

Agradecemos aos pescadores voluntários e piscicultores que colaboraram com a pesquisa.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] DEVICTOR, V. et al. Beyond scarcity: citizen science programmes as useful tools for conservation biogeography. *Diversity and Distributions*. Blackwell Publishing Ltd: v. 16, p. 354–362, 2010.
- [2] INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). Censo Agropecuário 2018. Dados informados via documento oficial, 2017.
- [3] IDARON - Agência de Defesa Sanitária Agro-silvopastoril do Estado de Rondônia-. 43ª Campanha de vacinação de febre aftosa promovida pela IDARON, 2017.
- [4] LEPCZYK, C. A., et al., Symposium 18: Citizen Science in Ecology: the Intersection of Research and Education-ESA. *Bulletin of the Ecological Society of America*, 2009.
- [5] FAN, F., CHEN, S. Citizen, Science, and Citizen Science. *East Asian Science, Technology and Society: An International Journal*, v. 13, p. 181-193, 2019.
- [6] TRUMBULL, D. J., et al. Thinking scientifically during participation in a citizen-science project. *Science Education* v. 84, p. 265-275, 2000.
- [7] REED, C.
C., et al. Building flux capacity: Citizen scientists increase resolution of soil greenhouse gas fluxes. *PLoS ONE*: v.13, n.7, 2018.
- [8] DICKINSON, J. L., ZUCKERBERG, B. and BONTER, D. N. Citizen Science as an Ecological Research Tool: Challenges and Benefits. *Annu. Rev. Ecol. Evol. Syst.* v.41, p.149–72, 2010.
- [9] MCGREAVY, B., CALHOUN A. J. K., JANSUJWICZ J., and LEVESQUE V. Citizen science and natural resource governance: program design for vernal pool policy innovation. *Ecology and Society*, v.21, n. 2 p.48, 2016.
- [10] CHARI, R., et al. Community Citizen Science from Promise to Action. RAND Corporation, Santa Monica, Calif., 2019.

- [11] DORIA, C. R. da C. et al. Análise do uso de aplicativo de celular como uma ferramenta para resolver as lacunas de dados na pesca de pequena escala na bacia do Madeira (RO). *Gestão, Inovação e Sustentabilidade em organizações na Amazônia*. Stricto Sensu Editora: 2019.
- [12] CRALL, A. W. The impacts of an invasive species citizen science training program on participant attitudes, behavior, and science literacy. *Public Understanding of Science*, v. 22, n. 6, p. 745–764, 2012.
- [13] MACK, R. N. et al. Biotic Invasions: Causes, Epidemiology, Global Consequences, and Control. *Ecological Applications*, v. 10, n. 3, 2000.
- [14] MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE (MMA), Brasília, 2018. Disponível em: <http://www.mma.gov.br/biodiversidade/biosseguranca/especies-exoticas-invasoras> Acesso em: 17 abril, 2018.
- [15] LOCKWOOD, J. L., HOOPES, M. F.; MARCHETTI, M. P. *Invasion Ecology*. Blackwell, Malden, 2013.
- [16] SOARES, L. M. de A., et al. Tilápia do Nilo: Uma realidade na Amazônia. XXIII EBI- Encontro Brasileiro de Ictiologia: 2019.
- [17] VANDAMME, P. A. The expansion of *Arapaima cf. gigas* (Osteoglossiformes: Arapaimidae) in the Bolivian Amazon as informed by citizen and formal science. *Management of Biological Invasions*: v. 6, n. 4, p. 375–383, 2015.
- [18] LATINI, A. O.; RESENDE, D. C.; POMBO, V. B.; CORADIN, L. (Org.). *Espécies não nativas invasoras de águas continentais no Brasil*. 791 p. (Série Biodiversidade, 39). Brasília, 2016.
- [19] ORTEGA, J. C. G. et al. Fish farming as the main driver of fish introductions in Neotropical reservoirs. *Hydrobiologia*, 2015.
- [20] GUARIDO, P. C. P. Degradação ambiental e presença de espécies de peixes não nativas em pequenos igarapés de terra firme de Manaus. Dissertação (Mestrado) INPA, Manaus /AM, 2014.
- [21] VITULE, J. R. S. Introdução de peixes em ecossistemas continentais brasileiros: revisão, comentários e sugestões de ações contra o inimigo quase invisível. *Neotropical Biology and Conservation*, 2009.
- [22] BEZERRA, L. A. V. et al. A network meta-analysis of threats to South American fish biodiversity. *Fish and Fisheries*: p. 1–20, 2019.
- [23] BITTENCOURT, L. S. et al. Impact of the invasion from Nile Tilapia, non native *Cichlidae* species in tributary of Amazonas River, Brazil. *Revista Biota Amazônia*, Macapá/AP, v. 4, n. 3, p. 88-94, 2014.

- [24] FRASERM.T.D.;GONDIM,S.M.G.Dafaladooutroaotextonegociado:discussõessobre a entrevista na pesquisa qualitativa. Revista Paidéia (UFBA), v. 14 n. 28, p. 139 –152, 2004.
- [25] SEDAM,2018.SecretariadeDesenvolvimentoAmbientaldoEstadosdeRondônia.Dadosreq ueridosvia ofício,2018.
- [26] VITULE, J. R. S.; PRODOCIMO, V. Introdução de espécies não nativas e invasõesbiológicas.Estud. Biol.,AmbienteDivers: v. 34 p.225-237, 2012.
- [27] LOWRY, E. et al. Biological invasions: a field synopsis, systematic review, and databaseoftheliterature. Ecologyand Evolution, 2013.
- [28] MACEDA-VEIGA, A., ESCRIBANO-ALACID, J., MARTÍNEZ-SILVESTRE, A. et al. Biol. Invasions, 2019.
- [29] SILVA, A. F., SILVA-FORSBERG, M. C. Espécies não nativas invasoras e seus riscos aAmazônia. ScientiaAmazonia v.4, n.2, p. 114-124, 2015.
- [30] ORSI, M. L. et al. Influência da introdução de *Oreochromis niloticus*, na estrutura depopulações de peixes de um riacho da bacia do rio Tibagi. In: MMA (Org.) Espécies nãoativasinvasoras deáguas continentais noBrasil.Brasília, 2016.
- [31] NOBILE, A. B. et al. Status and recommendations for sustainable freshwater aquacultureinBrazil. Wiley Publishing Asia Pty Ltd: p.1 -23, 2019.
- [32] LIMA JR., D. P. et al. Aquaculture expansion in Brazilian freshwaters against the Aichi.BiodiversityTargets.Royal SwedishAcademy ofSciences, Ambio,2017.
- [33] BRABO, M. F. et al. Visão técnica da gestão ambiental da piscicultura no nordeste doestadodoPará.RevistaActaofFisheriesandAquaticResources,v.5n.2,p.11-18,2017.
- [34] BRABO, M. F. et al. Potencial invasor de *O. niloticus* (*Oreochromis niloticus*) emmicrobacias hidrográficas do Nordeste paraense, Amazônia, Brasil. Magistra, Cruz dasAlmas– BA: v. 27, n.2, p.227-234, 2015.
- [35] VITULE, J.R.S. et al. Intra-country introductions unraveling global hotspots of alien fishspecie.Biodiversity andConservation: v.28, p.3037–3043, 2019.
- [36] RONDÔNIA(Estado).Lei3.437de9desetembrode2014.Dispõesobreaaquiculturanoestado de Rondônia e dá outras providências. Diário Oficial do Estado de Rondônia, n.2538, 2014.
- [37] CAVALI, J. Classification and tipification system for fish in Rondônia. Organization oftradechain. Fapero Project 077. Inprocess. 2018.
- [38] DAGA,V. S.;GUBIANI,E. A.;CUNICO,A. M.;BAUMGARTNER,G.Effectsofabioticvariables on the distribution of fish

assemblages in streams with different anthropogenic activities in southern Brazil. *Neotropical Ichthyology*, v.10, n.3, 2012.

- [39] CHANDLER M. et al. Involving Citizen Scientists in Biodiversity Observation. In: WALTERS and R. J. SCHOLLES (Org.), *The GEO Handbook on Biodiversity Observation Networks*, Johannesburg South Africa: Springer Nature, 2017.
- [40] LEE, T., M. S. QUINN and D. DUKE. Citizen, science, highways, and wildlife: using a web-based GIS to engage citizens in collecting wildlife information. *Ecology and Society*, 2006.
- [41] TIAGO, P.M.N. Improving citizen science as a tool for biodiversity monitoring. (Doutoramento em Biologia, Biodiversidade). UNIVERSIDADE DE LISBOA FACULDADE DE CIÊNCIAS, Lisboa/Portugal, 2017.

CAPÍTULO 2

ANÁLISE DOS EFEITOS DA LEGISLAÇÃO VIGENTE SOBRE ESPÉCIES EXÓTICAS NA AMAZÔNIA LEGAL BRASILEIRA³

³ Capítulo aceito na Revista *Veredas do Direito* publicação prevista para a edição de agosto/2021 e formatado conforme suas normas. *Qualis* Capes A1

ANÁLISE DOS EFEITOS DA LEGISLAÇÃO VIGENTE SOBRE ESPÉCIES EXÓTICAS NA AMAZÔNIA LEGAL BRASILEIRA

Lariesssa Moura de Araújo Soares
Universidade Federal de Rondônia (UNIR)

Neiva Araujo
Universidade Federal de Rondônia (UNIR)

Jean Ricardo Simões Vitule
Universidade Federal do Paraná (UFPR)

Carolina Rodrigues da Costa Doria
Universidade Federal de Rondônia (UNIR)

RESUMO

O presente estudo analisou as normas para criação das espécies exóticas de peixes, sua relação com o avanço da pressão de propágulos e com o Objetivo 15 da Agenda de Desenvolvimento Sustentável das Nações Unidas. Os objetivos focais desta pesquisa foram concatenar e relacionar: (1) as legislações vigentes dos estados da Amazônia Legal e a legislação federal em relação a piscicultura; (2) os dados da produção de *Oreochromis niloticus* – tilápia-do-Nilo, como *proxy* da pressão de propágulos. As normativas estaduais divergem umas das outras e destoam das diretrizes federais e de tratados internacionais. Esse fato, associado com a necessidade de fiscalização nesse tema, parece promover o avanço desordenado da aquicultura de espécies exóticas sem a contenção adequada para evitar seus escapes e de seus patógenos, o que constitui grande risco para os ecossistemas adjacentes. Esse cenário evidencia a necessidade de diálogo entre os setores do legislativo, em diferentes níveis, e destes com os órgãos executivos e os aquicultores. Uma solução plausível passa, inexoravelmente, pela substituição de espécies exóticas por espécies, fenótipos e genótipos nativos da bacia do rio ou sub-bacias em que há o cultivar e aderência estrita ao Sistema de Monitoramento Ecológico (i.e., planejar, fazer, verificar, agir), que é uma série de práticas direcionadas para reduzir impactos ambientais de atividades humanas.

Palavras-chave: não nativas; espécies invasoras de peixes; invasões biológicas; legislação ambiental; pressão de propágulos; objetivos de desenvolvimento sustentável (ODS). Tilápia-do-Nilo

ANALYSIS OF THE EFFECTS OF CURRENT LEGISLATION ON ALIEN SPECIES IN THE BRAZILIAN LEGAL AMAZON

ABSTRACT

*The present study analyzed the norms for breeding exotic species, their relationship with the advance of pressure from propagules and with Goal 15 of the Sustainable Development Agenda of the United Nations. The main objectives of this research were to concatenate and relate: (1) the legislation in force in the states of the Legal Amazon and the federal legislation; (2) data on the production of *Oreochromis niloticus*, as a proxy for the pressure of propagules. State regulations diverge from each other and conflict with federal guidelines and international treaties. This, associated with the lack of inspection, seems to promote the disorderly advance of aquaculture of exotic species without adequate containment to prevent the escape of these and their pathogens. This poses great risk to adjacent ecosystems. This scenario highlights the lack of dialogue between the legislative sectors at different levels and these with the executive bodies and aquaculture. A plausible solution inexorably involves the replacement of exotic species by species, phenotypes and genotypes native to the river basin or sub-basins where the cultivar is located; and strict adherence to the Ecological Monitoring*

System (i.e. Plan, Do, Verify, Act), which is a series of practices aimed at reducing environmental impacts of human activities.

Keywords: *biological invasions, environmental legislation, non-native fish species, sustainable development goals (SDG).*

INTRODUÇÃO

No Brasil, a Lei n. 11.959/2009 trata da Política Nacional de Desenvolvimento Sustentável da Aquicultura e da Pesca, porém não há detalhamento no que concerne à criação de espécies exóticas em águas públicas continentais. Entretanto, há mais de 70 atos normativos relacionados a espécies exóticas invasoras (Leis estaduais, Resoluções do CONABIO e do CONAMA, Portarias do MMA) que tratam do tema e o normatizam. Considera-se um norteador geral às medidas adotadas em âmbito nacional a Convenção Sobre a Diversidade Biológica (CDB), da qual o Brasil foi o primeiro signatário. A CDB está focada em três pilares: a conservação da diversidade biológica, o uso sustentável da biodiversidade e a repartição justa e equitativa dos benefícios provenientes da utilização dos recursos genéticos.

Lacunas na regulamentação de criação de espécies exóticas favorecem o incremento da pressão de propágulos, o que pode subjugar a resistência biótica dos ecossistemas naturais, aumentando o risco de invasão dessas espécies e seus parasitas/patógenos em compartimentos aquáticos naturais ou seminaturais, colocando em risco a segurança hídrica e a conservação da biodiversidade e dos recursos pesqueiros em regiões de alta diversidade, como a Amazônia Legal. Nesse sentido, o objetivo deste estudo foi analisar a influência das legislações vigentes nos estados da Amazônia Legal sobre o avanço da criação de espécies exóticas invasoras na região, com foco na *Oreochromis niloticus* (Linnaeus 1758) e ambiente aquático como um todo, além de elucidar os conflitos relacionados com a legislação da piscicultura na Amazônia Legal, promover discussões sobre boas práticas e alternativas sustentáveis. Nesse contexto, a análise perpassa pela compreensão do tema de maneira holística, a partir dos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS), da legislação federal e normativas estaduais, com o intuito de ponderar a execução das metas diante do desafio da prevenção em manejo de espécies exóticas invasoras e da segurança hídrica nacional.

1 METODOLOGIA

A pesquisa considerou fontes de dados:

- O Anuário Brasileiro da Piscicultura da Associação Brasileira da Piscicultura (ABP, 2020) para obtenção da produção de *O. niloticus*, em toneladas, por estado.

- O Censo Agropecuário 2017, do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE, 2017), para obtenção do número total de pisciculturas e número de pisciculturas de *O. niloticus*.
- As normativas legais vigentes disponíveis nos sites de publicação do *Diário Oficial* dos estados do Acre, Amapá, Amazonas, Roraima, Rondônia, Mato Grosso, Maranhão, Tocantins e Pará, além da legislação federal e sites dos órgãos ambientais responsáveis pelo tema.

Após o levantamento dos dados, realizou-se uma análise descritiva (com ênfase nas espécies exóticas) das legislações vigentes dos estados que integram a Amazônia Legal e avaliou-se a adequação destas para o cumprimento da meta 15.8 dos ODS: “[...] implementar até 2020, [...] medidas para evitar a introdução e reduzir significativamente o impacto de espécies exóticas invasoras em ecossistemas terrestres e aquáticos” (ONU, 2020).

2 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Na Amazônia Legal, todas as Unidades da Federação permitem, por lei, o cultivo de espécies exóticas, no entanto elas divergem em alguns aspectos. A permissão/licença para criação de espécies exóticas é um ponto em comum, porém as modalidades para obter a liberação diferenciam entre os estados; a permissividade legal se choca com o compromisso do Brasil em cumprir o ODS 15.8⁴, uma vez que não cria barreiras legais à introdução das espécies exóticas de alto potencial invasor e com grande histórico de impactos ecológicos, como é o caso de *O. niloticus* (e.g. CHARVET *et al.* 2021, OCCHI *et al.*, 2021).

Tabela 1 – Legislações vigentes, número total de pisciculturas e número de pisciculturas e produção de *O. niloticus* dos estados da Amazônia Legal.

Estado	Legislação vigente	Permite criação de exóticas	Número total de pisciculturas*	Produção de <i>O. niloticus</i> (em toneladas)**	Número de pisciculturas de <i>O. niloticus</i> *
Acre	Lei n. 1.117/1994 e Lei n. 1.235/1997	SIM	10.195	64	834
Amapá	Lei n. 898/2005	SIM	477	84	97
Amazonas	Lei n. 4.330/2016	SIM	4.555	0	146

⁴ A ODS 15 tem como objetivo proteger, recuperar e promover o uso sustentável dos ecossistemas terrestres, gerir de maneira sustentável as florestas, combater a desertificação, deter e reverter a degradação da terra e deter a perda de biodiversidade. ODS 15.8 Até 2020, implementar medidas para evitar a introdução e reduzir significativamente o impacto de espécies exóticas invasoras em ecossistemas terrestres e aquáticos, e controlar ou erradicar as espécies prioritárias.

Maranhão	Lei n. 5.405/1992	SIM	22.229	4.019	2.693
Mato Grosso	Lei n. 10.669/2018	SIM	11.973	3.100	695
Pará	Lei n. 6.713/2005	SIM	17.170	383	3.089
Rondônia	Lei n. 3.437/2014	SIM	11.033	0	1.279
Roraima	Lei n. 007/1994	SIM	1.592	0	189
Tocantins	Lei n. 13/1997	SIM	2.334	35	151
Total	-	-	81.558	7.685	9.173

* IBGE (2017)

** ABP (2020)

2.1 Legislação federal

A Lei n. 11.959/009, que dispõe sobre a Política Nacional de Desenvolvimento Sustentável da Aquicultura e da Pesca, faz apenas uma citação sobre a criação de espécies exóticas, em seu art. 22: “[...] a criação de espécies exóticas, é responsabilidade do aquicultor assegurar a contenção dos espécimes no âmbito do cativeiro, impedindo seu acesso às águas de drenagem de bacia hidrográfica brasileira” (BRASIL, 2009a).

A necessidade de controle e de erradicação das espécies exóticas que ameacem os ecossistemas, habitats ou espécies é tratada na Convenção sobre Diversidade Biológica (BRASIL, 2009b), um tratado internacional multilateral que discorre sobre a proteção e uso da diversidade biológica em cada país signatário. O Brasil ratificou tal tratado e abordou a questão na Política Nacional da Biodiversidade (Decreto n. 4.339/2002, que institui princípios e diretrizes para a implementação da Política Nacional da Biodiversidade), no Decreto n. 4.703/2002 (que dispõe sobre o Programa Nacional da Diversidade Biológica – PRONABIO e a Comissão Nacional da Biodiversidade), na Lei Federal n. 13.123/2015 (que trata do acesso ao patrimônio genético, sobre a proteção e o acesso ao conhecimento tradicional associado e sobre a repartição de benefícios para conservação e uso sustentável da biodiversidade) e no Decreto n. 10.235/2020 (que altera o Decreto n. 4.703/2003).

Além disso, a Resolução 05 de 21/10/2009, da CONABIO, trata da Estratégia Nacional sobre Espécies Exóticas Invasoras, ressaltando a necessidade de ações protetivas com intuito de:

Prevenir e mitigar os impactos negativos de espécies exóticas invasoras sobre a população humana, os setores produtivos, o meio ambiente e a biodiversidade, por meio do planejamento e execução de ações de prevenção, erradicação, contenção ou controle de espécies exóticas invasoras com a articulação entre os órgãos dos

Governos Federal, Estadual e Municipal e a sociedade civil, incluindo a cooperação internacional (BRASIL, 2009b).

No que se refere ao licenciamento ambiental no âmbito federal, a Resolução n. 413, de 26 de julho de 2009, do Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA), diz: “A atividade de aquicultura somente será permitida quando houver a utilização de espécies autóctones ou nativas, ou, no caso de espécies alóctones ou exóticas, quando constar de ato normativo federal específico que autorize a sua utilização” (CONAMA, 2009); essa redação foi alterada pela Resolução n. 459/2013 do próprio CONAMA, que, em seu art. 9º, autoriza a utilização de espécie alóctone ou exótica, desde que sejam apresentadas medidas de mitigação dos impactos potenciais, para obtenção de licença ambiental única. Nessa resolução são descritas medidas necessárias para que os impactos sejam mitigados, tais como: qual manejo e equipamentos serão utilizados para evitar escapes em ambiente natural em todas as etapas da criação; técnicas que evitem reprodução dos indivíduos em caso de escape; medidas de contenção de parasitas e patógenos referentes às espécies cultivadas; monitoramento da atividade e ações para reverter ou compensar os impactos ambientais que venham a ocorrer, causados pela espécie (CONAMA, 2013).

Na Portaria n. 3, de 16 de agosto de 2018 (BRASIL, 2018), foi instituído o Plano de Implementação da Estratégia Nacional para Espécies Exóticas Invasoras, que delimitou a atuação para execução da estratégia, com duração de 12 anos. O objetivo principal é “orientar a implementação de medidas para evitar a introdução e a dispersão e reduzir significativamente o impacto de espécies exóticas invasoras sobre a biodiversidade brasileira e serviços ecossistêmicos, controlar ou erradicar espécies exóticas invasoras”.

No escopo da estratégia, foram definidas ações importantes de prevenção, erradicação, controle e monitoramento das espécies exóticas invasoras, sendo utilizados instrumentos de gestão participativa, em que o acompanhamento foi realizado por redes de colaboradores, para detecção prévia antes de seu estabelecimento e/ou invasão (BRASIL, 2018).

A importância do tema é também demonstrada com a criação da Câmara Técnica Permanente sobre Espécies Exóticas Invasoras (CTPEEI), vinculada à Comissão Nacional de Biodiversidade (Deliberação CONABIO n. 49, de 30 de agosto de 2006). Essa Câmara é composta por diversos órgãos nos âmbitos federal e estaduais, com objetivo de disseminar informações sobre os impactos e as consequências decorrentes dessas invasões; integrar diversos setores públicos e privados; proteger ecossistemas; controlar ou erradicar espécies exóticas que ameacem ecossistemas, habitats ou espécies; e, o mais importante, normatizar a gestão do uso das espécies exóticas invasoras no país, gerando instrumentos de Resoluções no

âmbito da CONABIO e do CONAMA, uma vez que, fiscalizadas e regulamentadas, as autorizações de introdução de espécies exóticas podem ser monitoradas pelos órgãos responsáveis (BRASIL, [s.d.]).

2.2 Legislações estaduais

2.2.1 Estado do Acre

No Acre, as Leis n. 1.117, de 26/01/1994, e n. 1.235, de 09/07/1997, vedam a introdução de espécies exóticas nos corpos d'água de domínio público existentes no estado, bem como em quaisquer corpos d'água que mantenham conexão com estes, de espécies exóticas de fauna e de flora aquáticas, sem prévia autorização do órgão ambiental, sendo atribuição deste controlar e prevenir a introdução de espécies exóticas no território estadual (ACRE, 1994; ACRE, 1997).

Porém, apesar de leis vigentes proibirem a introdução de espécies exóticas, o Conselho Estadual de Meio Ambiente, Ciência e Tecnologia do Acre (CEMACT) elaborou a Resolução 03, de 17/08/2010, autorizando o cultivo da espécie *O. niloticus* no Acre, para fins de aquicultura; para tanto, são necessários tanques específicos, sendo vedado o cultivo em ambientes aquáticos naturais, inclusive em represamento de cursos d'água (ACRE, 2010).

2.2.2 Estado do Amapá

A Lei n. 898, de 14/06/2005 (art. 26) e a Lei Complementar n. 5, de 18/08/1994 (art. 76), proíbem, sem anterior autorização do Órgão Ambiental responsável, a introdução de qualquer espécie de peixe exótica ou alóctone, em qualquer estágio de desenvolvimento no Amapá (AMAPÁ, 2005; AMAPÁ 1994).

A Lei n. 898, de 14/06/2005, define como espécies exóticas indivíduos da ictiofauna que não tenham origem genética na bacia hidrográfica à qual o empreendimento está localizado. O art. 8º proíbe a utilização de espécies exóticas (aquelas que não têm origem genética na bacia hidrográfica do empreendimento) e alóctones para fins de povoamento e repovoamento. Porém, a criação de peixes depende de licenciamento ambiental, sendo o Instituto do Meio Ambiente e de Ordenamento Territorial do Amapá (IMAP) o órgão responsável pelo procedimento (AMAPÁ, 2005).

A referida Lei considera o impacto ambiental decorrente da aquicultura, a introdução de espécies exóticas – animal ou vegetal – que possam alterar a frequência natural de ocorrência das populações ou as possibilidades de sobrevivência de qualquer espécie nativa, bem como a introdução de espécies exóticas que possam alterar a natureza genética das espécies nativas, chamadas “contaminação genética”. Porém, excluem-se desse panorama

aquicultores que realizem criação e comercialização de espécies que, mesmo sendo exóticas, são destinadas à ornamentação e aquariofilia (criação de peixes em aquários) e/ou exportação, desde que as instalações sejam em sistema fechado (não inserido em cursos d'água) (AMAPÁ, 2005).

2.2.3 Estado do Amazonas

O estado do Amazonas regulamenta a criação de espécies exóticas por meio da Lei n.4330, de 30/05/2016, que define espécie exótica ou alóctone como aquela que não ocorre ou não ocorreu naturalmente em determinada bacia hidrográfica, em qualquer fase de desenvolvimento (AMAZONAS, 2016).

Essa lei também considera as irregularidades ambientais na atividade de aquicultura, a introdução de espécies exóticas não detectadas na bacia hidrográfica, sem que haja prévia autorização do órgão ambiental estadual competente (AMAZONAS, 2016). Essa autorização se dá após avaliação do grau de risco de escape, dos sistemas de contenção instalados e do nível de risco que a espécie representa ao meio ambiente (AMAZONAS, 2016).

2.2.4 Estado do Maranhão

No Maranhão, a Lei Estadual n. 5.405, de 08/04/92, trata da proteção ambiental, veda a introdução, nos corpos d'água estaduais, de espécies exóticas da fauna e flora aquáticas, sem prévia autorização do órgão ambiental competente (MARANHÃO, 1992).

As pisciculturas são licenciadas pela Secretaria do Meio Ambiente (SEMA); os parâmetros são regulamentados pela Portaria n. 10 de 17/01/2013 e os dispositivos tratam da dispensa de licenciamento (MARANHÃO, 2013).

De acordo com a Portaria n. 10, de 17/01/2013, empreendimentos até dois hectares de lâmina de água poderão ser dispensados do licenciamento ambiental, mediante solicitação no referido órgão, via preenchimento de formulário específico. Esse formulário inclui a *O. niloticus*, entre outras espécies exóticas. Define também espécie alóctone como aquela que não ocorre naturalmente na bacia hidrográfica considerada (MARANHÃO, 2013), não havendo menção às espécies exóticas.

Já a Lei Estadual n. 10.535, de 07/12/2016, trata especificamente da fauna silvestre exótica, definindo-a como “indivíduos pertencentes às espécies cuja distribuição geográfica original não inclui o território brasileiro, ou que foram nele introduzidas, pelo homem ou espontaneamente, em ambiente natural inclusive as espécies asselvajadas, excetuando-se as espécies nativas” (MARANHÃO, 2016).

Fica claro que o órgão ambiental deverá conceder autorização para a criação desses indivíduos, porém a Portaria n. 10, de 17/01/2013, concede dispensa de licenciamento até

2hectares; já a Lei n. 10.535, de 07/12/2016, determina que será de caráter simplificado o licenciamento ambiental até 50 espécimes no plantel, sendo os demais casos licenciados de maneira convencional.

2.2.5 Estado do Mato Grosso

O estado do Mato Grosso prevê, na Lei n. 10.669, de 16/01/2018 (MATO GROSSO, 2018) que, quando a piscicultura tiver como alvo produção de peixes e alevinos híbridos, das espécies exóticas, nativas e alóctones, deve ser feita em viveiros escavados, represas, tanques-rede e sistemas fechados. Já a Lei n. 11.129, de 13/05/2020 (MATO GROSSO, 2020), destaca que as espécies exóticas e alóctones não se enquadram no licenciamento ambiental simplificado.

O Decreto n. 337, de 23/12/ 2019 (MATO GROSSO, 2019), define espécie alóctone ou exótica como aquelas que não ocorrem ou não ocorreram naturalmente, sendo que elas podem ter seu cultivo autorizado (por exemplo, a *O. niloticus*) mediante requerimento no órgão ambiental. Decretos sobre licenciamento ligados à piscicultura: Decreto n. 8.149/2006, que foi alterado pelo Decreto n. 1.190/2017. Para o licenciamento convencional, existem pré-requisitos como:

[...] mecanismos de proteção contra a fuga dos organismos aquáticos, construídos com materiais resistentes à corrosão, tração e ação mecânica de predadores, de forma a evitar seu rompimento, devendo-se ter especial cuidado durante seu transporte, reparo e manejo, visando assegurar o não escape destas espécies em suas diferentes fases de desenvolvimento.

Em referência ao licenciamento ambiental, apenas algumas espécies exóticas são autorizadas, tais como: carpa-capim (*Ctenopharyngodon idella*), tilápia-do-Nilo (*O. niloticus*), camarão branco do Pacífico (*Litopenaeus vannamei*), entre outras, sendo necessário, além do órgão ambiental, manifestação do Instituto de Defesa Agropecuária do Estado de Mato Grosso (INDEA/MT) (MATO GROSSO, 2019).

2.2.6 Estado do Pará

Em referência à proteção da fauna silvestre, a Lei n. 5.977, 1996 veda a introdução de espécies exóticas em locais de domínio público, ou seja, em cursos d'água de uso coletivo, sem prévia e expressa autorização e controle de órgão ambiental estadual (PARÁ, 1996). Essa legislação especifica apenas os locais supracitados.

A pesca e a aquicultura são regulamentadas pela Lei n. 6.713, de 25/01/2005 (PARÁ, 2005), sendo ilegal o cultivo de espécies exóticas em sistemas abertos (que têm conexão com cursos d'água), não havendo especificação sobre outros sistemas, baseando-se em normativas federais para regularização de pisciculturas criadoras de espécies exóticas em outros sistemas

(BRABO et al., 2017). A Instrução Normativa n. 004/2013 complementa e define que o cultivo de espécies exóticas não pode ser objeto da dispensa de licenciamento ambiental e os empreendimentos aquícolas, mesmo de pequeno porte, que realizem esse cultivo devem realizar licenciamento convencional (PARÁ, 2013).

A Resolução COEMA n. 143/2018 trata diretamente do cultivo de espécies exóticas no estado do Pará. No tocante aos critérios para a criação, tem-se que: deve ser feita em sistemas fechados; obtenção e produção de peixes com reversão sexual certificada; proteção para evitar aves predadoras e destinação adequada dos efluentes, ampliando para sistemas parcialmente fechados caso o licenciamento constate que haverá contenção das espécies criadas (PARÁ, 2018).

2.2.7 Estado de Rondônia

Em Rondônia, a Lei n. 3.437, de 09/09/2014 trata das regras para aquicultura, inclusive para a criação de espécies exóticas (RONDÔNIA, 2014). Segundo a referida Lei, a criação de exóticas, alóctone e híbridas

[...] será de total responsabilidade do aquicultor, a quem compete assegurar a eficiente contenção, que só poderá ocorrer em viveiros escavados, em sistemas que impeçam o acesso dos espécimes, em qualquer fase de desenvolvimento, às águas de drenagem das bacias hidrográficas de Rondônia. O aquicultor também tem a incumbência de instalar barreiras físicas, biológicas ou químicas, para evitar escapes de peixes (RONDÔNIA, 2014).

O requerente, nessa modalidade, deve apresentar Plano de Controle Ambiental, haja vista o alto impacto da atividade. O cultivo de peixes híbridos (provenientes de cruzamentos entre espécies) de espécies alóctones e exóticas é proibido em Áreas de Preservação Permanente (APP), onde também é proibida a soltura em corpos d'água (RONDÔNIA, 2014). O art. 38, da Lei n. 3.437/2014, prevê também multas àqueles que importarem ou exportarem quaisquer espécies aquáticas, independentemente do estágio de evolução, estipulando a obrigatoriedade de licenciamento do órgão ambiental para a introdução de espécies nativas ou exóticas em águas Estaduais (RONDÔNIA, 2014).

2.2.8 Estado de Roraima

Roraima contempla a questão das espécies exóticas na Lei Complementar n. 7, de 26/08/1994. Há vedação à introdução de espécies exóticas da fauna e flora aquáticas, sem prévia autorização do órgão ambiental competente (RORAIMA, 1994). Em uma normativa mais recente, a Lei n. 516, de 10 /01/ 2006, art. 23, vedam-se a produção, a criação e a engorda de espécies exóticas e de espécies não originárias da bacia hidrográfica correspondente, sem autorização da Fundação Estadual do Meio Ambiente, Ciência e Tecnologia (FEMACT) (RORAIMA, 2006).

Porém, a Resolução 01, de 02/04/2018, do Conselho Estadual de Meio Ambiente, Ciência e Tecnologia de Roraima (CEMACT-RR), regulamenta as criações, prevendo a dispensa de licença ambiental a áreas inundadas de até cinco hectares, não fazendo especificação das espécies (RORAIMA, 2018).

2.2.9 Estado do Tocantins

No Tocantins, a regulamentação das atividades de pesca, aquicultura e piscicultura é regida pela Lei n. 13, de 18 /07/1997, que veda a criação e a introdução de espécies exóticas sem licenciamento prévio do Instituto Natureza do Tocantins (NATURATINS (TOCANTINS, 1997). O estado considera espécie exótica aquela que, além da não ocorrência na região, apresenta características extravagantes e distintas das demais espécies (TOCANTINS, 1997).

A Resolução do Conselho Estadual do Meio Ambiente do Estado do Tocantins (COEMA/TO) trata diretamente do licenciamento ambiental no estado, citando a espécie exótica Tilápia-do-Nilo (*O. niloticus*) como a única permitida; para licenciamento, devem ser informados os métodos de controle da disseminação de espécies exóticas e alóctones a serem empregados durante o cultivo (TOCANTINS, 2018).

A mesma Resolução exige medidas mitigadoras para implantação do empreendimento, tais como:

Descrição de procedimentos de manejo com o objetivo de evitar os escapes da espécie dos criatórios, inclusive nas etapas de transporte, criação e manuseio nas fases, com atenção especial na classificação por tamanho e manipulação dos juvenis, contendo as respectivas estratégias de implementação (TOCANTINS, 2018).

A atividade de criação de exóticas, especificamente *O. niloticus*, é permitida na bacia do Tocantins em diferentes modalidades: tanque rede em reservatório, barragens de derivação e acumulação, pesque-pague, viveiro escavado/tanque e tanque elevado suspenso (TOCANTINS, 2018).

2.3 Legislações estaduais e o cumprimento do ODS 15

O cumprimento do ODS 15, em especial da meta 15.8, perpassa pelo desenvolvimento de um sistema de alerta e detecção precoce de espécies exóticas invasoras, tendo, entre outras ações, a “consolidação de uma lista nacional de espécies exóticas invasoras e a elaboração e aplicação de protocolos de análise de risco para a importação de espécies”, bem como o “registro de produtos à base de agentes biológicos e microbiológicos de controle”, motivos pelos quais não houve qualquer alteração à redação da meta 15.8 (IPEA, 2020).

No Brasil, a Lei n. 11.959/2009, que trata da Política Nacional de Desenvolvimento Sustentável da Aquicultura e da Pesca, em seu art. 22, trata de espécies exóticas, porém não há detalhamento no que concerne à criação de espécies exóticas em águas públicas continentais (BRASIL, 2009a). No entanto, há documentos que tratam do tema e o normatizam. Considera-se um norteador às medidas adotadas em âmbito nacional a CDB, que está focada nos três pilares citados anteriormente.

No âmbito nacional, o Decreto n. 4.339 e a CDB instituem os princípios e diretrizes para a implementação da Política Nacional da Biodiversidade (BRASIL, 2002). A Lei n. 9.605, 1998, cita as sanções penais para a introdução de espécie animal no Brasil, sem parecer técnico oficial favorável e licença expedida por autoridade competente (IBAMA, 1998), não instituindo parâmetros sobre as autorizações em nível federal. Como demonstrado, muitos estados não acompanham as diretrizes federais.

A atual legislação rondoniense permite a criação de espécies exóticas, desde que a propriedade seja licenciada e obedeça a regras mínimas de manejo (barreiras físicas, biológicas ou químicas) que evitem o escape para o ambiente natural (RONDÔNIA, 2014). Contudo, até o ano de 2018 não havia registros, pelo órgão ambiental, de propriedades com criação de espécies exóticas, apesar de haver registros de tal produção no estado por outros órgãos (IBGE, 2017). Relatos orais de ocorrência no estado de espécies invasoras em ambiente natural, tais como o Pirarucu, *Araiapama gigas* (CATÂNEO, 2019), e de *O. niloticus* sugerem ter ocorrido falhas no registro, por se tratar de uma espécie exótica de cultivo sem autorizações de criação no estado (SOARES *et al.*, 2020).

As legislações vigentes, tanto federais quanto estaduais, apresentam muitas brechas, com liberação da criação e limitada cobrança no licenciamento, como, por exemplo, a exigência de barreiras de proteção aos escapes em cursos d'água. No Amapá, é proibida a utilização de espécies exóticas e alóctones para fins de povoamento e repovoamento e sua introdução de alto impacto ambiental (AMAPÁ, 2005). No Pará, ocorre dispensa de licenciamento ambiental para empreendimentos de pequeno porte (PARÁ, 2013).

Em Roraima (RORAIMA, 2018) e Maranhão (MARANHÃO, 2016), como citado anteriormente, necessita-se de autorização do órgão ambiental para criação. O Acre tem uma resolução específica, que autoriza a criação de *O. niloticus* em sistemas fechados, desde que licenciada (ACRE, 2010). No Tocantins, a criação de espécies exóticas necessita de autorização/licenciamento do órgão ambiental (TOCANTINS, 1997). No Amazonas, a autorização se dá com base no grau de risco de escape (AMAZONAS, 2016). No Mato Grosso, além do órgão ambiental, o órgão de defesa agropecuária também se manifesta na instrução processual (MATO GROSSO, 2019).

O resultado dessa mescla de diferentes legislações é que, atualmente, na Amazônia Legal, cerca de 10% das pisciculturas existentes (9.173) produzem de *O. niloticus* (IBGE, 2017) (Tabela 1). Esses valores podem ainda estar subestimados, de acordo com Latini (2016) e Soares *et al.* (2020), o que é temeroso, pois *O. niloticus* é um peixe altamente invasivo e com grande potencial de impactos, que afeta uma variedade de ecossistemas, particularmente aqueles localizados nos trópicos (ISSG, 2020; CHARVET *et al.*, 2021; OCCHI *et al.*, 2021).

A ocorrência de *O. niloticus* na Amazônia em ambientes naturais foi registrada por Guarido (2014) e Soares *et al.* (2019), que verificaram que a espécie se estabelece em cursos d'água antropizados, com baixa qualidade ambiental (água, fatores bióticos e abióticos). O impacto de espécies exóticas, como *O. niloticus*, no bioma Amazônia pode gerar grandes mudanças na ictiofauna local, introduzir parasitos e doenças e ameaçar a segurança hídrica como um todo, visto que, a partir de seu estabelecimento, pode ocorrer substituição da ictiofauna nativa pela invasora, o que representa diminuição da diversidade íctica local (BITTENCOURT *et al.*, 2014).

Apesar de a legislação federal sinalizar a proibição da criação de espécies exóticas, os estados amazônicos proíbem em alguns pontos, porém deixam brechas, tais como criações em tanque rede, permissão para algumas espécies com alto poder invasivo, dispensa de licenciamento por área, sem especificar espécies, em represamento de curso d'água, entre outros. Legislações nessa linha não acompanham as metas de biodiversidade de Aichi5 (as proposições são todas voltadas à redução da perda da biodiversidade em âmbito mundial), das quais o Brasil é signatário, pois geram políticas insustentáveis, não promovem melhores práticas e não seguem princípios de sustentabilidade (LIMA JÚNIOR, 2018), além de contribuir negativamente para as mudanças da diversidade íctica (NOBILE *et al.*, 2019).

Além das brechas na legislação, as falhas existentes na execução da legislação, tais como a obrigatoriedade do licenciamento das propriedades com pisciculturas, dificultam o monitoramento e o controle. Estados como Amazonas, Rondônia e Roraima, por exemplo, não apresentam registros oficiais de produção de *O. niloticus* (ABP, 2020), divergindo dos dados apresentados pelo Censo do IBGE e PEIXEBR, que indicam a existência de pisciculturas de *O. niloticus* nos referidos estados (IBGE, 2017; PEIXEBR, 2019).

Essa diferença de valores entre órgãos responsáveis pelo monitoramento e fiscalização é uma preocupação demonstrada por Soares *et al.* (2020) em Rondônia, visto que no estado já foram observados nove pontos de ocorrência de *O. niloticus* em ambiente natural, possivelmente resultantes de falhas na aplicação das legislações vigentes quanto ao registro

⁵Durante a 10ª Conferência das Partes na Convenção da Diversidade Biológica (COP-10), ocorrida em Nagoya (Província de Aichi, Japão), em 2010, os países membros definiram 20 metas para salvaguardar a biodiversidade do planeta: as Metas de Aichi.

das atividades aquícolas das propriedades e ao uso de práticas adequadas de manejo que impeçam o escape de exemplares (DORIA *et al.*, 2021).

O cumprimento efetivo da legislação vigente sobre a aquicultura e seus processos, como licenciamento ambiental, autorizações e o próprio sistema de cultivo, além das legislações sobre invasões biológicas e dos tratados de cooperação internacionais, é essencial para a manutenção da biodiversidade (VITULE, 2009).

CONCLUSÃO

As diferentes legislações destoam das diretrizes federais no tocante à preservação da biodiversidade local e influenciam no avanço da criação de espécies exóticas, o que, associado à fiscalização não focada no tema e aplicação inadequada das legislações, pode facilitar a ocorrência de invasões biológicas na região da Amazônia Legal.

Esse cenário se contrapõe ao estabelecido na meta 15.8 do ODS 15, em que seria prioritário implementar medidas para evitar a introdução e reduzir significativamente o impacto de espécies exóticas invasoras em ecossistemas terrestres e aquáticos, visto que as legislações vigentes não dão suporte à efetivação da meta, pela ausência de direcionamento conjunto nas ações, principalmente no que se refere à contenção do avanço das espécies exóticas em ambientes naturais.

Diante das possíveis ameaças decorrentes da invasão de *O. niloticus* na região, sugere-se que os estados da Amazônia Legal, por compartilharem dos mesmos recursos hídricos, discutam, em conjunto, as legislações e ações pertinentes às espécies exóticas e aumentem a fiscalização de sua execução, a fim de evitar novas invasões irregulares nos ambientes aquáticos da região norte do país.

Finalmente, salienta-se que, para uma aquicultura de fato sustentável na Amazônia, é necessário um investimento massivo na substituição das espécies exóticas por espécies, fenótipos e genótipos nativos (i.e., nativo da bacia do rio ou sub-bacias onde há o cultivar) e aderência estrita ao Sistema de Monitoramento Ecológico e boas práticas de planejamento, ações e verificações constantes (NOBILE *et al.*, 2019), que consistem em uma série de práticas direcionadas para reduzir impactos ambientais de atividades humanas (*e.g.* EPA, 2017. Em: <https://www.epa.gov/ems>). Além disso, há a necessidade de que comitês de pesca e/ou aquicultura atuem de maneira integrada e consistente, em todo o bioma amazônico, para a execução da ODS 15, atendendo ao compromisso do Brasil em cumpri-la.

REFERÊNCIAS

ABP – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DA PISCICULTURA. *Anuário Brasileiro da Piscicultura – Peixe BR/2020*. São Paulo: ABP, 2020.

ACRE. Assembleia Legislativa do Estado do Acre. Lei n. 1.117, de 26 de janeiro de 1994. Dispõe sobre a política ambiental do Estado do Acre, e dá outras providências. *Diário Oficial do Estado do Acre*, Rio Branco, 26 jan. 1994.

ACRE. Assembleia Legislativa do Estado do Acre. Lei n. 1.235, de 9 de julho de 1997. Dispõe sobre os instrumentos de controle do acesso aos recursos genéticos do Estado do Acre e dá outras providências. Rio Branco: Assembleia Legislativa do Estado do Acre, 1997.

ACRE. Conselho Estadual de Meio Ambiente, Ciência e Tecnologia do Acre. Resolução n. 3, de 17 de agosto de 2010. Autoriza o cultivo da espécie Tilápia-do-Nilo (*Oreochromis niloticus*) e recomenda a adoção das normativas federais para licenciamento de seu cultivo. *Diário Oficial do Estado do Acre*, Rio Branco, 13 set. 2010.

AMAPÁ. Assembleia Legislativa do Estado do Amapá. Lei Complementar n. 5, de 18 de agosto de 1994. Institui o Código de Proteção ao Meio Ambiente do Estado do Amapá e dá outras providências. *Diário Oficial do Estado do Amapá*, Boa Vista, n. 0896, 19 ago. 1994.

AMAPÁ. Assembleia Legislativa do Estado do Amapá. Lei n. 0898, de 14 de junho de 2005. Define e disciplina a Aquicultura no Estado do Amapá e dá outras providências. *Diário Oficial do Estado do Amapá*, Boa Vista, n. 3540, 15 jun. 2005.

AMAPÁ. Conselho Estadual de Meio Ambiente, Ciência e Tecnologia do Amapá. Resolução n. 1, de 2 de abril de 2018. Dispõe sobre o Licenciamento Ambiental Simplificado e dá outras providências. *Diário Oficial do Estado de Roraima*, Boa Vista, 10 abr. 2018.

AMAZONAS. Assembleia Legislativa do Estado do Amazonas. Lei n. 4330, de 30 de maio de 2016. Disciplina a atividade de aquicultura no Estado do Amazonas e dá outras providências. *Diário Oficial do Estado do Amazonas*, Manaus, 30 maio 2016.

BITTENCOURT, L. S. *et al.* Impact of the invasion from Nile *O. niloticus* on natives Cichlidae species in tributary of Amazonas River, Brazil. *BiotAmazônia*, Macapá/AP. v. 4, n. 3, p. 88-94, 2014.

BRASIL. Congresso Nacional. Decreto Legislativo n. 2, de 1994. Aprova o texto da Convenção sobre Diversidade Biológica, assinada durante a Conferência das Nações Unidas sobre Meio Ambiente e Desenvolvimento, realizada na Cidade do Rio de Janeiro, no período de 5 a 14 de junho de 1992. *Diário Oficial da União*: seção 1, Brasília, DF, p. 1693, 4 fev. 1994.

BRASIL. Presidência da República. Casa Civil. Subchefia para Assuntos Jurídicos. Decreto n. 4.339, de 22 de agosto de 2002. Institui princípios e diretrizes para a implementação da Política Nacional da Biodiversidade. *Diário Oficial da União*: seção 1, Brasília, DF, p. 2, 23 ago. 2002.

BRASIL. Presidência da República. Casa Civil. Subchefia para Assuntos Jurídicos. Lei n. 11.959, de 29 de junho de 2009. Dispõe sobre a Política Nacional de Desenvolvimento Sustentável da Aquicultura e da Pesca, regula as atividades pesqueiras, revoga a Lei n. 7.679, de 23 de novembro de 1988, e dispositivos do Decreto-Lei n. 221, de 28 de fevereiro de 1967, e dá outras providências. *Diário Oficial da União*: seção 1, Brasília, DF, p. 1, 30 jun. 2009.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. *Resolução CONABIO n. 05, de 21 de outubro de 2009*. Estratégia Nacional sobre Espécies Exóticas Invasoras. Brasília, DF: CONABIO, 2009b. Disponível em: <http://www.mma.gov.br/biodiversidade/biosseguranca/especies-exoticas-invasoras/estrategia-nacional>. Acesso em: 17 abr. 2018.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. Secretaria de Biodiversidade. Portaria n. 3, de 16 de agosto de 2018. Plano de Implementação da Estratégia Nacional para Espécies Exóticas Invasoras. *Diário Oficial da União*: seção 1, Brasília, DF, p. 75, 17 ago. 2018.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. Espécies exóticas invasoras. Brasília, DF: MMA, [s.d.]. Disponível em: <https://antigo.mma.gov.br/calendario/item/7501-especies-exoticas-invasoras.html>. Acesso em: 30 jul. 2021.

CATÂNEO, D. T. B. S. *A invasão do pirarucu Arapaima gigas Schinz, 1822 na bacia do rio Madeira*: histórico de introdução, determinação genética e manejo. Dissertação (Mestrado) – Programa de Pós-Graduação em Desenvolvimento Regional e Meio Ambiente. Universidade Federal de Rondônia, Porto Velho, 2019.

CHARVET, P. *et al.* Tilapia farming threatens Brazil's waters. *Science*, v. 371, n. 6527, p 356, jan. 2021.

CONAMA – CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE, 2009. Resolução n. 413, de 26 de julho de 2009. *Diário Oficial da União*: seção 1, Brasília, DF, p. 126-129, 30 jun. 2009.

CONAMA – CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE, 2013. Resolução n. 459, de 07 de outubro de 2013. *Diário Oficial da União*: seção 1, Brasília, DF, p. 75, 7 out. 2013.

GUARIDO, P. C. P. *Degradação ambiental e presença de espécies de peixes não nativas em pequenos igarapés de terra firme de Manaus*. Dissertação (Mestrado) – Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia, Manaus, 2014.

IBGE – INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. *Censo Agropecuário 2017*. Rio de Janeiro: IBGE, 2017.

IBAMA – INSTITUTO BRASILEIRO DO MEIO AMBIENTE E DOS RECURSOS NATURAIS RENOVÁVEIS. *Portaria n. 145-N, de 29 de outubro de 1998*. Estabelece normas para a introdução, reintrodução e transferência de peixes, crustáceos, moluscos, e macrófitas aquáticas para fins de aquicultura, excluindo-se as espécies animais ornamentais. Brasília, DF: IBAMA, 1998.

IPEA – INSTITUTO PESQUISA ECONÔMICA APLICADA. *Objetivos de desenvolvimento sustentável*. Brasília, DF: IPEA, 2020. Disponível em: <https://www.ipea.gov.br/ods/ods15.html>. Acesso em: 28 set. 2020.

INVASIVE SPECIES SPECIALIST GROUP (ISSG). *Global invasive species database species profile: Oreochromis niloticus*. 2020. Disponível em: <http://www.iucngisd.org/gisd/speciesname/Oreochromis+niloticus>. Acesso em: jul. 2020.

LIMA JUNIOR, D. P. *et al.* Aquaculture expansion in Brazilian freshwaters against the Aichi Biodiversity Targets. *Ambio*, v. 47, n. 4, p. 427-440, 2018.

MARANHÃO. Secretaria de Estado de Meio Ambiente e Recursos Hídricos. *Lei estadual n. 5.405*, de 8 de abril de 1992. Institui o Código de Proteção de Meio Ambiente e dispõe sobre o Sistema Estadual de Meio Ambiente e o uso adequado dos recursos naturais do Estado do Maranhão. São Luís: SEMA, 1992.

MARANHÃO. Secretaria de Estado de Meio Ambiente e Recursos Naturais. Portaria SEMA n. 10, de 17 de janeiro de 2013. Institui o processo de simplificação ou dispensa do Licenciamento Ambiental de empreendimentos de piscicultura de pequeno porte para produtores familiares enquadrados no PRONAF e Programas afins. *Diário Oficial do Estado do Maranhão*, São Luís, 22 jan. 2013.

MARANHÃO. Governo do Estado do Maranhão. Lei n. 10.535, de 7 de dezembro de 2016. Dispõe sobre a gestão da fauna silvestre brasileira e exótica no âmbito do Estado e estabelece outras providências. *Diário Oficial do Estado do Maranhão*, São Luís, 7 dez. 2016.

MATO GROSSO. Decreto n. 1.119, de 15 de setembro de 2017. *Altera e acrescenta dispositivo ao Decreto n. 8.149, de 27 de setembro de 2006, e dá outras providências*. *Diário Oficial do Estado do Mato Grosso*, Cuiabá, 15 set. 2017.

MATO GROSSO. Lei n. 10.669, de 16 de janeiro de 2018. Altera e revoga dispositivos da Lei n. 8.464, de 04 de abril de 2006, altera dispositivo da Lei n. 9.408, de 01 de julho de 2010, e dá outras providências. *Diário Oficial do Estado do Mato Grosso*, Cuiabá, 16 jan. 2018.

MATO GROSSO. Decreto n. 337, de 23 de dezembro de 2019. Disciplina o procedimento de licenciamento ambiental para cultivo de espécies aquícolas alóctones, híbridas e exóticas no âmbito do Estado de Mato Grosso e dá outras providências. *Diário Oficial do Estado do Mato Grosso*, Cuiabá, n. 27658, 26 dez. 2019.

MATO GROSSO. Lei n. 11.129, de 13 de maio de 2020. Altera e revoga dispositivos da Lei n. 8.464, de 04 de abril de 2006 e altera dispositivo da Lei n. 9.408, de 01 de julho de 2010, e dá outras providências. *Diário Oficial do Estado do Mato Grosso*, Cuiabá, 14 maio 2020.

NOBILE, A. B. *et al.* Status and recommendations for sustainable freshwater aquaculture in Brazil. *Reviews in Aquaculture*, v. 12, n. 3, p. 1495-1517, ago. 2020.

OCCHI, T. V. T. *et al.* Nile Tilapia impacts reference list LEC-UFPR. *Figshare Dataset*, 2021. Disponível em: https://figshare.com/articles/dataset/Nile_Tilapia_impacts_reference_list_/14551275/9. Acesso em: 30 jul. 2021.

ONU – ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS NO BRASIL. *Objetivos de desenvolvimento sustentável 15: vida terrestre*. Disponível em: <https://brasil.un.org/pt-br/sdgs/15>. Acesso em: 13 out. 2020.

PARÁ. Lei n. 5.977, de 10 de julho de 1996. Dispõe sobre a proteção à fauna silvestre no Estado do Pará. *Diário Oficial do Estado do Pará*, Belém, 12 jul. 1996.

PARÁ. Assembleia Legislativa do Estado do Pará. Lei n. 6.713, de 25 de janeiro de 2005. Dispõe sobre a política pesqueira e aquícola no estado do Pará, regulando as atividades de fomento, desenvolvimento e gestão ambiental dos recursos pesqueiros e da aquicultura e dá outras providências. *Diário Oficial do Estado do Pará*, Belém, 2005.

PARÁ. Secretaria de Estado de Meio Ambiente. Instrução Normativa n. 004/2013. Dispõe sobre o licenciamento ambiental de empreendimentos e atividades aquícolas no Estado do Pará e dá outras providências. *Diário Oficial do Estado do Pará*, Belém, 10 maio 2013.

PARÁ. Secretaria de Estado de Meio Ambiente. Conselho Estadual De Meio Ambiente. Resolução COEMA n. 143, de 20 de dezembro de 2018. Dispõe sobre diretrizes para o cultivo de espécies exóticas em empreendimentos aquícolas do Estado do Pará e dá outras providências. *Diário Oficial do Estado do Pará*, Belém, 18 mar. 2018.

RONDÔNIA. Lei n. 3.437, de 9 de setembro de 2014. Dispõe sobre a aquicultura no estado de Rondônia e dá outras providências. *Diário Oficial do Estado de Rondônia*, Porto Velho, 9 set. 2014.

RORAIMA. Lei Complementar n. 07, de 26 de agosto de 1994. Institui o Código de Proteção ao Meio Ambiente para a Administração da Qualidade Ambiental, Proteção, Controle e Desenvolvimento do Meio Ambiente e uso adequado dos Recursos Naturais do Estado de Roraima. *Diário Oficial do Estado de Roraima*, Boa Vista, 29 ago. 1994.

RORAIMA. Assembleia Legislativa do Estado de Roraima. Lei n. 516, de 10 de janeiro de 2006. Dispõe sobre a pesca no Estado de Roraima, estabelecendo medidas de proteção à ictiofauna, e dá outras providências. *Diário Oficial do Estado de Roraima*, Boa Vista, 11 jan. 2006.

RORAIMA. Conselho Estadual de Meio Ambiente, Ciência e Tecnologia de Roraima. Resolução CEMACT n. 1, de 02/04/2018. Dispõe sobre o Licenciamento Ambiental Simplificado e dá outras providências. *Diário Oficial do Estado de Roraima*, Boa Vista, 10 abr. 2018.

SOARES, L. M. A. *et al.* A criação de tilápias (*Oreochromis niloticus*) como fonte de invasoras nas bacias hidrográficas de Rondônia. In: III SEMINÁRIO DO PPG BIONORTE-RO: DA BIODIVERSIDADE À BIOTECNOLOGIA, AVANÇANDO AS FRONTEIRAS DO CONHECIMENTO, 3, 2019, São Luís. *Anais [...]*. São Luís: Bionorte, 2019.

SOARES, L. M. A. *et al.* Ciência cidadã como forma de identificação de ocorrência de espécies não nativas na Amazônia. *SAJEBTT*, Rio Branco, v. 7 n. 2, p. 145-159, 2020.

TOCANTINS. Assembleia Legislativa do Estado do Tocantins. Lei Complementar n. 13, de 18 de julho de 1997. Dispõe sobre regulamentação das atividades de pesca, aquicultura, piscicultura, da proteção da fauna aquática e dá outras providências. *Diário Oficial do Estado do Tocantins*, Palmas, 18 jul. 1997.

TOCANTINS. Conselho Estadual do Meio Ambiente o Estado do Tocantins. Resolução COEMA/TO n. 88, de 05/12/2018. Dispõe sobre o Licenciamento Ambiental da Aquicultura no Estado do Tocantins. *Diário Oficial do Estado do Tocantins*, Palmas, 7 dez. 2018.

VITULE, J. R. S. Introdução de peixes em ecossistemas continentais brasileiros: revisão, comentários e sugestões de ações contra o inimigo quase invisível. *Neotropical Biology and Conservation*, São Leopoldo, v. 4, n. 2, p. 111-122, 2009.

CAPÍTULO 3

**ANÁLISE DA PRESSÃO DE PROTOGÊNEROS E SUSCEPTIBILIDADE À INVASÃO
DE *Oreochromis niloticus* (LINNAEUS, 1758) NO ESTADO DE RONDÔNIA,
AMAZÔNIA SUL OCIDENTAL**

ANÁLISE DA PRESSÃO DE PRPOÁGULOS E SUSCEPTIBILIDADE À INVASÃO DE *Oreochromis niloticus* (LINNAEUS, 1758) NO ESTADO DE RONDÔNIA, AMAZÔNIA SUL OCIDENTAL

RESUMO

O objetivo desse estudo foi sobrepor o adensamento de pisciculturas (relacionado as taxas de desflorestamento), utilizado como um *proxy* para pressão de propágulos, e os registros de ocorrência de *O. niloticus*, além de analisar estrutura de paisagem e a susceptibilidade à invasão da *O. niloticus* em cursos d'água no estado de Rondônia, localizado na Região Amazônica. Os dados foram obtidos de duas fontes principais: número oficial de pisciculturas de *O. niloticus* e amostragem de campo. Dos oito igarapés amostrados em dois municípios, além de dados de outros pesquisadores, com cinco municípios, foi registrada a ocorrência de *O. niloticus*, que estabeleceu populações em áreas urbanas e ambientalmente impactadas. O potencial risco de invasão de *O. niloticus*, calculado por meio do *Fish Invasiveness Scoring Kit* (FISK 2.0), é considerado alto. Os resultados geraram recomendações de boas práticas e diretrizes para políticas públicas relacionadas à criação de *O. niloticus* em Rondônia.

Palavras-Chave: Ictiofauna; Não-nativo; Tilápia-do-Nilo, Bioinvasões; Espécie Exótica; Amazônia; Pressão de Propágulos, Piscicultura.

ABSTRACT

This study aimed to overlay the density of fish farms (related to deforestation rates), used as a proxy for propagule pressure, and the occurrence records of *O. niloticus*, in addition to analyzing landscape structure and the susceptibility to invasion niloticus in watercourses in the state of Rondônia, located in the Amazon region. Data were obtained from two primary sources: the official number of fish farms of *O. niloticus* and field sampling. Of the eight streams sampled in two municipalities, in addition to data from other researchers, with five municipalities, the occurrence of *O. niloticus* was recorded, which predominated in urban and environmentally impacted areas. The potential risk of *O. niloticus* invasion through the Fish Invasiveness Scoring Kit (FISK 2.0) is considered high. The results generated good practice recommendations and guidelines for public policies related to creating *O. niloticus* in Rondônia.

Keywords: Ichthyofauna; Non-native; Nile Tilapia, Bioinvasion; Exotic Species; Amazon; Propagule Pressure, Pisciculture.

INTRODUÇÃO

Apesar do conhecimento existente sobre o impacto de *O. niloticus* em ambientes naturais em diferentes partes do mundo (CANONICO et al., 2005; ISSG, 2020; FORNECK et al., 2020; CHARVET et al., 2021) o cultivo desta espécie na Amazônia é uma realidade (SOARES et al., 2020). Conceitualmente, a espécie introduzida se torna invasora quando, além de superar barreiras geográficas, atua na esfera ambiental, se reproduz, se dispersa e causa danos ambientais (RICHARDSON et al., 2000, LOCKWOOD et al., 2005; SIMBERLOFF et al., 2009; BLACKBURN et al., 2011).

Uma espécie pode ser considerada exótica quando se encontra fora de sua área de distribuição natural, cuja presença se deve à introdução intencional ou acidental, como resultado da atividade humana, sendo a espécie exótica considerada invasora quando ameaça ecossistemas, habitat ou espécies (BRASIL, 1994; RICHARDSON et al., 2000) e se dispersa além do local em que foi introduzida, seguindo a sequência transporte, introdução, estabelecimento e dispersão (BLACKBURN et al., 2011).

Sobre as etapas que envolvem o complexo processo de invasões, as diversas teorias existentes convergem em uma base PAB, onde P se refere a propágulos, A a fatores abióticos e B a fatores bióticos, demonstrando a importância dos propágulos, estrutura de paisagem e interações bióticas no processo de invasão (CATFORD et al., 2009; VITULE e PRODOCIMO, 2012), em que, quanto maior a pressão de propágulos, maiores as chances de persistência da espécie introduzida (LOCKWOOD et al., 2005; BLACKBURN et al., 2015). Dependendo da pressão do propágulo, pode ocorrer o estabelecimento da(s) espécie(s) e possíveis impactos no ecossistema alvo (ORTEGA, 2015; LATINI et al., 2016; CHARVET et al., 2021), mesmo com a vigência de legislações descrevem controle na criação de espécies exóticas, mesmo com brechas aparentes.

A pressão de propágulos é a relação entre quantidade de tentativas de entrada de indivíduos em um novo ambiente, que não é seu habitat natural (LOCKWOOD et al., 2005), quantificado pelo número médio de indivíduos introduzidos por unidade de tempo (CASSEY et al., 2018), podendo ser dividida em dois tipos: (i) tamanho do propágulo, que é número médio de indivíduos introduzidos por evento de entrada e (ii) número de propágulos, que

quantifica os eventos de invasão que ocorreram em determinado ambiente, ou seja, a frequência de introduções realizadas (SIMBERLOFF, 2009; WITTMANN et al., 2014).

Entre as atividades agropecuárias, a aquicultura é um dos principais vetores do processo de invasão biológica, como um contaminante e dispersor de espécies aquáticas exóticas (VITULE, 2009; PELICICE et al., 2014; ORTEGA et al., 2015; CASIMIRO et al., 2018; LIMA-JÚNIOR et al., 2018; NOBILE et al., 2019).

No Brasil, a aquicultura surge como alternativa de produção de proteína animal, principalmente pelo seu baixo custo (SIQUEIRA, 2017) e tem recebido diversos incentivos governamentais para atrair investimentos para esse setor (PELICICE et al., 2014; ABP, 2020; CHARVET et al., 2021). Em cinco anos (2014 a 2019), a piscicultura obteve um crescimento de 23,64%, atingindo 758.006 toneladas (ABP, 2020), surgindo como uma forte alternativa de opção por proteína animal na alimentação humana (FAO, 2020). Tal crescimento inclui um paradoxo, pois, apesar de a região Neotropical apresentar uma elevada biodiversidade de peixes, estimada em cinco mil espécies, representando aproximadamente um décimo da água doce do mundo (GUBIANI et al., 2018), a maior parte da piscicultura no Brasil é baseada em espécies exóticas, porque são espécies com pacotes tecnológicos encorpados (PELICICE et al., 2014); onde as estruturas (tanques de cultivo) - cuja maioria é construída próximo aos cursos d'água - favorecem rompimentos e/ou transbordamento nos períodos de cheia e ocorrência de propágulos (MAGALHÃES et al., 2011).

A Tilápia-do-Nilo (*Oreochromis niloticus*) corresponde, hoje, a 55,4% da produção brasileira (ABP, 2020). Esse aumento da piscicultura de espécies exóticas é observado também na região norte do Brasil. O domínio da tecnologia de cultivo de tilápia e sua diversa adaptabilidade a diferentes habitat's, de água doce à salobra, preferencialmente em regiões Tropicais (altas temperaturas) (FAO, 2021; FISHBASE, 2021) adaptado a baixos níveis de oxigênio dissolvido (IABIN BRASIL, 2021), são os principais atrativos para uma ampla distribuição do conhecimento do sistema de produção e tecnologias (CASIMIRO et al., 2018; FORNECK et al., 2020).

O manejo inadequado das pisciculturas pode gerar escapes; assim, algumas invasões podem estar relacionadas a introduções causadas pelos escapes de pisciculturas (GUARIDO, 2014; ORTEGA et al., 2015; LATINI et al., 2016; FORNECK et al., 2020; DORIA et al. 2020; DORIA et al. 2021), uma vez que há falta de sistemas de contenção, que são essenciais para evitar a fuga de peixes (DORIA et al., 2020; SOARES et al., 2020).

Como resultado dos escapes, a invasão de espécies exóticas pode causar graves consequências aos recursos pesqueiros regionais e alterar processos ecológicos, criando ecossistemas homogêneos e empobrecidos (MACK et al., 2000; CARVAJAL-VALLEJOS et

al., 2011; MMA, 2020; DORIA et al., 2020) sendo uma das principais causas de redução da biodiversidade local (LOCKWOOD et al. 2013; BRITO et al., 2020; MAGALHÃES et al., 2020).

A legislação atual e/ou a insuficiência em sua aplicação podem contribuir para o avanço de espécies exóticas invasoras (GELLER et al., 2020). Com o respaldo de normas legais, o licenciamento e o manejo de pisciculturas (PADIAL et al., 2015; SOARES et al., 2021) permite a criação de espécies exóticas, desde que sejam adotados procedimentos específicos para conter escapes de indivíduos na natureza (TAVARES-DIAS et al., 2013; BITTENCOURT et al., 2014; SOARES et al., 2020).

O processo de invasão de espécies exóticas em ambientes amazônicos já foi registrado por DORIA (2021), indicando que a maioria destes ambientes possui características biológicas que favorecem o estabelecimento de *O. niloticus* pode ser uma invasão silenciosa. Sobre o tema, há pouca documentação, com 75% dos registros feitos nos últimos 20 anos. Nos dados desses registros, *O. niloticus* é apresentada como uma das principais espécies exóticas ocorrendo na região. Como exemplo, há registros em cursos d'água no estado do Amapá (BITTENCOURT et al., 2014), em córregos periurbanos em Manaus (Amazonas) (GUARIDO, 2014) e em córregos urbanos do estado de Rondônia. No entanto, de acordo com os relatórios da piscicultura brasileira, existem cerca de 5.804 (cinco mil oitocentos e quatro) pisciculturas de *O. niloticus* nos estados amazônicos da região norte do Brasil (ABP, 2020), sugerindo que esse processo de invasão pode ser ainda maior.

Para estimar o risco de invasão, o protocolo *Fish Invasiveness Screening Kit* (FISK), (e.g. COPP et al., 2005; GOZLAN, 2010), é amplamente utilizado e eficiente ao que se propõe: prever o potencial risco de invasão das espécies analisadas (MAGALHÃES, 2017). A espécie *O. niloticus* é classificada, conforme o protocolo FISK, como alto potencial invasor (VILIZZI et al., 2019) em estados do nordeste brasileiro (LEÃO et al., 2011) e da Amazônia (BRABO et al., 2015).

A hipótese desta investigação é a de que a ocorrência e o estabelecimento da *O. niloticus* em cursos d'água da Amazônia está relacionada com a elevada pressão de propágulos gerada por pisciculturas de *O. niloticus*. Nesse cenário, a espécie *O. niloticus* foi alvo deste estudo, objetivando-se sobrepor o adensamento de pisciculturas (relacionado às taxas de desflorestamento), utilizado como um *proxy* para pressão de propágulos, e os registros de ocorrência de *O. niloticus*, além de analisar a estrutura de paisagem e a susceptibilidade à invasão da *O. niloticus* em cursos d'água no estado de Rondônia.

MATERIAL E MÉTODOS

Este estudo foi realizado seguindo as etapas principais: levantamento do quantitativo de pisciculturas da *O. niloticus* através de banco de dados oficial; amostragem de campo; análise dos dados de campo, juntamente com análise da amostragem do trabalho de campo de outros pesquisadores; aplicação do protocolo *Fish Invasiveness Screening* (FISK), conforme descrito a seguir.

Área de Estudo

A área no qual o estudo foi aplicado, delimita-se dentro do estado de Rondônia conforme Figura 1.

Quantitativo de pisciculturas de *O. niloticus*

As informações sobre o número de criações da *O. niloticus* foram solicitadas oficialmente à Agência de Defesa Sanitária Agro-Silvopastoril do Estado de Rondônia (IDARON) e Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE). Os dados oficiais secundários fornecidos pelo IDARON, correspondentes ao ano de 2017, foram comparados com informações sobre a ocorrência de *O. niloticus*. De acordo com a análise, a quantidade de pisciculturas variou de zero a vinte e uma piscicultura na faixa de dez a vinte quilômetros, tendo como centro radial os locais de coleta, considerando-se o banco de dados do IDARON para mapeamento das pisciculturas. Esse raio de observação foi desenhado avaliar possíveis correlações entre o número de pisciculturas e o nível de desflorestamento nas localidades avaliadas.

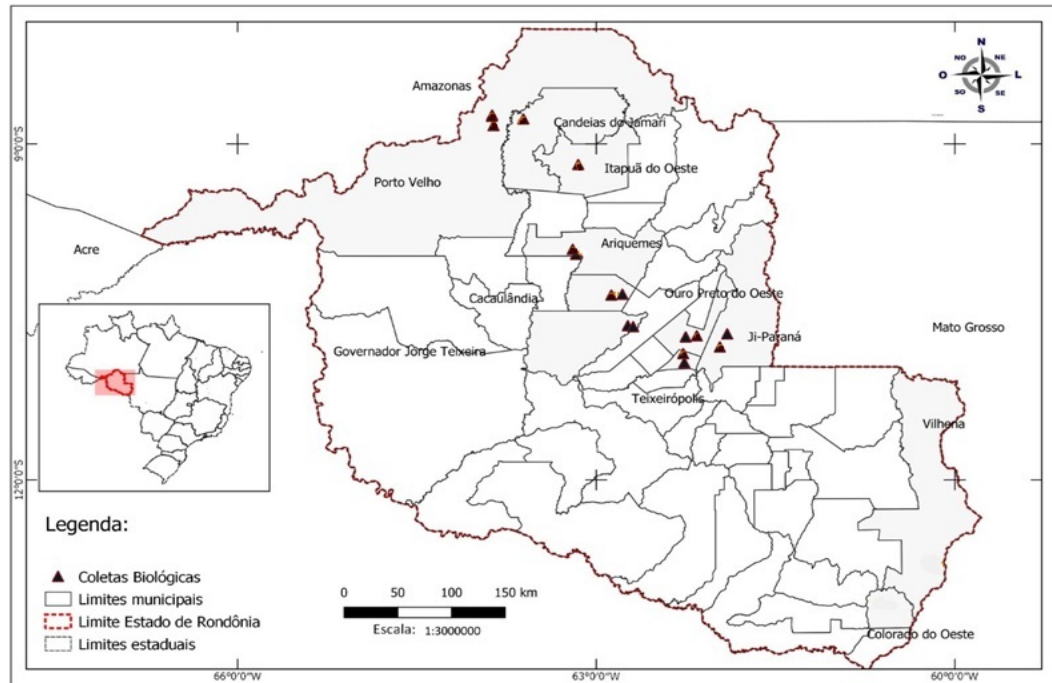
Amostragem de campo

Neste estudo, foi utilizado adaptado o Método de Inventário Rápido (RAP), para analisar a ocorrência de espécies exóticas, adaptado a cursos d'água tropicais, e também o Protocolo Monitora (ICMBio, 2018). Essa abordagem integrou diferentes metodologias, como a identificação de dados de ocorrência secundária (registros feitos por outros pesquisadores e em coleções) e pesca experimental (coleta biológica, realizada no presente estudo) (LATINI, 2005; LATINI & PETRERE, 2018).

A seleção dos pontos amostrais considerou, inicialmente, o número de pisciculturas com *O. niloticus* na região (IBGE, 2017), em cada município. Em seguida, os dezoito pontos de amostragem foram escolhidos considerando-se a ocorrência de pisciculturas de *O. niloticus*, com base nas informações obtidas sobre as densidades de pisciculturas, de acordo com os dados do IBGE (2017).

Nove municípios foram selecionados como locais de amostragem deste estudo, havendo até dois pontos de amostragem em alguns deles. Os pontos de amostragem foram escolhidos considerando-se a relação entre a densidade das pisciculturas da *O. niloticus* (IBGE, 2017) e o desflorestamento na região avaliada (SOUZA, 2020) no estado de Rondônia, atingindo um total de 16 pontos (Figura 1).

Figura 1. Mapa dos locais onde foram efetuadas coletas biológicas no estado de Rondônia (não tem no sul do estado)



Fonte: Elaborado por Robson Disarz e Lariessa Soares com base nas tabelas e dados da pesquisa.

Além disso, uma análise dos registros da *O. niloticus* nas sub bacias de Rondônia foi utilizada para obter dados secundários sobre a presença dessa espécie em ambientes naturais. As informações de registros secundários foram coletadas da Coleção Ictiológica da Universidade Federal de Rondônia (SD_1, SD_2, SD_3) e de pesquisadores que, gentilmente, forneceram registros de campo para este estudo (SD_4, SD_5, SD_6 e SD_7) (ANEXO 6). Informações ambientais da riqueza não estavam disponíveis nessas fontes de dados secundários, totalizando 25 pontos utilizados no presente estudo.

Uma primeira expedição foi realizada para confirmar pontos amostrais e levantar as características ambientais, características da água e proximidade de pisciculturas com a presença de *O. niloticus*, previamente identificados. As expedições de amostragem biológica ocorreram no período de 12 a 16 de junho de 2019 - nos municípios de Porto Velho, Candeias do Jamari, Itapuã d'Oeste, Ariquemes e Cacaulândia- e de 1 a 5 de julho de 2019, nos municípios de Ji-Paraná, Ouro Preto d'Oeste e Governador Jorge Teixeira (Figura 1). As

coordenadas geográficas (grau / minuto / segundo) dos trechos amostrados foram marcadas por meio de aplicativo móvel *Nav Camera1.1* para sistema operacional *IOS/Apple*.

Os parâmetros ambientais medidos foram: largura média do curso d'água (metros), na faixa escolhida de 50 m, calculada a partir da medida equidistante no centro do trecho amostrado; a profundidade média do curso d'água (metros), no trecho (também no centro da faixa de 50m) onde foi medida a largura, obtida a partir de cinco pontos de profundidade; a velocidade da corrente (metros/segundo), determinada pela média entre dois pontos dispostos no centro do curso d'água, com a distância de um metro, medida pelo deslocamento de um objeto flutuante por um espaço conhecido; a vazão média (metros cúbicos/segundo) foi obtida relacionando-se velocidade média, largura e profundidade (Material Suplementar 1.1); o potencial de hidrogênio (pH), temperatura (°C), oxigênio dissolvido em água (mg/L) e condutividade elétrica (uS/cm) foram determinados por um medidor de parâmetro físico químicos multiparâmetro AKSO (modelo 8603) (Material Suplementar 1.2).

Conforme orientado no Protocolo Monitora, as dossel do entorno e substrato foram documentadas com seis fotos de cada ponto de coleta (ICMBio, 2018), considerando-se as principais características ambientais de cada local. Quando pelo menos um espécime da *O. niloticus* foi capturado, ele foi considerado presente no local avaliado. A pesca ativa foi realizada através do Protocolo Monitora (ICMBio, 2018). Utilizou-se uma rede de pesca de 10 metros de comprimento, com abertura de malha de 0,5 mm (entrenós opostos - para evitar a fuga dos peixes), redes de imersão e peneiras. Em cada riacho selecionado, um trecho de 50 metros de cada riacho foi selecionado e para evitar a fuga dos indivíduo duas redes de bloqueio foram utilizadas nas extremidades do trecho. Para coleta dos peixes, uma rede de arrasto de 10 m de comprimento a partir do bloqueio, a amostragem foi realizada a montante, incluindo-se a pesca ativa. Todos os peixes presos nas redes foram coletados. Ao final de 30 minutos de coleta ativa e uma duração geral média de uma hora para as atividades (remoção dos peixes das redes), o bloqueio a jusante foi removido. Um total de quatro pessoas estavam envolvidas no processo de coleta (Material Suplementar 1.3).

Como as coletas foram realizadas em seções de 50 metros e com duração média de uma hora, o impacto nas populações de peixes foi considerado insignificante, onde todos indivíduos coletados foram anestesiados com óleo de cravo (Eugenol 20 mg L⁻¹), fotografados e fixados com solução de formalina (10%) (MAZZONI et al., 2000; PPBIO, 2005). Após esse procedimento, os espécimes foram transportados para o Laboratório de Ictiologia e Pesca da UNIR/Campus Porto Velho, onde foram identificados e, para cada ponto amostrado, foi quantificada a riqueza e o índice de diversidade de Shannon (SHANNON e WEAVER, 1949). Os espécimes da *O. niloticus* capturados foram medidos em comprimento padrão (cm) e

pesados (g), seu sexo e estágio de maturação gonadal registrados e classificados (imaturos, maduros ou esgotados) utilizando método visual comparativo (VAZZOLER, 1996).

Para a confecção dos mapas de sobreposição, foram utilizados os dados de pisciculturas da *O. niloticus* (IDARON, 2017) e os pontos de coleta, sobrepostos no programa de uso gratuito QGIS® (utilizando as camadas: limites estaduais e desflorestamento atual), gerando um *buffer* de 10 km e 20 km (foram utilizados dois buffers para melhor dimensionamento), avaliação do uso do solo para identificação de zonas desflorestadas, tendo como epicentro os pontos de coleta com ocorrência de *O. niloticus*.

Protocolo de triagem de invasão de peixes (FISK)

O risco de invasão no meio ambiente foi calculado por meio da metodologia FISK, versão 2.0 (COPP et al., 2005). O FISK consiste em um conjunto de 49 questões divididas em oito subconjuntos: domesticação / cultivo, clima e distribuição, invasiva em outro lugar, indesejável características, guilda alimentar, reprodução, mecanismos de dispersão e atributos de persistência. Cada questão exigia uma resposta ‘sim / não’ ou ‘não sei’ quando a informação não estava disponível (COPP et al., 2005). Para cada resposta, o nível de confiança foi avaliado, e foi atribuída uma pontuação de incerteza que variou de 4 (muito certo) a 1 (muito incerto; COPP et al., 2009). Os limites de pontuação para espécies classificação foram estabelecidas de acordo com o Copp et al. (2009). As espécies foram classificadas como de baixo risco (pontuação <1), risco médio (pontuação entre 1 e 18,9), ou alto risco (pontuação >19). (ANEXO 7).

A ferramenta analítica FISK foi preenchida com informações obtidas por revisão de literatura e entrevistas com os piscicultores. Quanto maiores os números, maiores os riscos de ações necessárias para evitar eventuais escapes para o meio ambiente (COPP et al., 2005; HILL & LAWSON, 2015). Este protocolo possui um escore que varia de -11 a 54; valores menores que 1 indicam baixo risco de invasão, valores entre 1 e 18,9 representam risco médio e valores maiores que 19 indicam alto risco de invasão (COPP et al., 2009).

Análise estatística

Para identificar as variáveis que determinam a ocorrência ou não da *O. niloticus* em ambientes naturais, considerando-se dados levantados na pesquisa, foram utilizadas estimativas simples e correlações parciais, através do programa GENES® um software gratuito destinado à análise e processamento de dados, que permite estimativas de parâmetros para entendimento de fenômenos biológicos (CRUZ, 2013). Foram utilizadas correlações simples: correlações parciais, estimativa do teste t, que testa a hipótese de que a estimativa de

correlação parcial não difere de zero, e valor de probabilidade. Foram consideradas as seguintes características: ocorrência da *O. niloticus* em ambiente natural, densidade de pisciculturas (intensa - >19, moderada 10-18 ou baixa <9), grau de desmatamento do município (SOUZA, 2020) e índice de diversidade e riqueza de espécies de cada ponto de amostragem.

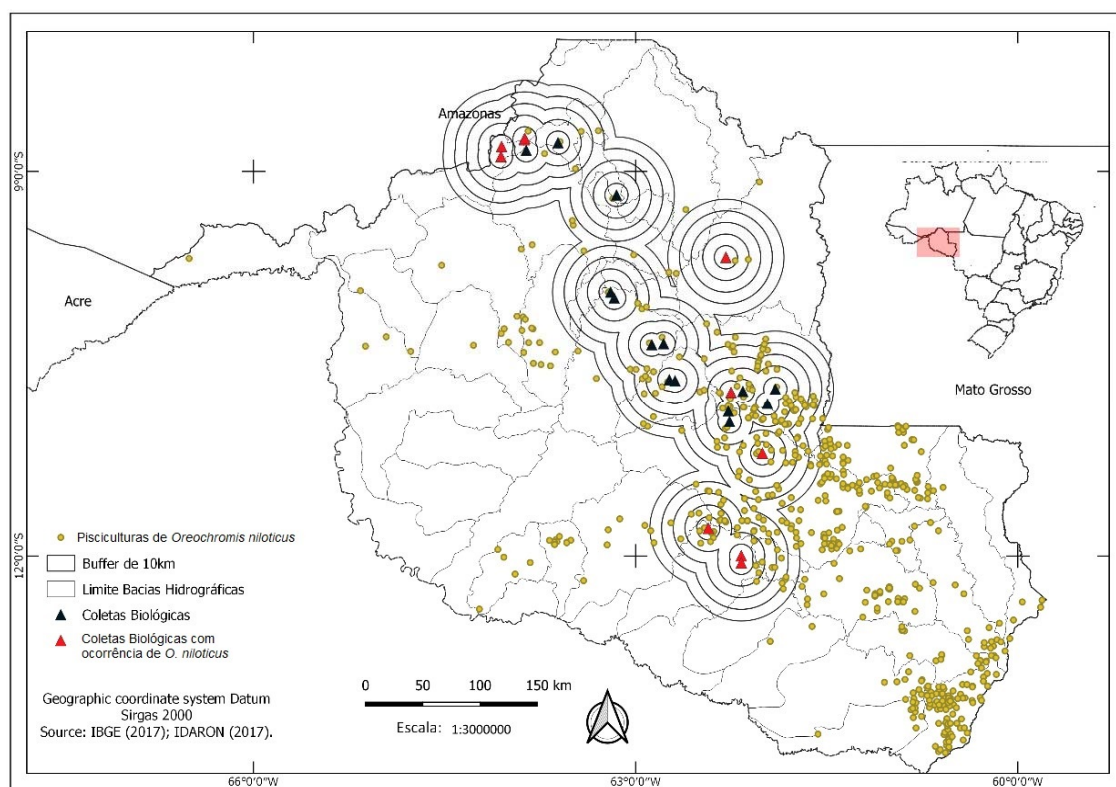
RESULTADOS

As características ambientais dos pontos de amostragem são fornecidas no material suplementar (Material Suplementar 2). A temperatura média do ambiente foi de 32,24 °C e a temperatura média da água dos cursos d'água foi de 27,2 °C. O pH médio foi de 6,7 e apenas em PtCol_5, PtCol_8 e PtCol_14, o pH estava abaixo de 6. A condutividade média era de 68,9 S/cm; com os maiores valores (entre 150 e 242 S/cm) em PtCol_12, PtCol_15, PtCol_16 (ANEXOS 8 e 9). As medições de oxigênio dissolvido variaram de 36,55% a 128,5% nos locais amostrados, visto que eram, em sua maioria, cursos d'água de segunda ordem. A profundidade média foi de 33,6 cm e a largura média foi de 6,2 m. A vazão dos cursos d'água variaram de 0,5 a 103,4 m³/h, com substratos predominantemente compostos por folhas, argila, areia e lama.

Entre os cursos d'água amostrados, No total, 111 indivíduos da *O. niloticus* foram coletados, em apenas quatro locais de amostragem: Porto Velho (PtCol_13, PtCol_15, PtCol_16) e municípios de Ouro Preto d' Oeste (PtCol_12) (Figura. 2). De acordo com os registros oficiais e dados de campo, *O. niloticus* já havia sido registrado em oito pontos do estado de Rondônia, em diferentes bacias e em diferentes anos e épocas do ano (Figura 2). A riqueza média de pontos amostrais foi de 23,3 espécies e o índice de biodiversidade de 0,65 (Material Suplementar 3).

A construção do Mapa de Densidade, em que se utilizaram os dados de densidade de pisciculturas da *O. niloticus* (IDARON, 2017), o adensamento de pisciculturas foi utilizado como um *proxy* para pressão de propágulos, também apresentou variações significativas nos pontos de amostragem, variando de 0 a 21 pisciculturas em um raio de 20 km (média de 5,4 pisciculturas da *O. niloticus* em cada ponto de amostragem) (Figura 2).

Figura 2. Sub-bacias hidrográficas amostradas com as pisciculturas da *O. niloticus* (pontos amarelos) sobrepondo os pontos de coleta biológica com e sem a presença da *O. niloticus*



Fonte: Elaborado por Robson Disarz e Lariessa Soares com base nas tabelas e dados da pesquisa.

A correlação entre a densidade de pisciculturas e ocorrência de *O. niloticus*, desmatamento por município, diversidade e riqueza de espécies mostra que as correlações entre ocorrência x riqueza, densidade x desflorestamento e densidade x riqueza foram significativas (Tabela 1). A correlação entre densidade x desflorestamento e densidade x riqueza indica que as pisciculturas estão localizadas em regiões de baixa riqueza e maior antropização.

Tabela 1. Estimativas de médias e intervalos de confiança ($p = 0,05$) de ocorrência da espécie *O. niloticus*, em relação à densidade de pisciculturas, do município e de desflorestamento nos pontos amostrais do estado de Rondônia.

Correlações	r simple	r parcial	t	p-value
Ocorrência x Densidade	-0,03	0,26	1.24ns	0,2264
Ocorrência x Desflorestamento	-0,22	-0,18	-0.81ns	0,4297
Ocorrência x Riqueza	-0,35	-0,36	-2.44*	0,0219
Densidade x Desflorestamento	0,59	0,47	2.45*	0,0220
Riqueza x Densidade	0,55	0,43	2.15*	0,0410
Riqueza x Desflorestamento	0,48	0,15	0.71n.s.	0,4881

Fonte: Elaboração própria.

Legenda: **r simple**: correlações simples; **r parcial**: correlações parciais; **t**: estimativa do teste t, que testa a hipótese de que a estimativa de correlação parcial não difere de zero; **valor p**: valor de probabilidade. *Houve significância na análise estatística.

Os 111 indivíduos da *O. niloticus* coletados mostram comprimentos que variam de 2,8 a 23,9 cm; peso de 11,27 a 473 g; ambos os sexos (machos e fêmeas), em diferentes estádios de maturação gonadal (imaturos a maduros) (Tabela 3; Material Suplementar 4). Isso indica que, para a espécie há evidência de estabelecimento, pois há indícios de reprodução nos cursos d'água amostrados, além de indivíduos de diferentes tamanhos e fêmeas com alevinos na cavidade bucal (cuidado parental característico da espécie). Ressalta-se que, no estado, não há comercialização regularizada de alevinos de *O. niloticus*.

Tabela 2. Lista de exemplares da *O. niloticus* coletados em cursos d'água relacionados, com informações biométricas, sexo e estágio de maturação.

Pontos de Coleta	Número de Indivíduos Capturados	Amplitude de Comprimento Padrão (número de indivíduos)	Peso Médio (g)	Sexo	Estádio de maturação
PtCol_13	48	3 a 10 cm (41) 10 a 20 cm (07)	23,7	Macho (7) Fêmeas (4)	Imaturo (2) Maduro (11)
PtCol_12	02	3 a 10 cm (2)	211,9	Macho (1)	Imaturo (1) Maduro (1)
PtCol_15	56	3 a 10 cm (46) 10 a 20 cm (10)	124,9	Macho (3) Fêmeas (7)	Imaturo (5) Maduro (10)
PtCol_16	09	10 a 20 cm (09)	19,7	Macho (4) Fêmeas (5)	Maduro (9)

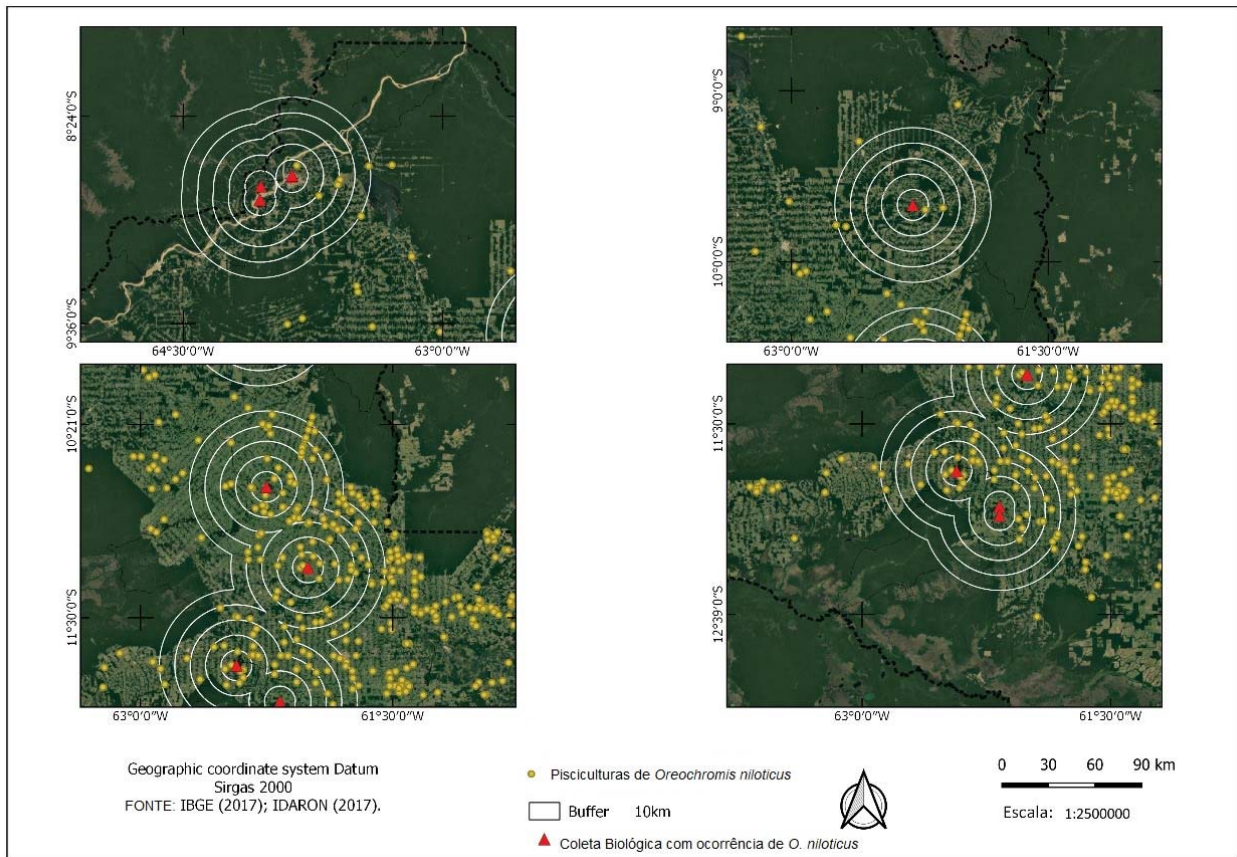
Fonte: Elaboração própria.

OBS.: Os números entre parênteses referem-se ao número de indivíduos capturados para cada variável.

A caracterização do uso do solo da área de entorno (área tampão de 20 km) e os pontos de amostragem mostraram alto desflorestamento, causado principalmente por grandes áreas de pastagem, conforme observação pessoal do primeiro autor, durante a amostragem de campo, confirmada no MAPBIOMAS (SOUZA, 2020).

A Figura 3, a seguir, destaca o desmatamento em torno das localidades amostrais com *O. niloticus*, de acordo com o presente estudo e de outros pesquisadores.

Figura 3. Destaques das localidades amostrais com desflorestamento e pisciculturas da *O. niloticus* (pontos amarelos) sobrepondo os pontos de coleta biológica com a presença de *O. niloticus*



Fonte: Elaborado por Robson Disarz e Lariessa Soares com base nas tabelas e dados da pesquisa.

Os locais em destaque na Figura 3 apresentam alto desmatamento e pressão antrópica, exceto para os pontos SD_2 e SD_3 em Porto Velho. Deve-se observar que os pontos SD_5 e SD_3, corresponderam a pontos de amostragem localizados no entorno afetado pelo reservatório de uma usina hidrelétrica.

Em Rondônia, o adensamento de pisciculturas foi utilizado como um *proxy* para pressão de propágulos; nesse estudo, as características que facilitaram a ocorrência da *O. niloticus* no ambiente natural não foram homogêneas. As ocorrências destacadas apareceram em locais com alta incidência de piscicultura no entorno, mais >5, 64 pisciculturas de *O. niloticus*. Também foi identificado nos locais amostrados sem pisciculturas ao redor, a elevada modificação ambiental, sucedido de alto desmatamento no entorno, áreas urbanas e águas com baixa qualidade limnológica (possivelmente pela alta condutividade), baixa diversidade e riqueza íctica dos cursos d'água, provavelmente relacionados à característica ambiental anterior.

Análise de potencial risco de invasão

A espécie *O. niloticus* foi avaliada como uma espécie exótica com alto potencial invasivo para as condições ambientais apresentadas nas bacias hidrográficas de Rondônia (Pontuação = 33,5). Tanto a história de invasão (Pontuação = 15,5) quanto a Biologia e Ecologia (Pontuação = 18) contribuíram para esta classificação (Tabela 4, Material Suplementar 5). O nível de confiança (%) foi incorporado à análise por Copp et al. (2009).

Tabela 3. Kit análise de potencial risco de invasão de peixes (FISK) sobre *O. niloticus* na região amazônica.

Seção	Pontuação
A. Biogeografia/História	15,5
1. Domesticação / cultivo	3,0
2. Clima e Distribuição	2,0
3. Invasivo em outro lugar	10,5
B. Biologia/Ecologia	18,0
4. Traços indesejáveis	5,0
5. Guilda de alimentação	2,0
6. Reprodução	3,0
7. Mecanismos de dispersão	5,0
8. Atributos de persistência	3,0
Pontuação:	33,5
Resultado:	Alto

Fonte: Elaboração própria.

DISCUSSÃO

As introduções de peixes podem ter diferentes vetores, como pesca esportiva, liberação na natureza de peixes ornamentais adquiridos como *pet* ou escapes de pisciculturas (GUARIDO, 2014; ORTEGA et al., 2015; DAGA et al., 2016; LATINI et al., 2016; MACEDA-VEIGA et al., 2019; MAGALHÃES et al., 2021). Invasões biológicas via vetores antrópicos (decorrentes de atividades humanas) são causas de mudanças ecológicas em ambientes aquáticos (; VITULE e PRODOCIMO, 2012; LOWRY et al., 2013). Riachos; MACK et al., 2000); riachos assoreados e desmatados (sem a presença de mata ciliar) são mais propensas a invasões (GARCIA et al., 2021). A soma desses fatores e vetores de propágulos podem aumentar a probabilidade de invasão de espécies não nativas em ambientes naturais, antropizados ou não.

O grande número de pisciculturas de *O. niloticus*, um total de 1.300 (SOARES et al., 2020) registradas oficialmente no estado de Rondônia, representa a possibilidade de alta pressão de propágulos, com alta probabilidade de escapes de indivíduos para cursos d'água, principalmente devido às condições inadequadas de manejo das pisciculturas de *O. niloticus* (e.g. FORNECK et al., 2020). Conforme demonstrado neste estudo, em oito pontos foram coletados *O. niloticus* em Rondônia; contudo vale considerar que Doria et al. (2021) registram cerca de 142 locais de ocorrência das 3 espécies de *Oreochromis* na região amazônica. A

população da *O. niloticus* presente nos cursos d'água em que foi identificada pode ser muito maior, devido à dificuldade de captura de espécies no ambiente, conforme relatado por alguns autores (DAGA et al., 2012; FORNECK, 2014; GUARIDO, 2014), em níveis comparativos, são poucos os estudos avaliando cursos d'água invadidos e os impactos (GARCIA et al., 2021), principalmente na região amazônica.

Em seis municípios de Estado de Rondônia a espécie foi capturada em ambiente natural. O possível estabelecimento da espécie nos locais amostrados deve-se às características encontradas e, principalmente, por fêmeas maduras, conforme também observado por FORNECK (2021). A reprodução é um importante passo nas etapas da invasão (LOCKWOOD et al., 2005) e no estágio de maturação dos indivíduos coletados classificados como maduros, o estabelecimento pode ser evidenciado pela sua atividade reprodutiva (PETERSON et al., 2004).

Mesmo com números amostrais pequenos, como no estado de Rondônia, além das dificuldades de detecção de indivíduos pequenos (FREHSE et al., 2021), sabe-se que podem causar graves impactos econômicos e ambientais, com graves mudanças dinâmicas do ecossistema em que a espécie invasora está inserida (SILVA e SILVA-FORSBERG, 2015; ORSI, 2016). O que pode ser ainda mais grave em ambientes como a Amazônia, e ressalta a necessidade da compreensão holística do cenário que promoveu e ainda promove essa invasão visando propor intervenções de contenção e mitigação.

É importante destacar alguns motivadores desse cenário. A criação da *O. niloticus* em Rondônia foi incentivada indiretamente pelo governo local, desde a década de 90, o que contribuiu para o estabelecimento de muitas pisciculturas no estado, muitas sem supervisão adequada (SOARES et al., 2020). Além disso, segundo os autores, no estado de Rondônia, um baixo número de proprietários de pisciculturas (29% dos entrevistados) apresenta boas práticas de gestão - alegando utilizar sistemas de contenção tanto na entrada quanto na saída dos tanques - e na maioria das propriedades o manejo é inadequado; nesse sentido, cerca de 51% dos piscicultores relataram que escapes de espécies cultivadas no meio ambiente ocorreram devido a sistemas de contenção ineficientes ou inexistentes. A ausência do registro da atividade no órgão ambiental estadual favorece a não aplicação da regulamentação local (SOARES et al., 2020; SOARES et al., no prelo).

Os resultados deste estudo sugerem que não há relação entre a ocorrência e os propágulos existentes em regiões com alta diversidade de peixes no estado de Rondônia, mas o efeito da pressão de propágulos, ao longo dos anos, pode ser um problema; o cenário atual é uma oportunidade de prevenção de invasões em locais onde *O. niloticus* não foi identificado. No que se refere ao manejo de pisciculturas, a adoção de práticas inadequadas, como a

contenção insuficiente dos animais, obedecendo a regulamentações legais por meio de licenciamento ambiental, favorece o escape do ambiente natural (BRABO et al., 2015; BRABO, et al., 2017; CASIMIRO et al., 2018).

O número de pisciculturas por bacia hidrográfica e a baixa diversidade e riqueza de peixes nos cursos d'água podem indicar altos riscos para introduções de *O. niloticus*, (ver também FORNECK et al., 2020). Além disso, a alta descaracterização ambiental dos ecossistemas onde ocorrem pisciculturas da *O. niloticus* (alto desmatamento do entorno, alterações antrópicas - reservatórios e áreas urbanas - e águas com baixa qualidade limnológica) pode ser um indicador de risco de invasão. Resultados semelhantes são apontados por Daga et al. (2012) e Guarido (2014).

O potencial invasivo da *O. niloticus* em Rondônia, calculado por meio do protocolo FISK, obteve escore 33,5, considerado alto, superior ao observado para a espécie no nordeste do Pará, com 23 pontos (BRABO et al., 2015) e inferior ao observado na região litorânea do Rio Grande do Sul, que obteve 38 pontos (TROCA e VIEIRA, 2012). Quanto à biogeografia e seu histórico de invasão, a espécie é reconhecida por sua alta capacidade invasiva e impactos ecológicos na biota nativa (CANONICO et al., 2005). É uma das espécies de peixes de água doce mais difundidas no mundo, introduzida em 75 países (FROESE e PAULY, 2021).

Embora existam registros para a Amazônia, são escassas as pesquisas sobre o assunto e seus riscos para a biodiversidade de peixes nativos (BRABO et al., 2015; SOARES et al., 2020). Ao se observar altos escores (valores medidos em FISK) de *O. niloticus* percebe-se que a espécie se adapta a diferentes ambientes, com amplo espectro alimentar (incluindo ovos e larvas de outros peixes) (TROCA e VIEIRA, 2012). Além do crescimento acelerado em zonas climáticas favoráveis, promove um elevado grau de perturbação ambiental quando estabelece populações autossustentáveis fora do seu habitat natural (VICENTE e ALVES, 2013).

Modelos de triagem como o FISK, podem ser usados para estimar o risco de invasão de espécies em diferentes habitats (KOLAR et al., 2002; HILL e LAWSON, 2015); o protocolo AS-ISK adiciona variáveis climáticas por ecorregiões na predição do risco (VILIZZI et al., 2021). No entanto, para uma análise mais robusta, esses modelos podem ser associados a outros fatores ambientais e características de pressão de propágulo (por exemplo, número e manejo da piscicultura), conforme proposto neste estudo.

Pode-se reforçar o alto risco de potencial invasão da espécie e evidências de estabelecimento, ameaça à biodiversidade nativa, tendo em vista que a alta densidade de piscicultura em microbacias, desmatamento e manejo inadequado das pisciculturas são características comuns em diferentes cursos d'água de Rondônia. Por outro lado, o não estabelecimento da espécie invasora *O. niloticus* em cursos d'água com densidades moderadas

de pisciculturas da *O. niloticus* com alta qualidade da água, em áreas preservadas ou próximas a elas, reforça a importância de manter a integridade das águas adjacentes e ambientes terrestres para evitar o estabelecimento de espécies exóticas.

A ocorrência da *O. niloticus* juntamente com a pressão de propágulos em Rondônia, assim como em outras áreas da Amazônia com as mesmas características, evidenciam a necessidade de concentrar esforços na contenção dos processos de introdução dessa espécie, controlando seu cultivo em ambientes amazônicos, melhorando os processos de fiscalização de pisciculturas existentes e novas, para garantir a implementação de boas práticas (por exemplo, sistemas de contenção eficientes). Por fim, enfatiza-se que, para uma aquicultura verdadeiramente sustentável na Amazônia, é necessário um grande investimento na substituição de espécies exóticas por espécies, fenótipos e genótipos nativos (ou seja, nativos da bacia hidrográfica ou sub-bacias onde o cultivo está localizado), utilizar a educação ambiental como ferramenta (AZEVEDO-SANTOS et al., 2015), além de investimentos em normatização das pisciculturas existentes, monitoramento e fiscalização efetiva.

REFERÊNCIAS

- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DA PISCICULTURA (ABP). *Anuário Brasileiro da Piscicultura* - Peixe BR/2020. São Paulo, 2020. Disponível em: <https://www.peixebr.com.br/anuario-2020/>.
- AZEVEDO-SANTOS, V. M. et al., 2015. How to avoid fish introductions in Brazil: education and information as alternatives. *Natureza & Conservação*, n. 1 v. 3, p. 123-132. <http://dx.doi.org/10.1016/j.ncon.2015.06.002>.
- BITTENCOURT, L. S.; LEITE-SILVA, U. R.; Silva, L. M. A., TAVARES-DIAS, M. Impact of the invasion from Nile *O. niloticus* on natives *Cichlidae* species in tributary of Amazonas River, Brazil. *Biota Amazônia*, vol. 4, nº 3, 2014. <http://dx.doi.org/10.18561/2179-5746/biotaamazonia.v4n3p88-94>.
- BLACKBURN, T. et al. A proposed unified framework for biological invasions. *Trends in ecology & evolution*, n. 26, p. 333-9, 2011. DOI: 10.1016/j.tree.2011.03.023.
- BLACKBURN, T. M.; LOCKWOOD, J. L.; CASSEY, P., The influence of numbers on invasion success. *Molecular Ecology*, n. 24, p. 1942-1953, 2015.
- BRABO, M. F.; COSTA, M. W. M.; PAIXÃO, D. J. M. R.; COSTA, J. W. P.; VERAS, G. C. Potencial invasor de tilápia (*Oreochromis niloticus*) em microbacias hidrográficas do Nordeste paraense, Amazônia, Brasil. *Magistra*, Cruz das Almas/BA, n. 27, p. 227, 2015. Disponível em: <https://magistraonline.ufrb.edu.br/index.php/magistra/article/view/383>.
- BRABO, M. F. et al. Visão técnica da gestão ambiental da piscicultura no nordeste do estado do Pará. *ActaFish*, n. 5, p. 11-18, 2017. <https://doi.org/10.2312/ActaFish.2017.5.2.11-18>.
- BRITO, M. F. G.; DAGA, V. S.; VITULE, J. R. S. Fisheries and biotic homogenization of freshwater fish in the Brazilian semiarid region. *Hydrobiologia*, v. 847, p. 3877-3895.2020. <https://doi.org/10.1007/s10750-020-04236-8>.

- CANONICO, G. C.; ARTHINGTON, A.; MCCRARY, J. K.; THIEME, M. L. The effects of introduced tilapias on native biodiversity. *Aquatic conservation: marine and freshwater ecosystems*, n. 15, p. 463-483, 2005. <https://doi.org/10.1002/aqc.699>.
- CARVAJAL-VALLEJOS, F. M. *et al.*, Los peces y delfines de la Amazonía Boliviana: hábitats, potencialidades y amenazas. *La Introducción de Arapaima Gigas (Paiche) en la Amazonía Boliviana*, n. 15, p. 367-395, 2011.
- CATFORD, J. A.; JANSSEN, R.; NILSSON, C. Reducing redundancy in invasion ecology by integrating hypotheses into a single theoretical framework diversity distribution. *Diversity Distrib.*, n. 15, p. 22-40, 2009.
- CASIMIRO A. C. R. *et al.* Escapes of non-native fish from flooded aquaculture facilities: the case of Paranapanema River, southern Brazil. *Zoologia*, n. 35, e1463, 2018. <https://doi.org/10.3897/zoologia.35.e14638>.
- CHARVET, P. *et al.*, 2021. Tilapia farming threatens Brazil's waters. *Science*, v. 371, p.356, 2021. <https://doi.org/10.1126/science.abg1346>.
- COPP, G. H.; GARTHWAITE, R.; GOZLAN, R. E. Risk identification and assessment of non-native freshwater fishes: concepts and perspectives on protocols for the UK. *Sci. Ser. Tech Rep.*, Cefas Lowestoft, n. 129, p. 32, 2005. Disponível em: <https://www.cefas.co.uk/services/research-advice-and-consultancy/non-native-species/decision-support-tools-for-the-identification-and-management-of-invasive-non-native-aquatic-species/background-and-guidance-for-the-risk-family-of-screening-tools-pdf-750-kb/>.
- COPP, G. H., L. VILIZZI, J. MUMFORD, G. V. FENWICK, M. J. GODARD & R. E. GOZLAN, 2009. Calibration of FISK, an invasiveness screening tool for nonnative freshwater fishes. *Risk Analysis* 29: 457–467.
- CRUZ, C. D. GENES - a software package for analysis in experimental statistics and quantitative genetics. DOI: 10.4025/actasciagron. v35i3.21251. *Acta Scientiarum. Agronomy*, n. 35(3), p. 271-276. 2013<https://doi.org/10.4025/actasciagron.v35i3.21251>.
- DAGA V. S.; GUBIANI, E. A.; CUNICO, A. M.; BAUMGARTNER, G. Effects of abiotic variables on the distribution of fish assemblages in streams with different anthropogenic activities in southern Brazil. *Neotrop. ichthyol.*, v. 10, n 3, p. 643-652, 2012. <https://doi.org/10.1590/S1679-62252012000300018>.
- DORIA, C.; CATÂNEO, D.; TORRENTE-VILARA, G.; VITULE, J. R. S. 2020. Is there a future artisanal fishing in the Amazon? The case of *Arapaima gigas*. *Management of Biological Invasions*, n.1, p. 1-8, 2010. <https://doi.org/10.3391/mbi.2020.11.1.01>.
- DORIA C. R. C. *et al.* The silent threat of non-native fish in the Amazon. ANNF - Database and Review. *Frontiers in ecology and evolution journal*, n. 9, p. 316, 2021. <https://doi.org/10.3389/fevo.2021.646702>.
- FISHBASE. *Oreochromis niloticus*. [internet]. Disponível em: <https://www.fishbase.se/summary/oreochromis-niloticus.html>. Acesso em: 09 jul. 2021.
- FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS (FAO). Fisheries and Aquaculture Department. Species Fact Sheets *Oreochromis niloticus* (Linnaeus, 1758). Disponível em: <http://www.fao.org/fishery/species/3217/en>. Acesso em: 09 jul. 2021.
- FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS (FAO). The state of world fisheries and aquaculture. - Meeting the sustainable development goals. Rome: FAO, 2020.

- FORNECK, S. C. *et al.* Aquaculture facilities drive the introduction and establishment of non-native *Oreochromis niloticus* populations in neotropical streams. *Hydrobiologia*, n. 848, p. 1955-1966. Springer Nature Switzerland, 2021. <https://doi.org/10.1007/s10750-020-04430-8>.
- FORNECK, S. C. *Efeitos da pressão de propágulos sobre o sucesso de estabelecimento da espécie não-nativa Oreochromis niloticus*. 2019. 117 p. Tese (Doutorado Ecologia e Conservação) – Programa de Pós-Graduação em Ecologia e Conservação, Setor de Ciências Biológicas, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2019.
- FORNECK, S. C. *Avaliação do risco potencial de invasões biológicas por espécies de peixes não nativas em um afluente do rio Piquiri, bacia hidrográfica do alto rio Paraná*. 2014. 44 p. Dissertação (Mestrado em Aquicultura e Desenvolvimento Sustentável) - Universidade Federal do Paraná, Palotina, 2014.
- FREHSE, F. D., WEYL, O. L. F.; VITULE, J. R. S. Differential use of artificial habitats by native and non-native fish species in Neotropical reservoirs. *Hydrobiologia*, n. 848, p. 2355-2367, 2021. <https://doi.org/10.1007/s10750-021-04564-3>.
- FROESE, R.; PAULY, D. *World Wide Web electronic publication*. 2021. Available from: <http://fishbase.org>.
- GARCIA, D. A. Z. *et al.* Peixes não-nativos em riachos no brasil: estado da arte, lacunas de conhecimento e perspectivas. *Oecologia Australis*, n. 25, p. 565–587, 2021. <https://doi.org/10.4257/oeco.2021.2502.21>
- GELLER, L. V. *et al.* Good intentions, but bad effects: Environmental laws protects non-native ichthyofauna in Brazil. *Fish Manag Ecol.*, v. 28, p. 1-4, 2020. <https://doi.org/10.1111/fme.12446>.
- GOZLAN, R. E.; BRITTON, J. R.; COWX, I.; COPP, G. H. Current knowledge on non-native freshwater fish introductions. *Journal of Fish Biology*, n. 76, p. 751-786, 2010. <https://doi.org/10.1111/j.1095-8649.2010.02566.x>.
- GUARIDO, P. C. P. *Degradação ambiental e presença de espécies de peixes não nativas em pequenos igarapés de terra firme de Manaus*. 2014. 58 p. Dissertação (Mestrado em Ciências Biológicas) – Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia (INPA), Manaus, 2014.
- GUBIANI, E. A. *et al.* Non-native fish species in neotropical freshwaters: how did they arrive, and where did they come from? Invasive species II. *Hydrobiologia*, n. 817, p. 57-69, 2018. <https://doi.org/10.1007/s10750-018-3617-9>.
- HILL, J. E.; LAWSON, K. M. Risk screening of Arapaima, a new species proposed for aquaculture in Florida. *North American Journal of Fisheries Management*, n. 35, p. 885-894, 2015. Available from: <http://www.ces.fau.edu/usgs/pdfs/Hill%20and%20Lawson%202015%20arapaima%20risk%20screen.pdf>.
- ICMBio – Instituto Chico Mendes. *Protocolo básico de igarapés* – Programa Monitora, Subprograma Aquático Continental. ICMBio, 2018.
- IDARON – Agência de Defesa Sanitária Agrossilvopastoril do Estado de Rondônia. 43º CAMPANHA DE VACINAÇÃO DE FEBRE AFTOSA. IDARON, 2017.
- INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). *Censo Agropecuário 2017*. Dados reportados via resposta a documento oficial, 2017.

- INVASIVE SPECIES SPECIALIST GROUP (ISSG). *Global invasive species database species profile: Oreochromis niloticus*. 2020. Disponível em: <http://www.iucngisd.org/gisd/speciesname/Oreochromis+niloticus>. Acesso em: jul. 2020.
- KOLAR, C. S. *et al.* Ecological predictions and risk assessment for alien fishes in North America. *Science*, n. 298, p. 1233, 2002. <http://dx.doi.org/10.1126/science.1075753>.
- LATINI, A. O.; PETRERE JUNIOR, M., 2018. Efficiency of rapid field methods for detecting alien fish in Eastern Brazilian lakes. *Hydrobiologia* 817:85–96. <http://dx.doi.org/10.1046/j.1365-2400.2003.00372.x>.
- LATINI, A. O.; RESENDE, D. C.; POMBO, V. B.; CORADIN, L. (Orgs.). Espécies não nativas invasoras de águas continentais no Brasil. *Série Biodiversidade*, n. 39, p. 791. Brasília: MMA, 2016. Disponível em: MMA_2016.pdf (pesca.pet). Acesso em: jul. 2020.
- LATINI, A. O. *Inventário rápido e identificação de fatores que limitam a dispersão de exóticos: um estudo sobre peixes no médio rio Doce (MG, Brasil)*. 2005. 115 p. Tese (Doutorado em Ecologia) – Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2005.
- LEÃO, T. C. C.; ALMEIDA, W. R.; DECHOUM, M.; ZILLER, S. R. *Espécies exóticas invasoras no nordeste do Brasil: contextualização, manejo e políticas públicas*. Recife: CEPAN, 2011.
- LIMA JUNIOR, D. P. *et al.* Aquaculture expansion in Brazilian freshwaters against the Aichi biodiversity targets. *Ambio.*, n. 47(4), p. 427-440, maio 2018. DOI: 10.1007/s13280-017-1001-z. Epub 2018 Jan 6. PMID: 29306998; PMCID: PMC5884758.
- LOCKWOOD J. L., HOOPES, M. F.; MARCHETTI, M. P. *Invasion ecology*. Malden, Blackwell, 2013.
- LOCKWOOD J. L.; CASSEY, P.; BLACKBURN, T. M. The role of propagule pressure in explaining species invasions. *Trends in Ecology and Evolution*, n. 20, p. 223-228, 2005.
- LOWRY, E. *et al.* Biological invasions: a field synopsis, systematic review, and database of the literature. *Ecology and Evolution*, v. 3, p. 182-196, 2013.
- MACEDA-VEIGA A. *et al.* What's next? The release of exotic pets continues virtually unabated seven years after enforcement of new legislation for managing invasive species. *Biol Invasions*, v. 21, 2019. <https://doi.org/10.1007/s10530-019-02023-8>.
- MACK, R. N. *et al.* Biotic invasions: causes, epidemiology, global consequences, and control. *Ecological Applications*, v. 10, n. 3, p. 689-710, 2000. <http://dx.doi.org/10.2307/2641039>. Disponível em: <http://www.jstor.org/stable/2641039>. Acesso em: 16 abr. 2018.
- MAGALHÃES, A. L. B., AZEVEDO-SANTOS, V. M., PELICICE, F. M. Caught in the act: Youtube™ reveals invisible fish invasion pathways in Brazil. *J Appl Ichthyol*, n. 37, p. 125-128, 2021. <https://doi.org/10.1111/jai.14159>.
- MAGALHÃES, A. L. B.; CASATTI, L.; VITULE, J. R. S. Alterações no código florestal brasileiro favorecerão espécies não-nativas de peixes de água doce. *Natureza e Conservação*, n. 9, p. 121-124, 2011.
- MAGALHÃES, A. L. B. *et al.* Small size today, aquarium dumping tomorrow: sales of juvenile non-native large fish as an important threat in Brazil. *Neotropical Ichthyology*, n. 15(4): e170033, 2017. DOI: 10.1590/1982-0224-20170033.
- MAGALHÃES, A. L. B. *et al.* All the colors of the world: biotic homogenization-differentiation dynamics of freshwater fish communities on demand of the Brazilian aquarium trade. *Hydrobiologia*, n. 847, p.3897-3915, 2021. <https://doi.org/10.1007/s10750-020-04307-w>.

- MAZZONI, R.; FENERICH-VERANI, N.; CARAMASCHI, P. A pesca elétrica como técnica de amostragem de populações e comunidades de peixes em rios costeiros do sudeste do Brasil. *Rev. Bras. Biol.*, n. 60, p. 205-216, 2000. <http://dx.doi.org/10.1590/S0034-71082000000200003>.
- MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE (MMA). Disponível em: <http://www.mma.gov.br/biodiversidade/biosseguranca/especies-exoticas-invasoras>. Acesso em: 17 abr. 2020.
- NOBILE, A. B. et al. Status and recommendations for sustainable freshwater aquaculture in Brazil. *Reviews in Aquaculture*, v. 12, p. 1495-1517, 2019. <https://doi.org/10.1111/raq.12393>
- ORSI, M. L. et al. Influência da introdução de *Oreochromis niloticus* na estrutura de populações de peixes de um riacho da bacia do rio Tibagi. In: MMA (Org.). *Espécies não nativas invasoras de águas continentais no Brasil*. Brasília: MMA, 2016, p. 582-599.
- ORTEGA, J. C. G. et al. Fish farming as the main driver of fish introductions in neotropical reservoirs. *Hydrobiologia*, v. 12_, p. 1495-1517, 2015. <https://doi.org/10.1007/s10750-014-2025-z>.
- PADIAL A. A. et al. The “TilapiaLaw” encouraging non-native fish threatens Amazonian River basins. *Biodivers, Conserv.*, n. 26, p. 243-246, 2017. <https://doi.org/10.1007/s10531-016-1229-0>.
- PELICICE, F. M.; VITULE, J. R.; LIMA JUNIOR S. D. P.; ORSI; M. L.; AGOSTINHO A. A serious new threat to Brazilian freshwater ecosystems: the naturalization of nonnative fish by decree. *Conservation Letters*, n. 7, p. 55-60, 2014. <https://doi.org/10.1111/conl.12029>.
- PPBIO – Programa de Pesquisa em Biodiversidade. Instituto Nacional de Pesquisa da Amazônia (INPA) & Museu Paraense Emílio Goeldi (MPEG). *Delineamento Espacial e Protocolos de Coleta*. Ministério de Ciência e Tecnologia. Programa de Biodiversidade/PPBio Amazônia, 2005
- PETERSON, M. S.; SLACK, W. T.; BROWN-PETERSON, N. J.; MCDONALD, J. L. Reproduction in nonnative environments: establishment of Nile Tilapia, *Oreochromis niloticus*, in Coastal Mississippi Watersheds. *Copeia*, n. 4, p. 842-849, 2004.
- RICHARDSON, C. Naturalization and invasion of alien plants: concepts and definitions. *Diversity and Distributions*, n. 6, p. 93-107, 2000. <https://doi.org/10.1046/j.1472-4642.2000.00083.x>.
- SHANNON, C. E.; WEAVER, W. The Mathematical Theory of Communication. Urbana, IL: The University of Illinois Press, 1949, p. 1-117
- SILVA, A. F.; SILVA-FORSBERG, M. C. Espécies não nativas invasoras e seus riscos a Amazônia. *Scientia Amazonia*, v. 4, n. 2, p. 114-124, 2015.
- SIMBERLOFF, D. The role of propagule pressure in biological invasions. *Annu. Rev. Ecol. Evol. Syst.*, p. 133-151, 2009. <https://doi.org/10.1146/annurev.ecolsys.110308.120304>.
- SIQUEIRA, T. V., Aquicultura: a nova fronteira para aumentar a produção mundial de alimentos de forma sustentável. *Boletim Regional, Urbano e Ambiental/ IPEA*, 2017. Disponível em: http://repositorio.ipea.gov.br/bitstream/11058/8142/1/BRU_n17_Aquicultura.pdf. Acesso em: jul. 2020.
- SOARES, L. M. A., CAVALI, J.; VITULE, J. R. S.; DORIA, C. R. C. Ciência cidadã como forma de identificação de ocorrência de espécies não nativas na Amazônia. *SAJEBTT*, n.

- 7, p, 145-159, 2020. Disponível em: <https://periodicos.ufac.br/index.php/SAJEBTT/article/view/3471>.
- SOARES, L. M. A. *et al.* *Legislação vigente sobre espécies exóticas na Amazônia Legal*. (No prelo).
- SOUZA, C. M. Jr. *et al.* Reconstructing three decades of land use and land cover changes in Brazilian biomes with landsat archive and earth engine. *Remote Sens*, n. 12, p. 2735, 2020. <https://doi.org/10.3390/rs12172735>. Projeto Mapbiomas – Collection 5 of the Annual Series of Coverage and Land Use Maps of Brazil. Disponível em: <http://mapbiomas.org/>. Acesso em: abr. 2021.
- TAVARES-DIAS, M.; MARCHIORI, N. C.; MARTINS, M. L. *Paratrachodina africana (Ciliophora: Trichodinidae)* of wild and cultured Nile tilapia in the Northern Brazil. *Rev. Bras. Parasitol. Vet.*, Jaboticabal, v. 22, n. 2, p. 248-252, abr.-jun. 2013.
- TROCA, D. F. A.; VIEIRA, J. P., 2012. Potencial invasor dos peixes não nativos cultivados na região costeira do Rio Grande do Sul, Brasil. *Bol. Inst. Pesca*, São Paulo, n. 2, p. 109-120, 2012. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/272488111_Potencial_invasor_dos_peixes_nao_nativos_cultivados_na_regiao_costeira_do_Rio_Grande_do_Sul_Brasil. Acesso em: jul. 2020.
- VAZZOLER, A. E. A. de M. *Manual de métodos para estudos biológicos de populações de peixes*. Reprodução e crescimento. Brasília: Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico, 1982.
- VICENTE, I. S. T.; FONSECA-ALVES, C. E. Impact of introduced Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*) on non-native aquatic ecosystems Pakistan. *Journal of Biological Sciences*, n. 3, p. 121-126, 2013. <https://doi.org/10.3923/pjbs.2013.121.126>.
- VILIZZI, L. *et al.* A global review and meta-analysis of applications of the freshwater Fish Invasiveness Screening Kit. *Rev. Fish Biol. Fisheries*, n. 29, p. 529-568, 2019. <https://doi.org/10.1007/s11160-019-09562-2>
- VILIZZI, L. *et al.* A global-scale screening of non-native aquatic organisms to identify potentially invasive species under current and future climate conditions. *Sci Total Environ.*, vol. 788, 20 setembro 2021. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2021.147868.
- VITULE, J. R. S.; PRODOCIMO, V. Introdução de espécies não nativas e invasões biológicas. *Estud. Biol., Ambiente Divers*, v. 34, p. 225-237, 2012. <https://doi.org/10.7213/estud.biol.7335>.
- VITULE, J. R. S. Introdução de peixes em ecossistemas continentais brasileiros: revisão, comentários e sugestões de ações contra o inimigo quase invisível. *Neotropical Biology and Conservation*, n. 4(2), p.111-122, 2009. <https://doi.org/10.4013/nbc.2009.42.07>.

MATERIAL SUPLEMENTAR

MS 1 - Registros das coletas biológicas descritas em metodologia.

MS 1.1 Coleta dos parâmetros ambientais



Fonte: Arquivo pessoal da autora.

MS 1.2 - Utilização do medidor de qualidade de água multiparâmetro AKSO (modelo 8603)



Fonte: Arquivo pessoal da autora.

MS 1.3 - Pesca ativa



Fonte: Arquivo pessoal da autora.

MS 2A -Tabela com pontos de coleta biológica e parâmetros ambientais

Ponto de Coleta	Município	Temperatura Ambiente (°C)	Temperatura água (°C)	pH	Condutividade de (µS)	Oxigênio Dissolvido (%)	Turbidez (FTU)	Profundidade Média (m)	Largura Média (m)	Velocidade Média (M/S)	Vazão (M/S)	Substrato
PtCol_1	Ariquemes	28,5	25,7	7,07	26,2	128,50%	4,88	37,8	7	6,26	16,6	areia / argila / folha
PtCol_2	Ariquemes	30,7	26,8	6,69	21,8	123,15%	2,19	38,4	8,6	11,73	38,7	argila / folhas
PtCol_3	Cacaulândia	29,4	25,9	6,52	5,8	42,30%	2,5	34	1,22	10,95	4,5	argila / folhas
PtCol_4	Cacaulândia	32,7	29,4	6,81	38,8	82,20%	5,55	25	3,4	13,64	11,6	argila / folhas
PtCol_5	Candeias Gov Jorge	35	25,8	5,58	5,43	96,20%	0,54	16,9	20	6,9	23,3	areia / argila
PtCol_6	Teixeira	30	26,3	6,98	53,4	23,3	2,29	30	4,33	24,38	31,7	fundo com algas marinhas, alta transparência
PtCol_7	Gov Jorge Teixeira	35	28,16	7,25	53,8	20,43	0	79,8	5,3	19,38	82,0	
PtCol_8	Itapuã	30	27,5	5,13	8,3	71,80%	1,3	29,6	5	59,45	88,0	argila / folhas
PtCol_9	Ji-Paraná	38,7	29,3	7,35	72,9	22,5	5,4	63,6	5	18,1	57,6	lama / argila / areia
PtCol_10	Ji-Paraná	34,7	27	7,05	21,4	24,00%	7,83	60,8	3,4	3,94	8,1	lama / argila / areia
PtCol_11	Ouro Preto	37,3	25,2	7,21	57,6	36,55%	3,48	36,4	4,77	5,74	10,0	lama / argila / folhas
PtCol_12	Ouro Preto	37,4	29,7	6,9	151,13	19,3	3,77	35,8	8	21,36	61,2	lama / argila / areia
PtCol_13	Porto Velho	32	30,1	6,7	190,5	34%	1,43	23,6	7,25	7,39	12,6	lama/folha
PtCol_14	Porto Velho	31	27,4	5,4	7,1	66,15%	1,74	18,3	1,4	1,85	0,5	folhas / macrófitas/ pedregulhos
PtCol_15	Porto Velho	30	28,7	7,12	228,3	20,7	9,79	23,6	7,25	7,39	12,6	argila / folhas
PtCol_16	Porto Velho	28	27,8	6,96	242,55	22,45	2,82	12	3	6,56	2,4	argila / folhas
PtCol_17	Teixeirópolis	31,4	25,2	7,33	51,15	20,4	4,17	22,2	12,5	4	11,1	argila / pedra
PtCol_18	Teixeirópolis	28,6	23,6	6,88	48,8	24,26	0,89	49,4	4,62	45,3	103,4	raízes / areia

Fonte: Elaboração própria.

MS 2B - Tabela com pontos de coleta biológica e parâmetros avaliados

Ponto de Coleta	Município	Presença de <i>O. niloticus</i> (Sim ou Não)	Número de indivíduos de <i>O. niloticus</i> coletados	Número de pisciculturas de <i>O. niloticus</i> - 10 km	Número de pisciculturas de <i>O. niloticus</i> - 20 km	Adensamento (Alto/Baixo)	Local (Urbano ou Rural)	Riqueza	Índice de Biodiversidade
PtCol_1	Ariquemes	Não	0	1	0	Baixo	Rural	19	0,868366
PtCol_2	Ariquemes	Não	0	0	0	Baixo	Rural	10	0,683062
PtCol_3	Cacaulândia	Não	0	2	3	Baixo	Rural	18	0,815693
PtCol_4	Cacaulândia	Não	0	2	3	Baixo	Rural	9	0,643862
PtCol_5	Candeias Gov Jorge	Não	0	1	0	Baixo	Rural	13	0,770104
PtCol_6	Teixeira Gov Jorge	Não	0	2	4	n.a.	Rural	10	0,750519
PtCol_7	Teixeira	Não	0	2	4	Alto	Rural	16	0,560282
PtCol_8	Itapuã	Não	0	0	0	Baixo	Rural	7	0,743802
PtCol_9	Ji-Paraná	Não	0	1	7	Alto	Rural	14	0,823972
PtCol_10	Ji-Paraná	Não	0	0	15	Alto	Rural	25	0,766761
PtCol_11	Ouro Preto	Não	0	8	13	Alto	Rural	25	0,484019
PtCol_12	Ouro Preto	Sim	2	5	8	Alto	Urbano	15	0,828632
PtCol_13	Porto Velho	Sim	47	0	0	Baixo	Urbano	2	0,040799
PtCol_14	Porto Velho	Não	0	0	1	Baixo	Rural	15	0,837903
PtCol_15	Porto Velho	Sim	17	0	0	Baixo	Urbano	1	0
PtCol_16	Porto Velho	Sim	9	0	0	Baixo	Urbano	4	0,485207
PtCol_17	Teixeirópolis	Não	0	2	8	Alto	Rural	31	0,901354
PtCol_18	Teixeirópolis	Não	0	4	6	Alto	Rural	12	0,731082
SD_1	Nova	Sim	9	6	5	Alto	Rural	17	NI*

	Brasilândia								
SD_2	Porto Velho	Sim	5	0	0	Baixo	Rural	1	NI
SD_3	Porto Velho	Sim	1	1	1	Baixo	Rural	1	NI
SD_4	Alta Floresta	Sim	74	0	6	Alto	Rural	0	NI
SD_5	Alta Floresta	Sim	288	0	6	Alto	Rural	0	NI
SD_6	Presidente Médice	Sim	1	6	6	Alto	Rural	0	NI
SD_7	Vale Do Anari	Sim	1	1	1	Baixo	Rural	0	NI

*Não informado.

Fonte: Elaboração própria.

MS 3:A) Exemplares da *O. niloticus* coletados no córrego PtCol_13 em 12/06/2019-Porto Velho em 2019;
B) Exemplares da *O. niloticus* capturados no córrego PtCol_13, Porto Velho em 12/06/2019, em fase reprodutiva/Maduro.



Fonte: Arquivo pessoal da autora.

MS 4.Fish Invasiveness Scoring Kit (FISK) *O. niloticus* (COPP et al., 2005).

Biogeography / Historical	1 <i>Domestication/Cultivation</i>	Is the species highly domesticated or widely cultivated for commercial, angling or ornamental purposes?	Y
		Has the species established self-sustaining populations where introduced?	Y
		Does the species have invasive races/varieties/sub-species?	N
	2 <i>Climate and Distribution</i>	What is the level of matching between the species' reproductive tolerances and the climate of the RA area?	2
		What is the quality of the climate match data?	2
		Does the species have self-sustaining populations in three or more (Köppen-Geiger) climate zones?	Y
		Is the species native to, or has established self-sustaining populations in, regions with similar climates to the RA area?	Y
		Does the species have a history of being introduced outside its natural range?	Y
		Has the species established one or more self-sustaining populations beyond its native range?	Y
	3 <i>Invasive elsewhere</i>	In the species' introduced range, are there impacts to wild stocks of angling or commercial species?	Y
		In the species' introduced range, are there impacts to aquacultural, aquarium or ornamental species?	Y
		In the species' introduced range, are there impacts to rivers, lakes or amenity values?	Y
		Does the species have invasive congeners?	Y
		Is the species poisonous/venomous, or poses other risks to human health?	N
Biology/ Ecology	<i>Undesirable traits</i>	Does the species out-compete with native species?	Y
		Is the species parasitic of other species?	N
		Is the species unpalatable to, or lacking, natural predators?	N
		Does the species prey on a native species previously subjected to low (or no) predation?	N
		Does the species host, and/or is it a vector, for one or more recognised non-native infectious agents?	Y
		Does the species achieve a large ultimate body size (i.e. >15 cm total length) (more likely to be abandoned)?	Y
		Does the species have a wide salinity tolerance or is euryhaline at some stage of its life cycle?	N
		Is the species able to withstand being out of water for extended periods (e.g. minimum of one or more hours)?	N
		Is the species tolerant of a range of water velocity conditions (e.g. versatile in habitat use)?	N
		Does feeding or other behaviours of the species reduce habitat quality for native species?	Y
		Does the species require minimum population size to maintain a viable population?	N
	5 <i>Feeding guild</i>	If the species is mainly herbivorous or piscivorous/carnivorous (e.g. amphibia), then is its foraging likely to have an adverse impact in the RA area?	Y
		If the species is an omnivore (or a generalist predator), then is its foraging likely to have an adverse impact in the RA area?	N
		If the species is mainly planktivorous or detritivorous or algivorous, then is its foraging likely to have an adverse impact in the RA area?	N
		If the species is mainly benthivorous, then is its foraging likely to have an adverse impact in the RA area?	N
	<i>Reproduction</i>	Does the species exhibit parental care and/or is it known to reduce age-at-maturity in response to environment?	Y
		Does the species produce viable gametes?	Y
		Is the species likely to hybridize with native species (or use machos of native species to activate eggs) in the RA area?	N

		Is the species hermaphroditic?	N
		Is the species dependent on the presence of another species (or specific habitat features) to complete its life cycle?	N
		Is the species highly fecund (>10,000 eggs/kg), iteropatric or has an extended spawning season relative to native species?	Y
		What is the species' known minimum generation time (in years)?	1
7	<i>Dispersal mechanisms</i>	Are life stages likely to be dispersed unintentionally?	Y
		Are life stages likely to be dispersed intentionally by humans (and suitable habitats abundant nearby)?	Y
		Are life stages likely to be dispersed as a contaminant of commodities?	Y
		Does natural dispersal occur as a function of egg dispersal?	Y
		Does natural dispersal occur as a function of dispersal of larvae (along linear and/or 'stepping stone' habitats)?	N
		Are juveniles or adults of the species known to migrate (spawning, smolting, feeding)?	N
		Are eggs of the species known to be dispersed by other animals (externally)?	N
		Is dispersal of the species density dependent?	Y
		Are any life stages likely to survive out of water transport?	N
8	<i>Persistence attributes</i>	Does the species tolerate a wide range of water quality conditions, especially oxygen depletion and temperature extremes?	Y
		Is the species readily susceptible to piscicides at the doses legally permitted for use in the risk assessment area?	N
		Does the species tolerate or benefit from environmental disturbance?	Y
		Are there effective natural enemies of the species present in the risk assessment area?	N

CONCLUSÃO

As invasões biológicas, independentemente de quais vetores estão envolvidos, podem gerar mudanças ecológicas na dinâmica de todo ecossistema, especialmente em ambientes aquáticos. O presente estudo é pioneiro no levantamento de informações sobre *O. niloticus* em estados amazônicos, dada a ausência de estudos sobre a quantificação de propágulos, a relação dos locais de ocorrência com as características do ambiente circundante e quanto esses fatores interferem no potencial risco de invasão da espécie na região.

Os dados gerados mostram o número elevado de pisciculturas em Rondônia, com criação da *O. niloticus* sem registro no órgão ambiental, associado ao número reduzido de piscicultores que possuem sistema de contenção, possivelmente gerando propágulos nos ecossistemas circundantes, visto que a ocorrência da *O. niloticus* em cursos d'água de municípios de Rondônia já uma realidade.

Esse cenário é agravado por lacunas legais e divergência entre os estados da Amazônia, e por incongruência com as diretrizes federais e tratados internacionais, além de estratégias de fiscalização que não trazem as criações existentes à luz da legalidade. Esses fatores reforçam o alto risco de invasão da *O. niloticus* em Rondônia, conforme constatado no Protocolo FISK, e certamente em regiões que apresentam as mesmas características: i) deficiências de fiscalização; ii) corpos d'água em ambientes com baixa qualidade ambiental (alto desflorestamento); iii) alta densidade de pisciculturas no entorno; e iv) baixa riqueza da ictica.

O Protocolo FISK, embora tenha sido considerado **alto** potencial invasor de *O. niloticus*, não mensura um fator identificado por este trabalho: a influência da legislação e sua aplicação no processo de invasão biológica, em que, uma vez introduzida a espécie, a insuficiência de fiscalização e controle são agravantes no impacto da espécie invasora ao meio ambiente. Outro fator que merece ser ressaltado - que transcende questão ambiental, atingindo a esfera social, pela proximidade dos locais de coletas a centros urbanos - é o possível consumo dos animais estabelecidos em ambientes de baixa qualidade ambiental, sendo imprescindível a avaliação dos peixes e o monitoramento de provável consumo pela população.

Dessa forma, existe ocorrência, invasão e evidências estabelecimento da *O. niloticus* em cursos d'água de Rondônia, em decorrência da elevada pressão de propágulos gerada por pisciculturas de *O. niloticus*, porém os resultados vão além da confirmação da hipótese inicial

desta investigação. Compilar informações sobre a criação da *O. niloticus* permitiu não somente constatar sua criação, mas avaliar os potenciais impactos a serem gerados na ictiofauna local. O incentivo à piscicultura e o aumento exponencial da quantidade de criadores em Rondônia, sobrecarregou os setores de regulamentação e fiscalização responsáveis, possivelmente pela quantidade insuficiente de servidores e altos custos na execução da fiscalização em campo, levando ao elevado número de pisciculturas sem registro e à invasão da espécie exótica no meio ambiente.

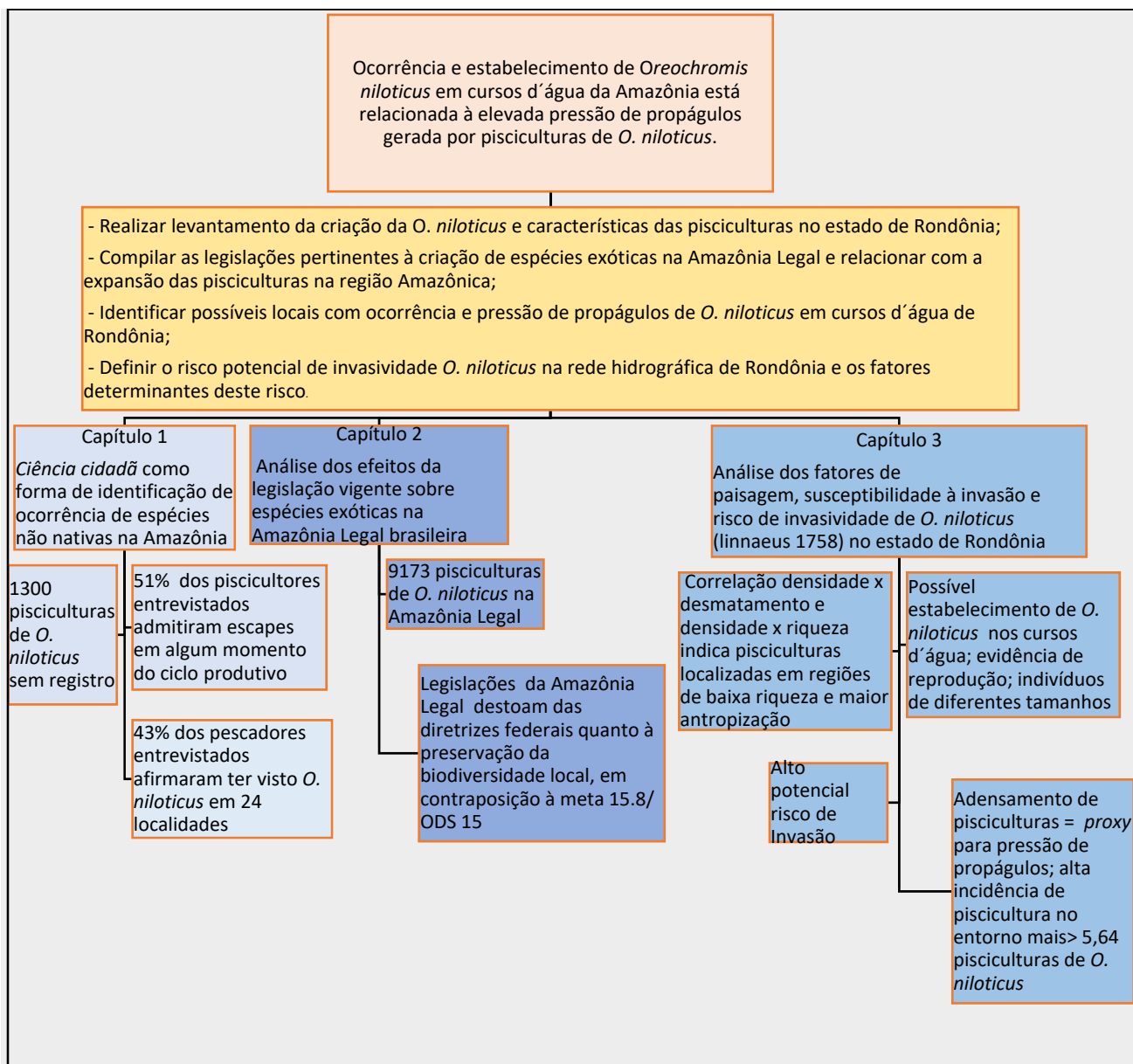
Espera-se que este trabalho seja basilar na implantação de ações sobre o tema, bem como direcionador de políticas públicas sobre espécies exóticas no estado. Também, como resultado foi gerado um roteiro de avaliação, através da identificação com a CC da ocorrência, coletas em campo e aplicação do FISK, podendo servir de orientação para outros pesquisadores da Amazônia.

A adoção de medidas mitigadoras precisa ocorrer em caráter de urgência, a fim de evitar a homogeneização biótica e substituição de espécies. Nesse sentido, a partir deste trabalho, é possível sugerir algumas ações:

- Maior diálogo entre os setores do legislativo em diferentes níveis e destes com os órgãos executivos e os aquicultores, com intuito de unificar as legislações para a Amazônia Legal, principalmente entre estados que dividem bacias hidrográficas;
- Substituição de espécies exóticas por espécies, fenótipos e genótipos nativos da bacia do rio ou sub-bacias onde há o cultivar;
- Assegurar contenção adequada dos tanques de piscicultura destinados à criação de espécies exóticas, bem como a distância de cursos d'água e reversão sexual (diminuindo taxa de reprodução em caso de escapes);
- Aderência ao sistema de monitoramento ecológico, com práticas direcionadas para reduzir impactos ambientais de atividades humanas;
- Cadastramento os piscicultores da *O. niloticus* em Rondônia e assinatura de Termo de compromisso (TC) para implantação de medidas saneadoras e cumprimento da legislação vigente sobre criação de espécies exóticas;
- Realização de treinamentos sobre aplicação das normas legais para criação de espécies exóticas para os piscicultores que assinarem o TC;
- Erradicação da espécie *O. niloticus* nos cursos d'água onde a espécie foi coletada;

- Investigação sobre segurança alimentar, haja vista a proximidade das populações estabelecidas das áreas urbanas e possibilidade de consumo de *O. niloticus*, o que é uma relevante questão de saúde pública;
- Atuação na disseminação de informações, através da educação ambiental, sobre os riscos ambientais da criação de espécies exóticas sem utilização de contenção adequada a longo prazo;
- Incentivo a novos trabalhos que gerem maiores informações sobre novos propágulos e a pressão por eles exercida.

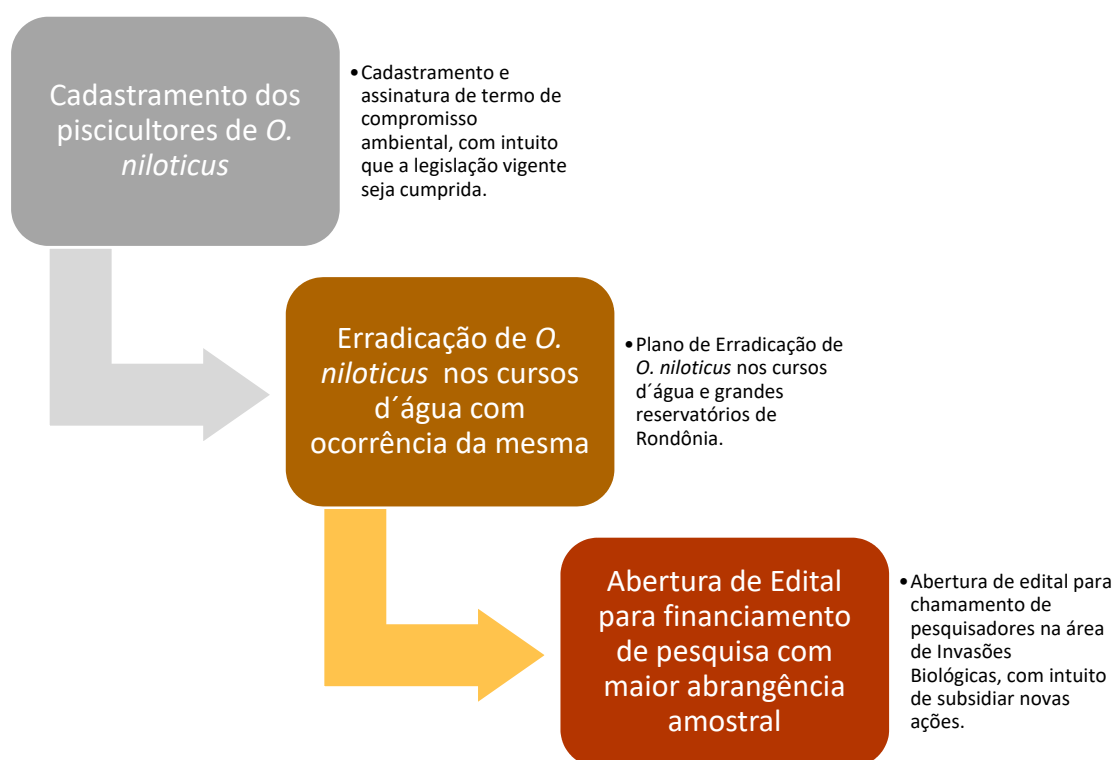
Fluxograma 1 - Resumo integrado dos capítulos 1, 2 e 3.



- Aumento exponencial da quantidade de pisciculturas de *O. niloticus* em Rondônia.
- Sobrecarga dos setores de regulamentação e fiscalização responsáveis.
- Elevado número de pisciculturas sem registro.
- Introdução da espécie exótica *O. niloticus* no meio ambiente.

Fonte: Elaboração própria.

Fluxograma 2 - Sugestão de **ações imediatas** para o estado de Rondônia.



Fonte: Elaboração própria.

ANEXO 1. Primeiro Capítulo publicado.

SOUTH AMERICAN JOURNAL
 of Basic Education, Technical and Technological

 SAJEETT, Rio Branco, UFAC
 v. 7 n. 2 (2020): Edição mai/ago, p. 145-159
 ISSN: 2446-4821

CIÊNCIA CIDADÃ COMO FORMA DE IDENTIFICAÇÃO DE OCORRÊNCIA DE ESPÉCIES NÃO NATIVAS NA AMAZÔNIA
CITIZEN SCIENCE AS A WAY OF IDENTIFYING THE OCCURRENCE OF NON-NATIVE SPECIES IN THE AMAZON

 Lariessa Moura De Araújo Soares^{1*}, Jucilene Cavali², Jean Ricardo Simões Vitule³, Carolina Rodrigues Da Costa Doria⁴
¹Doutoranda, Laboratório de Ictiologia e Pesca, Programa de Pós-Graduação Rede Bionorte, Universidade Federal de Rondônia, Porto Velho/RO, Brasil;

²Pesquisadora, Departamento de Zootecnia, Campus Presidente Médici/RO, Brasil

³Pesquisador, Laboratório de Ecologia e Conservação, Setor de Tecnologia, Universidade Federal do Paraná, Curitiba/PR, Brasil;

⁴Pesquisadora Laboratório de Ictiologia e Pesca, Departamento de Biologia, Universidade Federal de Rondônia, Porto Velho/RO, Brasil.

*Autor correspondente: e-mail: lariessa@gmail.com

RESUMO

A Ciência Cidadã (CC) pode ser uma importante ferramenta na análise de impactos e mudanças na biodiversidade, especialmente pela ampla distribuição dos voluntários. A CC foi utilizada como ferramenta no presente trabalho com o detector a ocorrência de *Oreochromis niloticus* em Rondônia. Registros de ocorrência foram obtidos com 129 pescadores, com auxílio de formulário de perguntas enviado pelo aplicativo WhatsApp®. 150 piscicultores foram entrevistados sobre o manejo das pisciculturas. Estas informações foram posteriormente cruzadas com os dados oficiais do número de produtores de *O. niloticus* no estado, do IDARON, do IBGE e do órgão ambiental (SEDAM). Os dados gerados evidenciam grande número de pisciculturas em Rondônia (~1300) de *O. niloticus* sem registro no órgão ambiental. O risco de escape de indivíduos é grande, visto que apenas 29% dos piscicultores responderam utilizar sistemas de contenção, e 51% admitiram permitir escapes das espécies cultivadas no meio ambiente. O que é confirmado relato de visualização de *O. niloticus* em ambiente natural por 43% dos pescadores em 24 locais.

Palavras-chave: Ciência Cidadã, Invasão Biológica; Não-nativos; Biodiversidade.

ABSTRACT

Citizen Science (CC) can be an important tool in the analysis of impacts and changes in biodiversity, especially due to the wide distribution of volunteers. CC was used as a tool in the present work to detect the occurrence of *Oreochromis niloticus* in Rondônia. Occurrence records were obtained from 129 fishermen, with the aid of a question form submitted by the WhatsApp® message application. 150 fish farmers were interviewed about the management of fish farms. This information was later cross-referenced with official data of the number of producers of *O. niloticus* in the state, IDARON, IBGE and the environmental agency (SEDAM). The data generated show numerous fish farmers in Rondônia (~1300) of *O. niloticus* without registration in the environmental agency. The risk of escape of individuals is great, as only 29% of fish farmers responded to use containment systems, and 51% admitted to allowing escapes of species grown in the environment. This is confirmed as a report of visualization of *O. niloticus* in a natural environment by 43% of fishermen in 24 locations.

Key words: Citizen Science, Biological Invasion; Non-natives; Biodiversity.

1. INTRODUÇÃO

Quem é o pesquisador? A primeira ideia que vem à cabeça é de cientistas ligados a instituições de pesquisas ou universidades, porém essa concepção vem mudando através da Ciência Cidadã - CC [4]. A CC tem se tornado muito popular em diversas partes do mundo, porém essa rápida expansão gerou significados ambíguos a aplicação da mesma [5]. A CC é

Enviado em: 13/04/2020 - Aprovado em: 22/09/2020

ANEXO 2. Participação em artigo de relevância internacional como co autora.



The Silent Threat of Non-native Fish in the Amazon: ANNF Database and Review

OPEN ACCESS

Edited by:

Lawrence Hurd,
Washington and Lee University,
United States

Reviewed by:

Pablo Tedesco,
IRD UMR253 Evolution and Diversity
Biologique, France
Fernando Mayer Pellice,
Federal University of Tocantins, Brazil

*Correspondence:

Carolina Rodrigues da Costa
Doria carolinarodrigues@unir.br

Specialty section:

This article was submitted to
Biogeography and Macroecology,
a section of the journal
Frontiers in Ecology and Evolution

Received: 27 December 2020

Accepted: 29 April 2021

Published: 10 June 2021

Citation:

Doria CRD¹, Agudelo E,
Akama A, Barros B, Bonfim M,
Carvalho L, Brígida-Ferreira SR,
Nobre Carvalho L, Bonilla-Castillo CA,
Charvet P, dos Santos Catão DTB,
da Silva HF, Garcia-Dávila CR,
dos Anjos HDB, Duponchelle F,
Encalada A, Fernandes I,
Florentino AC, Guarido PCP,
de Oliveira Guedes TL,
Jimenez-Segura L, Lasso-Alcalá OM,
Macean MR, Marques EE,
Mendes-Junior RRG,
Miranda-Chumacero G, Nunes JLS,
Occhi TVT, Pereira LS,
Castro-Pulido W, Soares L,
Sousa RGC, Torrente-Vilara G,
Van Damme PA, Zuanon J and
Vitule JRS (2021) The Silent Threat
of Non-native Fish in the Amazon:
ANNF Database and Review.
Front. Ecol. Evol. 9:646702.
doi: 10.3389/fevo.2021.646702

Carolina Rodrigues da Costa Doria^{1*}, Edwin Agudelo², Alberto Akama³, Bruno Barros⁴,
Mariana Bonfim⁵, Laís Carneiro⁶, Sylvio Romério Brígida-Ferreira⁶,
Lucélia Nobre Carvalho⁷, César Augusto Bonilla-Castillo², Patricia Charvet⁸,
Dayana Tamielis Brito dos Santos Catão⁹, Hugmar Pains da Silva⁹,
Carmen Rosa Garcia-Dávila⁹, Hélio Daniel Beltrão dos Anjos¹⁰, Fabrice Duponchelle¹¹,
Andrea Encalada^{12,13}, Izaias Fernandes¹⁴, Alexandro Cezar Florentino¹⁵,
Paula Carolina Paes Guarido¹⁶, Thales Lopes de Oliveira Guedes¹⁷,
Luz Jimenez-Segura¹⁸, Oscar Miguel Lasso-Alcalá¹⁹, Marc Ruben Macean²⁰,
Elaine Eugênio Marques¹⁷, Raimundo Nonato G. Mendes-Junior²¹,
Guido Miranda-Chumacero²², Jorge Luiz Silva Nunes²⁰, Thiago Vinícius Trento Occhi²³,
Leonardo Silva Pereira²³, William Castro-Pulido²⁴, Larissa Soares¹,
Raniere Garcez Costa Sousa²⁵, Gislene Torrente-Vilara²⁴, Paul André Van Damme²⁵,
Jansen Zuanon²⁶ and Jean Ricardo Simões Vitule⁵

¹ Laboratory of Ichthyology and Fisheries, Federal University of Roraima, Porto Velho, Brazil, ² Grupo de Ecosistemas
Acuáticos, Instituto Amazónico de Investigaciones Científicas SINCHI, Leticia, Colombia, ³ Museu Paraense Emílio Goeldi,
Belém, Brazil, ⁴ Department of Biology, Temple University, Philadelphia, PA, United States, ⁵ Laboratory of Ecology
and Conservation, Technology Sector, Federal University of Paraná, Curitiba, Brazil, ⁶ Programa de Pós-graduação em
Recursos Naturais, Federal University of Roraima, Boa Vista, Brazil, ⁷ Laboratory of Tropical Ichthyology, Federal University
of Mato Grosso, Sinop, Brazil, ⁸ Laboratory of Cytogenetics and Animal Genetics, Federal University of Mato Grosso,
Cuiabá, Brazil, ⁹ Laboratorio de Biología y Genética Molecular, Instituto de Investigaciones de la Amazonia Peruana-IAP,
Iquitos, Perú, ¹⁰ Laboratory of Ichthyology, Federal University of Amazonas, Manaus, Brazil, ¹¹ Institut de Recherche pour le
Développement, MARBEC (Univ. Montpellier, CNRS, Ifremer, IRD), Montpellier, France, ¹² Collège of Biological
and Environmental Sciences, Quito, Ecuador, ¹³ Laboratory of Aquatic Ecology, BIOSFERA Research Institute, Universidad
San Francisco de Quito, Quito, Ecuador, ¹⁴ Laboratory of Biodiversity and Conservation, Federal University of Roraima,
Roraima, Brazil, ¹⁵ Environment Science Program (FPGCA), Federal University of Amapá, Macapá, Brazil,
¹⁶ Institutional Training Program (PC), National Institute for Amazonian Research, Manaus, Brazil, ¹⁷ Environment Science
Program (FPGC/Int), Federal University of Tocantins, Palmas, Brazil, ¹⁸ Laboratory of Aquatic Organisms, Instituto de
Biología, Universidad de Antioquia, Federal University of Maranhão, São Luís, Brazil, ¹⁹ Museo de Historia Natural La Salle,
Fundación La Salle de Ciencias Naturales, Caracas, Venezuela, ²⁰ Laboratory of Aquatic Organisms, Federal University
of Maranhão, São Luís, Brazil, ²¹ Reserva Extrativista do Rio Cajari, Instituto Chico Mendes de Conservação da
Biodiversidade, Macapá, Brazil, ²² Wildlife Conservation Society Program, La Paz, Bolivia, ²³ Research Group in Fisheries,
Aquaculture and Ecology of Fish in Inland Waters, Federal University of Roraima, Porto Velho, Brazil, ²⁴ Instituto do Mac,
Federal University of São Paulo, São Paulo, Brazil, ²⁵ Asociación FAUNAGUA, Cochabamba, Bolivia, ²⁶ Laboratory of Fish
Systematics and Ecology, Biodiversity Department, National Institute for Amazonian Research, Manaus, Brazil

Non-native fish (NNF) can threaten megadiverse aquatic ecosystems throughout the planet, but limited information is available for the Amazon Region. In this study we review NNF data in the Amazonian macroregion using spatiotemporal records on the occurrence and the richness of NNF from a collaborative network of 35 regional experts, establishing the Amazon NNF database (ANNF). The NNF species richness was analyzed by river basin and by country, as well as the policies for each geopolitical division for the Amazon. The analysis included six countries (Brazil, Peru, Bolivia, Ecuador, Venezuela, and Colombia), together comprising more than 80% of the Amazon

ANEXO 3. Dados sobre criação de peixes, informados pela agência IDARON, 2017 levantados durante a 43ª Etapa da Campanha de Vacinação de Febre Aftosa.

Pesquisa realizada na declaração da 43ª Etapa de Febre Aftosa - Período de 15.10.2017 a 15.11.2017

Não Comercializam	Lâmina de água (ha)	Quant. Peixes	Tambaqui	Pintado / Surubim / Cachara	Piranucu	Tilápia	Jatuarana	Matrinchã	Tambatinga	Tambacu	Piauçu	Curimba	Piau	Pirapitinga	Jundiara	Patinga	Carpa	Tucunaré	Camarão
5.622	3.785	5.601.412	5.204	1.045	455	690	224	7	18	3	180	52		52	13	67	53	15	0
	40,69%	21,13%	92,56%	18,59%	8,09%	12,27%	3,98%	0,12%	0,32%	0,05%	3,20%	0,92%	0,00%	0,92%	0,23%	1,19%	0,94%	0,27%	0,00%

Comercializam	Lâmina de água (ha)	Quant. Peixes	Tambaqui	Pintado / Surubim / Cachara	Piranucu	Tilápia	Jatuarana	Matrinchã	Tambatinga	Tambacu	Piauçu	Curimba	Piau	Pirapitinga	Jundiara	Patinga	Carpa	Tucunaré	Camarão
1.636	5.516	20.911.807	1.585	248	271	88	94	3	2	2	47	27	3	10	7	14	7	0	0
	59,31%	78,87%	96,88%	15,16%	16,56%	5,38%	5,75%	0,18%	0,12%	0,12%	2,87%	1,65%	0,18%	0,61%	0,43%	0,86%	0,43%	0,00%	0,00%

Piscicultores Existentes	Lâmina de água (ha)	Quant. Peixes	Tambaqui	Pintado / Surubim / Cachara	Piranucu	Tilápia	Jatuarana	Matrinchã	Tambatinga	Tambacu	Piauçu	Curimba	Piau	Pirapitinga	Jundiara	Patinga	Carpa	Tucunaré	Camarão
7.258	9.301	26.513.219	6.790	1.293	726	778	318	10	20	5	227	79	3	62	20	81	60	15	0
			93,55%	17,81%	10,00%	10,72%	4,38%	0,14%	0,28%	0,07%	3,13%	1,09%	0,04%	0,85%	0,28%	1,12%	0,83%	0,21%	0,00%

ANEXO 4. Formulário de pesquisa para identificação da *O. niloticus* aplicado aos pescadores via aplicativo de mensagens através de link do Google Formulário®.

VISUALIZAÇÃO DE TILÁPIAS

Prezado pescador, gostaríamos de pedir sua colaboração em nossa pesquisa sobre a ocorrência de tilápias nos Rios de Rondônia, respondendo nosso questionário. Faremos perguntas sobre a visualização das tilápias nos rios que você frequenta e característica locais. Levará em torno de 3-5 minutos. Sua identidade não será cadastrada, apenas caso queira informar. Sua participação neste estudo é completamente voluntária e apoiará futuras políticas públicas no estado. Quaisquer dúvidas entrar em contato com: Dra. Carolina Doria, coordenadora do Laboratório de Ictiologia e Pesca da UNIR/RO, no email: carolinardoria@unir.br ou com a Doutoranda Lariessa, e-mail: lariessa@gmail.com

* Required

Tilápia



Você já pescou a Tilápia? (Foto Acima) *

- ☐ SIM
- ☐ Não

Em qual município?

Your answer

Em qual Rio ou Igarapé?

Your answer

Quantas vezes já visualizou? *

- ☐ 1
- ☐ 2
- ☐ 3
- ☐ 4
- ☐ 5
- ☐ Mais de 5 vezes
- ☐ Nenhuma
- ☐ Other:

ANEXO 5. Formulário físico aplicado em entrevistas aos piscicultores em eventos relacionados a temática.

Pesquisa Referenciada pelo Laboratório de Ictiologia e Pesca/UNIR

1. Qual Linha, Ramal, Comunidade se localiza sua piscicultura? Adicionar Município.

Poderia informar E-mail ou telefone?

Possui rio ou igarapé ou lago próximo a propriedade? Qual nome do rio ou igarapé? _____

Qual Atividade?

() Piscicultor

() Produtor Alevinos

() Produtor Matrizes

() Pescador

() Proprietário de Pesque Pague

() Proprietário de Indústria e Agroindústria

2. Se marcou produtor de alevinos, qual a procedência das matrizes?

3. Se marcou produtor, qual a procedência dos alevinos?

4. Qual espécie possui na propriedade?

() Tambaqui

() Pirarucu

() Pintado

() Jatuarana

() *O. niloticus*

() Outros

5. Quantas toneladas por ano de cada espécie marcada?

6. Por que escolheu esta ou estas espécies para cultivar?

Quando a limpeza do tanque é realizada, o que ocorre com os peixes menores?

() Separado em outro Tanque

() Encaminhados junto a água de limpeza

() Reintegrados na natureza

7. No seu empreendimento, já ocorreu perda de exemplares para o meio ambiente?

() SIM

() NÃO

8. Onde Comercializa seus peixes?

() Indústria ou Agroindústria locais

() Mediadores de Compra (Atravessadores)

() Outros Produtores

() Outros Estados

Se marcou outros estados, quais?

9. Possui assistência técnica especializada na propriedade?

() SIM

() NÃO

10. Existem alguns peixes que não se desenvolvem junto com os outros, a malha do monge permite que os mesmos saiam do tanque?

() SIM

() NÃO

11. Seus peixes ou seus tanques já apresentaram parasitos ou outras espécies que não estão sendo criadas?

() SIM

() NÃO

Se sim, sabe dizer quais?

12. Para diminuir a entrada de peixes nativos no tanque, usa algum sistema de contenção na entrada, saída ou em ambas?

ANEXO 6. Metodologia de coletas científicas da *O. niloticus* utilizadas por pesquisadores citados.

Descrição da metodologia de coleta biológica com registro da *O. niloticus* de fontes secundárias:

1) **Bacia do rio Madeira.** Registros da Coleção do Laboratório de Ictiologia e Pesca da UNIR/RO. Os exemplares depositados na coleção tiveram esforços de coleta em diferentes pontos, porém com metodologia padronizada. As coletas foram executadas utilizando diversos apetrechos de coletas, sempre adaptados aos tipos de ambientes disponíveis em cada ponto: i) redes de espera expostas nas margens dos afluentes e lagos; ii) rede de cerco aplicada sobretudo em praias de areia, formadas principalmente nos períodos nos quais o nível do rio se encontra mais baixo, macrófitas aquáticas e remansos dos afluentes; iii) arrasto bentônico (*bottom trawl net*) utilizado em coletas no fundo do canal principal do rio Madeira; iv) puçá empregado principalmente para amostragens em microhabitats como bancos de folhiços, vegetação aquática, raízes adventícias e rochas; v) tarrafa para coletas em áreas abertas e, não muito raramente, para coletas mais específicas, em habitats mais restritos, como pedrais; vi) espinhel para captura de peixes de grande porte que utilizam o canal principal do rio Madeira. Eventualmente, coletas manuais também foram efetuadas. Após as identificações, os indivíduos foram depositados na Coleção de Peixes da UNIR sob nomenclatura UFRO-I. QUEIROZ, L. J. et al. Peixes do rio madeira. *Dialeto Latin American Documentary*, São Paulo, 2013.

2) **Sub-bacia do Rio Branco/Igarapé Saldanha.** Registros cedidos por Izaías Fernandes (UNIR, Campus Rolim de Moura). Na pesca científica realizada na sub-bacia do Rio Branco/Igarapé Saldanha, o Dr. Izaías Fernandes utilizou os seguintes apetrechos: rede de espera (malhadeira) e rede de arrasto. Uma bateria de seis redes de espera (malhas de 12, 20, 30, 40, 60 e 80 mm entre nós oposto) com 20 m de comprimento e 2 m de altura foi utilizada. As redes foram armadas às 16:00 horas e retiradas 8:00 horas do dia seguinte, com vistorias às 21:00 horas para retirada dos exemplares capturados. Assim, o esforço amostral total por estação foi de 240 m² de área de rede de espera, por 16 horas consecutivas. Três lances, utilizando uma rede de arrasto de 6 m de comprimento, 2,5 m de altura e malha de 2 mm entre nós adjacentes, foram realizados em locais

próximos às margens com vegetação aquática, bancos de areia ou folhiços em todos pontos amostrais (Dados não publicados)

3) **Sub bacia do rio Machado.** Em uma expedição feita pelo Dr. Gabriel L. Brejão, foram pesquisados 75 córregos de primeira a terceira ordem na bacia do rio Machado, onde as coletas foram feitas durante a estação seca (agosto-outubro de 2011 e junho-julho de 2012). O bloqueio foi feito com malha de 5mm, com extensão de 80 m para coletas. Após a delimitação, quantificaram-se as variáveis de habitat físico-químicas e os peixes foram amostrados de todos os microhabitats disponíveis por dois coletores, usando uma rede de cerco ($1,5 \times 2$ m, malha de 2 mm) e redes de imersão ($0,5 \times 0,8$ m, malha de 2 mm) por uma hora. Todos os indivíduos foram identificados com a ajuda de especialistas taxonômicos e depositados na Coleção de Peixes do Departamento de Zoologia e Botânica da Universidade Estadual Paulista, em São Paulo (Dados não publicados).

ANEXO 7. Método FISK - The Fish Invasiveness Screening Kit (COPP, 2005).

Table A-1. List of the 49 questions making up FISK v2 with highlighted (in italics) changes relative to FISK v1 (cf. Coppet al. 2005).

Section/ (Code)	#	Criteria	Query	Guidance
A. Biogeography/historical				
1. Domestication/Cultivation				
1.01 (C)	1 CL, E		Is the species highly domesticated or <i>widely</i> cultivated for commercial, angling or ornamental purposes?	<i>In order to respond 'Yes', the taxon must have been grown deliberately for at least 20 generations, or is known to be easily reared in captivity (e.g. fish farms, aquaria or garden ponds). Whereas, if the taxon has been subjected to substantial human selection that has led to reduced fitness and/or adaptability, then the response should be 'No' despite the species being widely domesticated/cultivated.</i>
1.02 (C)	2 CL, E		Has the species <i>established self-sustaining populations</i> where introduced?	The taxon must be known to have successfully established self- sustaining populations in at least one location outside its native range <i>for an extended period of time – this 'extended period' is likely to be shorter for short-lived species and longer for longer-lived species.</i>
1.03 (C)	3 E		Does the species have invasive races/varieties/sub-species?	This question emphasizes the invasiveness of domesticated species.
2. Climate and distribution				
2.01 (C)	4 CL, CM		<i>What is the level of matching between the species' reproductive tolerances and the climate of the RA area?</i>	The intention of this question is to assess the likelihood of a taxon establishing self-sustaining populations in the risk assessment area. If readily available, then a climate matching approach (e.g. Climex, GARP, Climatch) may be used (see summary in Venette et al. 2010; BioScience 60: 349–362). If a climate matching model is not available, then make a 'best estimate' through consultation of the Köppen-Geiger climate region system (see: www.hydrol-earth-syst-sci-discuss.net/4/439/2007/hessd-4-439-2007.pdf) and/or local expertise.
2.02 (C)	5 CL, CM		What is the quality of the climate match data?	<i>Quality' refers to the assessor's evaluation of the information used to determine the climate match. If there are doubts about the quality of the information available, then attribute the minimum score (i.e. low).</i>

Table A-1. Continued

Section/ (Code)	#	Criteria	Query	Guidance
--------------------	---	----------	-------	----------

2.03 (C)	6	CL, CM	<i>Does the species have self-sustaining populations in three or more (Köppen-Geiger) climate zones?</i>	Output from climate matching can help answer this, combined with the known versatility of the taxon as regards climate region distribution. Otherwise the response should be based on natural occurrence in 3 or more distinct climate categories, as defined by Köppen-Geiger (see: www.hydrol-earth-syst-sci-discuss.net/4/439/2007/hessd-4-439-2007.pdf), or based on knowledge of existing presence in areas of similar climate.
2.04 (C)	7	CL	<i>Is the species native to, or established self-sustaining populations in, regions with equable climates to the RA area?</i>	<i>This issue raised by this question is whether or not the species actually is established in (or originates from) an area where the climate is similar to the risk assessment area.</i>
2.05 (C)	8	CL	<i>Does the species have a history of being introduced outside its natural range?</i>	Should be relatively well documented, with evidence of translocation and introduction. A response of 'Don't know' should be given where positive evidence is not available. A 'No' response should be given if the taxon is a novel introduction of a single specimen.
3. Invasive elsewhere				
3.01 (C)	9	CL	<i>Has the species established one or more self-sustaining populations beyond its native range?</i>	<i>If uncertainty exists regarding the established, self-sustaining population(s), i.e. whether they constitute a true introduction/translocation or simply a 'range expansion by natural means', then the answer is "Don't know".</i>
3.02 (N)	10	CL	<i>In the species' introduced range, are there impacts to wild stocks of angling or commercial species?</i>	There should be documented evidence of real impacts (i.e. decline of native species, disease introduction or transmission), not just circumstantial or opinion-based judgements.
3.03 (A)	11	CL	<i>In the species' introduced range, are there impacts to aquacultural, aquarium or ornamental species?</i>	<i>There should be documented evidence of real impacts (e.g. increased control costs, reduced yields), not just circumstantial or opinion-based judgements.</i>
3.04 (E)	12	CL	<i>In the species' introduced range, are there impacts to rivers, lakes or amenity values?</i>	Documented evidence that the species has altered the structure or function of a natural ecosystem.
3.05 (C)	13	CL	<i>Does the species have invasive congeners?</i>	One or more species within the genus are known to exert moderate to severe impacts.

Table A-1. Continued

Section/ Guidance (Code)	#	Criteria	Query
B. Biology/Ecology			
4. Undesirable (or persistence) traits			
4.01 (C)	14 CL	<i>Is the species poisonous/venomous, or poses other risks to human health?</i>	Applicable if the taxon's presence is known, for any reason, to cause discomfort or pain to animals.
4.02 (C)	15 CL	<i>Does the species out-compete with native species?</i>	<i>There should be documented evidence that the taxon is responsible for suppression of growth or survival, and/or displacement from microhabitat, of native species.</i>

4.03 (C)	16 NC	Is the species parasitic of other species?	Needs at least some documentation of being a parasite of other species (<i>e.g.</i> scale or fin nipping such as known for <i>Pseudorasbora parva</i> , blood-sucking such as by some lampreys).
4.04 (A)	17 NC	Is the species unpalatable to, or lacking, natural predators?	This should be considered with respect to the likely level of ambient natural or human predation, if any.
4.05 (C)	18 E	Does species prey on a native species previously subjected to low (or no) predation?	There should be some evidence that the taxon is likely to establish in a hydrosystem <i>in which predatory fish have never been present, or that is normally devoid of predatory fish (e.g. amphibian ponds), or of a fish species that possesses a predation-facilitating biological attribute (e.g. behaviour, large body size, appearance).</i>
4.06 (C)	19 CL	Does the species host, and/or is it a vector, for one or more recognized <i>non-native infectious agents</i> ?	The main concerns are non-native pathogens and parasites, with the host either being the original introduction vector of the disease or as a host of the disease brought in by another taxon.
4.07 (N)	20 E	Does the species achieve a large ultimate body size (<i>i.e.</i> > 15 cm total length) (more likely to be abandoned)?	Although small-bodied fishes may be abandoned, large-bodied fishes are the major concern, as they soon outgrow their aquarium or garden pond.
4.08 (E)	21 CL	Does the species have a wide salinity tolerance or is euryhaline at some stage of its life cycle?	Presence in low salinity water bodies (<i>e.g.</i> Baltic Sea, Tampa Bay) does not constitute euryhaline, so minimum salinity level should be about 15 ‰.
4.09 (E)	22 CL	Is the species <i>able to withstand being out of water for extended periods (e.g. minimum of one or more hours)</i> ?	<i>Examples are lungfishes, walking catfishes and species with desiccation tolerant eggs.</i>

Table A-1. Continued

Section/ (Code)	#	Criteria	Query	Guidance
4.10 (E)	23	NC	Is the species tolerant of a range of water velocity conditions (<i>e.g.</i> versatile in habitat use)?	Species that are known to persist in both standing and flowing waters over a wide range of velocities (0 to 0.7 m per sec).
4.11 (E)	24	CL, E	Does feeding or other behaviours of the species reduce habitat quality for native species?	There should be evidence of <i>bio-engineering behaviour</i> , such as foraging that leads to the <i>destruction of macrophytes</i> or an increase in suspended solids, reducing water clarity (<i>e.g.</i> as demonstrated for common carp), or <i>burrow construction, which undermines bank character and stability (e.g. armoured sailfin catfishes).</i>
4.12 (C)	25	NC	Does the species require minimum population size to maintain a viable population?	If evidence of population crash or extirpation due to low numbers (<i>e.g.</i> over exploitation or pollution), then response should be: 'yes'.

5. Feeding guild

5.01 (E)	26	E	<i>If the species is mainly herbivorous or piscivorous/carnivorous (e.g. amphibia), then is its foraging likely to have an adverse impact in the RA area?</i>	<i>Obligate herbivores and piscivores (as adults) are most likely to score here, except where there is sufficient documented evidence from the RA area (or an area considered very similar) that the species has not exerted adverse impacts and therefore the appropriate response is "No". For a herbivorous species to score here, it must feed primarily on aquatic macrophytes. In the case of some facultative piscivores, they may become more piscivorous when confronted with naïve prey.</i>
5.02 (C)	27	E	<i>If the species is an omnivore (or a generalist predator), then is its foraging likely to have an adverse impact in the RA area?</i>	<i>There must be evidence of foraging on a wide range of food types, including incidental piscivory. For obligate piscivores (as adults) that go through ontogenetic dietary changes (e.g. from zooplankton, to macrobenthos to fish), respond 'Yes' here, but then respond 'No' to the next two questions.</i>
5.03 (C)	28	E	<i>If the species is mainly planktivorous or detritivorous or algivorous, then is its foraging likely to have an adverse impact in the RA area?</i>	<i>Should be primarily planktivorous, detritivorous or algivorous to score here. For obligate piscivores (as adults) that go through ontogenetic dietary changes that include these food types (e.g. from zooplankton, to macrobenthos to fish), respond 'No' here. Similarly, if there is sufficient documented evidence from the RA area (or an area considered very similar) that the species has not exerted adverse impacts, then the appropriate response is "No".</i>
5.04 (C)	29	E	<i>If the species is mainly benthivorous, then is its foraging likely to have an adverse impact in the RA area?</i>	<i>Should be primarily benthivorous to score here. For obligate piscivores (as adults) that go through ontogenetic dietary changes that include these food types (e.g. from zooplankton, to macrobenthos to fish), respond 'No' here.</i>
6. Reproduction				
6.01 (C)	30	CL	Does the species exhibit parental care and/or is it known to reduce age-at-maturity in response to environment?	Needs at least some documentation of expressing parental care, including nest guarding, mouth brooding, live bearing, etc.
6.02 (C)	31	CL	Does the species produce viable gametes?	A 'Yes' response requires evidence that the taxon produces viable gametes in the wild (native or introduced range). Functionally sterile hybrids, sub-species, or varieties receive a 'No' response.
6.03 (A)	32	NC	Does the species hybridize naturally with native species (or uses machos of native species to activate eggs)?	Documented evidence exists of interspecific hybrids occurring, without assistance, under natural conditions.
6.04 (C)	33	NC	Is the species hermaphroditic?	Needs at least some documentation of hermaphroditism.
6.05 (C)	34	NC	Is the species dependent on the presence of another species (or specific habitat features) to complete its life cycle?	Some species may require specialist incubators (e.g. unionid mussels used by <i>Rhodeus amarus</i>) or specific habitat features (e.g. fast-flowing water, particular species of plant or types of

substrata) in order to reproduce successfully.

6.06 (A)	35	CL, E	Is the species highly fecund (>10,000 eggs/kg), iteropatric or has an extended spawning season <i>relative to native species</i> ?	Normally observed in medium-to-longer lived species.
6.07 (C)	36	NC	What is the species' known minimum generation time (in years)?	Time from hatching to full maturity (i.e. active reproduction, not just presence of gonads). Please specify the number of years.
<i>7. Dispersal mechanisms</i>				
7.01 (A)	37	CL	Are life stages likely to be dispersed unintentionally?	Unintentional dispersal resulting from human activity (<i>e.g. bait buckets, live eggs on anglers' gear</i>).
7.02 (C)	38	CL	Are life stages likely to be dispersed intentionally by humans (and suitable habitats abundant nearby)?	Taxon has properties that make it attractive or desirable (<i>e.g. as a food fish or an angling amenity, for ornament or unusual appearance, for cultural reasons</i>).
7.03 (A)	39	NC	Are life stages likely to be dispersed as a contaminant of commodities?	Taxon is associated with organisms likely to be sold commercially.
7.04 (C)	40	NC	Does natural dispersal occur as a function of egg dispersal?	There should be documented evidence that eggs are taken by water currents.
7.05 (E)	41	NC	Does natural dispersal occur as a function of dispersal of larvae (along linear and/or 'stepping stone' habitats)?	There should be documented evidence that larvae enter, or are taken by, water currents, or can move between water bodies via connections.
7.06 (E)	42	CL	Are juveniles or adults of the species known to migrate (spawning, smolting, feeding)?	There should be documented evidence of migratory behaviour, even at a small scale (<i>hundreds or thousands of meters</i>).
7.07 (C)	43	CL	Are eggs of the species known to be dispersed by other animals (externally)?	<i>There should be documented evidence of such movement events, e.g. accidentally by water fowl when they move from water body to water body.</i>
7.08 (C)	44	NC	Is dispersal of the species density dependent?	There should be documented evidence of the taxon spreading out or dispersing when its population density increases.
<i>8. Tolerance attributes</i>				
8.01 (C)	45	NC	Any life stages likely to survive out of water transport?	There should be documented evidence of the taxon being able to survive for an extended period (<i>e.g. an hour or more</i>) out of water.
8.02 (C)	46	E	Does the species tolerate a wide range of water quality conditions, especially oxygen depletion & temperature extremes?	This is to identify taxa that can persist even in cases of low oxygen <i>and/or</i> elevated toxic levels of normal chemicals (<i>e.g. ammonia</i>) <i>and/or</i> temperature extremes.
8.03 (A)	47	CL	Is the species readily susceptible to piscicides at the doses legally permitted for use in the risk assessment area?	<i>To score a 'no' response, there must be documented evidence of the taxon's resistance to chemical control agents at the doses legally permitted for use in the risk assessment area.</i>

8.04 (A)	48	E	Does the species tolerate or benefit from environmental disturbance?	Growth and spread of taxon may be enhanced by disruptions or unusual events (floods, spates, desiccation), <i>including both short- and long-term human impacts.</i>
8.05 (C)	49	CL, E	Are there effective natural enemies of the species present in the risk assessment area?	A known, effective, natural enemy of the taxon may or may not be present in the risk assessment area (<i>this includes infectious agents that would impede establishment</i>). <i>Unless a specific enemy (or enemies) is known, answer 'Don't know'.</i>

Note: Sector codes (in parentheses) are: A = Aquaculture; E = Environmental; N = Nuisance; C = Combined. Criteria

indicates the reason for making the change; CL = Clarity; CM = Climate, E = Ecological; NC = No Change.

Table A-2. FISK v2 protocol with responses given for Barcoo Grunter *Scortum barcoo* as a real world application of FISK v2 in a management scenario.

Species Name: <i>Scortum barcoo</i>		Common Name: Barcoo Grunter		Assessor: S. Hardin
Section/(Code)	Query	Response	Certainty	Comments and References
A. Biogeography/historical				
1. Domestication/Cultivation				
1.01 (C)	Is the species highly domesticated or widely cultivated for commercial, angling or ornamental purposes?	Y	3	Several references in Chinese aquaculture literature (<i>e.g.</i> Journal of Fisheries Sciences of China; http://en.cnki.com.cn/Article_en/CJFDTOTAL-ZSCK200706023.htm); Australian aquaculture references (<i>e.g.</i> http://www.aquaculturequeensland.com/jade_perch.htm) ; popular aquaponics fish (<i>e.g.</i> http://farmingwithfish.com/?p=949).
1.02 (C)	Has the species established self-sustaining populations where introduced?	N	3	Only one introduction referenced in FishBase (China) with outcome unknown and presumably not established
1.03 (C)	Does the species have invasive races/varieties/sub-species?	N	4	No subspecies listed in FishBase or ITIS (http://www.itis.gov/servlet/SingleRpt/SingleRpt?search_topic=TSN&search_value=168075)
2. Climate and distribution				
2.01 (C)	Is species reproductive tolerance suited to climates in the risk assessment area (1-low, 2-medium, 3-high)?	3	3	Native range in Australia from Northern Queensland and Northern Territory south to Lake Eyre drainage in central Australia (http://www.dpi.qld.gov.au/28_14677.htm); latitude is from 15°S - 28°S (equivalent latitude is central Florida and south). FishBase lists temperature range as 10 - 30°C, but Chinese literature identifies lowest and highest critical temperature of embryonic development as 21°C and 31°C, respectively and optimal temperature from 24 - 27°C (Chen et al. 2007).
2.02 (C)	What is the quality of the climate match	2	3	Match based on latitude and aquaculture research rather than water temperature data from native range

data (1-low; 2-medium; 3-high)?

Table A-2. Continued

Section/(Code)	Query	Response	Certainty	Comments and References
2.03 (C)	Does the species demonstrate broad climate suitability?	Y	3	FishBase lists as temperate. Australian distribution covers 3 Köppen-Geiger zones; however none of the three occur in Florida (map from Peel et al. 2007)
2.04 (C)	Is the species native to, or established self-sustaining populations in, regions with equable climates to the RA area?	Y	3	Native range has latitude distribution equivalent to central and southern Florida; temperature range in FishBase similar to portions of peninsular Florida (see earlier questions for references).
2.05 (C)	Does the species have a history of being introduced outside its natural range?	N	2	FishBase lists one introduction in China without documentation of establishment status. There has been considerable investigation into aquaculture of <i>S. barcoo</i> in China, which could be the source of the putative introduction.
<i>3. Invasive elsewhere</i>				
3.01 (C)	Has the species established one or more self-sustaining populations beyond its native range?	N	3	No reference to any established, introduced populations. FishBase reference to Chinese introduction without documentation.
3.02 (N)	In the species' introduced range, are there impacts to wild stocks of angling or commercial species?	N	3	The only reference to introduction (FishBase) has no data on establishment or ecological effects.
3.03 (A)	In the species' introduced range, are there impacts to aquacultural, aquarium or ornamental species?	N	3	The only reference to introduction (FishBase) has no data on establishment or ecological effects.
3.04 (E)	In the species' introduced range, are there impacts to rivers, lakes or amenity values?	N	3	The only reference to introduction (FishBase) has no data on establishment or ecological effects.
3.05 (C)	Does the species have invasive congeners?	N	4	Three congeners noted in FishBase (<i>S. hillei</i> , <i>S. neili</i> , and <i>S. parviceps</i>) with no reference to introductions.
<i>B. Biology/Ecology</i>				
<i>4. Undesirable (or persistence) traits</i>				
4.01 (C)	Is the species poisonous/venomous, or poses other risks to human health?	N	4	FishBase status = Harmless. No references to venom.
4.02 (C)	Does the species out-compete with native species?	N	3	No documentation of ecological effects in the only introduction noted in FishBase. No other references located.

4.03 (C)	Is the species parasitic of other species?	N	4	No reference to this in FishBase or Australian summary (http://www.dpi.qld.gov.au/28_14677.htm).
4.04 (A)	Is the species unpalatable to, or lacking, natural predators?	N	3	Common length of 25 cm would make this species vulnerable to a host of medium to large piscivores, wading birds and crocodilians. Considering its value as a food fish, palatability is likely not an issue for non- human predators.
4.05 (C)	Does species prey on a native species previously subjected to low (or no) predation?	N	3	FishBase lists diet items as fishes, crustaceans, insects and mollusks. In Florida, native predatory fishes occur in virtually every water body where these prey items are found.
4.06 (C)	Does the species host, and/or is it a vector, for one or more recognized non-native infectious agents?	N	3	No references found that address vectoring non-native parasites and disease. Moreover, no data on the single introduction (China) listed in FishBase. Chinese aquaculture literature does not address this issue.
4.07 (N)	Does the species achieve a large ultimate body size (i.e. > 15 cm total length) (more likely to be abandoned)?	Y	4	Max size 35 cm, common size 25 cm (FishBase).
4.08 (E)	Does the species have a wide salinity tolerance or is euryhaline at some stage of its life cycle?	N	3	FishBase lists as freshwater; Appendix table to Australian fish distribution study lists as freshwater only (http://www.docstoc.com/docs/70966492/Appendix-I-Fish-species-distribution-abundance-and-trends-by-catchment).
4.09 (E)	Is the species able to withstand being out of water for extended periods (e.g. minimum of one or more hours)?	N	3	No references mention unusual desiccation tolerance.
4.10 (E)	Is the species tolerant of a range of water velocity conditions (e.g. versatile in habitat use)?	Y	3	Native to Gilbert River, which has the sixth-highest discharge of any river in Australia (Wikipedia); FishBase suggests that fish spawn during flooding.
4.11 (E)	Does feeding or other behaviours of the species reduce habitat quality for native species?	N	3	No evidence of bio-engineering behavior.
4.12 (C)	Does the species require minimum population size to maintain a viable population?	?	1	No references found.

5. Feeding guild

5.01 (E)	If the species is mainly herbivorous or piscivorous/carnivorous (e.g. amphibia), then is its foraging likely to have an adverse impact	N	3	Considered an omnivore by FishBase.
----------	--	---	---	-------------------------------------

in the RA area?

5.02 (C)	If the species is an omnivore (or a generalist predator), then is its foraging likely to have an adverse impact in the RA area?	N	3	FishBase lists as omnivore; food habits are similar to native Florida fishes and without novel predatory behavior or choice in habitats, impacts do not seem likely.
5.03 (C)	If the species is mainly planktivorous or detritivorous or algivorous, then is its foraging likely to have an adverse impact in the RA area?	N	4	Species is omnivorous (FishBase).
5.04 (C)	If the species is mainly benthivorous, then is its foraging likely to have an adverse impact in the RA area?	N	4	Species is omnivorous (FishBase).
6. Reproduction				
6.01 (C)	Does the species exhibit parental care and/or is it known to reduce age-at-maturity in response to environment?	Y	2	FishBase considers this a parental guarder, with machos fanning eggs per Breder and Rosen 1966 Modes of reproduction in Fishes. However, Chinese literature suggests that the egg is buoyant (Chen et al. 2007).
6.02 (C)	Does the species produce viable gametes?	Y	4	Reproducing population through much of Australia.
6.03 (A)	Does the species hybridize naturally with native species (or uses machos of native species to activate eggs)?	N	4	No native congeners in Florida; Terapontidae is not native to Florida.
6.04 (C)	Is the species hermaphroditic?	N	4	No references to this were found.
6.05 (C)	Is the species dependent on the presence of another species (or specific habitat features) to complete its life cycle?	N	4	No references to this aspect of life cycle were found.
6.06 (A)	Is the species highly fecund (>10,000 eggs/kg), iteropatric or has an extended spawning season relative to native species?	?	2	Could not find references on fecundity; not listed in FishBase; Chinese and Australian aquaculture literature do not mention fecundity.
6.07 (C)	What is the species' known minimum generation time (in years)?	2	2	No references, but FishBase doubling time listed as 1.4 - 4.4 years.

7. Dispersal mechanisms

7.01 (A)	Are life stages likely to be dispersed unintentionally?	N	3	Not a bait species; potential aquaponics species.
7.02 (C)	Are life stages likely to be dispersed intentionally by humans (and suitable habitats abundant nearby)?	Y	2	Potential as aquaponics food fish may lead to stocking; or discards from people who abandon aquaponics systems.
7.03 (A)	Are life stages likely to be dispersed as a contaminant of commodities?	N	3	Would be very unlikely to be sold with other fishes; very low probability as contaminant of non-fish commodities.
7.04 (C)	Does natural dispersal occur as a function of egg dispersal?	N	1	FishBase suggests parental care and pelagic eggs in same paragraph; however, as noted above, Chinese literature suggests floating eggs.
7.05 (E)	Does natural dispersal occur as a function of dispersal of larvae (along linear and/or 'stepping stone' habitats)?	?	1	No literature or references found that address this.
7.06 (E)	Are juveniles or adults of the species known to migrate (spawning, smolting, feeding)?	?	1	Only reference is in FishBase which suggests this species may breed during flood events (Allen et al. 2002 Field guide to the freshwater fishes of Australia). Unclear if migration is associated with this.
7.07 (C)	Are eggs of the species known to be dispersed by other animals (externally)?	N	3	No documentation, and unlikely if there is parental care or buoyant eggs.
7.08 (C)	Is dispersal of the species density dependent?	?	1	No references found that address stock densities in the wild.

8. Tolerance attributes

Table A-2. Continued

Section/(Code)	Query	Response	Certainty	Comments and References
8.01 (C)	Any life stages likely to survive out of water transport?	N	4	No references mention desiccation tolerance; not an air breather.
8.02 (C)	Does the species tolerate a wide range of water quality conditions, especially oxygen depletion & temperature extremes?	Y	2	FishBase lists temperature of 10 - 40°C, although aquaculture literature suggests fish are not active at temperatures below 20°C. Species does cover a relatively large portion of

Australia.				
8.03 (A)	Is the species readily susceptible to piscicides at the doses legally permitted for use in the risk assessment area?	Y	4	Rotenone or synthetic should be lethal at maximum label does (5 parts per million), which is allowable in Florida.
8.04 (A)	Does the species tolerate or benefit from environmental disturbance?	Y	2	FishBase reference to spawning during flooding; species adapted to turbid rivers, likely due to significant run-off.
8.05 (C)	Are there effective natural enemies of the species present in the risk assessment area?	Y	3	Species does not exhibit unusual morphology or defensive behaviors. Would be subject to native predators.
Statistical summary of scoring	Medium			
	Outcome UK:			
Statistical summary of scoring	Outcome Japan:			
	Medium			
Statistical summary of scoring	Outcome User-defined:		Medium	Total questions: 49
	Total Score: 5			Answered: 49
Section point totals:		Biogeography:	4	Unanswered: 0
Undesirable attributes:			2	
Biology/ecology:			-1	
Questions answered:		Biogeography:	10	
Undesirable attributes:			11	
Biology/ecology:			20	
Total Answered:			41	
Sector affected:		Aquacultural:	3	
Environmental:			7	
		Nuisance:	1	

Notes: Sector codes (in parentheses) are: A = Aquaculture; E = Environmental; C = Combined. Scoring sub-routines for

'Climate matching' and 'Invasive elsewhere' and 'Generation time' are described in Copp et al. ⁽²⁾ and other responses are: Y = Yes; N = No; ? = Don't Know. Certainty values range from 1 = Very Uncertain to 4 = Very Certain.

ANEXO 8. Termo de Autorização de Pesquisa emitido pela SEDAM/RO.



Secretaria de Estado do Desenvolvimento Ambiental - SEDAM

AUTORIZAÇÃO

TERMO DE AUTORIZAÇÃO PARA REALIZAÇÃO DA PESQUISA

Nº 01/2019

O Secretário de Estado de Desenvolvimento Ambiental - SEDAM, no uso das suas atribuições que lhe são conferidas pelo Art. 52 do Decreto nº 14.143 de 18 de março de 2009, autoriza a pesquisadora Lariessa Moura de Araújo Soares, aluna de Doutorado do Programa Rede Bionorte, veiculado a Universidade Federal de Rondônia -UNIR, nº de matrícula 201710001352, sob orientação da Professora Doutora Carolina R. C. Doria, (que possui Licença permanente para coleta de material zoológico Nº12759-2/MMA/ICMbio/SISBIO) a realização de pesca científica para identificação da presença de *Oreochromis niloticus* (Tilápia do Nilo), nos cursos d'água do estado de Rondônia, assim como informações através de questionários, no período de 2018 a 2020, para o trabalho de pesquisa sob o título "AMEAÇAS À DIVERSIDADE ICTICA NAS REGIÕES HIDROGRÁFICAS DO ESTADO DE RONDÔNIA POR DECORRÊNCIA DA CRIAÇÃO DE ESPÉCIES DE PEIXES EXÓTICOS", com objetivo de mapear o alcance da invasão de espécies exóticas e/ou invasoras cultivadas, não oriundas em rios do estado de Rondônia e estimar a dimensão do seu estabelecimento no ambiente identificado (pressão de propágulos).

Os pesquisadores acima qualificados se comprometem a: 1. Iniciarem a coleta de dados somente após o Projeto de Pesquisa ser aprovado pelo Comitê de Ética em Pesquisa com Seres Humanos. 2. Obedecerem às disposições éticas de proteger os participantes da pesquisa, garantindo-lhes o máximo de benefícios e o mínimo de riscos. 3. Assegurarem a privacidade das pessoas citadas nos documentos institucionais e/ou contatadas diretamente, de modo a proteger suas imagens, bem como garantem que não utilizarão as informações coletadas em prejuízo dessas pessoas e/ou da instituição, respeitando deste modo as Diretrizes Éticas da Pesquisa Envolvendo Seres Humanos, nos termos estabelecidos na Resolução CNS Nº 466/2012, e obedecendo as disposições legais estabelecidas na Constituição Federal Brasileira, artigo 5º, incisos X e XIV e no Novo Código Civil, artigo 20.

ELIAS REZENDE DE OLIVEIRA

SECRETÁRIO DE ESTADO DO DESENVOLVIMENTO AMBIENTAL



Documento assinado eletronicamente por ELIAS REZENDE DE OLIVEIRA, Secretário(a), em 20/05/2019, às 09:07, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no artigo 18 caput e seus §§ 1º e 2º, do [Decreto nº 21.794, de 5 Abril de 2017](#).



A autenticidade deste documento pode ser conferida no site [portal do SEI](#), informando o código verificador 5930684 e o código CRC 4230EDA4.

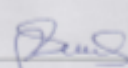
Referência: Caso responda este(a) Autorização, indicar expressamente o Processo nº 0028.195989/2019-31

SEI nº 5930684

Porto Velho, 15 de maio de 2019.

ANEXO 9. Autorização Ambiental emitida pela SEDAM/RO para Pesca Científica.

 GOVERNO DO ESTADO DE RONDÔNIA SECRETARIA DO ESTADO DE DESENVOLVIMENTO AMBIENTAL COORDENADORIA DE LICENCIAMENTO E MONITORAMENTO AMBIENTAL DE ATIVIDADES POTENCIALMENTE POLUIDORAS - COLMAMP			
AUTORIZAÇÃO AMBIENTAL Nº 147355		VENCIMENTO: 10/06/2020	
A secretaria do Estado de Desenvolvimento Ambiental (SEDAM), no uso das suas atribuições que lhe são conferidas pela Lei Estadual nº 3.686 de 08 de Dezembro de 2015, expede a presente AUTORIZAÇÃO AMBIENTAL			
NOME OU RAZÃO SOCIAL: UNIVERSIDADE FEDERAL DE RONDÔNIA		PROCESSO: 1801/01482/2019	
ENDEREÇO: BR 364, KM 9,5, Campus José Ribeiro Filho (UNIR), Zona Rural.			
MUNICÍPIO: Porto Velho	CEP: 76.801-000	CNPJ/CPF: 04.418.943/0001-90	INSCRIÇÃO ESTADUAL:
ATIVIDADE: Autorização para pesca científica para identificação da presença de <i>Oreochromis niloticus</i> (tilápia do Nilo), nos cursos d'água de Rondônia.			
DETERMINANTES: 1-Esta Autorização Ambiental tem validade de 01 (um) ano, podendo ser suspensa ou cancelada pelo órgão emissor em casos de infração às disposições deste regulamento, da legislação federal e normas dela decorrentes, ou por motivo de interesse ecológico; 2-A requerente deve apresentar um Relatório após a conclusão dos trabalhos realizados; 3-O empreendedor deverá requerer renovação da presente Autorização Ambiental 30 dias antes da expiração desta; 4-O empreendedor deverá publicar a presente Licença ambiental em Diário Oficial do Estado ou jornal de circulação Regional; 5-Não é permitido depositar, dispor, descarregar, enterrar, infiltrar ou acumular no solo, resíduos em qualquer estado de matéria, desde que sejam poluentes, conforme Art. 6º do decreto nº. 7903/97; 6-O empreendedor responde independentemente da existência de culpa, a indenização ou reparar danos causados ao meio ambiente e a terceiros, afetados direta ou indiretamente pelo desenvolvimento de sua atividade; 7-Todo material proveniente da atividade deverá ser recolhido para um local adequado, não deixando a possibilidade para que o mesmo venha a ser erodido e carregado para Igarapés e rios; 8-É terminantemente proibido lançar efluentes líquidos de qualquer natureza sem serem submetidos a processo de tratamento, para dentro dos leitos dos Igarapés e rios, no entorno da área da atividade que não atendam aos padrões de lançamento previstos pela legislação em vigor e que causem alteração na qualidade da água dos corpos receptores, estabelecida na Resolução CONAMA nº 357/2005, de forma a não afetar negativamente o meio ambiente; 9-Esta Licença foi autorizada conforme Parecer Técnico nº 1706/COLMAMP/SEDAM, de 10 de junho de 2019, folha 16 e 17; 10-Esta Licença deverá permanecer exposta em local visível no empreendimento em período de vigência; 11-O não cumprimento das determinações implicará em sanções previstas na legislação ambiental vigente.			
ENDEREÇO: Porto Velho, 11/06/2019 10:35:15			


 Abner Roberto de Sousa
 Coordenador de Licenciamento Ambiental
 Matrícula: 300.348.728


 EDGARDO MENDES CARDOSO
 Secretário Adjunto de Estado do Desenvolvimento Ambiental - SEDAM

ANEXO 10. Parecer Favorável do Comitê de Ética/ Plataforma Brasil.



PARECER CONSUBSTANCIADO DO CEP

DADOS DO PROJETO DE PESQUISA

Título da Pesquisa: AMEAÇAS À DIVERSIDADE ÍCTICA NAS REGIÕES HIDROGRÁFICAS DO ESTADO DE RONDÔNIA POR DECORRÊNCIA DA CRIAÇÃO DE ESPÉCIES DE PEIXES

Pesquisador: LARIESSA MOURA DE ARAÚJO SOARES

Área Temática:

Versão: 1

CAAE: 15301019.3.0000.5300

Instituição Proponente: Universidade Federal de Rondônia - UNIR

Patrocinador Principal: Universidade Federal de Rondônia - UNIR
SECRETARIA DE ESTADO DO DESENVOLVIMENTO AMBIENTAL

DADOS DO PARECER

Número do Parecer: 3.427.108

Apresentação do Projeto:

Trata-se de um projeto Doutorado do Programa Rede Bionorte, veiculado a Universidade Federal de Rondônia da orientanda Larieessa Moura de Araújo Soares sob orientação da profa. dra. Carolina R.C. Dória, intitulado "Ameaças à diversidade íctica nas regiões hidrográficas do estado de Rondônia por decorrência da criação de espécies de peixes exóticos". O estudo será realizado em diferentes municípios do Estado de Rondônia, sendo contemplados os territórios da cidadania: Madeira Mamoré (Candeias do Jamari, Guajará Mirim, Itapuã do Oeste, Nova Mamoré e Porto Velho), Vale do Jamari (Alto Paraíso, Aníquemes, Burtitis, Cacaulândia, Campo Novo de Rondônia, Cujubim, Machadinho D'Oeste, Monte Negro e Rio Crespo), Zona Central (Alvorada D'Oeste, Governador Jorge Teixeira, Jaru, JiParaná, Mirante da Serra, Nova União, Ouro Preto do Oeste, Presidente Médici, Teixeiraópolis, Theobroma, Urupá, Vale do Anari e Vale do Paraíso).

Para a coleta de informações se utilizará a aplicação de questionário aos piscicultores, pescadores e técnicos do setor de piscicultura e levantamento de dados primários e secundários dos órgãos relacionados a cadeia produtiva no estado objeto de estudo. O foco dos questionários abordará a localização das propriedades, se há igarapé ou rio próximos a piscicultura, qual a principal atividade, qual espécie criada e a procedência dos alevinos adquiridos, se utiliza sistemas de contenção nos tanques e onde comercializa e se observa espécies de peixes invasoras na natureza.

Endereço: Campus José Ribeiro Filho - BR 364, Km 9,5, sentido Acre, Bloco de departamentos, sala 216-2C
Bairro: Zona Rural CEP: 78.801-059
UF: RO Município: PORTO VELHO
Telefone: (69)2182-2116 Fax: (69)2182-2110 E-mail: cep@unir.br



Continuação do Parecer: 3.427.108

"(As informações elencadas aqui foram retiradas do arquivo Informações Básicas da Pesquisa e/ou do Projeto Detalhado)".

Objetivo da Pesquisa:

Objetivo Primário:

Mapear o alcance da invasão de espécies exóticas e/ou invasoras cultivadas, não oriundas em rios do estado de Rondônia e estimar a dimensão do seu estabelecimento no ambiente identificado (pressão de propágulos).

Objetivo Secundário:

Identificar possíveis indicações de invasão e migração de diferentes espécies exóticas/nativas aos rios de Rondônia.

Os objetivos apresentados são:

- claros e bem definidos;
- coerentes com a propositura geral do projeto;
- exequíveis (considerando tempo, recursos, metodologia etc.)

Avaliação dos Riscos e Benefícios:

a) Os riscos de execução do projeto estão claros e bem avaliados pela pesquisadora, sendo assim apresentados:

Riscos:

O pescador poderá se sentir constrangido ao responder perguntas sobre tilápia, pois esta é uma espécie exótica no estado, e também, desconforto físico.

Benefícios:

Será influenciador na tomada de decisão de políticas públicas e gestão da cadeia produtiva dos peixes no estado de Rondônia.

Endereço: Campus José Ribeiro Filho - BR 364, Km 9,5, sentido Acre, Bloco de departamentos, sala 216-2C
Bairro: Zona Rural CEP: 78.801-059
UF: RO Município: PORTO VELHO
Telefone: (69)2182-2116 Fax: (69)2182-2110 E-mail: cep@unir.br