



Universidade de Brasília - Instituto de Ciências Biológicas

Departamento de Ecologia

Programa de Pós-Graduação em Ecologia

Ocorrência e caracterização da espécie invasora *Arundo donax* L. (CANA-DO-REINO) no
Distrito Federal, Brasil.

Kenya Carla Cardoso Simões

Orientador: John Du Vall Hay

Dissertação de Mestrado

Brasília, Março de 2013.

Dissertação de Mestrado

KENYA CARLA CARDOSO SIMÕES

Título:

“Ocorrência e caracterização da espécie invasora *Arundo donax* L. (CANADÓ-REINO) no Distrito Federal, Brasil”.

Banca Examinadora:



Prof. Dr. John Du Vall Hay
Presidente / Orientador
ECL/UnB



Prof. Dr. Carlos Romero Martins
Membro Titular
IBAMA



Prof. Dr. Alexandre Bonesso Sampaio
Membro Titular
ICMBio

Prof. Dr. Raimundo Paulo Barros Henriques
Membro Suplente
UnB

Brasília, 04 de março de 2013.

[Ficha catalográfica]

SIMÕES, Kenya Carla Cardoso Simões.

Ocorrência e caracterização da espécie invasora *Arundo donax* L. (CANA-DO-REINO) no Distrito Federal, Brasil (UnB-IB-Dep. Ecologia, mestre, Ecologia, 2013).

Dissertação de Mestrado – Universidade de Brasília, Departamento de Ecologia

- | | |
|------------------------|------------------------|
| 1. Invasão biológica | 2. Biodiversidade |
| 3. <i>Arundo donax</i> | 4. Gramíneas Invasoras |
| 5. Ecologia. | |

É concedida à Universidade de Brasília permissão para reproduzir cópia desta dissertação e emprestar ou vender tais cópias somente para propósitos acadêmicos e científicos. O autor reserva outros direitos de publicação, e nenhuma parte desta dissertação de mestrado pode ser reproduzida sem a autorização por escrito da autora.

Kenya Carla Cardoso Simões

Dedico a minha mãe, meus irmãos, e em especial a minha vó
Lúcia, meu vô José, minha irmã Keli, e ao meu tio Sérgio (*in
memoriam*).

AGRADECIMENTOS

Em primeiro lugar a Deus, por está presente em todos os momentos me dando força, fé e perseverança.

A toda minha família, em especial mãe querida que sempre me ensinou que o caminho para o sucesso é através dos estudos, além de ser um grande exemplo para mim de mulher guerreira, lutadora. Amo você mãe. Muito!

A minha vó, meu vô, meu tio, e minha irmã que não estão mais presentes aqui comigo, mas que sempre me apoiaram a estudar, mostrando que eu era capaz de conseguir tudo o que eu queria. Tenho certeza que onde eles estiverem estarão felizes com essa minha vitória. Saudades!

Ao meu namorado, por todo apoio, dedicação, compreensão e companheirismo, principalmente nos dias mais estressantes e complicados.

As queridas Dra Juliana, Lígia Coacci, Miriam e Iruska Rolim, que me ajudaram quando cai na depressão e tive síndrome do pânico, me incentivando a não desistir do sonho de terminar essa dissertação.

Ao Dr. John Hay por toda dedicação neste trabalho, além de ter tido muito paciência comigo quando fiquei doente, e ter me ajudado nos momentos que mais precisei. Obrigada!

Ao Dr. Márcio Elias e ao Laboratório de Genética de Plantas da Embrapa Recursos Genéticos e Biotecnologia, por toda ajuda e apoio no desenvolvimento das análises moleculares.

Ao LSIE/UnB, especial ao Dr. Osmar Abílio de Carvalho Júnior pelo apoio nas análises de geoprocessamento.

A minha querida estagiária Carla, por todos os momentos de campo, trabalhos de laboratório e principalmente pelo apoio recíproco aos nossos problemas. Carlinha, só o destino para juntar pessoas com situações tão semelhantes. Adoro você!

Ao Mardônio pela paciência, ajuda, e disposição para todas as saídas de campo. Esse é o cara!

Aos amigos do Programa de Pós-Graduação em Ecologia – UnB.

Ao IBAMA por ter me liberado do meu trabalho para que eu pudesse desenvolver essa dissertação.

Ao Castelo, por todas as risadas, alegrias e momentos de descontração que me proporcionaram ao longo dessa caminhada.

E, por último, porém não menos importante, ao meu mestre Carlos Romero, por todas as lições, conselhos, comentários e principalmente por me introduzir no mundo das plantas invasoras. Que bom que o IBAMA me proporcionou conhecer uma pessoa tão digna. Obrigada por tudo!

RESUMO

A degradação do solo e dos ecossistemas nativos e a dispersão de espécies exóticas são as maiores e mais amplas ameaças à biodiversidade do Cerrado. *Arundo donax* L. (CANA DO REINO) é uma espécie invasora vigorosa que se estabeleceu e espalhou em habitats ripários com clima quente. Uma vez estabilizada, essa espécie se espalha rapidamente, substituindo a vegetação nativa, causando vários impactos no ecossistema. O estudo aqui apresentado tem por objetivo determinar a ocorrência e caracterizar a espécie invasora *Arundo donax* L. (CANA-DO-REINO) no Distrito Federal, Brasil. Através do mapeamento das populações, observou-se que a maior concentração da espécie está localizada na região central do Distrito Federal e que a presença dessa espécie está relacionada a áreas antropizadas, tais como: rodovias, aterros, depósitos de entulhos (bota-fora) e locais em obras. Após a análise de sementes coletadas no Distrito Federal, não foi encontrada nenhuma espiguetas cheia, o que corrobora os trabalhos realizados nos Estados Unidos. E não foi encontrada, com a utilização do marcador molecular do tipo RAPD, uma variabilidade genética entre os indivíduos coletados. *Arundo donax* apresentou, no Distrito Federal, uma média de crescimento de $0,01(\text{m.dia}^{-1})$, $\pm 0,01(\text{m.dia}^{-1})$. A partir de uma análise de regressão observou-se um aumento no peso seco total do indivíduo com o aumento da altura do mesmo, porém esse aumento tende a não ser linear ($R^2 = 0,8784$). Com relação a produção de biomassa, essa variou nos pontos estudados de $0,75\text{kg/m}^2$ a $4,47\text{kg/m}^2$. O estudo ecológico aqui apresentado é pioneiro, pois a maioria dos estudos realizados para essa espécie é dos Estados Unidos e Europa, sendo no Brasil tais estudos inexistentes.

Palavras chaves: invasão biológica, biodiversidade, *Arundo donax*, gramíneas invasoras, ecologia.

ABSTRACT

Degradation of the soil and of native ecosystems and dispersal of exotic species are the greatest threats to the biodiversity in the Cerrado. *Arundo donax* L. is a vigorous invasive species that has established and spread in riparian habitats in warm climates. Once stabilized, this species spreads rapidly, replacing native vegetation, causing various impacts on the ecosystem. The objectives of this study were to determine the occurrence and characterize the invasive species *Arundo donax* L. (Giant reed) in the Federal District, Brazil. Through mapping its occurrence, we found higher concentrations of the species in the central region of the Federal District and that the presence of this species was related to disturbed areas, such as highways, landfills, and deposits of construction debris. No viable seeds were found in analysis of panicles collected in several locations in the Federal District, a result similar to studies done in the United States. An analysis of genetic variability using RADP molecular markers did not find any variability in the samples analyzed. In the Federal District *Arundo donax* presented an average growth of $0.01(\text{mdia}^{-1})$ and a standard deviation of $0.01(\text{mdia}^{-1})$. A regression analysis showed an increase in total dry weight of the individual with increase in height ($R^2=0.8784$), but this increase was not linear. In regard to biomass production, this points studied ranged from 0.75 kg/m^2 to 4.47 kg/m^2 . The study presented here is pioneer, since most of the studies on this species are from the United States and Europe.

Keywords: biological invasions, biodiversity, *Arundo donax*, invasive grasses, ecology.

SUMÁRIO

RESUMO	vii
ABSTRACT	viii
LISTA DE FIGURAS	x
LISTA DE TABELAS	xvii
LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS	xviii
CAPÍTULO I – INTRODUÇÃO	1
CAPÍTULO II – ESPÉCIE ESTUDADA: <i>Arundo donax</i> L (CANA-DO-REINO)	11
2.1. Aspectos ecológicos e botânicos	11
2.2. Impactos e manejo	24
CAPÍTULO III – LEVANTAMENTO E MAPEAMENTO DOS LOCAIS DE OCORRÊNCIA DE <i>Arundo donax</i> L (CANA-DO-REINO) NO DISTRITO FEDERAL	34
3.1. Material e Métodos.	37
3.2. Resultados e Discussão.	38
CAPÍTULO IV – PRODUÇÃO DE SEMENTES E ANÁLISE DE GENÉTICA DE POPULAÇÕES DE <i>Arundo donax</i> L (CANA-DO-REINO) NO DISTRITO FEDERAL	60
4.1. Material e Métodos.	64
4.2. Resultados e Discussão.	70
CAPÍTULO V – PRODUÇÃO DE BIOMASSA E CRESCIMENTO DE <i>Arundo donax</i> L (CANA-DO-REINO) NO DISTRITO FEDERAL	82
5.1. Material e Métodos.	85
5.2. Resultados e Discussão.	88
CAPÍTULO VI – CONCLUSÃO	102
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	104

LISTA DE FIGURAS

- Figura 1. Alguns locais de ocorrência de *Arundo donax* L no Distrito Federal. 9
Próximo aos Institutos de Química e Biologia no campus Darcy Ribeiro –
Universidade de Brasília/DF (a); Arboreto – campus Darcy Ribeiro – Universidade
de Brasília/DF (b); Próximo ao Aeropark – Brasília/DF (c); Próximo a Estação de
Tratamento de Esgoto da Asa Sul – Brasília/DF (d). Data das imagens: abril de 2010.
- Figura 2. Populações de *Arundo donax* presentes no Campus Darcy Ribeiro – 11
Universidade de Brasília (a) e na região do Jardim Botânico (b), Distrito Federal,
Brasil. Data das imagens: maio de 2011.
- Figura 3. Distribuição de *Arundo donax* no mundo (pontos amarelos). O mapa está 13
desatualizado para algumas localidades (exemplo: Brasil), porém serve de fonte de
informação. Fonte: Discover Life (2012).
- Figura 4. Ilustração da estrutura do primeiro e segundo ano ou mais da espécie 14
Arundo donax. Desenho de J. Giessow. Fonte: Cal-IPC (2011) – modificado.
- Figura 5. Imagem mostrando folhas e ramificações de indivíduos de *Arundo donax* 15
em diferentes idades. Indivíduos mais velhos tem um número crescente de ramos e
folhas secundários. Fonte: Cal-IPC (2011) – modificado.
- Figura 6. Imagem mostrando raízes, rizomas e colmos. Fonte: Cal-IPC (2011) – 17
modificado.
- Figura 7. Inflorescências de *Arundo donax* localizados no Distrito Federal, Brasil. 22
Data das imagens: abril de 2010.
- Figura 8. Imagem mostrando o contínuo de *Arundo donax* nas margens do Rio 26
Grande Valley (vegetação mais clara nas margens), localizado no Novo México,
Estados Unidos. Fonte: Centro de Pesquisas de Espécies Invasoras – Universidade da

Califórnia (2012).

Figura 9. *Arundo donax* rebrotando após a passagem do fogo na Colina – 28
Universidade de Brasília – Distrito Federal, Brasil. Data das imagens: setembro de
2011.

Figura 10. Imagem mostrando a biomassa de *Arundo donax* empilhada contra a Ponte 30
River Road no rio Santa Ana, após a inundação (a), resultando em um impacto na
estrutura da ponte que está sendo empurrada para fora de sua fundação (b). Ano da
imagem: 2004. Fonte: Cal-IPC (2011).

Figura 11. Mapa de distribuição da espécie invasora *Arundo donax*, no Distrito 39
Federal, Brasil. Data do mapa: dezembro de 2012.

Figura 12. Imagem da área do Pró-DF no Gama, Distrito Federal, mostrando a 40
deposição de solo retirado de algum lugar e vários indivíduos de *Arundo donax* nele.
Data das imagens: maio de 2011.

Figura 13. Imagem de uma população de *Arundo donax* posteriormente a uma 41
roçagem mecânica em uma área localizada ao lado do Aeroporto de Brasília, Distrito
Federal. (a) e (b) mostram a emersão de novos indivíduos através dos rizomas
localizados no solo (Data das imagens: abril de 2012); (c) e (d) mostram novos
indivíduos advindos da biomassa e rizomas expostos deixados no local após a
roçagem (Data das imagens: maio de 2012).

Figura 14. Imagem de *Arundo donax* brotando do solo a partir do crescimento lateral 42
dos rizomas. Data das imagens: março de 2011.

Figura 15. Distribuição da espécie invasora *Arundo donax*, com relação as Unidades 44
de Conservação no Distrito Federal, Brasil. Data do mapa: dezembro de 2012.

- Figura 16. Distribuição da espécie invasora *Arundo donax*, nas proximidades do Parque Nacional de Brasília (região do Torto, Lago Norte, EPIA Norte e Noroeste) no Distrito Federal, Brasil. Data do mapa: dezembro de 2012. 45
- Figura 17. Local de disposição de entulhos e solo retirado de locais em construção (ao lado do balão do Torto), nas proximidades do Parque Nacional de Brasília, Distrito Federal. (a) Imagem Geoeye, data: 31/08/2011, (b) Foto do local da imagem de satélite (Data da imagem: maio de 2011). 46
- Figura 18. Local de disposição de entulhos e solo retirado de locais em construção (ao lado do balão do Torto), nas proximidades do Parque Nacional de Brasília, Distrito Federal. a) Imagem Geoeye, data: 31/08/2011, (b) Foto do local da imagem de satélite (Data da imagem: junho de 2011). 46
- Figura 19. Local de construção de stands de construtora no Noroeste, nas proximidades do Parque Nacional de Brasília, Distrito Federal. a) Imagem Geoeye, data: 31/08/2011, (b) Foto do local da imagem de satélite (Data da imagem: abril de 2011). 47
- Figura 20. Distribuição da espécie invasora *Arundo donax*, nas proximidades do Parque Nacional de Brasília (região da Cidade do Automóvel, Estrutural e outras) no Distrito Federal, Brasil. Data do mapa: dezembro de 2012. 48
- Figura 21. Distribuição da espécie invasora *Arundo donax*, nas proximidades da APA Gama Cabeça de Veado, no Distrito Federal, Brasil. Data do mapa: dezembro de 2012. 52
- Figura 22. Distribuição da espécie invasora *Arundo donax*, nas proximidades da REBIO do Rio Descoberto, no Distrito Federal, Brasil. Data do mapa: dezembro de 2012. 53
- Figura 23. Distribuição da espécie invasora *Arundo donax* com relação às 54

fitofisionomias presentes no Distrito Federal, Brasil. Data do mapa: dezembro de 2012.

Figura 24. Distribuição da espécie invasora *Arundo donax* com relação às fitofisionomias presentes no Distrito Federal, Brasil. Data do mapa: dezembro de 2012. 55

Figura 25. Distribuição da espécie invasora *Arundo donax* com relação às fitofisionomias presentes no Distrito Federal, Brasil. Data do mapa: dezembro de 2012. 56

Figura 26. Distribuição da espécie invasora *Arundo donax* em locais com presença de água no Distrito Federal, Brasil. Data do mapa: dezembro de 2012. 57

Figura 27. Locais e coleta de pendão de *Arundo donax*, no Distrito Federal, Brasil. Data do mapa: agosto de 2012. 65

Figura 28. Inflorescências e espiguetas de *Arundo donax* analisados no laboratório de Ecologia Vegetal da Universidade de Brasília. (a); Amostra de pendões coletados (b); Espiguetas retiradas do pendão (c); Espiguetas retiradas do pendão (d) Semente vazia. Data das imagens: julho de 2012. 67

Figura 29. Locais de coleta, para análises genéticas, de folhas jovens de *Arundo donax*, e *Aristida torta*, no Distrito Federal, Brasil. Data do mapa: agosto de 2012. 69

Figura 30. Perfil eletroforético de RAPD com os oligonucleotídeos OPF-16, OPG-06 e OPK-17, em gel de agarose 1,5%, dos indivíduos de *Arundo donax* e *Aristida torta*. A sigla MM indica o marcador molecular 100pb ladder (Gibco). Cada local amostrado no Distrito Federal, Brasil, corresponde aos seguintes números: 1 e 2 – Parque Nacional de Brasília – extração de DNA 1 e 2; 3 e 4 – Sobradinho – extração de DNA 1 e 2; 5 e 6 – Paranoá – extração de DNA 1 e 2; 7 e 8 – Gama – extração de DNA 1 e 2; 9 e 10 – Saída para Goiânia – extração de DNA 1 e 2; 11 e 12 – Ceilândia – 74

extração de DNA 1 e 2; 13 e 14 – UnB – extração de DNA 1 e 2; 15 e 16 – *Aristida torta* – extração 1 e 2.

Figura 31. Perfil eletroforético de RAPD com os oligonucleotídeos OPE-19, OPF-09 e OPF-10, em gel de agarose 1,5%, dos indivíduos de *Arundo donax* e *Aristida torta*. A sigla MM indica o marcador molecular 100pb ladder (Gibco). Cada local amostrado no Distrito Federal, Brasil, corresponde aos seguintes números: 1 e 2 – Parque Nacional de Brasília – extração de DNA 1 e 2; 3 e 4 – Sobradinho – extração 1 e 2; 5 e 6 – Paranoá – extração de DNA 1 e 2; 7 e 8 – Gama – extração de DNA 1 e 2; 9 e 10 – Saída para Goiânia – extração de DNA 1 e 2; 11 e 12 – Ceilândia – extração de DNA 1 e 2; 13 e 14 – UnB – extração de DNA 1 e 2; 15 e 16 – *Aristida torta* – extração 1 e 2. 75

Figura 32. Perfil eletroforético de RAPD com os oligonucleotídeos OPE-06, OPM-12 e OPN-01, em gel de agarose 1,5%, dos indivíduos de *Arundo donax* e *Aristida torta*. A sigla MM indica o marcador molecular 100pb ladder (Gibco). Cada local amostrado no Distrito Federal, Brasil, corresponde aos seguintes números: 1 e 2 – Parque Nacional de Brasília – extração de DNA 1 e 2; 3 e 4 – Sobradinho – extração 1 e 2; 5 e 6 – Paranoá – extração de DNA 1 e 2; 7 e 8 – Gama – extração de DNA 1 e 2; 9 e 10 – Saída para Goiânia – extração de DNA 1 e 2; 11 e 12 – Ceilândia – extração de DNA 1 e 2; 13 e 14 – UnB – extração de DNA 1 e 2; 15 e 16 – *Aristida torta* – extração 1 e 2. 76

Figura 33. Perfil eletroforético de RAPD com os oligonucleotídeos OPA-08 e OPE-11, em gel de agarose 1,5%, dos indivíduos de *Arundo donax* e *Aristida torta*. A sigla MM indica o marcador molecular 100pb ladder (Gibco). Cada local amostrado no Distrito Federal, Brasil, corresponde aos seguintes números: 1 e 2 – Parque Nacional de Brasília – extração de DNA 1 e 2; 3 e 4 – Sobradinho – extração 1 e 2; 5 e 6 – Paranoá – extração de DNA 1 e 2; 7 e 8 – Gama – extração de DNA 1 e 2; 9 e 10 – Saída para Goiânia – extração de DNA 1 e 2; 11 e 12 – Ceilândia – extração de DNA 1 e 2; 13 e 14 – UnB – extração de DNA 1 e 2; 15 e 16 – *Aristida torta* – extração 1 e 2. 77

Figura 34. Perfil eletroforético de RAPD com os oligonucleotídeos OPL-01 e OPL-08, em gel de agarose 1,5%, dos indivíduos de *Arundo donax* e *Aristida torta*. A sigla MM indica o marcador molecular 100pb ladder (Gibco). Cada local amostrado no Distrito Federal, Brasil, corresponde aos seguintes números: 1 e 2 – Parque Nacional de Brasília – extração de DNA 1 e 2; 3 e 4 – Sobradinho – extração 1 e 2; 5 e 6 – Paranoá – extração de DNA 1 e 2; 7 e 8 – Gama – extração de DNA 1 e 2; 9 e 10 – Saída para Goiânia – extração de DNA 1 e 2; 11 e 12 – Ceilândia – extração de DNA 1 e 2; 13 e 14 – UnB – extração de DNA 1 e 2; 15 e 16 – *Aristida torta* – extração 1 e 2.

Figura 35. Touceira de *Arundo donax*, localizada perto do Hospital Veterinário da UnB, amostrada para os estudos de biomassa (a). Indivíduos de *Arundo donax* cortados para o estudo de biomassa (b). Data das imagens: maio de 2012.

Figura 36. Indivíduos de *Arundo donax*, marcados em três regiões do Distrito Federal (a) e (b). Região do Jardim Botânico de Brasília; (c) Região do Aeroporto de Brasília; (d) Em frente a Reserva da Marinha no Distrito Federal. Data das imagens: março de 2012.

Figura 37. Indivíduos de *Arundo donax* (a) e (b) crescendo em locais de bota-fora na região do Gama, Distrito Federal (Ponto 15 – PróDF/Gama 1). Data das imagens: julho de 2012.

Figura 38. Relação entre altura da planta (x) e peso seco total (y) dos indivíduos coletados no Distrito Federal, com um nível de probabilidade (p) < 0,001. Linha azul: intervalo de confiança de 95%. Linha vermelha: intervalo de predição de 95% de confiança. A equação e o coeficiente de determinação estão inseridos no gráfico.

Figura 39. Relação entre altura da planta (x) e peso seco total (y) dos indivíduos coletados no Distrito Federal, com um nível de probabilidade (p) < 0,001. Grupo 1 (a). Grupo 2 (b). Grupo 1 e 2 (c) Linha azul: intervalo de confiança de 95%. Linha vermelha: intervalo de predição de 95% de confiança. Círculo (grupo 1). Triângulo

(grupo 2). A equação e o coeficiente de determinação estão inseridos no gráfico.

Figura 40. Relação entre diâmetro externo da base (x) e diâmetro interno da base (y) dos indivíduos coletados no Distrito Federal, com um nível de probabilidade (p) < 0,001. Linha azul: intervalo de confiança de 95%. Linha vermelha: intervalo de predição de 95% de confiança. A equação e o coeficiente de determinação estão inseridos no gráfico. 98

Figura 41. Relação entre peso seco dos colmos (x) e peso seco das folhas (y) dos indivíduos coletados no Distrito Federal, com um nível de probabilidade (p) < 0,001. Linha azul: intervalo de confiança de 95%. Linha vermelha: intervalo de predição de 95% de confiança. A equação e o coeficiente de determinação estão inseridos no gráfico. 99

Figura 42. Relação entre altura (x) e número de nós (y) dos indivíduos coletados no Distrito Federal, com um nível de probabilidade (p) < 0,001. Linha azul: intervalo de confiança de 95%. Linha vermelha: intervalo de predição de 95% de confiança. A equação e o coeficiente de determinação estão inseridos no gráfico. 100

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Pontos de Localização de <i>Arundo donax</i> em locais com presença de água no Distrito Federal.	51
Tabela 2. Pontos de coleta, para análises genéticas, de folhas jovens de <i>Arundo donax</i> , no Distrito Federal, Brasil.	68
Tabela 3: Número total de fragmentos produzidos por 13 iniciadores de RAPD utilizados na análise genética de <i>Arundo donax</i> e <i>Aristida torta</i> . D. P. Desvio padrão.	72
Tabela 4: Locais de amostragem, no Distrito Federal, de indivíduos de <i>Arundo donax</i> , para estimar a taxa de crescimento, com a respectiva condição do solo.	88
Tabela 5: Taxa de crescimento média (mdia^{-1}) para cada local de amostragem, no Distrito Federal, de indivíduos de <i>Arundo donax</i> , com a respectiva condição do solo. DP: Desvio Padrão.	89

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

APA – Área de Proteção Ambiental.

CAL-IPC – California Invasive Plant Council.

CDB – Convenção da Diversidade Biológica.

CONABIO – Convenção Nacional de Biodiversidade.

DNA - Ácido desoxirribonucleico.

EPIA – Estrada Parque Indústria Abastecimento.

EPTG – Estrada Parque Taguatinga.

EUA – Estados Unidos da América.

GDF – Governo do Distrito Federal.

GPS – Sistema de posicionamento global.

IBAMA – Instituto Brasileiro de Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis.

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística.

ICMBio – Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade.

ITIS – Sistema Integrado de Informação Taxonômica.

ISSR – Inter-Repetições de Sequências Simples

IUCN – União Internacional para Conservação da Natureza.

LSIE-UnB – Laboratório de Sistemas Espaciais da Universidade de Brasília.

MMA – Ministério do Meio Ambiente, Brasil.

ONU – Organização das Nações Unidas.

PCR – Reação em Cadeia da Polimerase.

RAPD – DNA Polimórfico Amplificado ao Acaso.

REBIO – Reserva Biológica.

SIG – Sistema de Informação Geográfica.

TERRACAP – Agência de Desenvolvimento do Distrito Federal.

UC – Unidade de Conservação.

UnB – Universidade de Brasília.

UNESCO – Organização das Nações Unidas para a Educação, a Ciência e a Cultura.

CAPÍTULO I

INTRODUÇÃO

O Brasil possui a maior biodiversidade do planeta, sendo considerado o mais rico entre os países detentores de megadiversidade (MMA, 1998). O Cerrado é o segundo maior bioma brasileiro, ocupando aproximadamente 1,8 milhão de km², e compreende uma larga variedade de fisionomias savânicas que dominam o Centro-Oeste brasileiro. Sua flora é rica e possui 13.171 taxa nativos, distribuídos em 11.627 espécies (Coutinho, 1990; Mendonça *et al.*, 1998; UNESCO, 2000; Sano *et al.*, 2008). Quarenta e quatro por cento da flora é endêmica e, nesse sentido, o Cerrado é a mais diversificada savana tropical do mundo (Klink e Machado, 2005).

Esse bioma é um dos *hotspots* mundiais de biodiversidade (Myers *et al.* 2000; Silva e Baetas, 2002), que apesar de sua importância ecológica, não tem recebido a devida importância nas práticas e políticas conservacionistas governamentais. Ao contrário, as políticas públicas têm estimulado o avanço da atividade agropecuária, de tal modo que as taxas de desmatamento no bioma são superiores às da floresta Amazônica (Klink *et al.*, 1995; Machado *et al.*, 2004).

O Distrito Federal, com uma área de 5.814 km², possui cerca de 43% de sua cobertura vegetal original (UNESCO, 2000). As principais áreas protegidas do Distrito Federal são o Parque Nacional de Brasília (42389,01 ha), Estação Ecológica de Águas Emendadas (10547 ha), Jardim Botânico de Brasília (4518 ha), Reserva Biológica da Contagem (3462 ha), Reserva Ecológica do IBGE (1400 ha), Fazenda Água Limpa (4500 ha), ressaltando que a FAL não é uma Unidade de Conservação. Além dessas, o Distrito Federal ainda possui 68 parques criados por decretos, como, por exemplo, o Parque Ecológico e de Uso Múltiplo Olhos D'Água, na Asa Norte, Brasília, DF. Porém, com relação a esses, o que se observa é

que a maioria não foi totalmente implantada. Mas mesmo assim são áreas que conservam esse bioma, que se encontra bastante ameaçado.

De acordo com Klink e Machado (2005) a degradação do solo e dos ecossistemas nativos e a dispersão de espécies exóticas são as maiores e mais amplas ameaças à biodiversidade do Cerrado. De fato, as escalas de avanço das espécies invasoras, como também, a falta de políticas efetivas para sua prevenção e controle, tornam a invasão biológica, juntamente com as mudanças antrópicas nas paisagens naturais e as alterações na atmosfera, os maiores agentes das mudanças globais (Mack *et al.*, 2000). O impacto sobre a biodiversidade é tão relevante que essas espécies estão, atualmente, sendo consideradas a segunda maior ameaça à perda de biodiversidade, após a destruição dos habitats, afetando diretamente as comunidades biológicas, a economia e a saúde humana (MMA, 2012).

Horowitz *et al.*, 2007, com base em ampla revisão bibliográfica, propôs as seguintes definições básicas relacionadas ao processo de invasão biológica:

- Espécies nativas: são as espécies ocorrentes dentro de sua área de distribuição natural.
- Espécies exóticas ou introduzidas: são aquelas que ocorrem numa área fora de seu limite natural historicamente conhecido, como resultado de dispersão acidental ou intencional por ação humana.
- Espécies exóticas casuais: são espécies introduzidas que sobrevivem no ambiente sem deixar descendentes e que se extinguem do local após completar o seu ciclo de vida.
- Espécies estabilizadas ou persistentes: são espécies introduzidas que sobrevivem, se adaptam, reproduzem, deixam descendência e persistem no ambiente.
- Espécies exóticas invasoras: são espécies estabilizadas que proliferam, dispersam e colonizam novos territórios e tornam-se dominantes nos ambientes em que ocorrem.

- Invasão biológica: é um fenômeno ecológico que consiste na instalação, seguida de grande proliferação de uma espécie não nativa do ambiente, levando ao desequilíbrio da comunidade, podendo afetar os processos ecológicos, o meio físico e trazer danos econômicos.

O estabelecimento, naturalização e expansão das espécies invasoras são responsáveis por grandes mudanças na composição das espécies, estrutura das comunidades e nas principais funções dos ecossistemas naturais (Macdonald, 1988; D'Antonio e Meyerson, 2002; Martins *et al.*, 2004; Panetta e Timmins, 2004). Dessa forma, os efeitos da invasão biológica podem ser observados em diferentes níveis ecológicos: 1) indivíduo (ex: redução do crescimento ou reprodução); 2) tamanho da população, estrutura e composição genética (ex: extinção); 3) composição da comunidade e estrutura; e 4) processos do ecossistema (ex: ciclagem de nutrientes) (Byres *et al.*, 2001).

Vários estudos têm mostrado que a invasão por espécies exóticas pode afetar a estrutura das comunidades de plantas e animais, a ciclagem de nutrientes, a produtividade, a hidrologia e o regime de fogo. Porém, os mecanismos pelos quais as espécies invasoras causam esses impactos ainda não estão completamente esclarecidos (Macdonald *et al.*, 1986; Filgueiras, 1990; Levine *et al.*, 2003).

Segundo Pivello (2011), dentre as invasoras mais agressivas do cerrado, encontram-se as gramíneas africanas. Ao chegarem no cerrado, essas encontraram condições ecológicas semelhantes às de seus habitats de origem - as savanas africanas - o que facilitou sua disseminação. Além da semelhança climática (especialmente os regimes de chuvas e temperatura), fatores de sua própria biologia também contribuíram para seu sucesso como invasoras do cerrado: são heliófilas e possuem metabolismo C₄, sendo adaptadas para colonizar áreas abertas e ensolaradas, como os campos e cerrados brasileiros; têm alta

eficiência fotossintética e na utilização dos nutrientes, sobrevivendo em solos menos férteis; apresentam altas taxas de crescimento, rebrotamento e regeneração, além de alta tolerância ao desfolhamento e à herbivoria; sua eficiência reprodutiva se deve ao ciclo reprodutivo rápido, à intensa produção de sementes com alta viabilidade, que formam um banco de sementes denso, à alta capacidade de dispersão por sementes anemocóricas e por reprodução vegetativa, à alta capacidade de germinação. Todos esses fatores caracterizam um comportamento oportunista, que permite a rápida re-colonização de áreas queimadas e/ou perturbadas, fazendo com que essas gramíneas africanas possam competir com vantagem e deslocar espécies nativas do cerrado (Coutinho, 1982; Baruch *et al.*, 1985; D'Antonio e Vitousek, 1992; Freitas, 1999; Pivello *et al.*, 1999a).

Além de afetarem diretamente as populações herbáceas nativas por competição, podendo causar extinções locais e perda direta de biodiversidade, as gramíneas africanas impactam o ecossistema como um todo, descaracterizando as fisionomias e modificando sua estrutura. Alguns estudos mostram que, devido à intensa produtividade dessas gramíneas, que geram grande quantidade de biomassa combustível - especialmente na época seca, quando suas partes epígeas tornam-se dessecadas - podem alterar o regime de fogo das áreas invadidas, facilitando a ocorrência de grandes incêndios (Hughes *et al.*, 1991; D'Antonio e Vitousek, 1992; Asner e Beatty, 1996); podem também alterar processos vitais, como o ciclo de nutrientes, reduzindo drasticamente a quantidade de nitrogênio inorgânico no solo, em razão da grande captação e utilização deste elemento durante seu crescimento. Em consequência, outros processos ecológicos, como a dinâmica sucessional, podem ser comprometidos (D'Antonio e Vitousek, 1992; Asner e Beatty, 1996). Ainda, ao formarem densa camada de biomassa, reduzem drasticamente a luminosidade na superfície do solo, podendo impedir os processos de germinação e o recrutamento de espécies nativas presentes

no banco de sementes, bem como a regeneração natural de habitats (Hughes e Vitousek, 1993).

Os efeitos nocivos das gramíneas exóticas, porém, não se dão apenas por competição com plantas nativas. A fauna também pode ser afetada, especialmente por substituição de espécies vegetais que lhes serviam como fonte de alimento ou por modificação de habitat (Pivello, 2011).

O reconhecimento público e acadêmico dos problemas associados com a invasão biológica cresceu exponencialmente desde a década de noventa, e as razões para esse crescimento estão baseadas em três aspectos. Primeiro, que os efeitos negativos de algumas espécies exóticas cresceram amplamente sendo difícil ignorá-los. Assim, o aumento no número de cientistas que estudam e tentam manejar espécies exóticas é um esforço com o objetivo de minimizar os efeitos da invasão biológica tanto nas espécies nativas, quanto na economia humana. Segundo, que o número de espécies que se encontram tanto em seus locais de origem, quanto em novas regiões aumentou. Por isso, não somente os problemas causados pelas espécies exóticas tornaram-se bastante óbvios, como esse número vem crescendo. E em terceiro lugar, que com tantas espécies invasoras, tornou-se difícil fazer uma pesquisa de campo sem encontrá-las. Dessa forma, é muito difícil que um cientista, com um pouco de curiosidade, desperdice a oportunidade de explorar esses novos conhecimentos (Lockwood *et al.*, 2007).

Porém, não somente os cientistas têm se preocupado com as espécies invasoras, tal assunto já ganhou status de políticas de governos. A Convenção da Diversidade Biológica (CDB), um dos resultados da Rio 92, estabeleceu em seu artigo 8º que os países contratantes, na medida do possível, e conforme o caso, devem impedir a introdução e promover o controle

ou erradicação de espécies exóticas que ameacem ecossistemas, habitats e espécies (MMA, 2000).

Já a resolução nº. 5/2009 do CONABIO determinou que em relação às Espécies Exóticas Invasoras, os estados e o Distrito Federal deveriam reconhecer os riscos que atividades sob sua jurisdição ou controle podem ocasionar para outros, caso representem uma fonte potencial de introdução de espécies exóticas invasoras, e deveriam adotar medidas adequadas, de modo isolado ou em colaboração, para reduzir, ao mínimo, esses riscos, incluindo o compartilhamento de toda informação sobre um comportamento invasor ou possibilidade de invasão por uma espécie (MMA, 2012).

Essa resolução ainda determina que com o objetivo de desenvolver uma base adequada de conhecimentos para enfrentar o problema, é importante que os estados conduzam, quando necessário, pesquisas e monitoramento sobre espécies exóticas invasoras. Estes esforços deveriam incluir estudos taxonômicos básicos da biodiversidade. Além desses dados, o monitoramento é a chave para detecção precoce de novas espécies exóticas invasoras. O monitoramento deveria incluir estudos específicos e gerais, bem como se beneficiar da participação de outros setores, incluindo as comunidades locais. Pesquisa sobre uma espécie exótica invasora deveria incluir uma completa identificação da espécie invasora e deveria documentar: a) a história e a ecologia da invasão (origens, rotas e períodos); b) as características biológicas da espécie exótica invasora; e c) os impactos no ecossistema, nas espécies e no nível genético e, também, os impactos sociais e econômicos, e como se modificam ao longo do tempo (MMA, 2012).

O documento final da Conferência das Nações Unidas sobre Desenvolvimento Sustentável, a Rio+20, reconheceu a importância da Convenção da Diversidade Biológica (CDB) como forma de se alcançar o desenvolvimento sustentável e, nesse sentido, apelou a

todas as partes que implementassem integralmente os compromissos assumidos no âmbito da mesma. Esse documento destacou a ameaça significativa que as espécies exóticas invasoras representam para os recursos e ecossistemas marinhos, e os países signatários se comprometeram em implementar medidas para impedir a introdução, e diminuir os impactos ambientais adversos causados por essas espécies. (ONU, 2012)

Contudo, a despeito dessa problemática, ainda são poucas as informações detalhadas sobre a caracterização biológica e ecológica das espécies invasoras, a dinâmica de populações, seu controle ou erradicação e recuperação das áreas invadidas em áreas protegidas (Klink, 1994; Morosoni e Klink, 1997; Pivello *et al.*, 1999 (b)).

No Distrito Federal, são escassos os estudos sobre as espécies exóticas presentes nas áreas protegidas (Martins *et al.*, 2007), assim como em áreas próximas das mesmas. Tais estudos são importantes, pois podem prevenir a entrada e/ou aumento populacional dessas espécies dentro de tais unidades, assim como fornecer informações para o manejo das mesmas.

Horowitz *et al.*, 2007, diagnosticaram as espécies exóticas arbóreas, arbustivas e herbáceas que ocorrem nas zonas de uso intensivo (área das piscinas e centro de visitantes) e de uso especial (área da administração e residências funcionais) do Parque Nacional de Brasília. Já Martins *et al.*, (2007) realizaram o levantamento das gramíneas exóticas do Parque Nacional de Brasília, Distrito Federal, Brasil, dentre as espécies levantadas, esses autores observaram a presença da gramínea *Arundo donax* L.

Arundo donax L. (CANA DO REINO) é uma espécie invasora vigorosa, originária da Ásia, que se estabeleceu e espalhou em habitats ripários com clima quente, principalmente em águas doces costeiras da América do Norte, incluindo o sudoeste dos Estados Unidos (Bell,

1997). Com base nos estudos consultados durante a elaboração dessa dissertação, é interessante notar que não existe uma unanimidade sobre a localização original da espécie.

Uma vez estabelecida, essa espécie se espalha rapidamente, substituindo a vegetação nativa, destruindo habitats de espécies selvagens, alterando as características físicas e químicas do local invadido, afetando também a conservação da água e o controle dos ciclos de inundação e de fogo (Bell, 1997; Frandsen, 1997; Dudley, 2000). Nos Estados Unidos foram realizados vários estudos sobre essa espécie invasora, porém no Brasil tais estudos são escassos e se restringem a levantamentos da presença da mesma em determinados locais, como, por exemplo, o estudo de Martins *et al.*, (2007).

Além da observação da presença dessa espécie no Parque Nacional de Brasília, essa tem se espalhado ao longo do Distrito Federal, ocupando, conforme levantamentos realizados para essa dissertação, áreas antropizadas. Alguns locais onde sua presença é constante são: no Campus Darcy Ribeiro (UnB), como, por exemplo, próximo aos novos prédios dos Institutos de Biologia e de Química, assim como no Arvoreto; ao longo da avenida L4; próximo ao balão do torto e do Aeroporto; e no Parque Olhos D'água, na área onde ocorrência de nascentes (Figura 1).

É importante ressaltar que apesar de ser uma planta invasora extremamente problemática, caracterizada por extensas infestações e uma série de graves impactos tanto para ecossistemas e quanto para obras de infraestrutura, não ocorreu, mesmo com um aumento significativo de pesquisas e estudos sobre a espécie ao longo dos últimos 10 anos, nenhum esforço em grande escala de mapeamento, assim como nenhuma análise abrangente dos seus impactos (Cal-IPC, 2011). Uma grande contribuição para a difusão do conhecimento científico já produzido sobre essa espécie foi realizada pelo *California Invasive Plant Council* (Cal-IPC), um documento que aborda uma síntese de todas as pesquisas e resultados obtidos

na região de Monterey a San Diego – Califórnia – Estados Unidos da América. Porém, no Brasil não existem trabalhos que estudaram essa espécie invasora com relação a sua ecologia e mapeamento de suas áreas de ocorrência.

Ressalta-se que Pivello (2011) já informava que embora, nos últimos anos, a conscientização para o problema das invasões biológicas tenha ocorrido no meio técnico-científico, ainda são escassas as pesquisas que diagnostiquem os efeitos dessas invasões biológicas no cerrado. E não existem estudos ecológicos da espécie *Arundo donax* no Brasil.

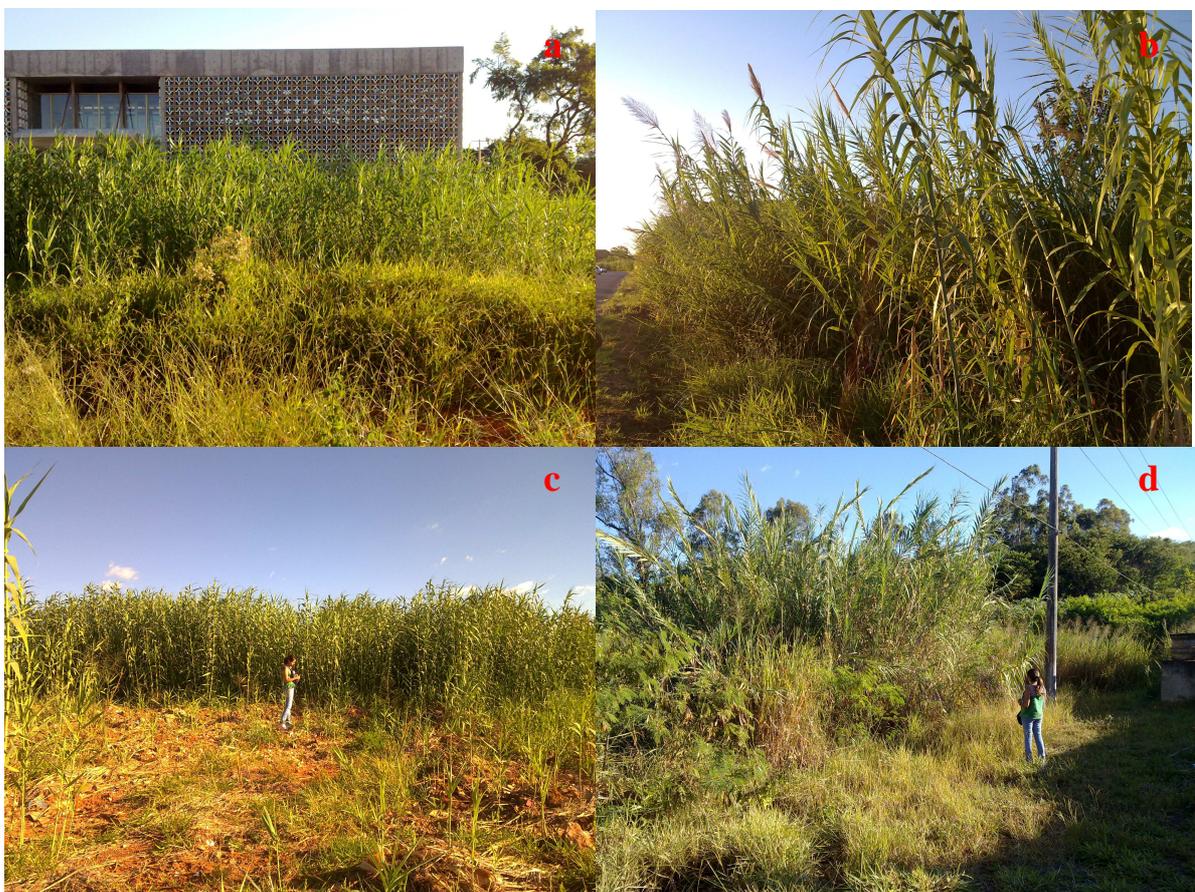


Figura 1. Alguns locais de ocorrência de *Arundo donax* L no Distrito Federal. Próximo aos Institutos de Química e Biologia no campus Darcy Ribeiro – Universidade de Brasília/DF (a); Arboreto – campus Darcy Ribeiro – Universidade de Brasília/DF (b); Próximo ao Aeropark – Brasília/DF (c); Próximo a Estação de Tratamento de Esgoto da Asa Sul – Brasília/DF (d). Data das imagens: abril de 2010.

Neste contexto, o presente trabalho tem como objetivo determinar a ocorrência e caracterizar a espécie invasora *Arundo donax* L. (CANA-DO-REINO) no Distrito Federal,

Brasil, como forma de conhecer a dinâmica dessa espécie no cerrado brasileiro, e dessa forma, produzir conhecimento para futuras medidas de manejo da mesma. Além de alertar sobre a presença dessa espécie dentro/ou em áreas próxima a unidades de conservação presentes no DF, objetivando assim evitar a entrada da mesma nesses locais.

Os objetivos específicos são:

- Levantar os locais de ocorrência de *Arundo donax* no Distrito Federal, observando principalmente as Unidades de Conservação e os Parques de múltiplo uso;
- Caracterizar a taxa de crescimento dessa espécie e a produção de biomassa, nas áreas estudadas do Distrito Federal;
- Confirmar se essa espécie em condições tropicais também só produz sementes inférteis;
- Analisar a variabilidade genética da espécie no Distrito Federal;
- Contribuir para o conhecimento ecológico dessa espécie para que o mesmo possa ser aplicado em futuras ações de manejo da mesma no Distrito Federal.

Capítulo II

ESPÉCIE ESTUDADA: *Arundo donax* L (CANA-DO-REINO)

2. 1. Aspectos ecológicos e botânicos.

Arundo (L.) é um gênero de gramíneas perenes (Poaceae) com seis espécies nativas de áreas quentes do velho mundo. O *Arundo donax* (L.) (Figura 2) é o maior membro do gênero e está entre as maiores espécies de gramíneas, crescendo a uma altura de 8 m (Bell, 1997). Sua classificação é a seguinte de acordo com *Integrated Taxonomic Information System* (ITIS)/ *Catalogue of Life* (2012):

Reino Plantae

Filo: Magnoliophyta

Classe: Liliopsida

Ordem: Poales

Família: Poaceae

Gênero: *Arundo*

Espécie: *Arundo donax*



Figura 2. Populações de *Arundo donax* presentes no Campus Darcy Ribeiro – Universidade de Brasília (a) e na região do Jardim Botânico (b), Distrito Federal, Brasil. Data das imagens: maio de 2011.

Acredita-se que essa espécie é nativa de regiões de água doce da Ásia Oriental, mas tem sido cultivada por milhares de anos em toda a Ásia, Sul da Europa, norte da África e do Oriente Médio. E desde o século passado tem sido amplamente plantada na América do Norte e do Sul, e na Austrália. Foi intencionalmente introduzida, na década de 1820, na Califórnia (cidade de Los Angeles), a partir populações do Mediterrâneo, como um agente de controle de erosão em canais de drenagem (Hickman, 1993; Bell, 1997; Bossard *et al.*, 2000).

Já segundo o Cal-IPC (2011), essa espécie foi introduzida em todo o mundo como uma espécie ornamental/cultura, para controle de erosão, para a produção de palhetas (instrumentos musicais), construção, além de produção de papel e celulose (Figura 3). Tornou-se invasora em muitos lugares em todo o mundo, principalmente em zonas ripárias. Onde ele invade, muitas vezes de forma densa, ocorre uma série de impactos nos sistemas ecológicos naturais (bióticos e abióticos), bem como em infraestruturas criadas pelo homem (Frandsen e Jackson, 1993; Bell, 1997; DiTomaso, 1998; Herrera e Dudley, 2003; Coffman *et al.*, 2004; Coffnam, 2007). E, devido aos grandes impactos na diversidade biológica, atividades humanas, assim como sua importância em questões que envolvem a invasão biológica, o grupo de espécies invasoras da IUCN (União Internacional para Conservação da Natureza) incluiu o *Arundo donax* na lista das cem piores espécies invasoras do mundo (Lowe *et al.*, 2000).

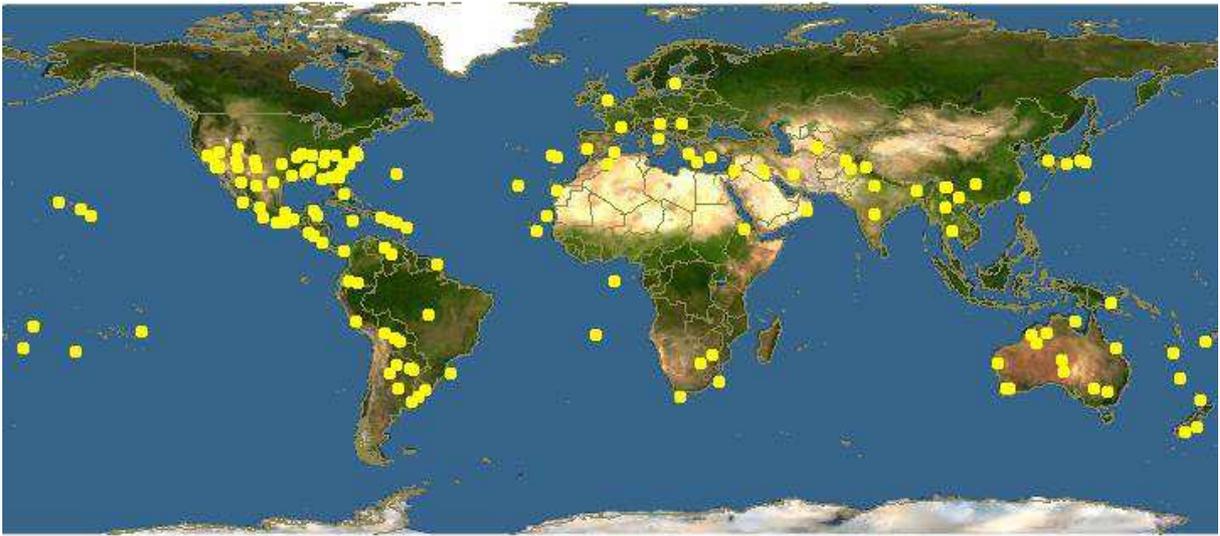


Figura 3. Distribuição de *Arundo donax* no mundo (pontos amarelos). O mapa está desatualizado para algumas localidades (exemplo: Brasil), porém serve de fonte de informação. Fonte: Discover Life (2012).

É uma das maiores gramíneas e é muitas vezes confundida com um bambu, alcançando de 2 a 8 m de altura (Perdue, 1958). No litoral Califórnia estudos mostram que eles podem atingir comprimentos de 8 a 9 m. De acordo com o estudo apresentado pelo Cal-IPC (2011), as hastes principais ou colmos são ocos, com paredes de 2-7 mm de espessura e divididos por nós. Neste estudo, os colmos tiveram em média 23,8 milímetros de largura (medida entre o primeiro e segundo nós).

Os indivíduos com um ano de idade não são ramificados, e no segundo ano podem formar um ou múltiplos ramos laterais a partir dos nós (Figuras 4 e 5) (Decruyenaere e Holt, 2005). Os ramos secundários tem um diâmetro muito menor do que os principais (valores menores que 10 mm e maiores que 20 mm, respectivamente). Estes ramos secundários podem dar origem a ramos de terceiro grau e até mesmo quarto grau, porém isso é raro (Decruyenaere e Holt 2005; Cal-IPC, 2011). Uma vez que a cana gera ramos secundários, estes se tornam a principal área de crescimento, e o crescimento contínuo da haste principal se torna lento ou até mesmo inexistente (Decruyenaere e Holt, 2005). Nos indivíduos com dois

anos ou mais, os ramos secundários têm uma quantidade significativa de folhas (Cal-IPC, 2011).

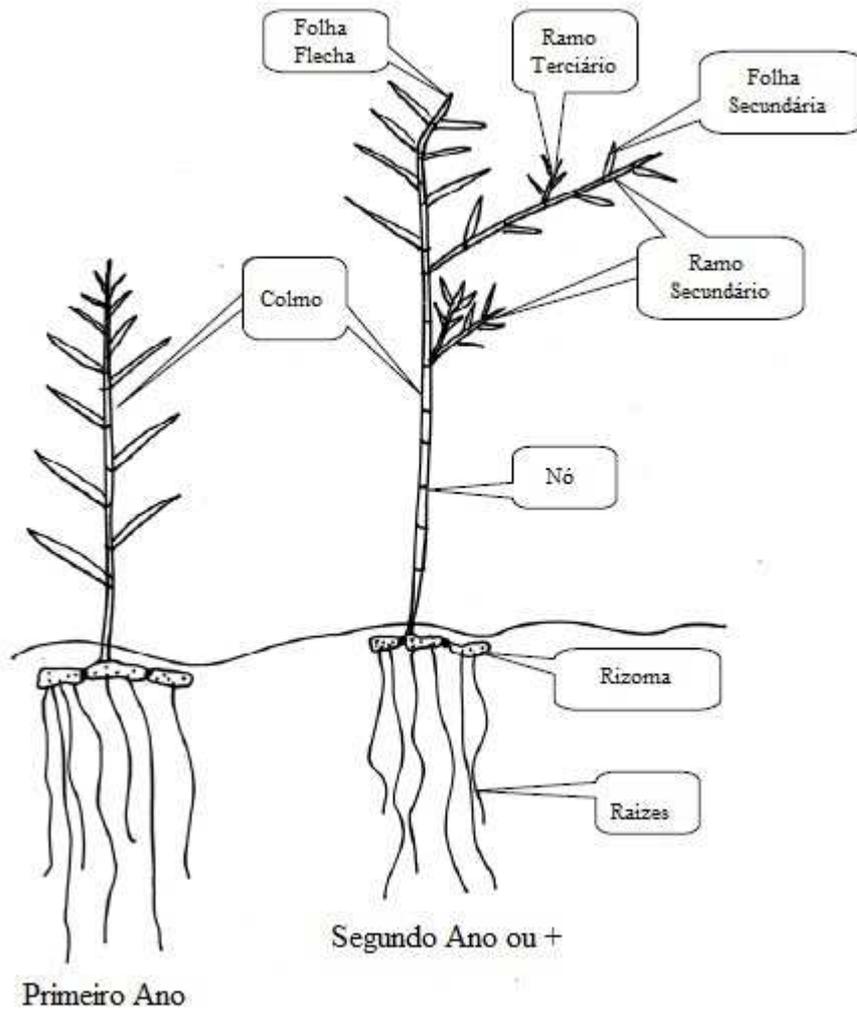


Figura 4. Ilustração da estrutura do primeiro e segundo ano ou mais da espécie *Arundo donax*. Desenho de J. Giessow. Fonte: Cal-IPC (2011) – modificado.

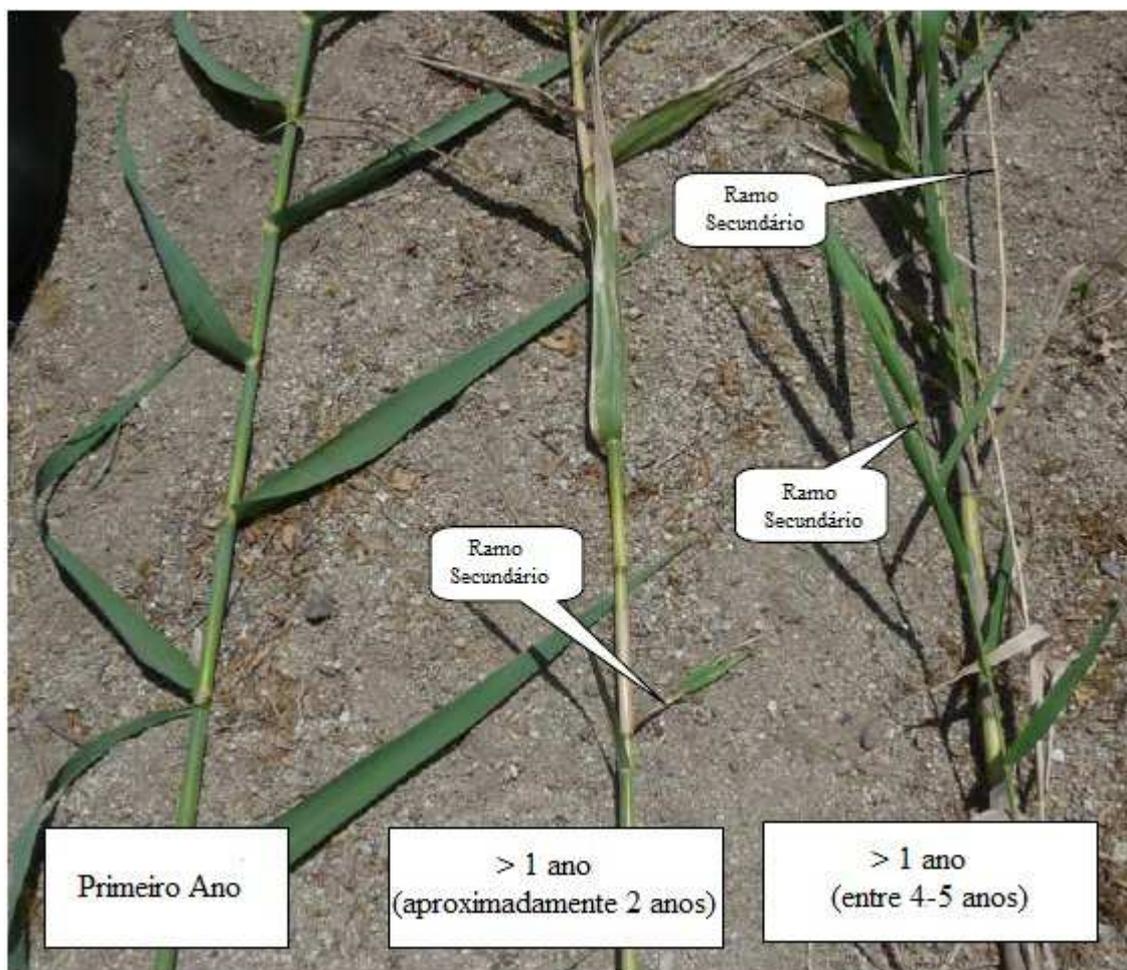


Figura 5. Imagem mostrando folhas e ramificações de indivíduos de *Arundo donax* em diferentes idades. Indivíduos mais velhos tem um número crescente de ramos e folhas secundários. Fonte: Cal-IPC (2011) – modificado.

As folhas se ligam ao colmo principal e aos ramos secundários através de nós. No estudo apresentado pelo Cal-IPC (2011) as folhas encontradas na haste principal tiveram de 5-6 cm (até 8 cm) de largura em direção à base, até 61 centímetros de comprimento e afunilavam para uma ponta fina. Folhas em indivíduos com um ano tiveram uma largura média de 5,0 cm e comprimento de 54,4 cm ($n = 69$). A haste principal de indivíduos mais velhos (> 1 ano) tiveram folhas muito menores, com média de 2,8 cm de largura e 41,5 cm de comprimento ($n = 60$). Como esperado, as folhas de ramos secundários foram as menores em comprimento, média de 27,9 cm e largura de 1,7 cm.

Segundo os autores desse estudo, essa redução no tamanho da folha em indivíduos mais antigos é compensada pelo maior número de folhas encontradas nos ramos secundários. A densidade foliar da haste principal diminuiu de uma média de 23 em indivíduos com um ano, para 12,6 nos mais velhos, e o tamanho das folhas também diminuiu. No entanto, várias folhas secundárias estão presentes em indivíduos com mais de 1 ano, e a densidade de folhas em ramos secundários foi maior que 270 nesses indivíduos. Indivíduos mais velhos do que um ano tiveram uma área foliar maior do que a de indivíduos com um ano, sendo essa predominantemente composta de área foliar secundária (Cal-IPC, 2011).

Nos indivíduos maduros, as folhas do colmo principal tornam-se menos importantes para a produção fotossintética. Porém, a contribuição da área foliar dos ramos secundários é uma observação importante que não está bem documentada na literatura (Cal-IPC, 2011). Decruyenaere e Holt (2005) observaram a diminuição do crescimento do colmo principal quando esses geram ramos secundários, sendo que esses ramos secundários tornaram-se as principais áreas de crescimento da planta.

A estrutura subterrânea do *Arundo donax* é composta de rizomas carnosos que surgem a partir de raízes que penetram mais profundamente no solo (Figura 6). Os rizomas estão, geralmente, na camada subsuperficial no solo, espalhando-se horizontalmente a partir da planta e formando um tapete subterrâneo denso. São geralmente encontrados de 5-15 cm abaixo da superfície do solo, com uma profundidade máxima de 50 cm, enquanto que as raízes podem ser encontradas em mais de 100 cm de profundidade (Sharma *et al.*, 1998; Cal-IPC, 2011).

Em povoamentos adultos, a maioria dos novos rizomas se desenvolvem a partir das gemas apicais do rizoma terminal, resultando uma estrutura relativamente espaçada, verticalmente orientada e com 2 cm ou mais de diâmetro. O crescimento do rizoma estende-se

lateralmente ao longo de um eixo e depois se ramifica, ocupando áreas sem a presença dessa estrutura. A expansão é de 7-26 cm/ano (Decruyenaere e Holt, 2005). Comparações de imagens ao longo de um período de 10 anos para alguns pontos em San Diego/Califórnia – Estados Unidos mostraram expansões de rizomas em populações estabelecidas que variaram de leve (nenhum visível) a moderado (0,5m/ano), no geral a expansão foi surpreendentemente lenta, mas altamente variável (Cal-IPC, 2011).

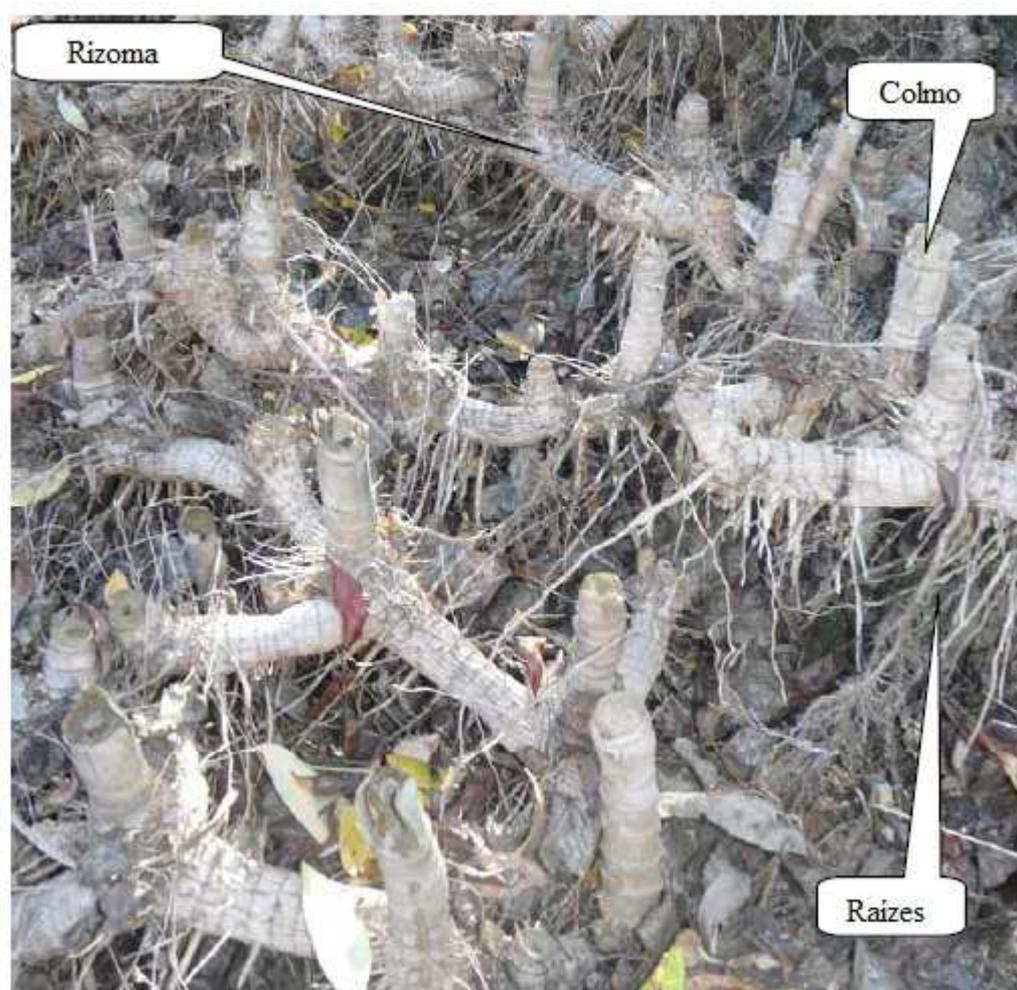


Figura 6. Imagem mostrando raízes, rizomas e colmos. Fonte: Cal-IPC (2011) – modificado.

É uma espécie hidrofílica, crescendo ao longo dos lagos, córregos, esgotos e outros locais úmidos. Ela utiliza altas quantidades de água, como 2000 l/metro por indivíduo de *Arundo donax*, para abastecer sua incrível taxa de crescimento. Quando as condições são

favoráveis, os colmos dessa espécie podem crescer 0,3-0,7 m por semana durante um período de vários meses. O indivíduo jovem pode rapidamente atingir o diâmetro dos colmos maduros, com crescimento subsequente que envolve o espessamento das paredes (Perdue 1958). Rieger e Kreager (1989) registraram o crescimento dessa espécie tanto de sete centímetros em um dia, até oito metros em poucos meses.

As populações de *Arundo donax* estão entre as mais biologicamente produtivas de todas as comunidades. Em condições ideais de crescimento podem produzir de 7,20 – 96,6 t/ha de massa seca acima do solo (Perdue, 1958). No entanto, adapta-se a muitas condições ambientais e diferentes tipos de solo, e uma vez estabelecida, é tolerante à seca e capaz de crescer bastante nessas condições, podendo produzir cerca de três toneladas por hectare de biomassa acima do solo (Christou, 2001; Lewandowski *et al.*, 2003). Também pode tolerar condições salinas (Perdue, 1958, Peck, 1998), e na Califórnia é encontrado crescendo ao longo de praias e estuários (Else, 1996). É uma planta C₃, mas mostra o potencial fotossintético insaturados de plantas C₄, e é capaz de elevadas taxas fotossintéticas (Rossa *et al.*, 1998; Papazoglou *et al.*, 2005).

Ele responde fortemente ao excesso de nitrogênio oriundo de fontes antropogênicas e fogo (Ambrose e Rundel, 2007). A maioria dos estudos sobre o crescimento e transpiração indicam que a disponibilidade de água é o principal fator que afeta as taxas metabólicas e a produtividade dessa espécie (Perdue, 1958; Abichandani, 2007; Watts, 2009). E, geralmente, ele tem uma estatura mais baixa e é menos produtivo quando a disponibilidade de água é limitada, por exemplo, em terraços mais elevados nas zonas ripárias ou partes mais secas da bacia (Cal-IPC, 2011).

Segundo Cal-IPC (2011), considerando os estudos realizados na Califórnia, três fatores gerais parecem afetar as taxas de crescimento de colmos e rizomas de *Arundo donax*:

1) a disponibilidade de água; 2) a disponibilidade de nutrientes; e 3) regimes de temperatura (afetada pela sombra). Esse órgão informa que a disponibilidade de água parece ser o principal fator restringir o crescimento de Arundo localizado nessa região. Essa constatação foi baseada em observações de campo em toda a área de estudo e em revisão de estudos sobre transpiração e nutrição. Geralmente, bacias hidrográficas no litoral da Califórnia têm faixas de temperatura favoráveis e não são limitadas de nutrientes. São áreas com água disponível durante todo o ano, ocasionando colmos de Arundo densos e altos. Áreas com baixa disponibilidade de água, tais como terraços superiores, que estão longe de o lençol freático, têm, frequentemente, Arundo em menor densidade e altura, e grandes quantidades de material morto no solo (um indicador de estresse) (Cal-IPC, 2011).

Condições ideais de crescimento seriam áreas ribeirinhas de baixo gradiente com solos bem drenados (Perdue 1958), níveis elevados de nutrientes na água (como em locais de descargas de águas residuais agrícolas, industriais e residenciais), salinidade baixa (Grossinger *et al.*, 1998), sol em abundância, e temperaturas elevadas. Uma vez estabelecido, ele se espalha com uma rápida taxa, excluindo a maioria das outras espécies. As espécies de plantas mais capazes de competir com o Arundo são aquelas que se reproduzem via rizomas e sementes (Else 1996).

Segundo Cal-IPC (2011), *Arundo donax* tem quantidades muito elevadas de biomassa por unidade de área de terra. O estudo desse órgão encontrou uma biomassa ajustada de 15,5 kg/m² para essa espécie, resultado semelhante ao estudo mais abrangente de Spencer (2006) que também avaliou a biomassa dessa espécie. A grande quantidade de biomassa está relacionada com a alta produtividade da planta, a densidade elevada de indivíduos, e da taxa de crescimento e altura da planta (média 6,5 m na Califórnia do Sul). Além da grande quantidade de biomassa por unidade de área de terra, essa espécie tem uma grande quantidade

de energia por unidade de peso seco (17 MJ/kg para 19,8 MJ/kg). Estes valores o comparam favoravelmente com as culturas de outros biocombustíveis, sendo a cultura do Arundo uma das mais altas (Cal-IPC, 2011).

As estimativas da biomassa subterrânea foram menos estudadas, mas parecem estar na gama de 22,5% da biomassa da parte aérea total da planta (Sharma *et al.*, 1998). Aplicando esta proporção de biomassa acima e abaixo do solo geram-se estimativas globais de 20,0 kg/m² ou 89 t/acre. Estes são os níveis de biomassa na extremidade superior de qualquer classe de vegetação, e estão bem acima de valores típicos de vegetação ciliar da Califórnia (Cal-IPC, 2011).

As plantas geralmente diminuem sua atividade metabólica durante os meses mais frios, mostrando nas folhas cores marrom e amarelo, e nas hastes um desbotamento de sua cor verde. Essas folhas e caules ficam novamente verdes na primavera quando as temperaturas sobem e a luz do dia aumenta. Em áreas com congelamentos rígidos durante os meses de inverno, a parte aérea dessa espécie geralmente morre e então rebrota na primavera. Congelamentos profundos podem matar a planta, provavelmente por destruir os rizomas (Cal-IPC, 2011).

Essa espécie pode, então, tolerar uma grande variedade de condições ecológicas (Perdue, 1958), principalmente devido a seus rizomas e raízes que penetram profundamente. Plantas individuais podem sobreviver a períodos de seca ou de excesso de umidade (Guthrie, 2007). É essencialmente uma espécie de água doce, mas pode tolerar salinidade excessiva (Perdue, 1958; Grossinger *et al.*, 1998). Ele sobrevive e prospera em todos os tipos de solos, desde argilas pesadas, até areias soltas e cascalho (Perdue, 1958). Sobrevive também a temperaturas baixas quando adormecido (durante o inverno), mas é vulnerável a danos por geadas após o início do crescimento na primavera (Decruyenaere e Holt, 2001). Não parece

tolerar altitude ou o interior de ambientes onde ocorre o congelamento contínuo (Team Arundo del Norte, 1999a). É geralmente associada a rios que tenham sido fisicamente perturbados ou represados, mas pode invadir locais com a presença de espécies nativas, mesmo em sombra total (Bell, 1997). É uma das poucas espécies que invade tanto locais perturbados, com não perturbados (Rejmánek, 1989), não precisando de algum tipo de intervenção humana para se estabelecer. No entanto, a perturbação tem desempenhado um papel importante na invasão e no estabelecimento bem sucedido dessa espécie (Bell, 1997), uma vez que a alteração antrópica de determinado ecossistemas (tais como a adição de fertilizantes, ou solo removido de algum local) fornece condições mais adequadas para o seu crescimento (Guthrie, 2007). Inundações e modificações antrópicas de ambientes ciliares tem ajudado essa espécie a se espalhar ao longo dos cursos de rios (Coffman *et al.*, 2004). A presença de carga de nutrientes nos rios é um fator importante que contribuiu para invasão de Arundo na Califórnia (Di Castri, 1991).

Embora *Arundo donax* possua uma inflorescência grande (30-60 cm de comprimento) do tipo panícula plumosa (Figura 7), as plantas na América do Norte não produzem sementes viáveis (Bell, 1997; Bossard *et al.*, 2000; Johnson *et al.*, 2006). Essa espécie se espalha rapidamente a jusante dos cursos d'água quando suas estruturas vegetativas (por exemplo, nós e rizomas) alcançam terra nua, substratos úmidos, e começam a crescer (Bell, 1997; Boose e Holt, 1999).



Figura 7. Inflorescências de *Arundo donax* localizados no Distrito Federal, Brasil. Data das imagens: abril de 2010.

As inflorescências geralmente ocorrem entre os meses de março e setembro (Cal-IPC, 2011). No entanto, muitas plantas nem sempre florescem, ou pelo menos não em todos os anos (Else, 1996). São várias as espiguetas na inflorescência, essas possuem cerca de 12 mm de comprimento e com floretes se tornando sucessivamente menores (Cal-IPC, 2011). Não existem estudos sobre a fenologia dessa planta aqui no Brasil.

Essa espécie não produz sementes viáveis na maioria das áreas onde foi introduzida (Perdue, 1958), e a reprodução ocorre quase inteiramente por rizomas e fragmentos do colmo (Boose e Holt, 1999). Os fragmentos são geralmente levados pelas enchentes para novos habitats onde brotam novos colmos (Else, 1996).

É importante dizer que existem poucas informações sobre o sistema reprodutivo de *Arundo donax* em sua escala nativa. E a reprodução sexual, bem como vegetativa têm sido relatadas para indivíduos nativos do Médio Oriente (Perdue, 1958). Porém, essa espécie é

normalmente representada por genótipos que se reproduzem assexuadamente nos locais onde são introduzidos (Boose e Holt, 1999; Dudley, 2000; Mariani *et al.*, 2010).

Estudos moleculares usando Isoenzimas e RAPD em populações de *Arundo donax* presentes no Rio Santa Ana, na Califórnia, indicaram uma diversidade genética comparável com os da literatura para espécies clonais, indicando a reprodução assexuada como o principal meio de propagação dessa espécie (Khudamrongsawat *et al.*, 2004). Nesse estudo, também foram coletadas amostras também de uma população de fora da bacia estudada (Aliso Creek, Condado de Orange). Vários fenótipos foram dominantes e foram encontrados espalhados ao longo do rio Santa Ana. Estes fenótipos dominantes foram também encontrados na população de Aliso Creek, possivelmente por essa planta ter se espalhado por seres humanos. Os níveis moderados de diversidade genética em *Arundo* devem ser explicados por várias introduções ao longo do tempo, com as introduções iniciais como material de construção, e uso mais recente para controle de erosão e como ornamental (Bell, 1997; Frandsen, 1997). O nível moderado de diversidade genética e o modo de reprodução assexuada aumenta o potencial de aplicação de agentes biológicos para o controle dessa espécie (Tracy e DeLoach, 1999).

Ressalta-se que, conforme já mencionado, segundo alguns autores *Arundo donax* é nativo do Leste da Ásia (Polunin e Huxley, 1987), e distribui-se ao longo de todo o ambiente do Mediterrâneo, onde normalmente não produz sementes devido a gametófitos mal formados (Boose e Holt, 1999; Mariani *et al.*, 2010). Acredita-se que se espalhou assexuadamente principalmente pela dispersão de colmos e pedaços de rizoma através da inundação. Nesta situação, a variabilidade natural das populações de clones existentes, tal como é conhecida, pode ocorrer devido a mutações espontâneas, seguidas de seleção natural, como uma resposta a pressões climáticas e ao ambiente diferente, ou através da transferência de parte de material genético da planta (Consetino *et al.*, 2005).

2.2. Impactos e Manejo.

Uma vez estabelecido, *Arundo donax* tende a formar grandes e contínuas massas de raízes clonais, muitas vezes abrangendo vários hectares, e, geralmente, em detrimento da vegetação da mata ciliar nativa que não pode competir. É também altamente inflamável e parece bastante adaptado a eventos extremos de fogo. Além disso, ele não fornece alimento, nem habitat para espécies nativas e contém uma grande variedade de compostos químicos nocivos, que o protege de danos por insetos (Bell, 1997). E, devido a sua forma de crescimento, essa espécie restringe a passagem física dos animais selvagens, ressaltando que esses animais dependem do corredor de mata ciliar e várzea para forrageamento e nidificação (Coffman, 2007). A densidade de *Arundo donax* é significativamente mais elevada do que a de vegetação nativa (Ambrose e Rundell, 2007; Cal-IPC, 2011), e isto tem vários efeitos, tais como a restrição do movimento da vida selvagem e o impedimento do fluxo de água.

Infestações de *Arundo donax* criaram sérios problemas físicos e biológicos ao longo dos rios no sul da Califórnia. Quando cresce bastante ao longo de várzeas, ele age como uma espécie transformadora de ambientes, provocando uma barreira física ao fluxo natural da água, aumentando assim o risco de inundação de terras adjacentes. Durante as grandes inundações ele aumenta a rugosidade do córrego, cria barragem de detritos na travessia de pontes, e é a causa de erosões e instabilidade (DiTomaso, 1998). Como a biomassa da parte aérea seca nos meses quentes e secos do verão, característica dos climas do mediterrâneo, *Arundo donax* cria um maior risco de incêndio em locais onde a alta umidade dos corredores ripários forma barreiras naturais contra o fogo (Coffman, 2007).

A invasão por *Arundo donax* altera a estrutura da vegetação de zonas ribeirinhas (Herrera e Dudley, 2003). Ele é competitivo, formando bancadas extensas ou monoculturas

(Figura 8), e fisicamente inibe espécies de plantas nativas de se estabelecer (Bell, 1997). Gaffney e Gledhill (2003) relatam uma redução na estrutura vegetativa em comunidades dominadas por essa espécie. Ele pode ocupar canais de rios inteiros, borda por borda (Frandsen e Jackson, 1993). Sua biomassa cria obstáculos durante eventos de tempestade, e pode levar a inundação de terras adjacentes, erosão das margens do córrego, e mudar os padrões de fluxo naturais (Coffman *et al.*, 2004). Grandes aglomerações de *Arundo donax* podem soltar-se das bordas do rio, e serem depositadas no meio do canal, formando ilhas. Muitas vezes é muito mais alto do que as espécies de plantas com que coocorre, e tem uma maior biomassa acima e abaixo do solo. Não fornece nenhuma sombra significativa sobre a água (Iverson, 1993), e áreas dominadas por essa espécie tendem a ter águas com temperaturas mais altas, com menores concentrações de oxigênio e com menor diversidade de animais aquáticos. Essa falta de sombreamento pode aumentar o crescimento de algas e de pH, causando a degradação da água devido a produção de amônia (Chadwick e Associates, 1992). Além de afetar a qualidade da água, *Arundo donax* também afeta a quantidade de água. Iverson (1993) e Zimmerman (1999) concluíram que essa espécie usa e transpira três vezes mais água do que plantas nativas nos EUA. Todos os anos, as populações de *Arundo donax* presentes ao longo da bacia do rio Santa Ana, na Califórnia, evaporam aproximadamente 7,6 milhões de quilolitros de água (Jackson, 1993).



Figura 8. Imagem mostrando o contínuo de *Arundo donax* nas margens do Rio Grande Valley (vegetação mais clara nas margens), localizado no Novo México, Estados Unidos. Fonte: Centro de Pesquisas de Espécies Invasoras – Universidade da Califórnia (2012).

A perda de água devido aos elevados índices de evapotranspiração (ET) dessa espécie reduz os recursos hídricos já escassos em regiões de clima mediterrâneo, e ela usa três vezes mais água do que espécies nativas das matas ciliares. Estudos usando uma variedade de métodos indicam que a ET de *Arundo donax* (1,2-7,5 m/ano) pode ser muito maior do que a da vegetação ciliar nativa, como *Salix* spp., *Populus* spp. (1,0-3,3 m/ano) e de comunidades ripárias das regiões de clima árido do mediterrânico (0,11-1,6 m/ano) (Hendrickson e McGaugh; 2005, Shafroth *et al.*, 2005; Coffman, 2007). Infestações de *Arundo donax* podem evapotranspirar de 6-110 vezes mais do que a vegetação nativa (até $18,206 \text{ kg m}^{-2} \text{ ano}^{-1}$) (Coffman, 2007).

Ecologicamente, a presença e a propagação de *Arundo donax* altera a composição da comunidade. Ele tem o potencial de reduzir a diversidade da fauna e flora ribeirinhas, em parte devido à sua grande biomassa e altura, além da sua alta taxa de crescimento (Milton, 2004). Essa espécie rapidamente coloniza áreas perturbadas, como aquelas deixadas nuas após inundações ou incêndios, e domina margens de rios e estuários (Dudley e Collins, 1995). Ele

compete e substitui espécies de plantas nativas, reduzindo o valor de habitats ripários e recursos para a fauna local (Bell, 1997). Gaffney e Gledhill (2003) observaram, com a presença de *Arundo donax*, uma redução da diversidade de espécies de plantas nativas, assim como a maior abundância de outras plantas exóticas.

Áreas dominadas por *Arundo donax* tendem a ter uma menor diversidade de animais aquáticos (Chadwick *et al.*, 1992). Herrera e Dudley (2003) encontraram uma menor diversidade de invertebrados dentro dos povoamentos dessa espécie quando comparado com a vegetação nativa. Em uma área do Vale de Simi (EUA), ele reduziu o habitat disponível da esgana-gata de três espinhos (*Gasterosteus aculeatus*), uma espécie de peixe em extinção (Frandsen e Jackson, 1993). Grandes e médios mamíferos não conseguem penetrar em áreas densamente infestadas. Manchas menores ou menos densas são usadas ocasionalmente por pássaros, cobras e roedores, para abrigo e nidificação (Coffman *et al.* 2004). Caules e folhas de *Arundo donax* contêm uma grande variedade de produtos químicos nocivos (Mackenzie, 2004), tornando-o inadequado e intragável para maioria dos insetos e outras espécies de animais (Miles *et al.*, 1993).

Em sistemas ribeirinhos, ele altera os processos, funções e serviços ecológicos, grande parte devido às mudanças na estrutura do ecossistema. Altera também o fluxo de hidrologia e sedimentologia (Milton 2004), aumentando o risco de enchentes (Coffman *et al.*, 2004).

Parece usar mais nutrientes do solo (especialmente nitrogênio) do que as espécies nativas (Coffman *et al.*, 2004). A sua decomposição, em ambientes ripários, possui taxas semelhantes as das espécies nativas, mas ele muda a estrutura do solo, tornando-o inadequado para organismos decompositores (Herrera e Dudley, 2003).

Arundo donax é altamente adaptado ao fogo e é inflamável durante a maior parte do ano (Bell, 1997). Ele produz grandes quantidades de biomassa, que aumentam a

disponibilidade de combustível para incêndios não sazonais e de intensidade mais elevada. Aumenta a frequência de fogo, as taxas de propagação e intensidade em zonas ripárias da Califórnia (Coffman *et al.*, 2004). A propagação de *Arundo donax* em ecossistemas ribeirinhos também é acelerada pelo fogo: o fogo impacta a vegetação nativa e outras que podem ocorrer na região, os rizomas restantes de *Arundo donax* são bem adaptados ao fogo e facilmente rebrotam sem qualquer competição por recursos (Figura 9). Ele altera mudou alguns processos do ecossistema que são regulados pelo ciclo natural de fogo (Rieger e Kreager, 1989).



Figura 9. *Arundo donax* rebrotando após a passagem do fogo na Colina – Universidade de Brasília – Distrito Federal, Brasil. Data das imagens: setembro de 2011.

Ressalta-se que a invasão de espécies de gramíneas anuais tem sido associada à alteração dos regimes de fogo em pastagens, desertos e áreas de vegetação nativa da Califórnia e da parte ocidental dos Estados Unidos (Brooks, 2002; Brooks *et al.*, 2004; D'Antonio e Vitousek, 1992; D'Antonio, 2000; Keeley, 2004; Keeley e Fotheringham, 2005). No entanto, *Arundo donax* pode ser um problema ainda maior em ecossistemas ripários no sul da Califórnia, alterando os regimes de fogo por causa de sua forma de crescimento perene (o grande volume de biomassa produzida) e rápida recuperação após o fogo (Coffman, 2007).

Vários estudos sugerem que a infestação dessa espécie aumentou a carga de combustível, bem como a frequência e intensidade de fogo ao longo da zona ripária (Bell, 1993; Dukes e Mooney, 2004; Rieger e Kreager, 1989; Scott, 1994). Assim, a invasão por *Arundo donax* parece ter criado um ciclo de *feedback* positivo ou um regime planta invasora-fogo (Coffman, 2007) semelhantes aos apresentados por outras espécies (D'Antonio e Vitousek, 1992; Brooks *et al.*, 2004).

Arundo donax cresce e se adensa o suficiente de forma a reduzir a capacidade de carga de pequenos cursos de água por constrição e estreitamento do canal do curso d'água (Robbins *et al.*, 1951). Vastas quantidades de biomassa dessa espécie acumulam-se locais para o controle de inundações e estruturas de transporte (Figura 10), tais como pontes e bueiros (Frandsen e Jackson, 1993). Estratégias de remoção com alto custo são necessárias após grandes tempestades para limpar os canais bloqueados por essa planta (Douce, 1993).



Figura 10. Imagem mostrando a biomassa de *Arundo donax* empilhada contra a Ponte River Road no rio Santa Ana, após a inundação (a), resultando em um impacto na estrutura da ponte que está sendo empurrada para fora de sua fundação (b). Fonte: Cal-IPC (2011).

Estudos indicam que a qualidade do ar da Costa Oeste dos EUA pode ter sido prejudicada pela introdução de *Arundo donax*, que emite altos níveis de isopreno (Evans *et al.*, 1982; Hewitt *et al.*, 1990). A inflamabilidade dessa espécie apresenta riscos de segurança

e causa problemas econômicos, como a necessidade de programas de evacuação, compra de equipamentos de combate a incêndios, e danos potenciais para habitação e infraestrutura (Guthrie, 2007).

Assim, a forte influência de *Arundo donax* sobre as propriedades do ecossistema tem duas consequências principais: 1) modificação do habitat, impactando a flora e fauna nativas; e 2) modificação do habitat de forma a beneficiar o seu próprio crescimento e expansão. A modificação de fluxos de transporte de água e sedimentos, assim como da geomorfologia afeta fortemente os padrões sucessionais da vegetação, e a proliferação dessa espécie indica que ela se beneficia com essas alterações. O aumento significativo de eventos de fogo e intensidade desses também favorece essa espécie, que é mais produtiva do que a vegetação nativa após esse fenômeno (Ambrose e Rundel, 2007).

Segundo Bossard *et al.*, 2000, estudos sobre a invasão de *Arundo donax* estão em curso na Califórnia e dados sobre a sua biologia e manejo estão sendo avaliados. Porém, esses autores apresentam algumas informações sobre o manejo dessa espécie. As infestações menores podem ser erradicadas por métodos manuais, a remoção manual é efetiva quando as plantas possuem menos de 2 m de altura e quando todo material de propagação vegetativa é removido. Para grandes infestações, métodos mecânicos podem facilitar a redução de biomassa, e devem ser seguidos da remoção de material de propagação vegetativa e tratamento químico. Com relação ao controle biológico, apesar de algumas espécies (*Schizaphiz graminum*, *Phothes dulcis*, *Zyginidia guyumi* e *Tetramesa romana*) na Eurásia e África se alimentarem de *Arundo donax*, nenhuma foi aprovada para esse tipo de controle pelo Departamento de Agricultura dos Estados Unidos.

O controle químico é o método mais utilizado para controlar *Arundo donax*. Herbicidas que possuem glifosato como o Rodeo (Dow Agrosiences) e Roundup (Monsanto)