

INTRODUÇÃO ÀS INVASÕES BIOLÓGICAS

INTRODUCTION TO BIOLOGICAL INVASIONS

Jorge Luis P. Oliveira-Costa

Universidade de Coimbra, CEGOT (Portugal),
Faculdade de Letras, Departamento de
Geografia e Turismo

E-mail: oliveiracostajorge@gmail.com

Orcid: <https://orcid.org/0000-0002-1612-1910>

RESUMO

A invasão biológica é um processo de degradação dos ecossistemas causado pela proliferação de espécies exóticas. O sucesso deste processo dependerá das características biológicas das espécies (invasividade) e das características abióticas dos ecossistemas (invasibilidade). A preocupação com este processo tem vindo a crescer no últimos tempos mas, na maior parte dos casos, as decisões quanto à sua gestão têm sido tomadas sem um suficiente conhecimento dos impactos envolvidos. Espécies invasoras têm ampla diversidade fenotípica que, associada às condições ecológico-geográficas dos territórios, parece aumentar a sua capacidade de invadirem tanto ambientes naturais como humanizados. Esta comunicação tem por objetivo elaborar uma revisão do estado da arte da Ciência da Invasão, por meio dos caracterizadores das principais hipóteses científicas que estruturam o modelo teórico das invasões biológicas.

Palavras-chave: Invasões biológicas; modelo teórico; hipóteses científicas; Espécies Exóticas Invasoras (EEI).

ABSTRACT

Biological invasion is a process of ecosystem degradation caused by the proliferation of exotic species. The success of this process depends on the biological characteristics of the species (invasiveness) and the abiotic characteristics of ecosystems (invasibility). Concern about this process has been growing in recent times but, in most cases, decisions on its management have been taken without sufficient knowledge of the impacts involved. Invasive species have a wide phenotypic diversity which, associated to the ecological-geographic conditions of the territories, seems to increase their ability to

invade both natural and humanized environments. This communication aims to produce a review on the state of art of Invasion Science, through the characteristics of the main scientific hypotheses that structure the theoretical model of biological invasions.

Keywords: Biological invasions; theoretical model; scientific hypothesis; Invasive Exotic Species (IAS).

A NATUREZA DA PROBLEMÁTICA DAS INVASÕES BIOLÓGICAS

A civilização contemporânea, marcada pela relação homem e natureza ao longo dos tempos e em face do aprimoramento científico e tecnológico, tem evidenciado significativas transformações no meio natural, que ocasionam fenômenos de diferente natureza na biosfera, como as *Invasões Biológicas*. A invasão biológica é um processo irreversível em muitos lugares do planeta. Aproximadamente metade da acumulação global de espécies invasoras tem acontecido em países desenvolvidos, com clima temperado, e há algumas regiões no hemisfério sul (muitas destas com características temperadas) com alta taxa de espécies exóticas invasoras, resultado, em grande parte, da diáspora de colonizadores europeus no século XIX e a aceleração do comércio (van Kleunen *et al.*, 2015). Desse modo, o estudo da invasão biológica reveste-se de grande importância nos estudos ambientais.

Cientistas tem investigado o fenômeno das invasões biológicas há mais de 100 anos, desde um primeiro estudo em 1882 sobre a invasão por *Mangifera indica* na Jamaica (Espínola; Ferreira, 2007). Entretanto, só após o surgimento da Biogeografia Moderna (século XX) é que este modelo teórico passou a ser sistematizado, tendo entre os seus principais precursores Albert De Candolle, Charles Darwin, e Charles Elton.

Albert De Candolle desenvolveu uma metodologia própria, a partir da observação das regiões e suas origens por processos biogeográficos, com base sobretudo nos traços do comportamento das espécies e seu estabelecimento nos ambientes, desenvolvendo alguns estudos sobre “espécies procedentes de outras áreas geográficas” (denominadas à época de ‘espécies colonizadoras’) inteiramente baseados no trabalho de campo, que mais tarde foram aperfeiçoados

por seu neto, o biogeógrafo *Alphonsos De Candolle* (Jeschke, 2014; Vavilov, 1992). *Charles Darwin* estudou e observou a individualidade dos lugares, em relação às particularidades das relações ecológicas entre as espécies (autóctones e alóctones), tendo uma concepção organicista da natureza, desenvolvendo uma hipótese científica importante no âmbito do estabelecimento das comunidades exóticas e suas relações com o ambiente (Hipótese Conundrum de Naturalização das Espécies) (Jeschke, 2014; Vavilov, 1992). *Charles Elton*, como observador das relações ecológicas, a partir do estudo da conservação biológica, ofereceu uma robusta fundamentação teórica e metodológica à Ecologia da Invasão, que existe desde os anos 1960 do século passado, ganhando importância, a partir desta data, para a *Ciência da Invasão* (área própria de pesquisa científica, que utiliza modelos quantitativos e estatísticos, com origem da ecologia e da genética) (Catford *et al.*, 2009; Richardson, 2011).

Um marco pioneiro da reflexão acerca das preocupações com as invasões biológicas remonta a 1964 com o simpósio da International Union of Biological Sciences nos Estados Unidos, que incorporou, no bojo das discussões sobre espécies invasoras, aspectos genéticos e evolucionistas, do que resultou na obra "The Genetics of Colonizing Species", de Hebert Baker e Leyard Stebbins (Baker; Stebbins, 1965; Barrett *et al.*, 2016; Davis, 2006).

A linguagem conceitual adotada na obra de Baker e Stebbins (1965) é diferente da usada por Charles Elton em *The Ecology of Invasions by Animals and Plants* (Elton, 1958), um dos primeiros trabalhos sobre invasões biológicas, que hoje tem forte influência por conter preocupações no âmbito da conservação biológica. Outro marco das discussões sobre as invasões foi a emergência da Conservação Biológica como área de pesquisa científica, na década de 1970, o que permitiu uma mudança de paradigma e, desse modo, a criação de um comitê de divisão científica com foco nos impactos das invasões, junto ao Scientific Committee on Problems of the Environment - SCOPE (Cadotte *et al.*, 2006; Davis, 2006; Jeschke, 2014; Richardson, 2011).

A partir das décadas de 1980 e 1990 a *Ciência da Invasão* ganhou várias dimensões, contemplando diversos aspectos (ecológico, social, político, econômico, demográfico, cultural, institucional, espacial). Desde então,

inúmeras iniciativas e trabalhos vêm sendo desenvolvidos visando à análise dos principais problemas encontrados nas áreas invadidas por espécies exóticas, bem como a proposição de alternativas que indiquem caminhos para o combate à invasão, contemplando as estratégias propostas pelo SCOPE (Catford *et al.*, 2009; Jeschke, 2014; Richardson, 2011). Entre as iniciativas importantes, destaca-se a criação do *Guidelines for the Preventions of Biodiversity Loss Caused By Alien Invasive Species* e o *Global Invasive Species Programme (GISP)*, pela The World Conservation Union (IUCN), e os trabalhos pioneiros *Biological Invasions: A Global Perspective* (Drake *et al.*, 1989), e a obra de Richard H. Groves e Francesco Di Castri, *Biogeography of Mediterranean Invasions* (Groves; Di Castri, 1991).

Atualmente os estudos em invasão biológica recorrem a diversas formas de intervenções que vão desde cartas sistemáticas, mapas temáticos, imagens de satélite, técnicas de sensoriamento remoto/geoprocessamento e modelagem de sistemas para a avaliação de cenários de riscos de invasões, combinado a verificação da realidade terrestre e da complexidade deste processo a partir de trabalhos e experimentos em campo e laboratório (Lockwood *et al.*, 2007).

De acordo com Pimentel *et al.* (2001), as invasões biológicas representam um dos principais fatores das perdas econômicas globais, com custos que ultrapassam 100 bilhões anuais, derivados de despesas associadas ao manejo. Ainda, as invasões biológicas são uma das principais causas da perda global da diversidade biológica (Czech; Krausman, 1997), o que a torna o fenômeno de maior degradação ambiental do mundo (IUCN, 1999). Este quadro é resultado da forma como as mudanças ecológicas vêm-se desenvolvendo desde o período das grandes explorações dos séculos XV-XVI, e da maneira pela qual o ambiente natural é transformado, a fim de abrigar as atividades humanas.

Nos dias atuais, o avanço da globalização tem modificado as barreiras naturais dos fluxos das espécies – o que tem permitido o estabelecimento e a multiplicação de inúmeras espécies exóticas em novos ambientes, em detrimento das espécies nativas – gerando extinções locais/regionais e/ou gerais. Somente com o planejamento e o ordenamento territorial adequados, a gestão sustentável dos territórios, e a formação de uma consciência

ambiental sobre as necessidades de preservação dos ambientes naturais e do equilíbrio ecológico sustentável, é que esta situação poderá ser minimizada, e os territórios invadidos por Espécies Exóticas Invasoras (EEI) poderão tornar-se espaços mais saudáveis, do ponto de vista ecológico. Isso não está na dependência somente de uma ordenação de legislações ou de normas, mas na ênfase de uma ampla, persistente e consistente pesquisa científica, aliada a uma efetiva ação educativa, através dos quais se disseminem valores e atitudes em relação aos recursos naturais, e a conservação.

O fenômeno da invasão biológica pode ser definido como *um processo progressivo de degradação dos ecossistemas, a partir do estabelecimento temporal de populações autônomas, resultante da transferência – por ação humana – de indivíduos através dos filtros naturais dos ecossistemas para áreas que guardam semelhanças com o local de origem* (Elton, 1958; Fridley, 2011; Catford *et al.*, 2012). Este conceito foi adoptado pelo SCOPE em 1982, a partir de proposta criada durante a *Third International Conference on Mediterranean Ecosystems*, realizada em Stellenbosh (África do Sul), em 1980. Os cientistas da invasão presentes nesta conferência colocaram-se no caminho do desenvolvimento sustentável e da conservação biológica, com vistas a criação de um comité de divisão científica dentro do SCOPE com foco nos impactos das invasões biológicas, à luz da obra de Charles Elton (Elton, 1958), e com o apoio de especialistas de todo o mundo, a partir de uma visão de desenvolvimento simultâneo sob os enfoques económico, social e ambiental (Davis, 2006; Jeschke, 2014; Richardson, 2011).

Desde a realização desta conferência, que 'inaugurou' a perspectiva 'Eltoniana' no campo das invasões biológicas, o número de espécies invasoras, os graus de magnitude das invasões biológicas, e os caminhos teórico-metodológicos dos trabalhos neste âmbito, têm mudado significativamente, fazendo da Ciência da Invasão uma componente importante da ciência moderna, sobretudo das biociências e das ciências do ambiente, tornando-se um significativo aporte teórico para explicação de porque o comportamento das espécies fora do seu alcance natural é tão diverso, e porque sua organização espacial e temporal são complexas (Catford *et al.*, 2009).

Embora seja um fenômeno mundial, a invasão biológica, como um problema moderno, ainda não está suficientemente bem esclarecida, com os impactos (diretos e indiretos) ainda pouco elucidados, e investigações ainda pouco numerosas. No entanto, algumas certezas têm emergido. Uma das certezas que tem emergido destaca a invasão biológica como um processo derivado de uma “chance histórica” (Di Castri, 1999) – ou seja, a invasão é tratada como uma chance histórica de espécies invasoras alcançarem sucesso. Esta ‘chance histórica’ tem início com a transferência dos indivíduos, por ação humana, e se consolida em conformidade com a necessidade biológica das espécies, o grau de pobreza do novo ambiente, e o historial da introdução. Introduções de espécies exóticas invasoras existem desde a Antiguidade (Arqueófitos), no fluxo entre o oriente (Babilônia e Egito) e o ocidente, associadas à expansão da agricultura, e se intensificaram a partir da colonização dos continentes (Neófitos) (América e Oceania), e, mais recentemente, devido à globalização e fluxos comerciais, provocando profundas modificações nos ecossistemas globais (D’Antonio *et al.*, 1996; Gonzales-Moreno *et al.*, 2014).

Desde a década de 1960 inúmeras hipóteses científicas vem sendo formuladas visando a identificação e análise dos principais problemas encontrados nos territórios ocupados por espécies invasoras, bem como a proposição de alternativas que indiquem caminhos para a construção de um ambiente natural sustentável, contemplando as estratégias propostas pelo SCOPE. As hipóteses científicas sobre invasão biológica se destacam como proposições teórico-metodológicas para ajudar a investigar os fatores facilitadores das invasões por espécies exóticas em diferentes regiões geográficas, e em distintas situações de invasão, com vistas a tornar os territórios invadidos ecologicamente mais sustentáveis, subsidiando um plano de ações adequadas para manejo e controle de EEI, que permitam, sobretudo: (i) diminuição da entrada de novas espécies, (ii) redução no grau das invasões, (iii) aumento da qualidade dos ambientes, (iv) controle da expansão da invasão (Catford *et al.*, 2012; Wilson *et al.*, 2016; Wolfgang, 2016).

Entre as hipóteses científicas clássicas do campo da invasão biológica (Quadro 1) são destaque os trabalhos de Charles Darwin, 1859, *On The Origin*

of Species (Darwin, 1859); Charles Elton, 1958, *The Ecology of Invasions by Animals and Plants* (Elton, 1958); Hebert Baker e Leyard Stebbins (1965), *The Genetics of Colonizing Species* (Baker; Stebbins, 1965); Robert H. MacArthur e Edward O. Wilson, 1967, *The Theory of Island Biogeography* (MacArthur; Wilson, 1967); James A. Drake e colaboradores do SCOPE, 1989, *Biological Invasions: A Global Perspective* (Drake *et al.*, 1989); Bill Jordan (William R. Jordan III), de 1990, *Restoration and Management Notes* (atual *Journal of Ecological Restoration*), e *Restoration Ecology: A Synthetic Approach to Ecological Research* (Jordan III *et al.*, 1990); Richard H. Groves e Francesco Di Castri, 1991, *Biogeography of Mediterranean Invasions* (Groves; Di Castri, 1991).

Quadro 1 - Principais hipóteses científicas sobre invasões biológicas – antes de 1990

Hipóteses científicas sobre invasão biológica – Período Clássico	
Principais hipóteses (obras)	Referências
On the origin of species	Darwin, 1859
The ecology of invasions by animals and plants	Elton, 1958
The genetics of colonizing species	Baker; Stebbins, 1965
The theory of island biogeography	Macarthur; Wilson, 1967
Biological invasions: a global perspective	Drake <i>et al.</i> , 1989
Restoration and management notes	Jordan III <i>et al.</i> , 1990
Restoration ecology: a synthetic approach to ecological research	
Biogeography of mediterranean invasions	Groves; Di Castri, 1991

Fonte: Elaborado pelo autor.

Entre as hipóteses científicas modernas (pós 1990) do campo da invasão biológica (Quadro 2) são destaque os trabalhos de Nentwig Wolfgang (1993), *Biological Invasions* (Wolfgang, 1993); Petr Pyšek e colaboradores (1995), *Plant Invasions. General Aspects and Special Problems* (Pyšek *et al.*, 1995); Quentin C. B. Cronk e Janice L. Fuller (1995), *Plant Invaders* (Cronk; Fuller, 1995); Mark Williamson (1996), *Biological Invasions* (Williamson, 1996); Nanako Shigesada e Kohkichi Kawasaki (1997), *Biological Invasions: Theory and Practice* (Shigesada; Kawasaki, 1997); Harold A. Mooney e Richard J. Hobbs (2000), *Invasive Species*

in a Changing World (Mooney; Hobbs, 2000); David Pimentel (2002), *Biological Invasions. Economic and Ecological Costs of Alien Plant, Animal and Microbe Species* (Pimentel, 2002); Judith H. Myers e Dawn R. Bazely (2010), *Ecology and Control of Introduced Plants* (Myers; Bazely, 2010); Daniel Simberloff e Marcel Rejmànek (2010), *Encyclopedia of Biological Invasions* (Simberloff; Rejmànek, 2010); Mark Davis e colaboradores (2011), *Don't Judge Species on Their Origins* (Davis *et al.*, 2011); Montserrat Vilà e Philip Hulme (2017), *Impact of biological invasions on ecosystem services* (Vilà; Hulme, 2017); e os modelos teóricos recentes sobre cenários futuros de riscos de invasões biológicas e a acumulação global de espécies invasoras, desenvolvidos por Hanno Seebens, Mark van Kleunen e colaboradores (Seebens *et al.*, 2017; Seebens *et al.*, 2017; Seebens *et al.*, 2017; van Kleunen *et al.*, 2015).

Estas hipóteses científicas (clássicas e modernas) foram responsáveis pela estruturação do modelo teórico das invasões biológicas, que, em linhas gerais, concentra em quatro grandes categorias os elementos a serem analisados no estudo das invasões: as etapas do processo da invasão (1. introduzindo-se; 2. estabelecendo-se; 3. expandindo-se ou tornando-se uma transformadora), as categorias das espécies exóticas (1. introduzida ou exótica; 2. exótica casual; 3. estabelecida; 4. invasora; 5. transformadora), os graus de risco das invasões (1. alto; 2. médio; 3. baixo), e as fases de estabelecimento das espécies (1. lenta; 2. pontual; 3. difusa; 4. exponencial). Cada uma destas categorias está estruturalmente determinada por características específicas do processo da invasão, onde é sublinhada a pressão de propágulos, ou seja, a combinação do número de vezes e locais em que a espécie é introduzida e de indivíduos/propágulos em cada introdução. A pressão de propágulos é reconhecidamente um importante mecanismo para sucesso das invasões.

A base teórico-conceitual do modelo da invasão baseia-se no princípio da tolerância das espécies aos filtros dos ecossistemas, onde são distinguidas duas formas de distribuição dos seres vivos: (i) a distribuição em tipos particulares de ecossistemas por espécies tolerantes aos filtros, que vivem nestas áreas há milhões de anos (=nativa; =autóctone; =indígena); (ii) e a distribuição procedente de outras áreas geográficas, a partir da introdução humana

(=introduzida; =exótica; =alóctone; =não nativa; =importada). Da chegada da espécie exótica a constituição da assembleia local, o processo de formação do fenômeno da invasão contempla, em geral, três etapas principais (Figura 1):

1. **Introdução:** movimentação de espécies potencialmente invasoras pelo homem para outros ecossistemas onde não são encontradas;
2. **Estabelecimento:** processo em que uma espécie exótica produz com êxito indivíduos viáveis conforme a probabilidade de sobrevivência;
3. **Expansão:** disseminação de espécies exóticas no novo ambiente.

Quadro 2 - Principais hipóteses científicas sobre invasões biológicas – depois de 1990

Hipóteses científicas sobre invasão biológica – Período Moderno	
Principais hipóteses (obras)	Referências
Biological invasions	Wolfgang, 1993
Plant invasions. General aspects and special problems	Pyšek <i>et al.</i> , 1995
Plant invaders	Cronk; Fuller, 1995
Biological invasions	Williamson, 1996
Biological invasions: theory and practice	Shigesada; Kawasaki, 1997
Invasive species in a changing world	Mooney; Hobbs, 2000
Biological invasions. Economic and ecological costs of alien plant, animal and microbe species	Pimentel, 2002
Ecology and control of introduced plants	Myers; Bazely, 2010
Encyclopedia of biological invasions	Simberloff; Rejmànek, 2010
Don't judge species on their origins	Davis <i>et al.</i> , 2011
Global exchange and accumulation of non-native plants	Van Kleunen <i>et al.</i> , 2015
Impact of biological invasions on ecosystem services	Vilà; Hulme, 2017
No saturation in the accumulation of alien species worldwide	Seebens <i>et al.</i> , 2017

Fonte: Elaborado pelo autor.

No âmbito das categorias das espécies exóticas dentro do modelo da invasão, é destaque a hipótese científica de Mark Williamson (Williamson, 1996), conhecida como a *Regra dos 10%* (The Tens Rule), que defende que apenas uma pequena proporção (cerca de 10%) das espécies introduzidas se naturalizam, e destas, outra pequena proporção (cerca de 10%) tornam-se

invasoras. Desse modo, pela hipótese de Williamson, apenas 0,1% das espécies exóticas se tornam espécies invasoras, sublinhando o fenômeno da invasão como um processo progressivo de estabelecimento de espécies exóticas, com uma progressão relativamente baixa. Foram propostas quatro categorias gerais para o tratamento das espécies dentro do modelo da invasão (Figura 1):

1. **Estado Subespontâneo:** espécie exótica casual;
2. **Estado Estabelecido:** espécie estabelecida ou naturalizada;
3. **Estado Invasor:** espécie exótica invasora;
4. **Estado Transformador:** espécie invasora transformadora.

Figura 1 - O modelo teórico das invasões biológicas



Fonte: Elaborado pelo autor.

Como primeira etapa, no *estado subespontâneo* o estabelecimento e a reprodução dos indivíduos acontecem sem intervenção humana, mas a persistência destes dependerá da aproximação de zonas antropizadas (=espécies adventícias; =subespontâneas; =exóticas casuais). O *estado estabelecido* corresponde a segunda etapa, onde os indivíduos são capazes de formar populações autônomas e auto-sustentáveis no local da introdução (=espécies naturalizadas; =estabelecidas). Como terceira etapa, no *estado invasor* as espécies naturalizadas rapidamente se expandem para longe

do foco da introdução, com populações estáveis e numerosos indivíduos (=espécies invasoras). O *estado transformador* corresponde a quarta e última etapa, onde as espécies são capazes de alterar os ecossistemas, com danos em infraestruturas, no desaparecimento de nativas, na troca do ciclo de nutrientes, e transmissão de doenças, com impactos agressivos aos ecossistemas (a ponto destes não conseguirem retomar suas condições anteriores) (=espécies invasoras transformadoras).

A invasão biológica é resultado da hierarquia iniciada pelo fator geográfico como filtro biogeográfico, seguido do fator ecológico como filtro fisiológico, do fator 'atributos da espécie' como filtro biótico, e do fator 'introdução antrópica'. Assim, o sucesso ou insucesso de um processo de invasão dependerá de atributos como: (i) mecanismos de dispersão das espécies, (ii) distância do epicentro da introdução, (iii) barreiras geográficas, (iv) homogeneidade da estrutura espacial dos recursos disponíveis, (v) e perturbações, do que podem resultar inúmeros impactos.

Para estudo dos impactos das invasões são necessários dados no âmbito dos atributos biológicos das espécies (que determinam a sua invasividade ou potencial invasor), assim como dos fatores ambientais (que determinam a invasibilidade ou susceptibilidade do meio) (Vilà; Hulme, 2017; Koike, 2008; Mayers; Bazely, 2010). Estes dois conceitos correspondem às duas grandes correntes teóricas da invasão, que estão entre as mais importantes inovações do modelo teórico concebido por Elton (1958), indispensáveis para o entendimento das invasões biológicas:

1. **Invasividade ou capacidade invasora:** refere-se aos traços biológicos que potenciam o sucesso do estabelecimento e expansão das espécies exóticas (Figura 1);
2. **Invasibilidade ou susceptibilidade à invasão:** refere-se aos aspectos que caracterizam a fragilidade do meio a receptividade de exóticas, na dependência dos caracteres abióticos (Figura 1).

No que tange a invasibilidade e a invasividade, a adaptabilidade das espécies ao novo ambiente e a capacidade de suporte do meio continuam sendo as duas maiores correntes teóricas (ou divisões teóricas) dentro do campo

da Ciência da Invasão. Este fato se reflete tanto para aqueles que defendem a invasão como um processo dependente das condições de suporte em termos da estrutura espacial do recurso disponível dos territórios (acarretando na ocupação do espaço por espécies exóticas invasoras e em danos ambientais) (Fridley, 2011; Guo, 2006; Gallien *et al.*, 2010; Gonzales-Moreno *et al.*, 2013, 2014), como também para aqueles que defendem o processo da invasão como dependente da componente biológica das espécies (acarretando na competição entre comunidades e no consumo dos seus recursos) (Cronk; Fuller 1995; Kollar; Lodge, 2001; McNelly *et al.*, 2001; Rejmànek, 2011; Vitousek, 1990).

A avaliação da invasividade necessita de conhecimento sobre a conjuntura biológica, bem como sobre as principais alterações ambientais que a espécie possa causar, e como estão relacionadas à severidade da invasão (Williamson, 1996; Vilà; Ibanez, 2011). Para se estimar a invasibilidade, o conhecimento sobre o meio e sua capacidade de suporte são essenciais (Lockwood, 2007; Peterson, 2003; Pauchard *et al.*, 2004). Por basear-se, sobretudo, em casos de invasões biológicas de sucesso, o modelo teórico da invasão tem dificultado o entendimento de muitos fatores que controlam o processo da invasão. Entretanto, o modelo teórico das invasões biológicas tem permitido o estabelecimento de importantes hipóteses dentro do campo de estudo das invasões:

- O aumento da mobilidade de pessoas à escala mundial, a intensificação do comércio, a alteração dos ecossistemas, o controlo biológico e a exploração agrícola, têm contribuído decisivamente para acelerar a chegada/introdução de organismos exóticos (D'Antonio *et al.*, 1996; Guo, 2006; van Kleunen *et al.*, 2015; Vitousek, 1990);
- A chegada de espécies exóticas a um novo ambiente pode acontecer pela ação humana deliberada (feita de modo legal para fim determinado - através da agricultura e horticultura, por exemplo) ou acidentalmente (aquém da vontade humana, mas com sua participação - materiais de embalagem, vestuário, espécies incluídas em sementes agrícolas, turismo) (Lockwood, 2007; Pysek *et al.*, 1995; Simberloff; Rejmànek, 2011);
- Plantas exóticas deliberadamente transportadas são frequentemente selecionadas pela sustentabilidade ao clima e às condições do solo da área

de destino, e quando introduzidas são considerados os efeitos que a fazem sobreviver e reproduzir-se (Lonsdale, 1999; Pauchard *et al.*, 2004; Peterson, 2003);

- Espécies exóticas com maior plasticidade genética e fenotípica podem ser mais favoráveis à propagação, devido o aumento das possibilidades de eventual superação do seu deficit de aptidão. Invasoras de sucesso têm habilidade de realocar recursos da biomassa, acumulação que pode contribuir para reforçar as suas habilidades competitivas em relação às espécies nativas (Cadotte *et al.*, 2006; Henderson *et al.*, 2006; Lee, 2002);

- Associações interespecíficas podem facilitar as invasões biológicas. Embora a correlação entre espécies nativas e espécies exóticas possuidoras de vesicular arbuscular mycorrhizae (VAM) possa explicar fatores promovedores do potencial invasor, esta associações não se verificam sempre (Barrett *et al.*, 2016; Lee, 2002; Mayers; Bazely, 2010; Rodrigues-Echeverria, 2010; Rodrigues-Echeverria *et al.*, 2011);

- Embora a dispersão possa desempenhar um papel central na taxa de propagação das espécies exóticas, as condições do território de chegada são fundamentais para o sucesso da invasão. Enquanto que em ambientes áridos desarborizados a dispersão pelo vento é importante, a dispersão por pássaros é frequentemente mais importante em ambientes florestais, assim como a dispersão por vertebrados (Gonzales-Moreno *et al.*, 2013, 2014);

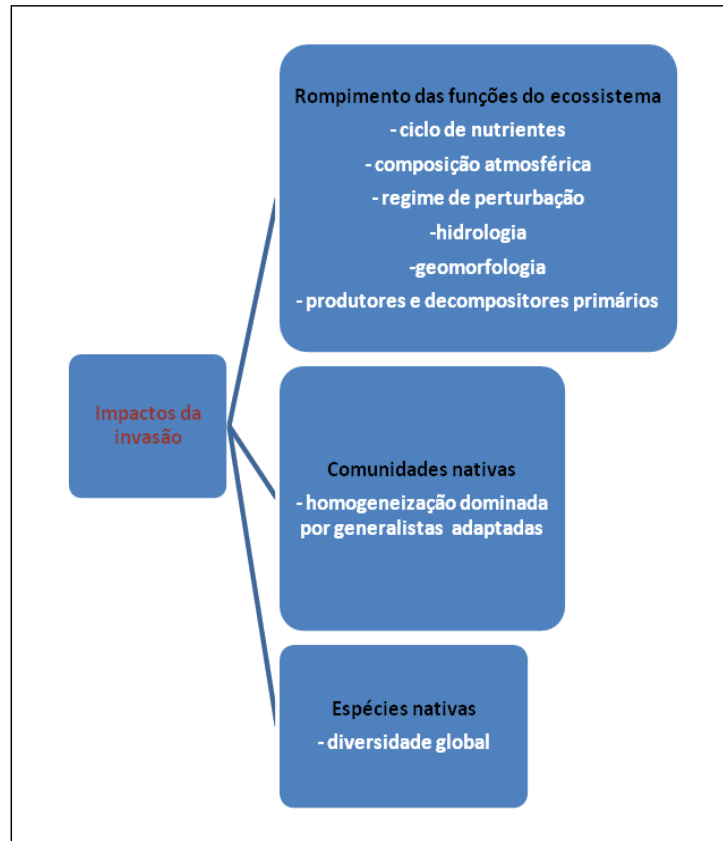
- Os dois mais básicos modelos de dispersão das espécies exóticas são: dispersão difusa (baixa expansão na sequência de uma frente de invasão), e dispersão pontual (expansão com distância significativa da população parental). O primeiro modelo ocorre em espécies com habilidade de dispersão limitada, e em áreas relativamente homogêneas. O segundo padrão de dispersão é mais comum em espécies que tem habilidade de dispersão ampla, ou são encontradas em ambientes heterogêneos (Rejmànek, 1999; Richards *et al.*, 2016; Vilà; Hulme, 2017; Wolfgang, 2016);

- No âmbito da relação entre “taxas de dispersão vs. invasão biológica” foi estabelecida a seguinte regra para ser considerado o sucesso da invasão: (i) na fase lenta, ou de dispersão pontual (menos de 50 anos da introdução), a espécie exótica deverá estar estabelecida a, pelo menos, 100 metros do foco de entrada; (ii) na fase exponencial, ou de dispersão difusa (mais de 50

anos da introdução), a espécie exótica deve estabelecer-se a mais de 100 metros do foco de entrada (regra proposta nomeadamente para espécies com reprodução por semente); (iii) para o caso de espécies exóticas com reprodução por rizomas ou estolões, estas devem estabelecer-se a mais de 6 metros em 3 anos após a introdução (Mooney; Hobbs, 2000; Pysek *et al.*, 1995; Richardson, 2011; Lockwood, 2007; Williamson, 2006);

- Fatores que limitam a propagação de espécies invasoras incluem a evolução de espécies nativas em competidoras, pestes ou predadoras de espécies exóticas. Como alternativa, uma peste eficaz ou competidor pode eventualmente ser introduzida. A transição de uma adição benigna para um invasor dominante é por vezes caracterizada pelo surgimento de *timelags*. São identificadas duas categorias de fatores associados com a introdução de um invasor potencial: i) intrínseco a espécie, como a taxa de aumento da população; ii) extrínseco à espécie, relativo as condições do ambiente receptor. Há, pelo menos, três destaques importantes sobre as *timelags* no âmbito da introdução de um potencial competidor: 1) populações de crescimento lento não são notadas nos primeiros estágios do crescimento exponencial; 2) poderá haver a ocorrência de uma eventual adaptação genotípica; 3) distúrbios cíclicos ou combinações com as condições ambientais (Figura 2) podem lançar as espécies introduzidas da obscuridade relativa (com o sucesso da introdução do organismo competidor) (Cadotte *et al.*, 2006; Cronk; Fuller, 1995; Guo, 2006; Koike, 2008; Kolar; Lodge, 2001; Kowaric, 2005; Marchante *et al.*, 2018);

Figura 2 - Os principais impactos das invasões biológicas

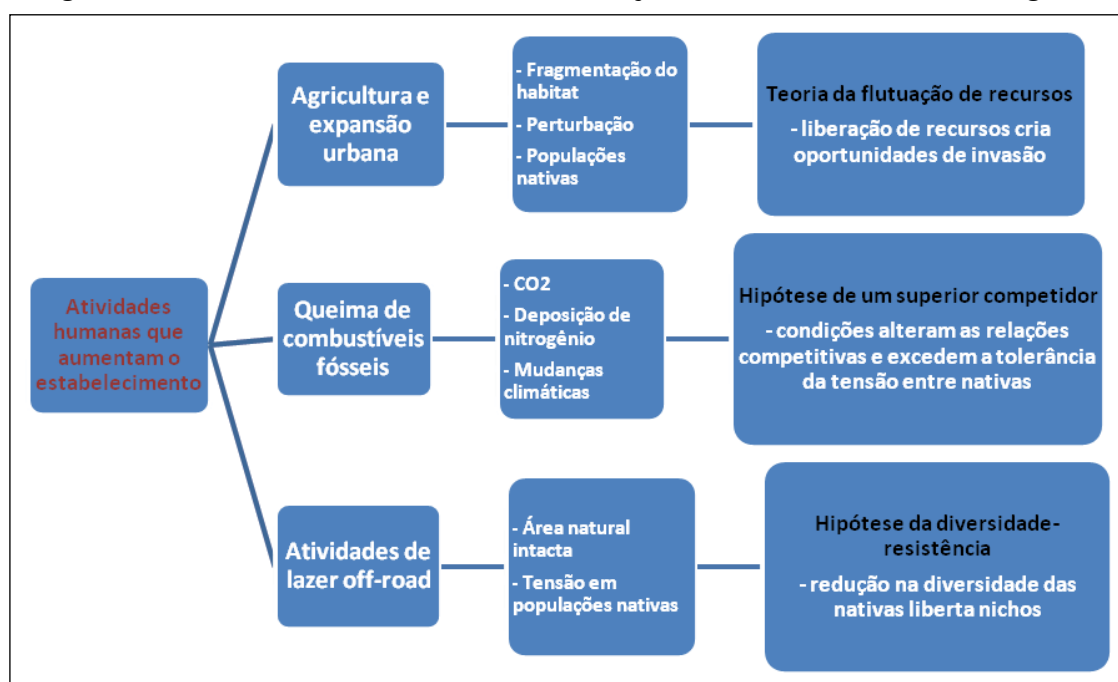


Fonte: Elaborado pelo autor.

- Embora os mecanismos de uma adição benigna de uma espécie competidora estejam potencialmente sob obscuridade relativa, defasagens podem ser menores, em média, nos trópicos mais que nas altas latitudes. Há quatro princípios gerais neste âmbito: 1) a precisa determinação da duração de uma timelag é complicada dada dificuldades no conhecimento de quando uma espécie foi originalmente introduzida; 2) dados do comportamento de uma espécie em um local específico são um pobre preditor do seu potencial invasor; 3) ambos os fatores ecológicos e genéticos podem produzir uma repentina explosão da população; 4) as maiores populações iniciais estão correlacionadas com uma maior probabilidade do atraso das timelags (Henderson *et al.*, 2006; Mayers; Bazely, 2010; Koike, 2008; Kowaric, 2005);
- Impactos por plantas invasoras e fatores ambientais que permitem a invasão estão de perto ligados frequentemente a um positivo *feedback* (Figura 3). Distúrbios podem permitir uma invasão, que, por sua vez, pode causar mais distúrbios, que

podem facilitar uma invasão adicional. Impactos têm sido notados em todos os níveis de organização biológica e são causados por plantas exóticas de todas as formas de vida, em praticamente todos os tipos de habitat. Depois da extinção das espécies nativas, o mais significativo impacto das invasões envolve modificações no funcionamento dos ecossistemas (Figura 3). Embora a reintrodução de espécies nativas com restauração de comunidades possa ajudar na remoção da invasão ou seu controle, voltar ao contexto anterior é praticamente impossível (Levine *et al.*, 2003; Pauchard *et al.*, 2004; Ricciardi *et al.*, 2021; Seebens *et al.*, 2017; Theoharides; Dukes, 2007; Vilà *et al.*, 2021; Wilson *et al.*, 2016);

Figura 3 - Atividades humanas e suas relações com as invasões biológicas



Fonte: Elaborado pelo autor.

- Quanto aos ambientes mais inclinados às invasões, alguns dos frequentes e citados preditores gerais da vulnerabilidade destes espaços incluem: latitude, água disponível, formas do relevo e intervenção humana. Ilhas estão mais inclinadas às invasões que as áreas continentais, zonas temperadas mais que os trópicos, zonas húmidas mais que as zonas áridas, o Novo Mundo mais do que o Velho Mundo, e áreas perturbadas são mais vulneráveis às invasões que áreas intactas. Há exceções à regra, como no caso da aparente

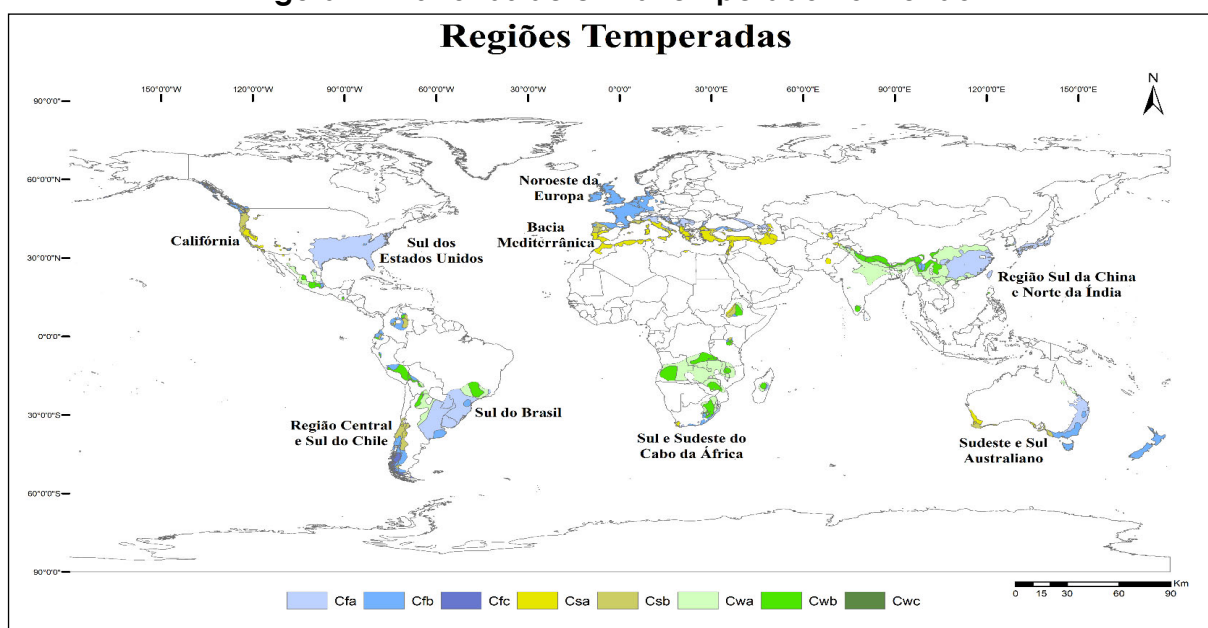
desproporcionalidade da alta invasibilidade dos ecossistemas de clima mediterrânico não europeu, como são categorizadas a África do Sul, a Califórnia, o Sudeste da Austrália, o Sul do Brasil, toda a costa oriental do Chile, e parte da costa leste da Argentina e do Uruguai (Di Castri, 1990; Fridley, 2011; Gonzales-Moreno *et al.*, 2017; Holmes *et al.*, 2020; Oliveira-Costa *et al.*, 2016; Pauchard *et al.*, 2004) (Tabela 1 e Figura 4).

Tabela 1 - Características gerais das zonas climáticas temperadas

REGIÕES TEMPERADAS DO MUNDO				
Climas temperados	Latitude	Precipitação	Umidade	Biotemperatura
Clima Oceânico (Cfb)	56°30' - 42°00'	1.000 mm - 2.000 mm	Chuva homogênea e moderada	6° - 12° (inverno frio e verão moderado)
Clima Mediterrânico (Csa)	42°00' - 27°30'	2.000 mm - 4.000 mm	Unidade e chuva moderadas	12° - 18° (estações quente e fria)
Clima Subtropical (Cfa)	27°30' - 13°00'	4.000 mm - 8.000 mm	Muita chuva, unidade alta, pouca sazonalidade	12° - 18° (estações quente e fria)

Fonte: Elaborado pelo autor.

Figura 4 - As zonas de clima temperado no Mundo



Fonte: Elaborado pelo autor.

A invasão biológica tem sido tema/debate de discussão em diversas conferências, como a International Conference on Biological Invasions (NEOBIOTA), e a International Conference on Ecology and Management of Alien

Plant Invasions (EMAPI), ambas realizadas pelo European Group of Biological Invasions. Para além das conferências e encontros, as invasões biológicas são o principal enfoque de alguns periódicos e jornais especializados no problema das invasões, tais como *Biological Invasions*, *NeoBiota Journal*, *Diversity and Distributions*, *Bioinvasions Records*, *Aquatic Invasions*, *Management of Biological Invasions*, *Weed Research Journal*, *Preslia*. Estas iniciativas internacionais (conferências e periódicos especializados) têm apontado as necessidades para as actualizações sobre: (i) os parâmetros de estudo das invasões, (ii) o estudo da qualidade dos espaços invadidos, (iii) as regulamentações globais e regionais no âmbito do problema das invasões, (iv) o tratamento dos dados, entre muitos outros questionamentos atuais, relacionando tanto o tratamento a ser dado às espécies invasoras quanto aos espaços invadidos como um todo, de maneira a garantir a conservação e a sustentabilidade ambiental.

Todas estas iniciativas destacadas são apoiadas por organizações internacionais no âmbito do problema das invasões biológicas, como: a European Commission (EU), o Invasive Species Specialist Group (ISSG), o Centre for Agriculture and Bioscience International (CABI), a British Ecological Society (BES), o International Weed Science Society e a European Weed Research Society (IWSC/EWRS), a International Biogeography Society (IBS), o International Association for Open Knowledge on Invasive Alien Species (INVASIVESNET), o Centre of Excellence for Invasion Biology (CIB), o Delivering Alien Invasive Species Inventories for Europe (DAISIE), o Global Biodiversity Information Facility (GBIF), o Non-Native Tree Species for European Forests/European Cooperation in Science/Technology (NNEXT-COST), o European Network on Invasive Alien Species in North/Central Europe (NOBANIS), o U.S Department of Agriculture e o U.S. Geological Survey (USGS/UDSA), o Online Atlas of the British and Irish Flora, e o California Invasive Plant Council (CAL-IPC).

REFERÊNCIAS

BARRETT, S. *et al.* **Invasion Genetics: The Baker and Stebbins Legacy.** Wiley-Blackwell, 2016.

BAKER, R.; STEBBINS, L. **The genetics of colonizing species**. New York: Academic Press, 1965.

BOOTH, T. H. Species distribution modelling tools and databases to assist managing forests under climate change. **Forest Ecology and Management**, v. 430, p. 196-203, 2018.

BROENNIMANN, O. *et al.* Evidence of climatic niche shift during biological invasion. **Ecology Letters**, v. 10, p. 701-709, 2007.

CADOTTE, M. W.; MCMAHON, S. M.; FUKAMI, T. **Conceptual ecology and invasion biology: reciprocal approaches to nature**. Springer, 2006.

CALEY, P.; GROVES, R. H.; BARKER, R. Estimating the invasion success of introduced plants. **Diversity and Distributions**, v. 14, n. 2, p. 196-203, 2008.

CAPISTRANO, D.; SAMPER, C.; LEE, M. J.; RAUDSEPP-HEARNE, C. **Ecosystems and human well-being: multiscale assessments: findings of the sub-global assessments working group of the millennium ecosystem assessment**. Washington: Island Press, 2005.

CATFORD, J. *et al.* Quantifying levels of biological invasion: towards the objective classification of invaded and invulnerable ecosystems. **Global Change Biology**, v. 18, p. 44-62, 2012.

CATFORD, J. A.; JANSSON, R.; NILSSON, C. Reducing redundancy in invasion ecology by integrating hypotheses into a single theoretical framework. **Diversity and Distributions**, v. 15, n. 1, p. 22-40, 2009.

COLAUTTI, R. I.; MACISAAC, H. J. A neutral terminology to define invasive species. **Diversity and Distributions**, v. 10, p. 135-141, 2004.

CRALL, A. W. *et al.* Using habitat suitability models to target invasive plant species surveys. **Ecological Applications**, v. 23, p. 60-72, 2013.

CRONK, Q.; FULLER, J. L. **Plant invaders: the threat to natural ecosystems**. London: Springer, 1995.

CZECH, B.; KRAUSMAN, P. Distribution and causation of species endangerment in the United States. **Science**, v. 277, n. 5329, p. 1116-1117, 1997.

D'ANTONIO, C. *et al.* Biological invasions as global environmental change. **American Scientist**, v. 84, n. 5, 1996.

DARWIN, C. **The origin of species by means of natural selection, or the preservation of favoured races in the struggle for life**. London: Books, Incorporated, 1859.

DAVIS, M. Invasion biology 1958–2005: the pursuit of science and conservation. *In*: CADOTTE, M. W.; MCMAHON, S. M.; FUKAMI, T. **Conceptual ecology and invasions biology: reciprocal approaches to nature**. London: Springer, 2006.

DEWITT, T. J.; SIH, A.; WILSON, D. S. Costs and limits of phenotypic plasticity. **Trends in Ecology & Evolution**, v. 13, n. 2, p. 77-81, 1998.

DI CASTRI, F.; MOONEY, H. **Mediterranean type ecosystems: origin and structure**. Berlin: Springer-Verlag, 1973.

DI CASTRI, F. On invading species and invaded ecosystems: the interplay of historical chance and biological necessity. *In*: DI CASTRI, F.; HANSEN, A. J.; DEBUSSCHE, M. (eds.). **Biological invasions in Europe and the Mediterranean Basin**. Dordrecht: Kluwer Academic Publishers, 1990.

DRAKE, J. A. *et al.* **Biological invasions: a global perspective**. SCOPE, 1989.

DRENOVSKY, R.; JAMES, J. **Designing invasion-resistant plant communities: the role of plant functional traits**. Society for Range Management, 2010.

ESPÍNOLA, L. A.; FERREIRA, H. Espécies invasoras: conceitos, modelos e atributos. **Interciencia**, v. 32, n. 9, p. 580-585, 2007.

ESPINOSA-GARCÍA, F. J.; VILLASEÑOR, J. L.; VIBRANS, H. The rich generally get richer, but there are exceptions: correlations between species richness of native plant species and alien weeds in Mexico. **Diversity and Distributions**, v. 10, n. 5-6, p. 399-407, 2004.

ELTON, C. **The ecology of invasions by animals and plants**. London: Methuen, 1958.

EUROPE-ALIENS. **DAISIE – inventory of alien invasive species in Europe**. Disponível em: <http://www.europe-aliens.org/>. Acesso em: 19 set. 2021.

FALK-PETERSEN, J. *et al.* On the numerous concepts in invasion biology. **Biological Invasions**, v. 8, n. 6, p. 1409-1424, 2006.

FRIDLEY, J. D. Invasibility of communities and ecosystems. *In*: **Encyclopedia of biological invasions**. London: University of California Press, 2011.

GALLARDO, B.; ALDRIDGE, D. C.; GONZÁLEZ-MORENO, P.; PERGL, J.; PIZARRO,

M.; PYŠEK, P.; VILÀ, M. Protected areas offer refuge from invasive species spreading under climate change. **Global Change Biology**, v. 23, n. 12, p. 5331-5343, 2017.

GALLIEN, L. *et al.* Predicting potential distributions of invasive species: where to go from here? **Diversity and Distributions**, v. 16, p. 331-342, 2010.

GONZÁLEZ-MORENO, P. *et al.* Una visión a escala de paisaje de las invasiones biológicas. **Ecosistemas**, v. 24, n. 1, p. 84-92, 2015.

GONZÁLEZ-MORENO, P.; DÍEZ, J. M.; IBÁÑEZ, I.; FONT, X.; VILÀ, M. Plant invasions are context dependent: multiscale effects of climate, human activity and habitat. **Diversity and Distributions**, v. 20, n. 6, p. 720-731, 2014

GONZÁLEZ-MORENO, P. *et al.* Quantifying the landscape influence on plant invasions in Mediterranean coastal habitats. **Landscape Ecology**, v. 28, p. 891-903, 2013.

GROVES, R. H.; DI CASTRI, F. **Biogeography of Mediterranean invasions**. London: Springer, 1991.

GUO, Q. F. Intercontinental biotic invasions: what can we learn from native populations and habitats? **Biological Invasions**, v. 8, p. 1451-1459, 2006.

HAGGETT, P. Prediction and predictability in geographical systems. **Transactions of the Institute of British Geographers**, v. 1, n. 1, 1994.

HENDERSON, S. *et al.* Progress in invasive plants research. **Progress in Physical Geography**, v. 30, p. 25-46, 2006.

HEYWOOD, J. Spatial analysis of genetic variation in plant populations. **Annual Review of Ecology and Systematics**, v. 22, p. 335-355, 1991.

HIJMANS, R. J. *et al.* Very high-resolution interpolated climate surfaces for global land areas. **International Journal of Climatology**, v. 25, p. 1965-1978, 2005.

HOLDRIDGE, L. R. Determination of world plant formations from simple climatic data. *Science*, n. 105, p. 367-368, 1947.

HOLMES, P. M. *et al.* Biological invasions and ecological restoration in South Africa. *In: Biological invasions in South Africa*. [S.l.]: [s.n.], 2020. p. 665-700.

HULME, P. E. *et al.* Bias and error in understanding plant invasion impacts. **Trends in Ecology & Evolution**, v. 28, n. 4, p. 212-218, 2013.

IUCN – International Union for the Conservation of Nature. Guidelines for the prevention of biodiversity loss due to biological invasion. **Species**, v. 31-32, p. 28-42, 1999.

JESCHKE, J. M. General hypotheses in invasion ecology. **Diversity and Distributions**, v. 20, n. 11, p. 1229-1234, 2014.

KOIKE, F. *et al.* **Assessment and control of biological invasion risks**. Kyoto: Shokadoh Book Sellers; Gland: IUCN, 2008.

KOLAR, C.; LODGE, D. Progress in invasion biology: predicting invaders. **Trends in Ecology and Evolution**. v.16, n. 4, p. 199-204, 2001.

KÖPPEN, W. Versuch einer Klassifikation der Klimate, vorzugsweise nach ihren Beziehungen zur Pflanzenwelt. **Geographische Zeitschrift**, n. 6, p. 593–611, 657–679, 1900.

KOPPEN W.; GEIGER R. **Klima der Erde**. Darmstadt, DE: Justus Perthes, 1954.

KOWARIK, I. Time lags in biological invasions with regard to the success and failure of alien species. *In: Plant invasions – general aspects and special problems*. Amsterdam: Academic Publishing, 1995.

KUSSELL, E.; LEIBLER, S. Phenotypic diversity, population growth, and information in fluctuating environments. **Science**, v. 309, n. 5743, p. 2075-2078, 2005.

LEE, C. E. Evolutionary genetics of invasive species. **Trends in Ecology & Evolution**, v. 17, p. 386-390, 2002.

LEVINE, J. M. *et al.* Mechanisms underlying the impacts of exotic plant invasions. **Proceedings of the Royal Society B**, v. 270, n. 1517, p. 775-781, 2003.

LIU, C.; WOLTER, C.; XIAN, W.; JESCHKE, J. M. Species distribution models have limited spatial transferability for invasive species. **Ecology Letters**, v. 23, n. 11, p. 1682-1692, 2020.

LOCKWOOD, J. L. *et al.* **Invasion Ecology**. Blackwell Publishing. 2007.

LONSDALE, W. M. Global patterns of plant invasions and the concept of invasibility. **Ecology**, v. 80, n. 5, p. 1522-1536, 1999.

MACARTHUR, R. H.; WILSON, E. O. **The theory of island biogeography**. Princeton: Princeton University Press, 1967.

MACDONALD, G. **Biogeography**: introduction to space, time, and life. Hoboken:

Wiley, 2003.

MCNELLY, J. A. Invasive species: a costly catastrophe for native biodiversity. **Land Use and Water Resources Research**, v. 1, p. 1-10, 2001.

MINER, B. G. *et al.* Ecological consequences of phenotypic plasticity. **Trends in Ecology & Evolution**, v. 20, n. 12, p. 685-692, 2005.

MYERS, J.; BAZELY, D. **Ecology and control of introduced plants**. Cambridge: Cambridge University Press, 2010.

MOONEY, H. A.; HOBBS, R. J. **Invasive species in a changing world**. Washington: Island Press, 2000.

NORBERG, J. *et al.* Phenotypic diversity and ecosystem functioning in changing environments: a theoretical framework. **PNAS**, v. 98, n. 20, p. 11376-11381, 2001.

OLIVEIRA-COSTA, J. L. P.; FIGUEIREDO, R. F.; PIVELLO, V. R. Distribuição atual e susceptibilidade à invasão por *Acacia longifolia* em ambientes litorais. **Geografia: Publicações avulsas, UFPI, Teresina**, v. 1, p. 1-50, 2021.

OLIVEIRA-COSTA, J. L. P.; FIGUEIREDO, R. F.; PIVELLO, V. R. A invasora *Acacia longifolia* Andrews (Willd.) em Portugal e no Brasil. **Espaço em Revista**, v. 22, p. 165-202, 2020.

OLIVEIRA-COSTA, J. *et al.* Caracterizando as invasões por acácias australianas na bacia do rio Arouce desde 1960. **Revista de Geografia e Ordenamento do Território**, v. 10, p. 241-265, 2016.

OLIVEIRA-COSTA, J. L. P.; SOUSA, R. J. Organização geossistêmica e invasões por *Acacia* sp. na bacia hidrográfica do rio Arouce. **GOT – Revista de Geografia e Ordenamento do Território**, v. 8, 2015.

OLIVEIRA-COSTA, J. L. P. **Os caminhos da invasão do género *Acacia* Mill. na bacia do rio Arouce**. 2014. Dissertação (Mestrado) – Universidade de Coimbra, Coimbra, 2014.

PAUCHARD, A. *et al.* Comparing alien plant invasions among regions with similar climates. **Diversity and Distributions**, v. 10, p. 371-375, 2004.

PEACOCK, L.; WORNER, S. Biological and ecological traits that assist establishment of alien invasive insects. **New Zealand Plant Protection**, n. 61, p. 1-7, 2008.

PETERSON, A. T. Predicting the geography of species' invasions via ecological

- niche modelling. **Quarterly Review of Biology**, v. 78, p. 419-443, 2003.
- PIMENTEL, D. *et al.* Economic and environmental threats of alien plant, animal, and microbe invasions. **Agriculture, Ecosystems & Environment**, v. 84, p. 1-20, 2001.
- PYŠEK, P. *et al.* Alien vascular plants of Europe. *In: Handbook of alien species in Europe*. Dordrecht: Springer, 2009. p. 43-61.
- PYŠEK, P. Past and future of predictions in plant invasions: a field test by time. **Diversity and Distributions**, v. 7, p. 145-151, 2001.
- PYŠEK, P. *et al.* **Plant invasions: general aspects and special problems**. Amsterdam: SPB Academic Publishing, 1995.
- REJMÁNEK, M.; RICHARDSON, D. M. Trees and shrubs as invasive alien species. **Diversity and Distributions**, v. 19, p. 1903-1904, 2013.
- REJMÁNEK, M.; RICHARDSON, D. M.; PYŠEK, P. Plant invasions and invasibility of plant communities. **Vegetation Ecology**, v. 13, p. 332-355, 2005.
- REJMÁNEK, M. Invasiveness. *In: Encyclopedia of biological invasions*. Berkeley: University of California Press, 2011.
- RICCIARDI, A. *et al.* Four priority areas to advance invasion science in the face of rapid environmental change. **Environmental Reviews**, v. 29, n. 2, p. 119-141, 2021.
- RICHARDS, C. *et al.* Jack of all trades, master of some? On the role of phenotypic plasticity in plant invasions. **Ecology Letters**. v. 9, n. 8, p. 981-99. 2006
- RICHARDSON, D. M. **Fifty years of invasion ecology**. The legacy of Charles Elton. Oxford: Wiley-Blackwell, 2011.
- RICHARDSON, D. M. Plant invasion ecology. **Diversity and Distributions**, v. 10, p. 315-319, 2004.
- RICHARDSON, D. M.; PYŠEK, P. Plant invasions: merging the concepts of species invasiveness and community invasibility. **Progress in Physical Geography**, v. 30, p. 409-426, 2006.
- SEEBENS, H. *et al.* Projecting the continental accumulation of alien species through to 2050. **Global Change Biology**, v. 27, n. 5, p. 970-982, 2021.
- SEEBENS, H. *et al.* Around the world in 500 years. **Global Ecology and Biogeography**, v. 30, n. 8, p. 1621-1632, 2021.

SEEBENS, H. *et al.* No saturation in the accumulation of alien species worldwide. **Nature Communications**, v. 8, p. 14435, 2017.

SHIGESADA, N.; KAWASAKI, K. **Biological invasions: theory and practice**. Oxford: Oxford University Press, 1997.

SIMBERLOFF, D.; REJMÁNEK, M. **Encyclopedia of biological invasions**. Berkeley: University of California Press, 2011.

SMITH, T. M.; SHUGART, H. H.; WOODWARD, F. I. **Plant functional types: their relevance to ecosystem properties and global change**. Cambridge: Cambridge University Press, 1997.

THEOHARIDES, K.; DUKES, J. S. Plant invasion across space and time. **New Phytologist**, v. 176, p. 256-273, 2007.

TIVY, J. **Biogeography: a study of plants in the ecosphere**. London: Oliver & Boyd, 1971.

VAN KLEUNEN, M. *et al.* Global exchange and accumulation of non-native plants. **Nature**, v. 525, p. 100-103, 2015.

VAVILOV, N. I. **Origin and geography of cultivated plants**. Cambridge: Cambridge University Press, 1992.

VITOUSEK, P. M. Biological invasions and ecosystem processes. **Oikos**, v. 57, p. 7-13, 1990.

VILÀ, M.; HULME, P. E. **Impact of biological invasions on ecosystem services**. Cham: Springer, 2017.

VILÀ, M. *et al.* Ecological impacts of invasive alien plants: a meta-analysis. **Ecology Letters**, v. 14, p. 702-708, 2011.

VILA, M.; IBÁÑEZ, I. Plant invasions in the landscape. **Landscape Ecology**, v. 26, p. 461-472, 2011.

WATTS, D. **Principles of biogeography**. New York: McGraw-Hill, 1971.

WILLIAMSON, M. **Biological invasions**. London: Chapman & Hall, 1996.

WILSON, J. R. U. *et al.* Biological invasions and natural colonisations are different. **NeoBiota**, n. 31, p. 87-98, 2016.

WOLFGANG, N. **Biological invasions**. Berlin: Springer, 2016.