

PESQUISA EM FOCO

Definição de método de controle para vimeiros invasores (*Salix x rubens*)

Michele S. Dechoum^{1,2}, Ana Luiza Castelo Branco Figueiredo^{2,3}

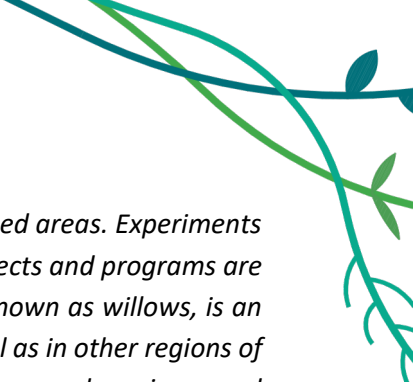
Resumo: Espécies exóticas invasoras são uma das maiores ameaças à biodiversidade em unidades de conservação. O híbrido invasor *Salix x rubens*, popularmente conhecido como vimeiro, é um exemplo de árvore exótica invasora em áreas ripárias em regiões altas no sul do Brasil, assim como em outras regiões do mundo. O objetivo geral do presente estudo foi definir experimentalmente um método eficaz para a eliminação de indivíduos de *Salix x rubens*, visando dar subsídio técnico tanto para a erradicação da espécie no Parque Nacional de São Joaquim (Santa Catarina, Brasil) quanto para manejo em outras unidades de conservação. Um experimento com delineamento em blocos com quatro tratamentos foi definido para uma área com um adensamento de vimeiros no interior do Parque. Os tratamentos foram: (1) somente controle mecânico; (2) controle mecânico e aplicação de herbicida à base de Triclopir a 2%; (3) controle mecânico e aplicação de herbicida à base de Triclopir a 3%; e (4) controle mecânico e aplicação de herbicida à base de Triclopir a 4%. As árvores submetidas aos tratamentos foram monitoradas por nove meses após a instalação do experimento. O método mais indicado para iniciativas de erradicação e controle do híbrido invasor *Salix x rubens* é a combinação de controle mecânico com a aplicação sequencial imediata de herbicida à base de Triclopir na concentração de 2%, em virtude da alta eficácia e por ser aquele na qual a menor concentração possível de herbicida foi utilizada. A técnica de controle mecânico teve uma alta ineficácia, com mais de 80% dos indivíduos rebrotados. Para evitar futuras invasões, é fundamental que sistemas de produção nos quais espécies exóticas invasoras são utilizadas implementem medidas de manejo que contenham a expansão dessas espécies ou ainda a substituição delas por espécies nativas ou não-invasoras.

Palavras-chave: Invasão biológica, planta invasora, gestão, vegetação ripária, *Salix*

1 - Laboratório de Ecologia de Invasões Biológicas, Manejo e Conservação, Departamento de Ecologia e Zoologia, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, Santa Catarina, Brasil (michele.dechoum@ufsc.br)

2 - Programa de Pós-Graduação em Ecologia, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, Santa Catarina, Brasil

3 - Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade, Parque Nacional de São Joaquim, Urubici, Santa Catarina, Brasil (ana.figueiredo@icmbio.gov.br)



Abstract: Invasive alien species are one of the biggest threats to biodiversity in protected areas. Experiments to define effective control methods for these species are essential if management projects and programs are to be implemented in protected areas. The invasive hybrid *Salix x rubens*, popularly known as willows, is an example of an invasive tree in riparian areas in the highlands of southern Brazil, as well as in other regions of the world. Willows cause significant physical and biological impacts in riparian areas, such as increased erosion and flooding; reduced water quality, availability and flow; and altered habitat for various species of plants and animals. The general aim of this study was to experimentally define an effective method for eliminating individuals of *Salix x rubens* to provide technical support for the species eradication in São Joaquim National Park (Santa Catarina, Brazil) as well as for its management in other protected areas. An experiment with a four-treatment block design was set up in an area with a dense patch of willows inside the park. The treatments were: (1) mechanical control only; (2) mechanical control and application of a 2% Triclopyr-based herbicide; (3) mechanical control and application of a 3% Triclopyr-based herbicide; and (4) mechanical control and application of a 4% Triclopyr-based herbicide. The trees subjected to the treatments were monitored for nine months after the experiment was set up. The most suitable method for eradication and control initiatives of the invasive hybrid *Salix x rubens* is the combination of mechanical control with the immediate sequential application of Triclopyr-based herbicide at a concentration of 2%. The mechanical control technique should not be used in isolation to control *Salix x rubens*, given the high ineffectiveness, with more than 80% of individuals resprouting. The definition of an effective control method has made it possible to eradicate invasive willows in São Joaquim National Park. However, for the results to be expanded beyond the boundaries of the protected area, it is essential that production systems in which invasive species are used are implemented with management measures that contain the expansion of these species or their replacement by native species.

Keywords: Biological invasion, invasive plant, management, riparian vegetation, *Salix*.

Introdução

Espécies exóticas invasoras são uma das maiores causas mundiais de perda de biodiversidade, com impactos à economia global e ao bem-estar e saúde humana¹. Processos de invasões biológicas são promovidos por uma ampla variedade de atividades humanas, incluindo o comércio de mercadorias, que possibilitam o transporte e a introdução de espécies, assim como mudanças no uso do solo e mudanças climáticas, que facilitam o estabelecimento e a propagação de espécies exóticas invasoras². A partir da superação da barreira geográfica, indivíduos de espécies introduzidas devem ultrapassar uma barreira reprodutiva, produzindo descendentes e estabelecendo uma população, e uma barreira de dispersão, se dispersando e estabelecendo novas populações em áreas distantes do local de introdução. Espécies que superam a barreira de reprodução são chamadas de estabelecidas, sendo chamadas de invasoras aquelas que conseguem superar a barreira de dispersão^{3,4}. Diferentes estratégias de manejo devem ser implementadas em cada etapa do

processo de invasão, de modo a conter a expansão e o estabelecimento de espécies introduzidas e de minimizar impactos negativos provocados por espécies estabelecidas.

O manejo de espécies exóticas invasoras vem sendo implementado em áreas com alta relevância biológica, como é o caso de unidades de conservação, nas quais invasões biológicas são uma das maiores ameaças à biodiversidade em escala global^{5,6,7}. Tanto o número de espécies exóticas invasoras quanto os custos de manejo das mesmas em unidades de conservação têm aumentado nos últimos 30 anos em diferentes regiões do mundo^{8,9}. Plantas exóticas invasoras apresentam relevante presença em unidades de conservação, quando comparadas com outros grupos biológicos^{10,11}. Por exemplo, cerca de 61% da flora do Parque Nacional dos Vulcões, no Havaí (EUA), é composta por plantas exóticas¹². No Brasil, plantas exóticas invasoras ocorrem em muitas unidades de conservação, especialmente na Mata Atlântica e nas regiões sudeste e sul¹¹. Já em parques nacionais na África do Sul, quase 80% das plantas que são exóticas invasoras são ornamentais e quase 60% são dispersas por rios, destacando a relevância de se manejar plantas ornamentais e de sistema de monitoramento ao longo de rios para se evitar futuras invasões¹³.

Rios são reconhecidos como importantes vias de disseminação de plantas exóticas invasoras por servirem como corredores para dispersão¹⁴. O híbrido *Salix x rubens* (Salicaceae), popularmente conhecido como vimeiro ou chorão, é um exemplo de árvore exótica invasora em áreas ripárias em regiões altas no sul do Brasil^{15,16}. A principal via de estabelecimento do híbrido é a propagação vegetativa de ramos dispersos através da água, tendo em vista que os ramos quebram facilmente e são carregados pela corrente de água, especialmente em eventos de cheias e enchentes^{17,18}. Espécies do gênero *Salix* são invasoras proeminentes em diversas regiões no mundo¹⁹, provocando impactos físicos e biológicos significativos em áreas ripárias, como aumento de erosão e de inundações; redução da qualidade, disponibilidade e do fluxo da água; e alteração no habitat de diversas espécies de plantas e animais^{17,18,19,20,21,22}.

Apesar de haver densas populações de vimeiros em muitos rios da região do Parque Nacional de São Joaquim (Santa Catarina, Brasil), os quais nascem ou atravessam a unidade de conservação, as populações encontradas no interior do Parque são pequenas e ainda pouco dispersas, caracterizando uma transição entre as fases de estabelecimento e dispersão do processo de invasão biológica. Diante desse contexto, ações de controle da espécie são favorecidas, viabilizando inclusive a erradicação da espécie dentro dos limites do Parque¹⁶.

Mesmo *Salix x rubens* sendo reconhecida como uma espécie exótica invasora, não há, ainda, método eficaz de controle definido para a espécie¹⁵, o que dificulta a implementação de ações de manejo em unidades de conservação no Brasil. Dessa forma, o objetivo geral do presente estudo foi definir experimentalmente um método eficaz para a eliminação de indivíduos de *Salix x rubens*,

visando dar subsídio técnico tanto para a erradicação da espécie no Parque Nacional de São Joaquim (Santa Catarina, Brasil) quanto para manejo em outras unidades de conservação.

Material e métodos

Área de estudo

O Parque Nacional de São Joaquim (PNSJ) foi criado pelo Decreto Nº 50.922 de 06/07/1961, no Planalto Sul Catarinense (latitude: 28.19° S, longitude: 49.53° W), no sul do Brasil. Seus limites foram posteriormente alterados pela Lei Nº 13.273 de 15/04/2016, passando a englobar uma área aproximada de 49.800 hectares²³. O clima na região é do tipo Cfb, seguindo a classificação de Köppen-Geiger, com precipitação bem distribuída ao longo do ano e com invernos frios²⁴. A paisagem na região é composta por mosaicos de formações florestais e campestres de altitude²⁵ (**Figura 1**). O PNSJ apresenta grande relevância nacional por ser um dos primeiros do país a proteger os últimos remanescentes de Mata de Araucária (Floresta Ombrófila Mista) em Santa Catarina. O Parque integra a zona-núcleo da Reserva da Biosfera da Mata Atlântica, protege inúmeras nascentes e habitats únicos que preservam espécies da flora e fauna endêmicas²³.



Figura 1. Área do experimento no interior do Parque Nacional de São Joaquim (SC), com adensamento do híbrido invasor *Salix x rubens* em período no qual os indivíduos estão sem folhas. Este foi o momento no qual foi iniciado o experimento. Foto: Ana Luiza Figueiredo.

Delineamento do experimento e coleta de dados

Instalamos o experimento para definição de método mais eficaz para eliminação de indivíduos de *Salix x rubens* no dia 30 de julho de 2022, em um adensamento de vimeiros em área situada em

propriedade já indenizada no interior do PNSJ (28°10'11.82"S, 49°33'36.02"O) (**Figuras 1 e 2**). Estimamos que a área total ocupada pelos vimeiros era de 1.800 m² (30 x 60 m), distante cerca de 80 m do leito do Rio Pelotas, anteriormente utilizada economicamente para a coleta de ramos para a obtenção de vime.



Figura 2. (A) Indivíduos estabelecidos do híbrido invasor *Salix x rubens* (apontados pelas setas) às margens do Rio Pelotas e (B) indivíduo regenerante no leito do Rio Pelotas no Parque Nacional de São Joaquim (SC). Fotos: Rafael Barbizan Sühs.

O delineamento do experimento foi em blocos aleatorizados com seis blocos, cada um com três árvores de cada um dos quatro tratamentos, totalizando 12 árvores por bloco, 18 árvores por tratamento e 72 árvores no experimento. Os tratamentos foram: (1) corte na base do tronco com motosserra (somente controle mecânico); (2) corte na base do tronco com motosserra e aplicação de herbicida à base de Triclopir a 2% (40 ml de herbicida para cada 1000 ml de calda preparada, no caso de uso do produto que tem como nome comercial Garlon 480 BR, que tem 48% do princípio ativo); (3) corte na base do tronco com motosserra e aplicação de herbicida à base de Triclopir a 3% (60 ml de herbicida para cada 1000 ml de calda preparada); e (4) corte na base do tronco com motosserra e aplicação de herbicida à base de Triclopir a 4% (80 ml de herbicida para cada 1000 ml de calda preparada) (**Figura 3**). A definição do tratamento recebido por cada árvore também foi aleatória. Todas as árvores do experimento foram marcadas e numeradas para viabilizar o monitoramento posterior. Medimos a circunferência à altura do solo (CAS) de todas as árvores do

experimento. Posteriormente, estimamos o raio (r) de cada tronco por meio da fórmula $r = CAS/2\pi$, e a área basal (AB) de cada árvore por meio da seguinte fórmula: $AB = \pi \times \text{raio}^2$. Somamos todos os valores quando uma árvore apresentou mais de um tronco à altura do solo.



Figura 3. Detalhe dos indivíduos do híbrido invasor *Salix x rubens* submetidos ao controle mecânico combinado ao controle químico em área experimental no Parque Nacional de São Joaquim (SC). Os tocos estão azuis em virtude do uso de corante para uma melhor visualização das técnicas empregadas.

Destaca-se que princípio ativo Triclopir é o mais adequado para controle de espécies arbóreas no Brasil, sendo também autorizado para controle de espécies exóticas invasoras em unidades de conservação, conforme Guia para Manejo de Espécies Exóticas Invasoras do ICMBio²⁶. O ambiental, direcionando a aplicação sob tocos cortados, evitando-se a aplicação em espécies não alvo e as aplicações foram realizadas em dia com ausência de chuva²⁷.

Nos dias 22 de outubro de 2022 e 17 de abril de 2023, foram feitas duas incursões a campo para monitorar o experimento. Nessas ocasiões, todos os indivíduos submetidos às ações de controle foram observados para se analisar sinais de rebrota.

Análise de dados

Os dados de rebrota foram comparados entre tratamentos por meio de um Modelo Linear Generalizado Misto, utilizando-se “tratamento” como efeito fixo e “bloco” como efeito aleatório. A variável resposta foi binomial, pois caracterizamos se a árvore que foi alvo do controle estava morta (1) ou não (0) no momento do último monitoramento. A validação do modelo foi feita para análise de resíduos. A comparação de médias dos pares de tratamentos foi feita por meio do Teste de Tukey. Todas as figuras e análises estatísticas foram feitas na interface R²⁸, com a utilização dos

pacotes “lme4”³⁰ para rodar o modelo, “DHARMA” para validar o modelo e “multcomp”³¹ para os testes de comparação dos pares de tratamentos.

Resultados

O intervalo de variação da área basal das árvores foi similar entre os tratamentos, havendo considerável variação dentro de cada tratamento, sendo que no tratamento 1 a área basal média foi 157 (DP $\pm$ 204,73), no tratamento 2 foi 244,74 ($\pm$ 364), no tratamento 3 foi 159,05 ($\pm$ 142,87), e no tratamento 4 foi 142,26 ($\pm$ 115).

As árvores rebrotadas foram facilmente diferenciadas daquelas que não rebrotaram, pois os ramos de rebrotas apresentam coloração avermelhada e de maneira geral surgem na base dos tocos (Figura 4). Considerando-se o monitoramento final feito no mês de abril de 2023, a porcentagem de árvores rebrotadas foi a seguinte: 83% no Tratamento 1 (15 árvores), 0 (zero) no Tratamento 2, 5% no Tratamento 3 (1 árvore), e 11% no Tratamento 4 (2 árvores). Foi observada uma pequena diferença no número de árvores rebrotadas quando comparamos os dados monitoramento de outubro de 2022 com os de abril de 2023, com somente uma rebrota a mais no tratamento 3 e duas a mais no tratamento 4. Com relação aos dados de rebrota obtidos em abril de 2023, o tratamento 1 foi ineficaz e diferente dos demais dos tratamentos (2, 3 e 4) ($p < 0,001$), os quais não diferiram estatisticamente quando comparados aos pares ($p > 0,05$).

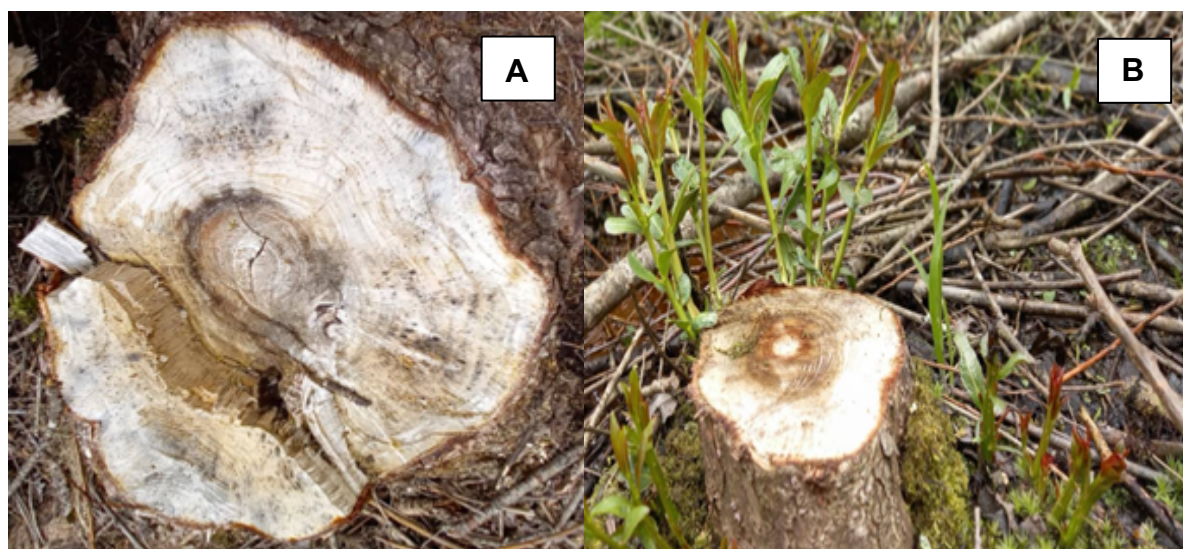


Figura 4. Detalhe dos tocos de indivíduos do híbrido invasor *Salix x rubens* submetidos ao tratamento 2 (A) e tratamento 1 (B) no Parque Nacional de São Joaquim (SC). Tratamento 1: corte na base do tronco com motosserra (somente controle mecânico); Tratamento 2: corte na base do tronco com motosserra e aplicação de herbicida à base de Triclopir a 2%. Fotos: Ana Luiza Figueiredo e Michele de Sá Dechoum.

Discussão

A partir dos resultados encontrados no experimento, concluímos que o método mais indicado para iniciativas de erradicação e controle do híbrido invasor *Salix x rubens* é a combinação de controle mecânico com a aplicação sequencial imediata de herbicida à base de Triclopir na concentração de 2%. Sugerimos este método em virtude da alta eficácia e por ser aquele na qual a menor concentração possível de herbicida foi utilizada; concentrações maiores não resultaram em uma eficácia maior. Reforçamos que a técnica de controle mecânico não deve ser utilizada isoladamente para controle de *Salix x rubens*, tendo em vista a alta taxa de ineficácia, com mais de 80% dos indivíduos rebrotados.

As rebrotas que foram observadas nos três tratamentos que combinaram controle mecânico e químico não eram esperadas, e podem ter sido consequência tanto de falha na aplicação no momento de instalação do experimento, quanto de fatores como a redução da eficácia em virtude do tamanho ou idade de árvores senescentes³³, ou mesmo em virtude do período selecionado para a instalação do experimento. A falha na aplicação pode ter ocorrido por ter se optado por não se aplicar herbicida em algum toco que já parecia seco. Neste caso, recomenda-se que a aplicação do método seja feita em todos os ramos, mesmo naqueles que parecerem secos. Como instalamos o experimento no inverno, estação na qual o metabolismo das plantas tende a estar reduzido por conta das baixas temperaturas observadas na região de estudo²⁴, especialmente no caso de indivíduos senescentes³³, a circulação do princípio ativo do herbicida utilizado pode ter sido reduzida. Na Austrália, a recomendação é que iniciativas de manejo de *Salix* spp. aconteçam durante a estação de crescimento (primavera-verão), quando os indivíduos apresentam atividade metabólica mais acelerada³⁴. Por outro lado, a execução do manejo durante a estação de rebrota dos ramos e folhas pode aumentar a chance de propagação por meio de reprodução vegetativa, a partir do enraizamento de ramos novos que se destacam e caem no solo^{17,18,35}. Dessa forma, é importante que uma ponderação com relação ao melhor período para a eliminação dos indivíduos seja feita em função das condições climáticas locais na região onde o manejo será realizado.

O principal método de controle utilizado para espécies invasoras do gênero *Salix* na Austrália é a injeção de herbicida, tanto para evitar contaminação de corpos d'água próximos, considerando-se que as árvores crescem preferencialmente em ambientes ripários^{15, 16, 22,34}, quanto para evitar rebrotas a partir do material cortado por controle mecânico³⁴. Por este motivo, na Austrália se recomenda que todo o material cortado seja retirado do local³⁴, o que não parece ser algo viável em áreas naturais mais remotas, como foi o caso da nossa área de estudo, tanto por questões operacionais quanto pelos altos custos financeiros. Destaca-se também que esse deslocamento de material pode levar ao surgimento de novas populações do híbrido invasor, a partir do enraizamento de ramos novos que se destacam dos ramos maiores^{17,18,35}. Sendo assim, apesar de

não termos observado sinais de rebrota nos indivíduos que fizeram parte do experimento, recomendamos que o monitoramento para visualização de rebrotas seja feito não somente nos tocos, mas também nos troncos cortados.

Futuros estudos devem ser desenvolvidos no sentido de aumentar a eficiência e a eficácia do método de controle definido no presente estudo, tanto para o híbrido em questão quanto para outras espécies invasoras do gênero *Salix*. Neste sentido, futuros estudos podem ser focados na avaliação da redução da concentração do princípio ativo utilizado, tendo em vista a alta eficácia já observada na concentração de 2%. Seria importante também avaliar a eficácia do método de injeção de herbicida, especialmente em situações nas quais a proximidade de cursos d'água inviabilize o uso de controle químico. Destaca-se também que, apesar de um pequeno aumento no número de rebrotas ter sido observado do primeiro para o segundo monitoramento (outubro de 2022 – abril de 2023), tanto a possibilidade de rebrota de ramos novos quanto dos troncos deixados nos locais de manejo fazem com que estudos no sentido de se recomendar um tempo mínimo de monitoramento sejam altamente recomendáveis. Tanto o tempo total de monitoramento, quanto os intervalos para possíveis repasses/reaplicações do método de controle, podem variar de acordo com o momento da primeira intervenção e das condições edafoclimáticas nas regiões invadidas.

A definição do método de controle aqui apresentado, que é eficaz para a eliminação de indivíduos de *Salix x rubens* no Parque Nacional de São Joaquim, só foi possível a partir de uma parceria entre a gestão do parque e pesquisadoras da Universidade Federal de Santa Catarina. Essa parceria ocorreu em todas as etapas do estudo, iniciando-se ainda na fase de delineamento experimental até a fase de monitoramento e comunicação dos resultados, seguindo um modelo de codesign³⁶. Projetos de *co-design* são planejados e realizados de forma cooperativa entre profissionais da conservação e pesquisadores para alcançar impactos positivos efetivos, promovendo o intercâmbio de conhecimentos e competências entre as partes envolvidas e maximizando a eficácia das intervenções de gestão e conservação³⁶. Além disso, projetos concebidos em conjunto apresentam potencial significativo de reduzir a lacuna entre o saber e o fazer no manejo de plantas invasoras³⁷ - tal qual o presente estudo, no qual conseguimos definir um método de controle eficaz que já vem sendo utilizado pela equipe gestora do Parque e tem potencial de ser utilizado em outras unidades de conservação. Diante do exposto, recomendamos que o modelo de *co-design* utilizado no presente estudo inspire outros trabalhos e parcerias entre pesquisadores(as) e gestores(as) que atuam na área de conservação biológica no Brasil.

A introdução e o estímulo ao uso de espécies de *Salix* para a produção de vime na região fizeram com que a principal fonte de invasão biológica dentro do Parque fossem áreas de cultivo em pequena escala estabelecidas no passado, que se encontram abandonadas no presente¹⁶. Apesar de ações de manejo visando a erradicação de *Salix x rubens* no interior do Parque Nacional de São Joaquim estarem em franco desenvolvimento em virtude do método de controle definido

no presente estudo, a presença de populações invasoras do híbrido em áreas públicas e privadas fora do Parque representam uma ameaça para a biodiversidade em escala local e regional. Para que os resultados possam ser expandidos para além dos limites da unidade de conservação, é fundamental que sistemas de produção nos quais espécies exóticas invasoras são utilizadas sejam implementados com medidas de manejo que contenham a expansão da distribuição dessas espécies. No caso da impossibilidade de implementação dessas medidas, espécies nativas devem ser utilizadas para substituir espécies exóticas invasoras nesses sistemas. Na região de estudo, a espécie nativa *Salix humboldtiana* Willd. poderia ser uma alternativa economicamente interessante, e socioambientalmente mais justa e compatível com a conservação da biodiversidade. Neste sentido, é fundamental que órgãos de pesquisa e extensão rural estejam alinhados na busca por alternativas.

Agradecimentos

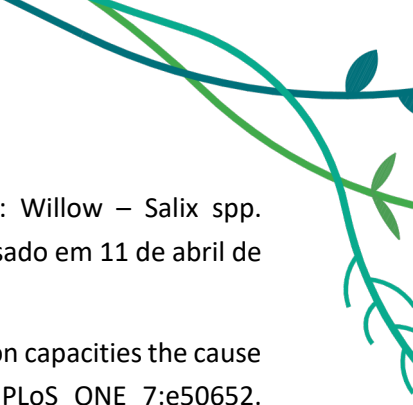
Agradecemos ao Programa de Pós-Graduação em Ecologia da Universidade Federal de Santa Catarina e ao Programa de Pesquisa Ecológica de Longa Duração Biodiversidade de Santa Catarina (PELD-BISC) pelo apoio financeiro e logístico para o desenvolvimento do presente estudo [(CNPq/Capes/FAPs/BC-Fundo Newton/PELD n° 15/2016, Chamada CNPq/MCTI/CONFAP-FAPS/PELD no 21/2020) e FAPESC (FAPESC 2018TR0928; FAPESC 2021TR386)]. Agradecemos também ao Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade pelo apoio logístico, pela autorização para pesquisa via SISBIO (#82001-1) e pela concessão da autorização para manejo de espécie exótica invasora em unidade de conservação federal (#07/2022). Michele S. Dechoum agradece ao apoio financeiro do CNPq por meio da Bolsa de Produtividade em Pesquisa (# 302880/2022-4).

Referências

- 1 - IPBES. 2023. Summary for Policymakers of the Thematic Assessment Report on Invasive Alien Species and their Control of the Intergovernmental Science-Policy Platform on Biodiversity and Ecosystem Services. Roy, H. E., Pauchard, A., Stoett, P. et al. (eds.). IPBES secretariat, Bonn, Germany.
- 2 - Schwindt, E., August, T.A., Vanderhoeven, S. et al. 2024. Overwhelming evidence galvanizes a global consensus on the need for action against Invasive Alien Species. *Biological Invasions* 26: 621–626. <https://doi.org/10.1007/s10530-023-03209-x>
- 3 - Richardson, D.M., Pyšek, P., Rejmanek M. et al. 2000. Naturalization and invasion of alien plants: concepts and definitions. *Diversity and Distributions* 6: 93-107. <https://doi.org/10.1046/j.1472-4642.2000.00083.x>
- 4 - Blackburn, T.M., Pyšek, P., Bacher, S. et al. 2011. A proposed unified framework for biological invasions. *Trends in Ecology and Evolution* 26:333–339. <https://doi.org/10.1016/j.tree.2011.03.023>

- 5 - Foxcroft, L.C.; Pyšek, P.; Richardson, D.M. et al. 2013. Plant Invasions in Protected Areas: Patterns, Problems and Challenges. Dordrecht, Springer Netherlands.
- 6 - Foxcroft, L.C., Pyšek, P., Richardson, D.M. et al. 2017. Plant invasion science in protected areas: progress and priorities. *Biological Invasions* 19: 1353–1378. <https://doi.org/10.1007/s10530-016-1367-z>
- 7 - Moodley, D., Foxcroft, L.C., Novoa, A. et al. 2020. Invasive alien species add to the uncertain future of protected areas. *NeoBiota* 57: 1–5. <https://doi.org/10.3897/neobiota.57.52188>
- 8 - Shackleton, R.T., Foxcroft, L.C., Pyšek, P. et al. 2020. Assessing biological invasions in protected areas after 30 years: revisiting nature reserves targeted by the 1980s SCOPE programme. *Biological Conservation*, 243:108424. <https://doi.org/10.1016/j.biocon.2020.108424>
- 9 - Moodley, D., Angulo, E., Cuthbert, R.N. et al. 2022. Surprisingly high economic costs of biological invasions in protected areas. *Biological Invasions* 24: 1995–2016. <https://doi.org/10.1007/s10530-022-02732-7>
- 10 - Allen, J.A., Brown, C.S., Stohlgren, T.J. 2009. Non-native plant invasions of United States national parks. *Biological Invasions* 11: 2195–2207. <https://doi.org/10.1007/s10530-008-9376-1>
- 11 – Figueiredo, A.L.C.B., Futada, S.M., de Lima, R.F. et al. 2024. Baseline data and recommendations to decrease the introduction and spread of invasive non-native species in federal and state protected areas in Brazil. *Biological Invasions*, 26: 4283–4299. <https://doi.org/10.1007/s10530-024-03446-8>
- 12 - Loh, R.K., Tunison, T., Zimmer, C. et al. 2014. A Review of Invasive Plant Management in Special Ecological Areas, Hawai'i Volcanoes National Park, 1984–2007. Technical Report No. 187. Pacific Cooperative Studies Unit, University of Hawai'i, Honolulu, 35 pp
- 13 - Foxcroft, L.C., Spear, D., van Wilgen, N.J. & McGeoch, M.A. 2019. Assessing the association between pathways of alien plant invaders and their impacts in protected areas. *NeoBiota* 43: 1–25. <https://doi.org/10.3897/neobiota.43.29644>
- 14 - Pyšek, P. & Prack, K., 1994. How important are rivers for supporting plant invasions? In de Waal, C., Child, L.E., Wad, P.M. & Brook, J.H. (eds.): *Ecology and Management of Invasive Riverside Plants*. John Wiley & Sons Ltd
- 15 - Sühs, R.B., Dechoum, M.S., Ziller, S.R. 2020. Invasion by a non-native willow (*Salix × rubens*) in Brazilian subtropical highlands. *Perspectives in Ecology and Conservation* 8:203–209. <https://doi.org/10.1016/j.pecon.2020.09.001>
- 16 - Becker, L.O.; Sühs, R.B. & Dechoum, M. S. 2023. Understanding willow invasion in subtropical highlands. *Biological Invasions* 26:769–778. <https://doi.org/10.1007/s10530-023-03206-0>
- 17 - Beismann, H., Wilhelmi, H., Baillères, H. et al. 2000. Brittleness of twig bases in the genus *Salix*: fracture mechanics and ecological relevance. *Journal of Experimental Botany* 51:617–633. <https://doi.org/10.1093/jexbot/51.344.617>
- 18 - Cremer, K.W. 2003. Introduced willows can become invasive pests in Australia. *Biodiversity* 4:17–24. <https://doi.org/10.1080/14888386.2003.9712705>

- 19 - Richardson, D.M. & Rejmánek, M. 2011. Trees and shrubs as invasive alien species - a global review. *Diversity and Distributions* 17: 788–809. <http://dx.doi.org/10.1111/j.1472-4642.2011.00782.x>
- 20 - Greenwood, H., O'Dowd, D.J. & Lake, P.S. 2004. Willow (*Salix x rubens*) invasion of the riparian zone in south-eastern Australia: reduced abundance and altered composition of terrestrial arthropods. *Diversity and Distributions* 10:485–492. <http://dx.doi.org/10.1111/j.1366-9516.2004.00104.x>.
- 21 - Holland-Clift, S. & Davies, J., 2007. Willows Management Guide: Current Management and Control Options for Willows (*Salix* sp.) in Australia. Victorian Department of Primary Industries, Geelong. <https://library.dbca.wa.gov.au/static/FullTextFiles/629078.pdf>
- 22 - Budde, K.B., Gallo, L., Marchelli, P., et al. 2011. Widespread invasion without sexual reproduction? A case study on European willows in Patagonia. Argentina. *Biological Invasions* 13:45–54. <http://dx.doi.org/10.1007/s10530-010-9785-9>
- 23 - ICMBio. 2018. Plano de Manejo do Parque Nacional de São Joaquim. Brasília, ICMBIO
- 24 Kottek, M., Grieser, J., Beck, C. et al. 2006. World Map of the Köppen-Geiger climate classification updated. *Meteorologische Zeitschrift* 15(3): 259-263. <https://doi.org/10.1127/0941-2948/2006/0130>
- 25 - Sühs, R.B., Giehl, E.L.H. & Peroni N. 2020b. Preventing traditional management can cause grassland loss within 30 years in southern Brazil. *Scientific Reports* 10:783. <https://doi.org/10.1038/s41598-020-57564-z>
- 26 - ICMBIO. 2019. Guia de orientação para o manejo de espécies exóticas invasoras em unidades de conservação federais. Versão3. Brasília, ICMBIO
- 27 - Dechoum, M.D.S. & Ziller, S.R., 2013. Métodos para controle de plantas exóticas invasoras. *Biotemas* 26:69–77. <http://dx.doi.org/10.5007/2175-7925.2013v26n1p69>
- 28 - R Core Team 2023. R: A Language and Environment for Statistical Computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. <https://www.R-project.org/>
- 29 - Wickham, H. 2016. ggplot2: Elegant Graphics for Data Analysis. Springer-Verlag New York. ISBN 978-3-319-24277-4, <https://ggplot2.tidyverse.org>
- 30 - Bates, D., Mächler, M., Bolker, B. & Walker, S. 2015. Fitting Linear Mixed-Effects Models Using lme4. *Journal of Statistical Software* 67(1):1–48. doi:10.18637/jss.v067.i01
- 31 - Hothorn, T., Bretz, F. & Westfall, P. 2008. Simultaneous Inference in General Parametric Models. *Biometrical Journal* 50(3): 346–363
- 32 - Graves, S., Piepho, H. & Dorai-Raj, L. et al. 2024. _multcompView: Visualizations of Paired Comparisons_. R package version 0.1-10, <<https://CRAN.R-project.org/package=multcompView>>
- 33 - Osiecka, A. & Minogue, P. J. 2021. Considerations for Developing Effective Herbicide Prescriptions for Forest Vegetation Management. Disponível em <https://edis.ifas.ufl.edu/publication/FR335>. Acessado em 11 de abril de 2024

- 
- 34 - Weed Management Guide. 2003. Weeds of National Significance. Factsheet: Willow – *Salix* spp. Disponível em <https://www.sgin.net.au/wp-content/uploads/2017/03/salix.pdf>. Acessado em 11 de abril de 2024
- 35 - Thomas, L.K., Tölle, L., Ziegenhagen, B. & Leyer, I. 2012. Are vegetative reproduction capacities the cause of widespread invasion of Eurasian Salicaceae in Patagonian river landscapes? *PLoS ONE* 7:e50652. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0050652>
- 36 - Kurle, C.M., Cadotte, M.W., Jones, H.P. et al. 2022. Co-designed ecological research for more effective management and conservation. *Biological Solutions and Evidence* 3(1): e12130. <https://doi.org/10.1002/2688-8319.12130>
- 37 - Matzek, V., Covino, J., Funk, J.L. et al. 2014. Closing the Knowing–Doing Gap in Invasive Plant Management: Accessibility and Interdisciplinarity of Scientific Research. *Conservation Letters* 7(3): 208-215. <https://conbio.onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1111/conl.12042>