



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. (CANADÃO-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 espiguetta 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.

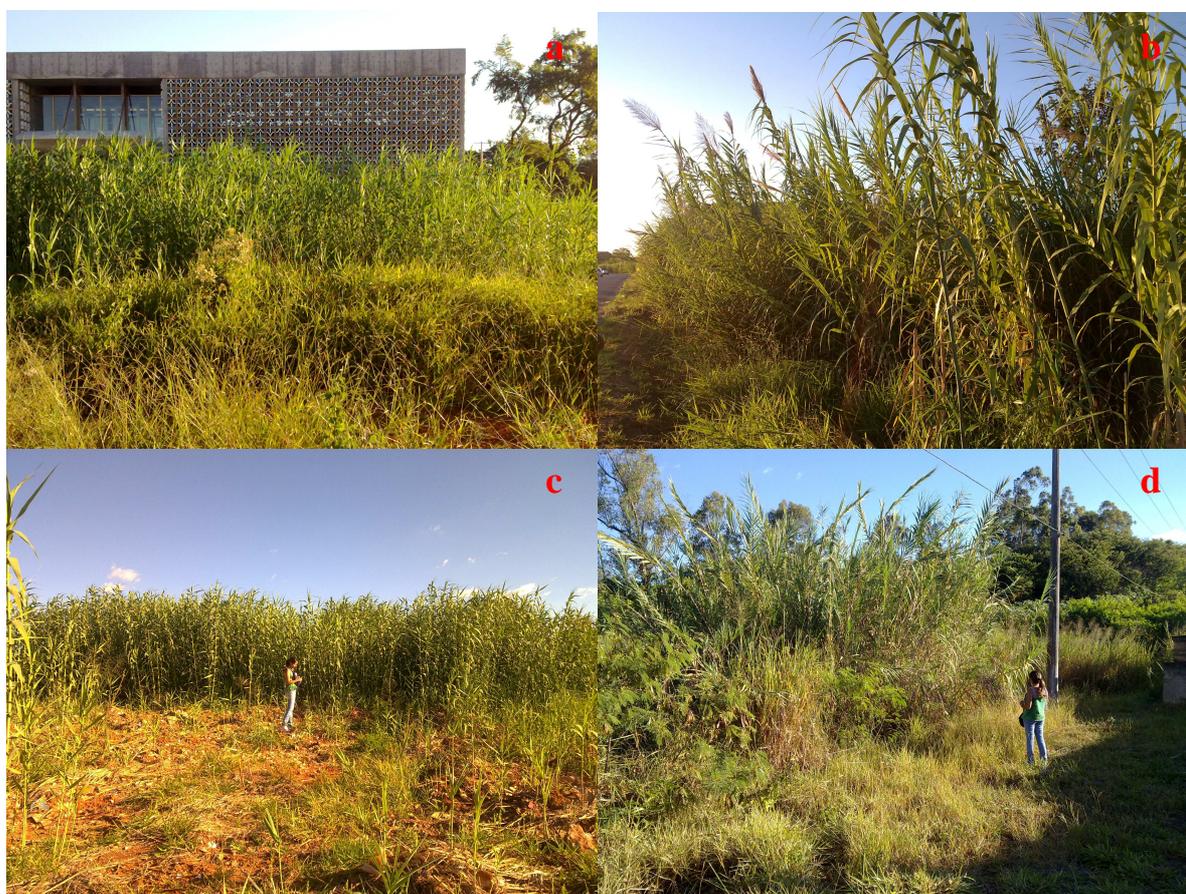


Figura 1. Alguns locais de ocorrência de *Arundo donax* L no Distrito Federal. Próximo aos Institutos de Química e Biologia no campus Darcy Ribeiro – Universidade de Brasília/DF (a); Arboreto – campus Darcy Ribeiro – Universidade de Brasília/DF (b); Próximo ao Aeropark – Brasília/DF (c); Próximo a Estação 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).

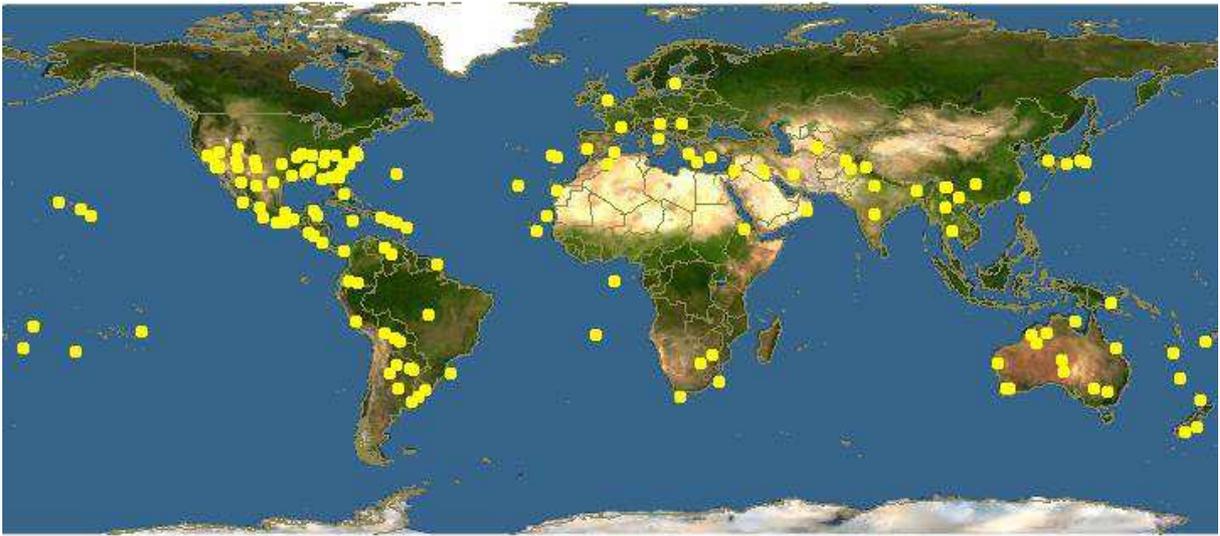


Figura 3. Distribuição de *Arundo donax* no mundo (pontos amarelos). O mapa está desatualizado para algumas localidades (exemplo: Brasil), porém serve de fonte de informação. Fonte: Discover Life (2012).

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).

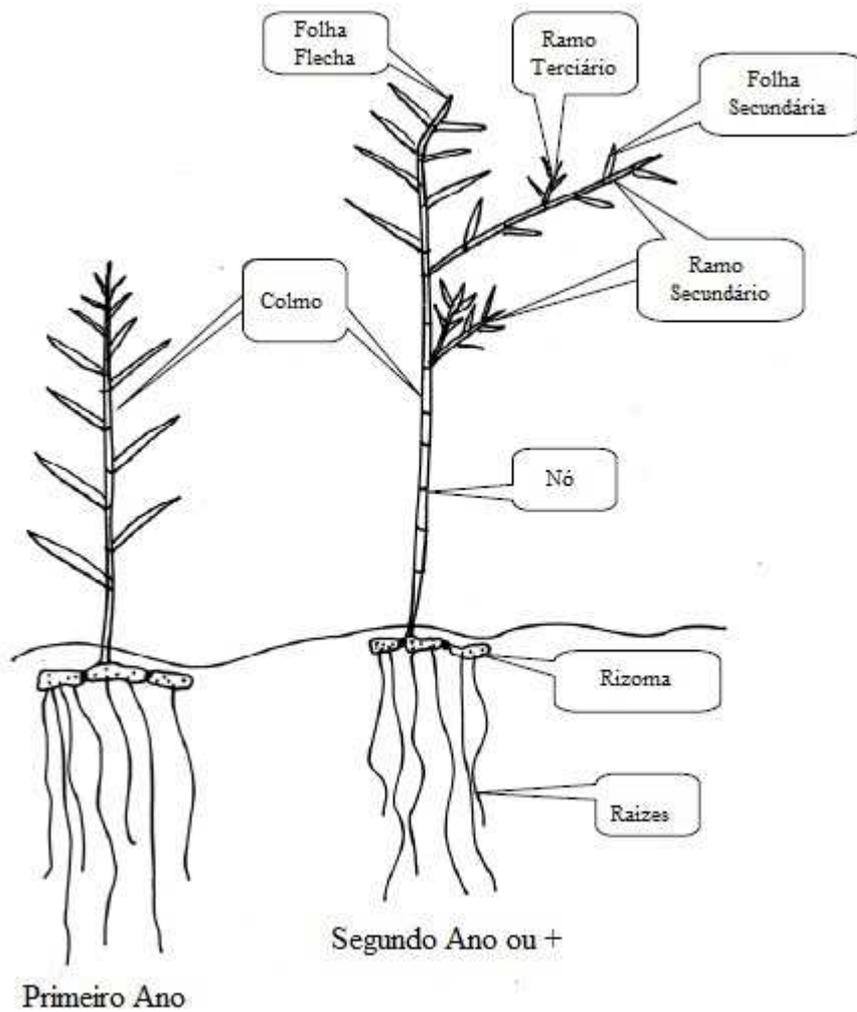


Figura 4. Ilustração da estrutura do primeiro e segundo ano ou mais da espécie *Arundo donax*. Desenho de J. Giessow. Fonte: Cal-IPC (2011) – modificado.

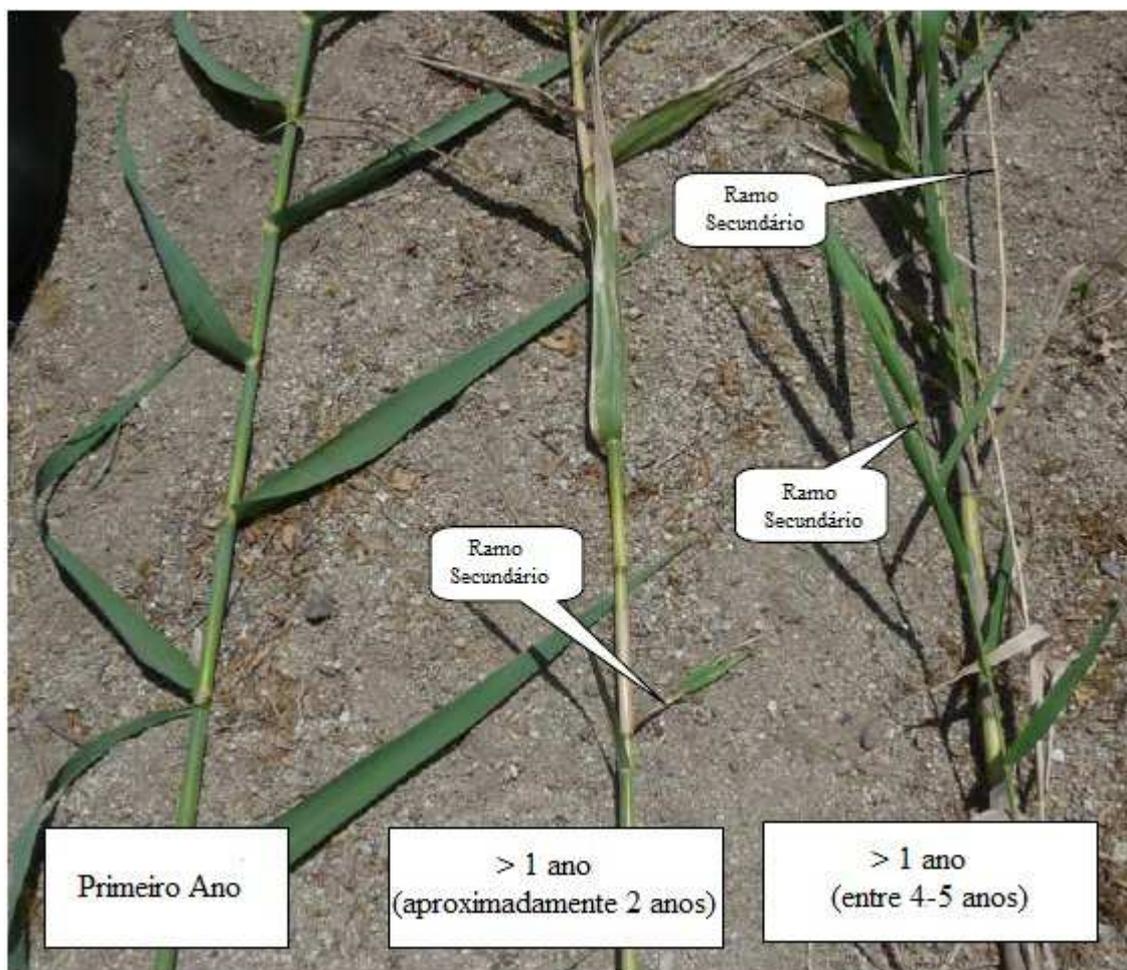


Figura 5. Imagem mostrando folhas e ramificações de indivíduos de *Arundo donax* em diferentes idades. Indivíduos mais velhos tem um número crescente de ramos e folhas secundários. Fonte: Cal-IPC (2011) – modificado.

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).

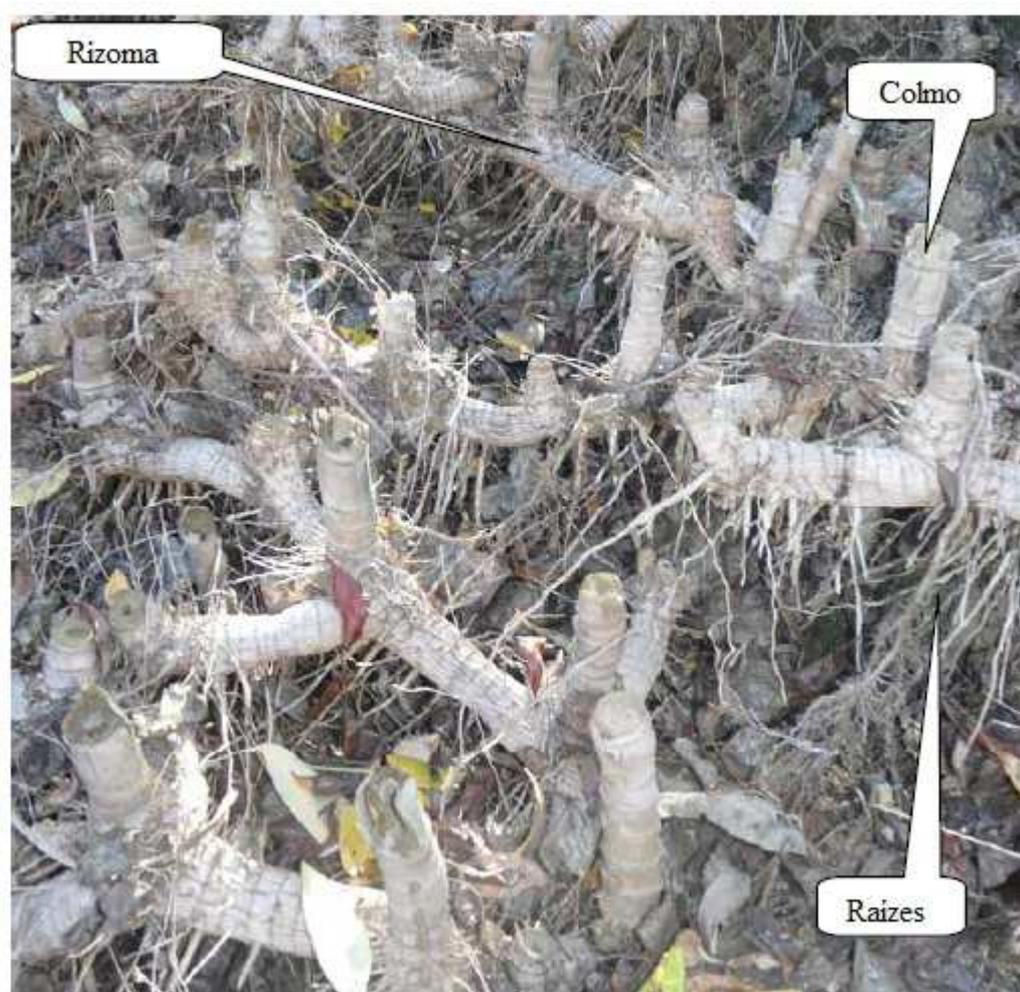


Figura 6. Imagem mostrando raízes, rizomas e colmos. Fonte: Cal-IPC (2011) – modificado.

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*, *Phothesdes 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)

são de fácil acesso e baixo custo. Eles proporcionam um controle eficaz da vegetação, degradam-se rapidamente no solo e tem baixa toxicidade em mamíferos (Giesy *et al.*, 2000; Williams *et al.*, 2000). A aplicação do herbicida tem mais sucesso quando feita durante, ou logo após, a floração dessa espécie (Bell, 1997). Aplicações posteriores, por até cinco anos, são geralmente necessárias para a erradicação (Guthrie, 2007). Os três principais métodos de aplicação de herbicidas são: pulverização foliar (pulverização do herbicida em folhas e caules sem corte), corte-e-spray (pulverização ou pintura do herbicida diretamente na superfície da haste cortada), e corte-rebrota-spray (corte das hastes permitindo rebrota, e pulverização com o herbicida nessas). Os riscos ecológicos do uso de glifosato são pequenos, especialmente quando comparados com os danos por ervas daninhas e plantas invasoras (Monheit, 2003).

Considerando que os fragmentos de rizoma deixados no solo rebrotam, o controle mecânico é eficaz somente se toda a massa do rizoma for removida, o que é quase impossível (Boose e Holt, 1999; Bromilow, 2001). Os três tipos principais de controle mecânico são a remoção física (utilizando ferramentas manuais ou equipamentos pesados), solarização do solo (que cobre hastes cortadas com lonas de plástico), e a queima prescrita ou pastagem. A solarização (Katan *et al.* 1987), também referido como *tarping*, envolve a colocação de uma tampa ou uma lona (folhas de plástico normalmente transparente ou preta) sobre a superfície do solo. Em teoria, o plástico provoca um aumento na temperatura do solo, matando as plantas, sementes, agentes patogênicos e insetos abaixo da lona (Tu *et al.*, 2001). A escuridão abaixo do plástico preto ainda impede a fotossíntese (Elmore, 1990). É uma técnica cara quando utilizada em grandes extensões de *Arundo donax*, e pode levar à erosão do solo após a remoção da lona.

A queima prescrita não é a mais bem sucedida das técnicas de controle físico, uma vez que os rizomas germinam logo após a queima, e pode até promover rebrota de *Arundo donax*

(EUA, 1993). A pastagem envolve treinamento de cabras ou gado para pastar apenas em *Arundo donax*. Essa espécie não é palatável para o gado (Wynd *et al.*, 1948), mas as cabras das raças Angora e espanhola são potenciais controles (Daar, 1983).

O controle mecânico geralmente resulta em alguma perturbação do solo, bem como pilhas indesejadas de biomassa. A biomassa é cara para remover e descartar, e deixando-a no local pode representar riscos de incêndio ou inundação, além de impedir a revegetação por espécies nativas, podendo ser quebrada ou cortada. Picadores de alta potência funcionam bem, mesmo em hastas verdes. O material é finamente cortado e apenas uma pequena quantidade de rebrota ocorre a partir de peças de maiores dimensões. A roçada é realizada utilizando um acessório de corte sobre um trator. É geralmente mais adequada para áreas mais densas, mas talhões velhos podem ser difíceis de manobrar. Sua limitação é relacionada a questões de terreno e ruído (Guthrie, 2007).

Cummins (1971) e Tracy e DeLoach (1999) listaram 48 espécies como potenciais controles biológicos para *Arundo donax*. Especificamente, há o besouro verde *Schizaphiz graminum* (Zuniga *et al.*, 1983) na África e/ou Eurásia, as lagartas *Phoethedes dulcis* na França e *Zyginidia guyumi* no Paquistão (Ahmed *et al.*, 1977), e uma mariposa *Diatraea saccharalis* em Barbados (Tracy e DeLoach, 1999). A vespa *Tetramesa romana* está sendo monitorada na Califórnia (Guthrie, 2007).

Capítulo III

Levantamento e mapeamento dos locais de ocorrência de *Arundo donax* L (CANA-DO-REINO) no Distrito Federal

As espécies invasoras estão causando danos inigualáveis aos ecossistemas, bem como um enorme custo econômico. Pimentel *et al.* (2000) estimaram que o número total de espécies introduzidas nos Estados Unidos, Reino Unido, Austrália, África do Sul, Índia, Brasil varia entorno de 2000 a 50.000 espécies. Dado o número de espécies que invadiram estas seis nações estudadas por esses autores, os mesmos estimaram-se que 480.000 espécies exóticas foram introduzidas nos mais variados ecossistemas da Terra. A extensão global e o rápido aumento das espécies invasoras causa a homogeneização da flora e fauna do mundo (Mooney e Hobbs, 2000) e é reconhecido como a principal causa de perda mundial da biodiversidade (Czech e Krausman, 1997; Wilcove e Chen, 1998). As espécies invasoras ameaçam o funcionamento ecológico, incluindo mudanças no regime de fogo, hidrologia, armazenamento de carbono, e dinâmica de nutrientes (Pimentel *et al.*, 2000). Depois da perda de habitat, devido à mudança de uso da terra, a invasão biológica é um dos principais contribuintes à perda local e global da biodiversidade, causando a extinção através da competição, hibridização, predação e alteração do habitat (D'Antonio, 1997). Esse fenômeno é generalizado, tem efeitos de longo alcance e pode ser considerado um importante componente de mudança global (Vitousek *et al.*, 1996). Um requisito fundamental para a gestão eficaz das espécies invasoras é a capacidade de delinear tanto a extensão espacial e quanto a gravidade da infestação (Ustin *et al.*, 2002).

Dessa forma, o requisito chave para o efetivo manejo de plantas invasoras é a habilidade de identificar, mapear e monitorar as invasões (DiPietro, 2000). A tecnologia de sensoriamento remoto tem recebido considerável interesse do campo de estudo da invasão

biológica nos últimos anos. É uma ferramenta que oferece vantagens bem documentadas, incluindo uma visão sinóptica, dados multiespectrais, cobertura multitemporal e uma boa relação custo/benefício (Soule e Kohm, 1989; Stoms e Estes, 1993; Van der Meer *et al.*, 2002). Hoje, é uma técnica amplamente aplicada na coleta e processamento de dados. Provou-se ser uma abordagem prática capaz de estudar complexos tipos de terreno geográficos, além de uma diversidade de ecossistemas. Ela fornece uma grande variedade de sistemas de sensores incluindo fotografias aéreas, sensores aéreos multiespectrais, imagens de satélite de baixa e alta resolução espacial e espectral, e medições terrestres baseadas em espectros (Joshi *et al.*, 2004).

A tecnologia de sensoriamento remoto tem muitos atributos que seriam úteis para detectar, mapear e monitorar espécies invasoras. A heterogeneidade espacial complica o estudo da sazonalidade e tendências de longo prazo do processo de invasão biológica. No entanto, sensoriamento remoto, com sua visão ampla, tem o potencial de oferecer informações relevantes sobre esse processo. A natureza multidata das imagens de satélite permite o monitoramento da dinâmica da paisagem e, portanto, proporciona um meio para detectar as mudanças de cobertura de terra e quantificar essas taxas de variação (Joshi *et al.*, 2004). Por esses motivos, a integração do Sistema de Informações Geográficas (SIG) com o sensoriamento remoto já foi aplicada com sucesso para mapear a distribuição de várias espécies de plantas e animais, seus ecossistemas, paisagens, condições bioclimáticas e factores que possibilitam o processo de invasão (Stow *et al.*, 1989; McCormick, 1999; Rowlinson *et al.*, 1999; Haltuch *et al.*, 2000; Stow *et al.*, 2000; Los *et al.*, 2002;).

O mapeamento de populações de plantas invasoras é fundamental para a gestão e monitoramento estratégico. É também essencial para a detecção precoce eficaz. Saber onde uma planta cresce atualmente é a base para saber onde pesquisar novas ocorrências (Cal-IPC,

2011). Por isso, a importância de se monitorar a localização de *Arundo donax* no Distrito Federal, Brasil.

Segundo Underwood e Ustin (2012), a utilização do sensoriamento remoto para identificar espécies de plantas invasoras requer algumas atenções a determinados pontos. Primeiro, o custo de dados, bem como o software e hardware necessários para os trabalhos são altos, particularmente para as formas mais recentes de imagens de alta resolução espacial e espectral, embora a tendência geral é para diminuição dos custos de imagens (Turner, *et al.* 2003). Em segundo lugar, o conhecimento técnico necessário para processar fotografias aéreas (interpretação de especialistas) de imagens hiperespectrais (processamento de imagem) é alto, e as técnicas de processamento para dados hiperespectrais ainda estão na fase de pesquisa e desenvolvimento. Terceiro, a capacidade de detectar espécies invasoras e a precisão com que a detecção pode ser conseguida varia entre os ecossistemas, por exemplo, a identificação de plantas invasoras, em sistemas de água doce é um desafio em comparação com os sistemas terrestres, pois espécies submersas são difíceis de distinguir da água quando presentes em baixa densidade, além disso, a turbidez da água a partir de sedimentos e/ou algas podem mascarar detecção (Underwood, *et al.* 2006). Aqui no Distrito Federal, a alta diversidade de gramíneas que ocorrem junto com *Arundo donax*, dificulta a separação automatizada da espécie pelos softwares de geoprocessamento, diferentemente do que ocorre nos Estados Unidos, onde alguns estudos já conseguiram separar essa espécie de outras vegetações por técnicas automatizadas (DiPietro, 2000; Ustin *et al.*, 2002; Cal-IPC, 2011; Yang *et al.*, 2012). Estudos estão sendo realizados no Distrito Federal para adaptação de algumas dessas técnicas automatizadas as realidades encontradas aqui no Cerrado. Porém, enquanto técnicas de sensoriamento remoto permite uma maior eficiência, eles nunca podem substituir completamente os trabalhos de campo. Os melhores resultados ocorrem geralmente

quando os dois dados: de campo e imagens de laboratório são usadas em conjunto. Os dados de campo fornecem informações para classificar e validar as classificações de imagem.

Esses mapeamentos manuais no campo ou por meio de fotos aéreas são técnicas comumente utilizadas nos esforços de erradicação e mapeamento de plantas invasoras, mas estes métodos são de trabalho intensivo e limitado, porém úteis para pequenas áreas e com a utilização de pessoal treinado (Di Pietro, 2000). E devido os objetivos dessa dissertação e as característica da área estuda, essas duas técnicas foram utilizadas nesse estudo.

3.1. Material e Métodos.

A identificação e mapeamento das populações da espécie *Arundo donax* presentes no Distrito Federal foram feitas durante o período de março de 2010 a outubro de 2012, dando ênfase no entorno de Unidades de Conservação presentes no Distrito Federal. Para isso foram combinados trabalhos de campo, utilizando o sistema de posicionamento global (GPS), e de laboratório, utilizando técnicas de Sensoriamento Remoto e do Sistema de Informação Geográfica (SIG).

Durante o período listado, as vias principais e secundárias do Distrito Federal foram percorridas de carro e todos os pontos de ocorrência de *Arundo donax* foram georreferenciados com o auxílio de um GPS (Modelo Garmin – eTrex®). Para o georreferenciamento utilizou-se coordenadas em grau decimal (UTM), datum SAD 69 e o locais de ocorrência da espécie localizaram-se nas zonas 23 e 22L. Após o georreferenciamento todos os pontos foram listados em uma planilha do Microsoft Excel® para sua posterior utilização no ArcGIS®, que é um pacote de softwares da ESRI (Environmental Systems Research Institute) de elaboração e manipulação de informações vetoriais e matriciais para o uso e gerenciamento de bases temáticas.

Com a utilização do ArcGis foram elaborados mapas com os locais de ocorrência de populações de *Arundo donax*, e utilizou-se para isso a base de dados da Agência de Desenvolvimento do Distrito Federal (TERRACAP), do Instituto Brasileiro de Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis (IBAMA) e do Laboratório de Sistemas Espaciais da Universidade de Brasília (LSIE – UnB). Foram utilizadas imagens de fotografia aérea. E, como os pontos presentes na zona 22L estavam a menos de 50Km da zona 23L inseriu-se todos na zona 23L sem problemas de distorção na imagem gerada.

A metodologia utilizada de georreferenciamento através da utilização de carro e GPS é facilmente aplicada, porém deve-se levar em consideração o tamanho da área a ser amostrada e as vias a serem percorridas. Com relação às vias que foram percorridas, optou-se pelas vias principais, secundárias e principalmente por aquelas que circundavam unidades de conservação presentes no Distrito Federal. Ressaltando que zonas rurais também foram amostradas. Já a utilização da ferramenta de sensoriamento remoto é totalmente viável e importante para a confecção de mapas de localização da espécie, assim como para monitoramentos futuros da mesma, para isso é necessário laboratório de geoprocessamento e pessoal treinado.

3.2. Resultados e Discussão.

Com relação aos mapas de distribuição da espécie *Arundo donax*, no Distrito Federal, Brasil, tem-se as seguintes considerações. A maior concentração da espécie está localizada na região central do Distrito Federal, distribuída nas áreas da Universidade de Brasília, nos bairros do Lago Norte e Sul, ao longo das rodovias L4, LE, EPIA, EPTG e Estrutural, no Setor Policial Sul, e nas mediações do Aeroporto Internacional de Brasília (Figura 11).

DISTRIBUIÇÃO DA ESPÉCIE INVASORA, *Arundo donax*, NO DISTRITO FEDERAL, BRASIL.

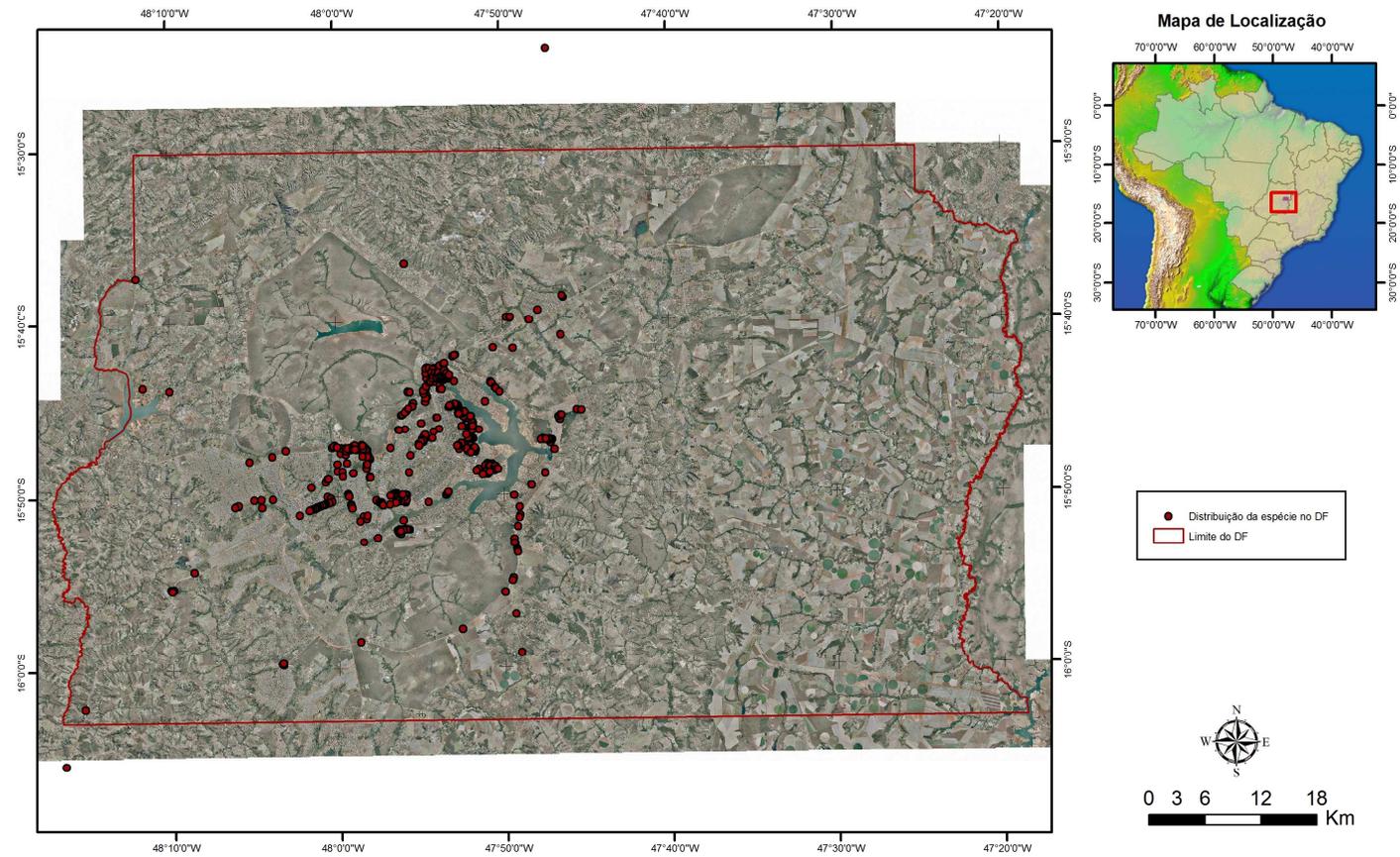


Figura 11. Mapa de distribuição da espécie invasora *Arundo donax*, no Distrito Federal, Brasil. Data do mapa: dezembro de 2012.

Observa-se, então, que na medida em que se afasta a região urbana central do Distrito Federal, diminui a ocorrência dessa espécie invasora e que é constante a presença dessa planta no campus Darcy Ribeiro da Universidade de Brasília.

A presença dessa espécie está relacionada a áreas antropizadas, tais como: rodovias, aterros, depósitos de entulhos e locais em obras. Uma hipótese para isso é que como essa espécie se reproduz vegetativamente ao serem utilizadas máquinas em locais com a presença das mesmas, essas máquinas podem estar levando material vegetativo e propagando a espécie em diferentes locais. Além disso, ela também estaria sendo levada junto com materiais que são indiscriminadamente descartados no Distrito Federal, seja solo retirado de construções, assim como os próprios resíduos da construção civil e lixo urbano (Figura 12).



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

Outra forma de disseminação da planta é a roçagem mecânica das mesmas, o que tem sido feito constantemente pelo Governo do Distrito Federal (GDF). Ao se roçar áreas com a presença dessa planta o que ocorre é um aumento no número de indivíduos no local, pois os colmos cortados e os rizomas irão originar novas plantas (Figura 13).



Figura 13. Imagem de uma população de *Arundo donax* posteriormente a uma roçagem mecânica em uma área localizada ao lado do Aeroporto de Brasília, Distrito Federal. (a) e (b) mostram a emergência 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).

Uma vez presente em um determinado local, *Arundo donax* cresce e se difunde lateralmente. A propagação lateral ocorre principalmente através do crescimento lateral do rizoma e brotação, (Figura 14) formando novos colmos ou indivíduos na colônia assexuada. (Decruyenaere e Holt, 2005). Além disso, o colmo de *Arundo donax* pode quebrar/curvar,

tocar a superfície do solo e, se as condições são favoráveis (água e/ou sedimentos cobrindo um nó) um novo broto pode se formar, desenvolvendo novo colmo ou indivíduo (Boland 2006).



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

Considerando que os fragmentos de rizoma deixados no solo rebrotam, o controle mecânico é eficaz somente se toda a massa do rizoma for removida, o que é quase impossível (Boose e Holt, 1999; Bromilow, 2001). Assim, ao se utilizar dessa técnica o GDF ao invés de auxiliar no combate e erradicação das plantas, está na verdade auxiliando e favorecendo a sua disseminação.

Quando se analisa a presença da espécie nas proximidades das principais Unidades de Conservação (UC) do Distrito Federal, observa-se uma grande quantidade da mesma próxima ao Parque Nacional de Brasília (Figura 15 e 16), ressaltando que existe uma ocorrência da mesma dentro dessa UC, na área da cascalheira próxima ao centro de visitantes (Martins, *et. al.* 2007). Tal levantamento é importante para possíveis tomadas de decisões pelos órgãos governamentais brasileiros, tanto para o manejo dessa espécie como forma de evitar a sua

entrada de novos indivíduos dessa espécie nessa UC, assim como para diminuir e/ou evitar a propagação da mesma.

Ressalta-se que todas as áreas agrícolas do DF foram percorridas, tanto em pista pavimentada, quanto em estrada de chão, e essa espécie não foi encontrada nessas regiões, com exceção de pontos localizados na pista de acesso a Região Administrativa de Brazlândia, que possui algumas áreas rurais em sua extensão.

Um ponto importante é que nas proximidades do Parque Nacional de Brasília, na região do Torto, Lago Norte, EPIA Norte e Noroeste existem diversas áreas com a presença de entulho, ou locais de bota fora da construção civil (Figura 17 e 18). Nesses locais está ocorrendo uma grande proliferação de *Arundo donax*, devido à forma inadequada de deposição desses materiais que acabam levando fragmentos dessa espécie, que encontra nesses locais boas condições para crescimento e proliferação.

DISTRIBUIÇÃO DA ESPÉCIE INVASORA, *Arundo donax*, NO DISTRITO FEDERAL, BRASIL.

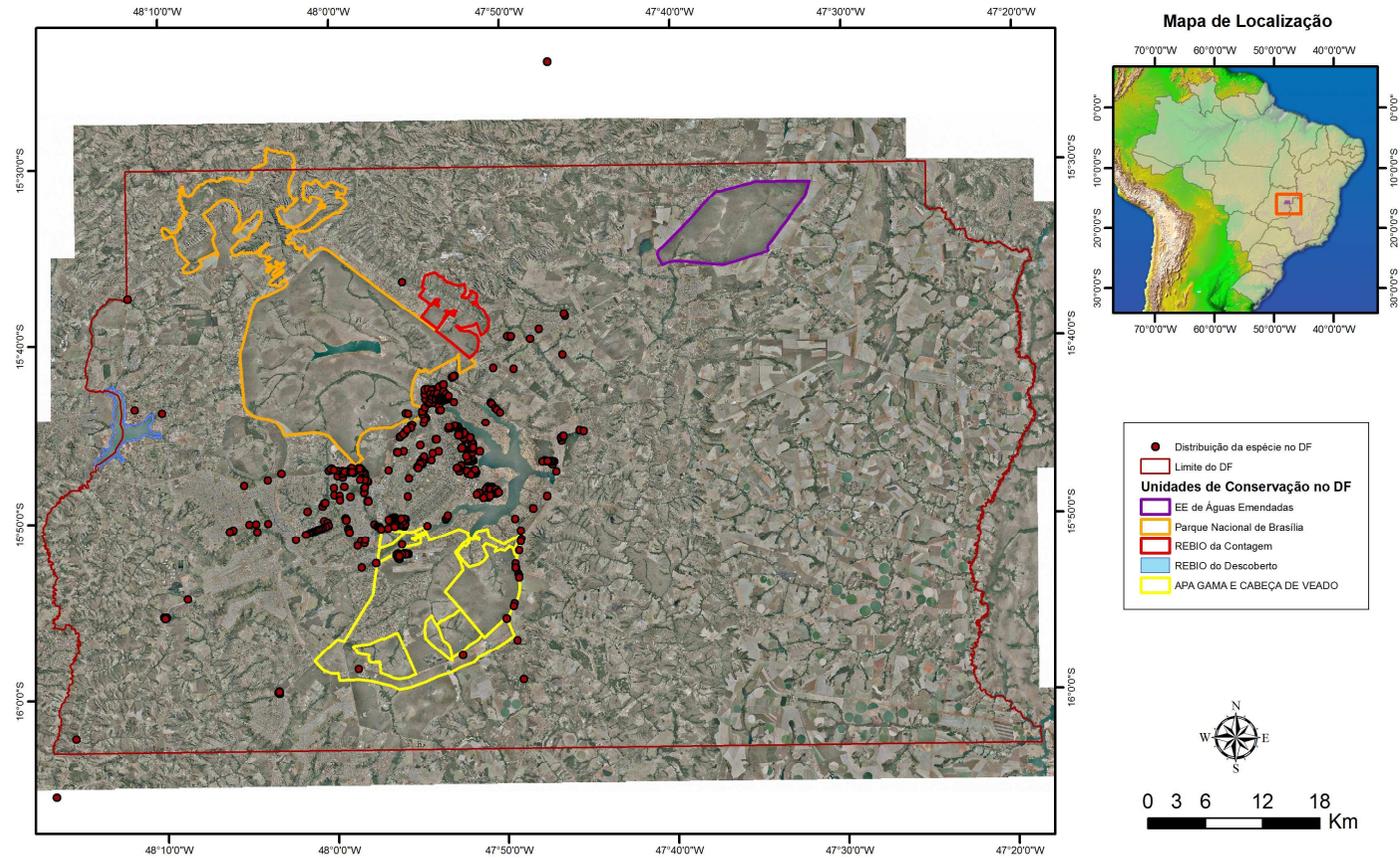


Figura 15. Distribuição da espécie invasora *Arundo donax*, com relação as Unidades de Conservação no Distrito Federal, Brasil. Data do mapa: dezembro de 2012.

DISTRIBUIÇÃO DA ESPÉCIE INVASORA, *Arundo donax*, NO DISTRITO FEDERAL, BRASIL.



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.



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).



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).

Outros pontos de intervenção humana próximos ao Parque Nacional de Brasília e que possuem a presença de *Arundo donax* são o bairro do Noroeste e a região da cidade do Automóvel e Estrutural. O bairro do Noroeste é uma nova expansão da cidade de Brasília, nesse local ocorre atualmente uma intensa atividade da construção civil, com o revolvimento, remoção do solo e posterior remoção em outros locais, assim como a deposição de resíduos da própria construção civil (Figura 19).



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).

A presença de *Arundo donax* na região da cidade do Automóvel e Estrutural merece bastante atenção devido a sua proximidade com o Parque Nacional Brasília, não tirando a importância das outras áreas próximas a essa Unidade de Conservação que possui essa espécie de planta. Tanto a Cidade do Automóvel, quanto a Estrutural margeiam a cerca do Parque Nacional de Brasília, e em ambos, lotes vazios, com entulhos e solo revolvido favorecem a presença de *Arundo donax*. Inclusive essa espécie invasora já possui ocorrência em alguns pontos dessa região (Figura 20).

DISTRIBUIÇÃO DA ESPÉCIE INVASORA, *Arundo donax*, NO DISTRITO FEDERAL, BRASIL.

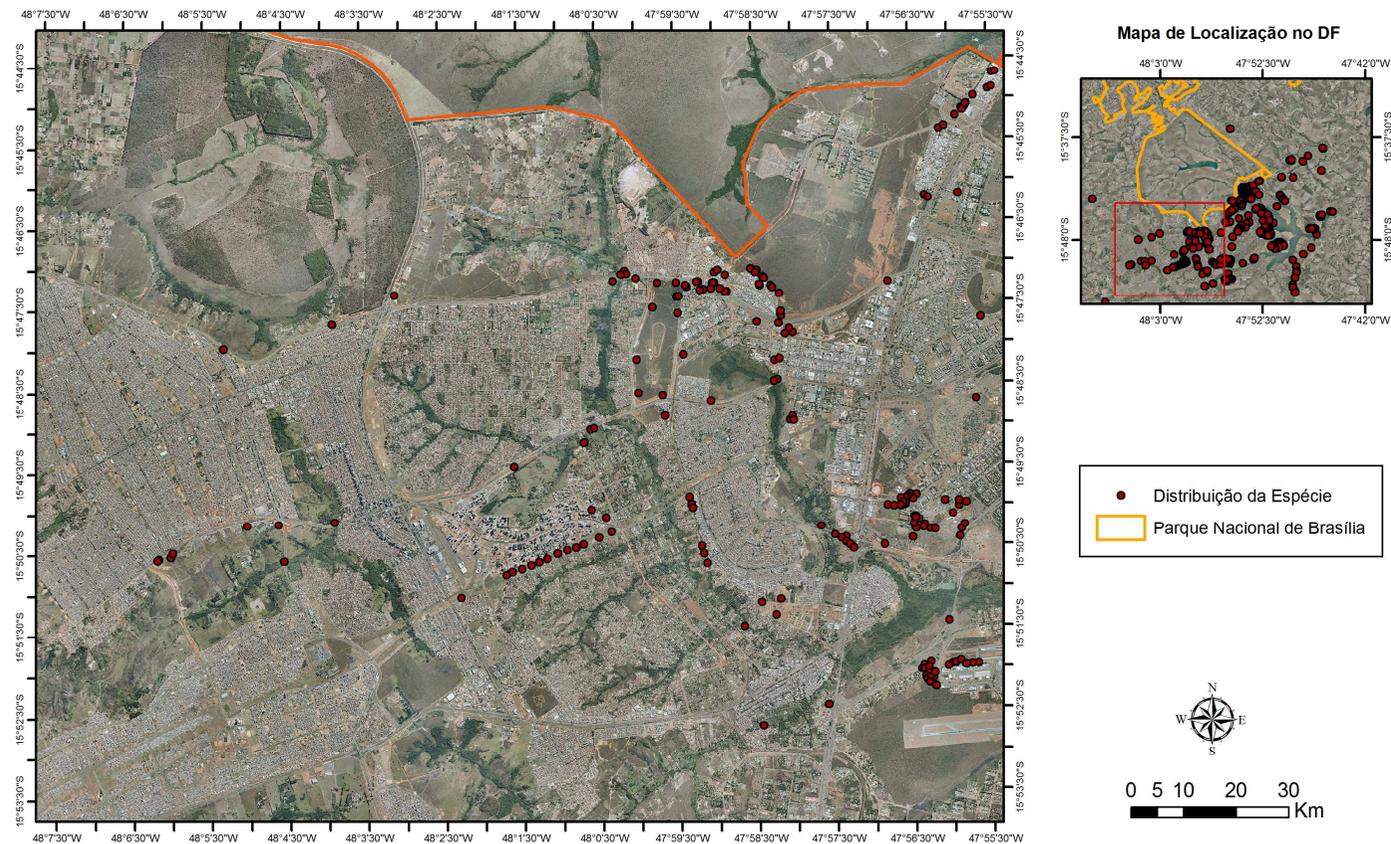


Figura 20. Distribuição da espécie invasora *Arundo donax*, nas proximidades do Parque Nacional de Brasília (região da Cidade do Automóvel, Estrutural e outras) no Distrito Federal, Brasil. Data do mapa: dezembro de 2012.

Ressalta-se que 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). 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). Dessa forma, observa-se que no Distrito Federal a intervenção humana tem sido um importante fator no estabelecimento de *Arundo donax*.

Essa dispersão auxiliada pela intervenção humana também foi observada por Haddadchi *et al.* (2012). Esses autores concluíram alguns mecanismos pelos quais *Arundo donax* tem se dispersado no sudeste da Austrália: o transporte de propágulos vegetativos ao longo dos rios (até 200 km de distância da planta de origem), indicando que os rios servem como um corredor de dispersão eficaz para expansão dessa espécie; a dispersão de um genótipo entre bacias hidrográficas através de veículos ou máquinas agrícolas; e por fim, a dispersão de indivíduos, usados como ornamentais, de viveiros.

Existem outras Unidades de Conservação no Distrito Federal que possuem a ocorrência dessa espécie invasora em suas proximidades, tais como: o Jardim Botânico de Brasília, a Reserva Ecológica do IBGE, a Fazenda Água Limpa, ressaltando que a FAL não é

uma UC, (Figura 21) e REBIO do Rio Descoberto (Figura 22). Essas três primeiras áreas formam um mosaico que integram a APA Gama Cabeça de Veado, sendo importantes para a conservação da biodiversidade local. A presença dessa invasora nessa região está relacionada mais uma vez com áreas antropizadas por criação de estradas, aterros, construções de novos bairros, presença de condomínios, além da disposição inadequada de resíduos. Inclusive ocorre a presença de *Arundo donax* na divisa do Jardim Botânico de Brasília e da Reserva Ecológica do IBGE.

Ao se analisar a ocorrência do *Arundo donax* com o mapa de fitofisionomias do Distrito Federal, observa-se que a localização do mesmo se concentra em áreas de Cerrado, de campo e urbanas (Figura 23 a 25). Ressalta-se que várias áreas que o mapa de fitofisionomias denomina como cerrado e campo são antropizadas com a presença várias gramíneas invasoras, dentre elas o *Arundo donax*.

Nota-se que diferentemente de outros estudos realizados principalmente nos Estados Unidos (DiPietro, 2000; Ustin *et al.*, 2002; Cal-IPC, 2011; Yang *et al.*, 2012), ainda não foi observada no Distrito Federal a presença dessa espécie em grandes extensões de áreas ripárias. Foram observados 16 pontos de ocorrência dessa espécie em locais com presença de água (tabela 1 e Figura 26).

Tabela 1. Pontos de Localização de *Arundo donax* em locais com presença de água no Distrito Federal.

Localização dos Pontos	Coordenadas UTM	
1. Parque Olhos D'água	190759	8256802
2. DF 080/Ponte do Descoberto	800315	8270812
3. Ponte do Braqueto	189613	8258644
4. CAESB - ETE Sul	188403	8246598
5. Clube Nipo	190308	8247356
6. Estrutural	821229	8252495
7. Águas Claras (ponte)	820161	8248697
8. Ceilândia/Taguatinga	814427	8247033
9. Samambaia	813244	8246187
10. EPIA Norte	188134	8258916
11. EPTG	181733	8250084
12. Guará	181069	8244503
13. Metropolitana	181496	8242249
14. Córrego do torto	190046	8261352
15. Condomínios em Sobradinho	196977	8266281
16. Lago Sul	197581	8247369

DISTRIBUIÇÃO DA ESPÉCIE INVASORA, *Arundo donax*, NO DISTRITO FEDERAL, BRASIL.

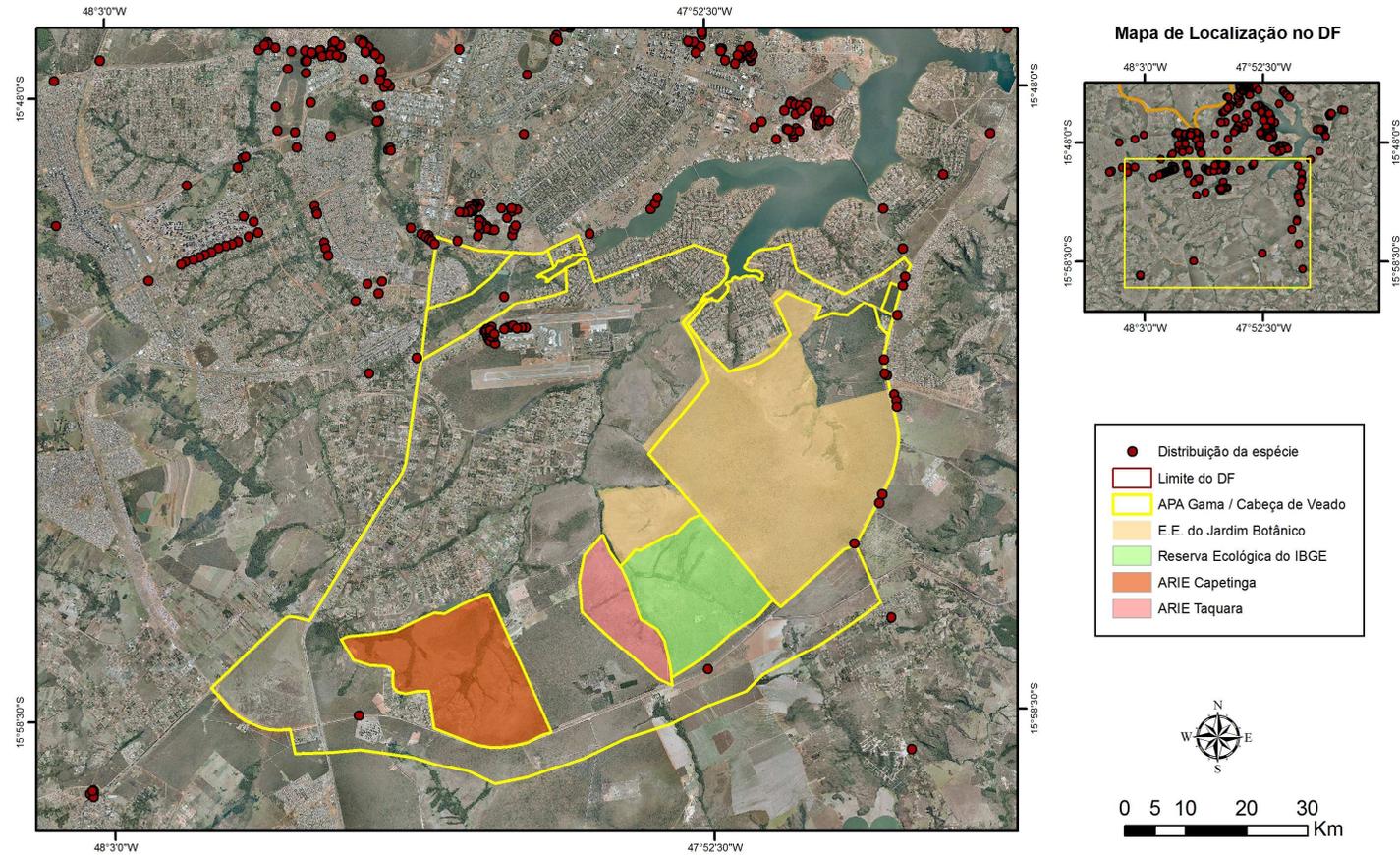


Figura 21. Distribuição da espécie invasora *Arundo donax*, nas proximidades da APA Gama Cabeça de Veado, no Distrito Federal, Brasil. Data do mapa: dezembro de 2012.

DISTRIBUIÇÃO DA ESPÉCIE INVASORA, *Arundo donax*, NO DISTRITO FEDERAL, BRASIL.

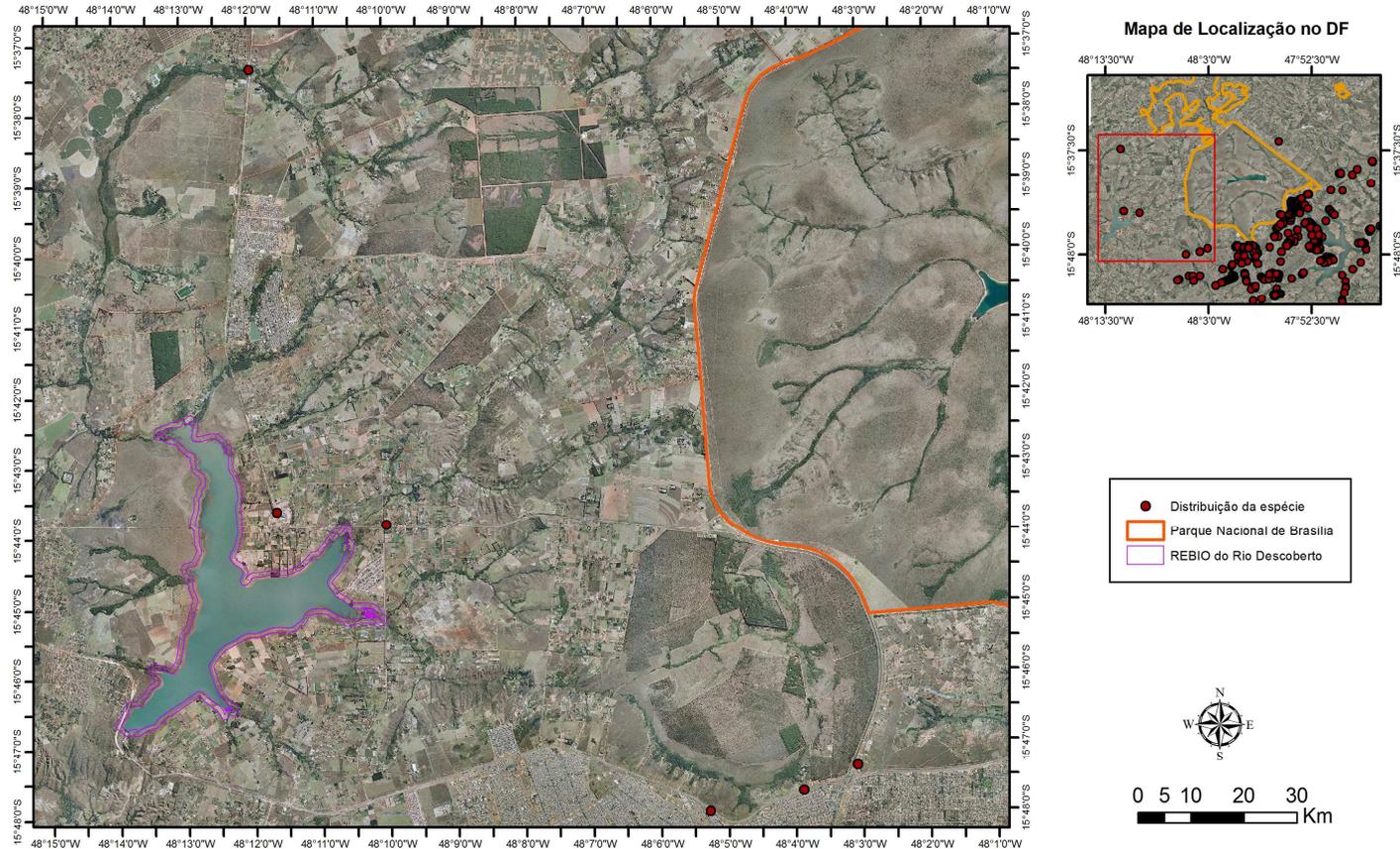


Figura 22. Distribuição da espécie invasora *Arundo donax*, nas proximidades da REBIO do Rio Descoberto, no Distrito Federal, Brasil. Data do mapa: dezembro de 2012.

MAPA DE USO DO SOLO COM A DISTRIBUIÇÃO DA ESPÉCIE, *Arundo donax*, EM BRASÍLIA, BRASIL.

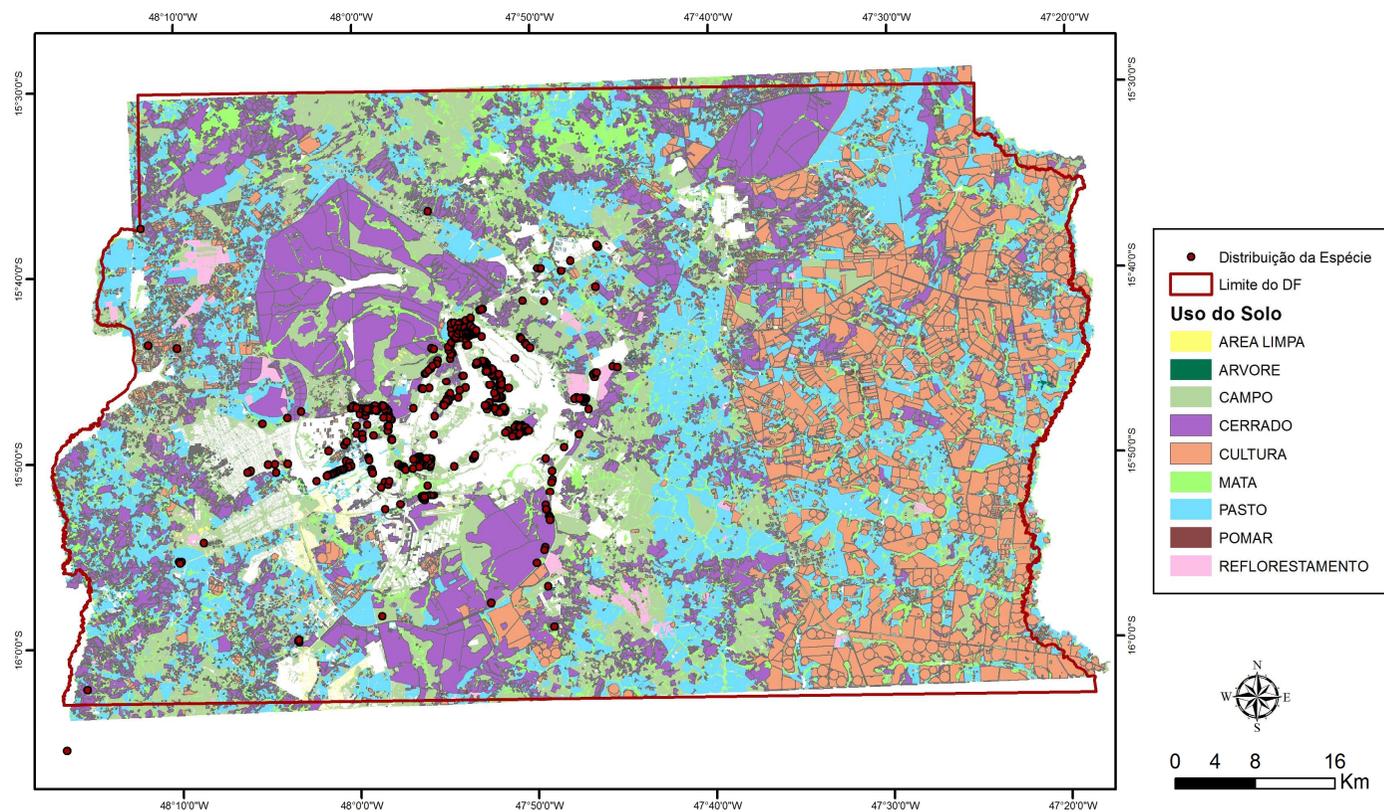


Figura 23. Distribuição da espécie invasora *Arundo donax* com relação às fitofisionomias presentes no Distrito Federal, Brasil. Data do mapa: dezembro de 2012.

MAPA DE USO DO SOLO COM A DISTRIBUIÇÃO DA ESPÉCIE, *Arundo donax*, NO DISTRITO FEDERAL, BRASIL.

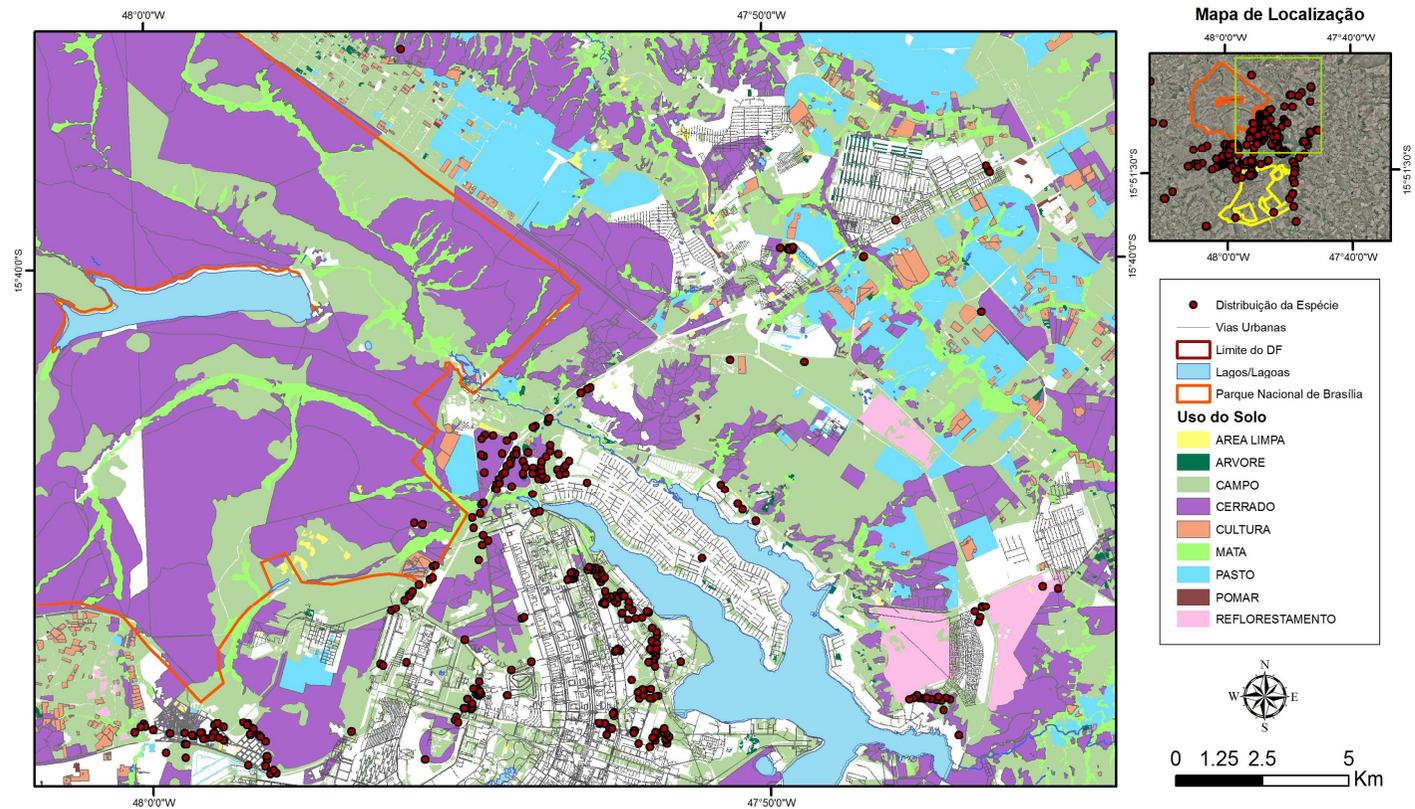


Figura 24. Distribuição da espécie invasora *Arundo donax* com relação às fitofisionomias presentes no Distrito Federal, Brasil. Data do mapa: dezembro de 2012.

MAPA DE USO DO SOLO COM A DISTRIBUIÇÃO DA ESPÉCIE, *Arundo donax*, NO DISTRITO FEDERAL, BRASIL.

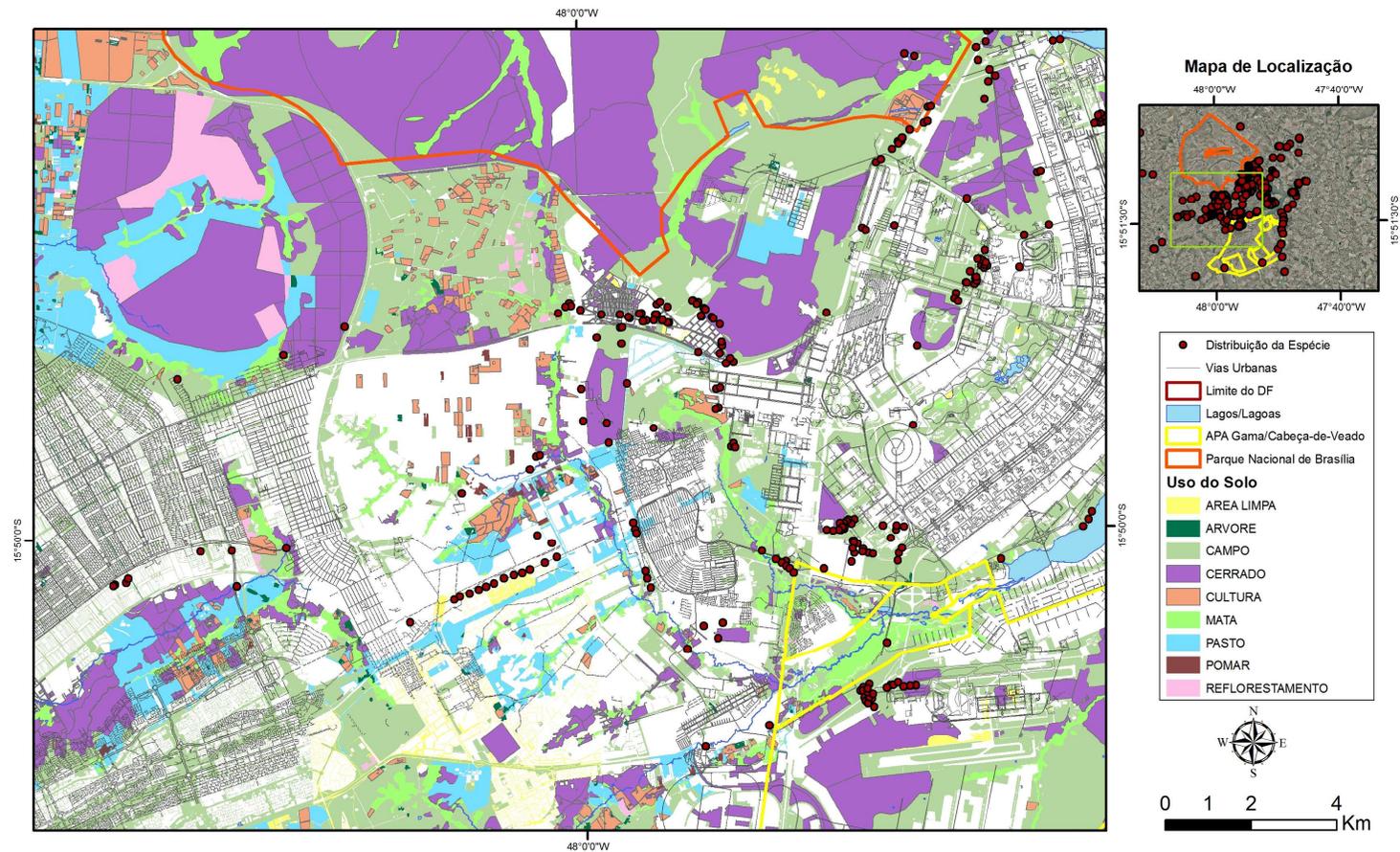


Figura 25. Distribuição da espécie invasora *Arundo donax* com relação às fitofisionomias presentes no Distrito Federal, Brasil. Data do mapa: dezembro de 2012.

DISTRIBUIÇÃO DA ESPÉCIE INVASORA *Arundo donax* EM LOCAIS COM PRESENÇA DE ÁGUA NO DISTRITO FEDERAL, BRASIL.

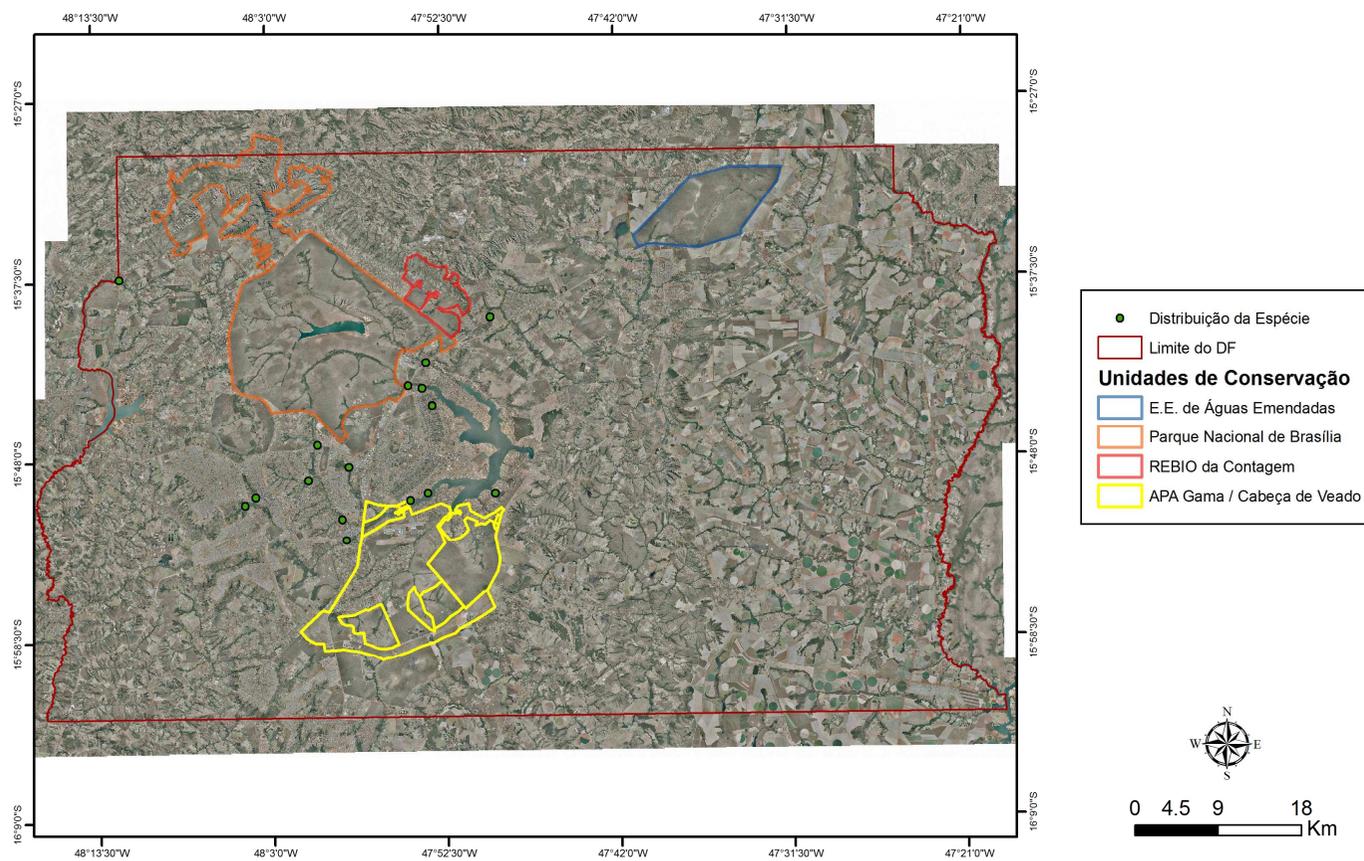


Figura 26. Distribuição da espécie invasora *Arundo donax* em locais com presença de água no Distrito Federal, Brasil. Data do mapa: dezembro de 2012.

A preocupação com a presença de *Arundo donax* em locais com presença de água se deve ao fato que essa espécie é dependente de reprodução assexuada. Novos indivíduos, assim como o crescimento de colônias dentro de uma bacia hidrográfica ocorrem através de propagação vegetativa. Isso acontece quando fragmentos de plantas, geralmente rizomas, se enraízam em novos locais e formam plantas separadas, sendo que essa dispersão geralmente ocorre durante inundações, quando as enchentes quebram os pedaços de plantas *Arundo donax* e os transportam a jusante (Else 1996, Decruyenaere e Holt, 2005). O estabelecimento de novas plantas dessa espécie invasora dentro de uma bacia é, portanto, limitada pela extensão do fluxo do rio e pela inundação da várzea. No entanto, fragmentos da mesma também podem ser movidos para novos locais dentro de uma bacia hidrográfica através de perturbação humana (Cal-IPC, 2011).

Vários estudos têm mostrado que qualquer segmento do colmo ou rizoma pode rebrotar se eles possuírem uma gema axilar (Else, 1996; Boose e Holt 1999, *Wijte et al.*, 2005). Inclusive, tanto o colmo, como os rizomas podem suportar certa quantidade de secagem e ainda germinar. A perda de umidade de 58,8% em rizomas e 36,5% nos colmos não afetou sua capacidade de rebrota (Else, 1996).

Else (1996) relatou que da reprodução vegetativa observada em *Arundo donax* através da dispersão pelas enchentes no rio Santa Margarita em São Diego, 57% era de rizomas, 33%, foi a partir de fragmentos do colmo, e para os restantes 7% a parte da planta que deu origem não pode ser identificada. Rizomas são frequentemente quebrados nas bordas dos barrancos dos cursos d'água quando ocorre enchentes ou o desbarrancamento (Brinke, 2010). Qualquer perturbação (natural ou causada pelo ser humano) que mobiliza o rizoma, levando-o para condições favoráveis de estabelecimento irá provavelmente resultar na propagação de *Arundo donax* (Cal-IPC, 2011).

Eventos de fluxo do curso d'água vão quebrando os rizomas em fragmentos ao longo das bordas do povoamento de *Arundo donax* e dispersando-os dentro de áreas de fluxo (Brinke 2010). Por esta razão, uma propagação significativa dessa espécie dentro de uma bacia hidrográfica é episódica e os fluxos alcançam formas geomórficas superiores (várzea e terraços) apenas durante grandes eventos. Esses grandes eventos hidrológicos mobilizam o material para a propagação vegetativa de *Arundo donax* de forma potencial. Já eventos de baixa vazão estão confinados a áreas de canal e novos estabelecimentos nesta área são geralmente removidos durante inundações posteriores. E a combinação de taxas de crescimento com eventos de dispersão em bacias hidrográficas, gera um alto padrão de expansão para essa espécie (Cal-IPC, 2011). Por esses motivos, é preocupante a presença dessa espécie em locais com água no Distrito Federal, pois se a mesma conseguir se estabelecer nesses locais, poderá ocasionar grandes impactos no ecossistema ripário.

Observa-se, então, que o levantamento realizado é pioneiro no levantamento da espécie *Arundo donax* no Distrito Federal, além de ser de importância para futuras estratégias de manejo, assim como para o monitoramento da expansão dessa espécie. Outro ponto importante é a presença dessa espécie em locais próximos as principais Unidades de Conservação do Distrito Federal e assim como em locais com presença de água, o que requer atenção por parte do governo local, e também dos órgãos gestores das Unidades de Conservação.

Além disso, é de suma importância para o controle dessa espécie que o Governo do Distrito Federal discipline e fiscalize a deposição de entulho, lixo e solo retirado principalmente de obras realizadas nessa Unidade da Federação. E que adote medidas de manejos mais eficazes para o seu controle, pois a roçagem mecanizada ao invés de resolver o problema está na verdade dispersando mais ainda a espécie.

Capítulo IV

Produção de sementes e análise de genética de populações de *Arundo donax* L (CANA-DO-REINO) no Distrito Federal

As gramíneas apresentam várias formas de reprodução, tanto sexuadas como assexuadas (cariópses, rizomas, estolões, perfilhos). Algumas espécies são propagadas pelo homem quase que exclusivamente de forma vegetativa, devido às dificuldades de obtenção de sementes de boa qualidade. Como exemplo, podemos mencionar a cana-de-açúcar (*Saccharum officinarum* L.), que só produz sementes em condições edafo-climáticas muito específicas, a grama-batatais (*Paspalum notatum* Flüggé) e a grama seda (*Cynodon dactylon* (L.) Pers.) que normalmente apresentam elevados índices de esterilidade de espiguetas (Carmona *et al.*, 1998).

Arundo donax é uma gramínea que se propaga assexuadamente a partir de rizoma ou de colmo, já que sua inflorescência não produz sementes férteis (Vasconcelos e Gomes, 2007). Segundo Cal-IPC (2011), as plantas *Arundo donax* localizadas na América do Norte não produzem sementes viáveis. Vários estudos na Califórnia determinaram que plântulas não estão presentes na natureza (Else 1996, Wijte *et al.*, 2005) e que as plantas que florescem não produzem sementes viáveis (Khudamrongsawat *et al.*, 2004). Estudos na Índia indicam que a esterilidade da semente *Arundo donax* é aparentemente causada pela falha na divisão da célula mãe do megásporo (Bhanwra *et al.*, 1982).

A aparente ausência de reprodução sexuada e a baixa diversidade genética esperada são vistas como características positivas ao se avaliar *Arundo donax* para sua adequação ao controle biológico clássico (Tracy e DeLoach, 1999). Em geral, as plantas invasoras que se reproduzem assexuadamente são melhor controladas por agentes biológicos do que as que se reproduzem sexuadamente (Burdon e Marshall, 1981), presumivelmente devido à falta de

variação genética adaptativa em populações assexuadas, o que limita a capacidade de desenvolver resistência a herbívoros ou a ataque de patógenos (Müller-Schärer e Steing, 2004).

A diversidade genética é tida como um fator importante para a invasora (Baker, 1965) e o processo de invasão (Barrett, 1992), bem como para a eficácia do controle biológico (Burdon e Marshall, 1981; Barrett, 1992). Em espécies invasoras, características como uma ampla tolerância ambiental, que foi adaptada a uma ampla variedade de habitats, assim como a variação de respostas a medidas de controle, foram atribuídas à diversidade genética (Burdon e Marshall, 1981). Além disso, a diversidade genética, um componente chave do processo de invasão, também tem sido sugerida como um fator de contribuição da integração nos novos ambientes (Barrett, 1992). Um nível elevado dessa diversidade pode também permitir que as espécies desenvolvam resistência a agentes de controle biológico (Burdon *et al.*, 1980). Porém, o controle biológico é promissor para as espécies invasoras que se reproduzem assexuadamente, pois essas espécies possuem uma probabilidade menor de desenvolver resistência (Botsford e Jain, 1992). Por esses fatores, são importantes estudos moleculares sobre as populações de espécies invasoras.

Dessa forma, as técnicas moleculares tornaram-se instrumentos essenciais no estudo genético de populações naturais de vários organismos. Entre elas está a técnica de DNA polimórfico amplificado ao acaso (*Random Amplified Polymorphic DNA – RAPD*), desenvolvida por um grupo de pesquisadores nos EUA (Williams *et al.*, 1990). E, na última década, marcadores moleculares multilocus, capazes de genotipagem ou DNA *fingerprinting* de indivíduos com elevada resolução, têm sido amplamente utilizados para a caracterização da variação genética em plantas invasoras (Saltonstall, 2003; Genton *et al.*, 2005; Williams *et al.*, 2005).

O marcador molecular RAPD é um método sensível, rápido, relativamente simples, que utiliza apenas um oligonucleotídeo arbitrário de 10 nucleotídeos, com pelo menos 6 citosina (C) ou guanina (G), e que revelam vários *loci* dispersos pelo genoma sem exigir conhecimento prévio da informação genética de sequências alvo. Embora algumas técnicas baseadas na reação da polimerase em cadeia (*Polymerase Chain Reaction – PCR*) produzam resultados satisfatórios utilizando-se DNA em pequenas quantidades e com algum grau de degradação (Reis *et al.*, 1995) outras, como o RAPD, exigem um DNA íntegro e sua grande vantagem é que pode ser usado para qualquer organismo. É por meio da técnica de PCR que a sequência única reconhece o DNA alvo, sendo então flanqueado por duas cópias da sequência de oligonucleotídeo. O resultado é um conjunto de bandas de DNA amplificadas de tamanho diferentes (Griffiths *et al.*, 1998).

As aplicações dos marcadores moleculares RAPD incluem: obtenção de impressões digitais (*fingerprintings*) de natureza genômica de indivíduos, variedades e populações; análise de estrutura de diversidade genética em populações naturais; definição das relações filogenéticas entre diferentes espécies; construção de mapas genéticos de alta cobertura genética; e a localização de genes (Ferreira e Grattapaglia, 1998).

As análises de RAPD apresentam algumas vantagens sobre a escolha das técnicas de DNA mitocondrial ou microssatélites que usam iniciadores específicos. Devido o uso de iniciadores curtos e de se basear na amplificação de DNA, as análises de RAPD não requerem um conhecimento prévio do genoma, trabalham com DNA de diferentes espécies e geralmente, amplificam multilocus que aparecem como um código de barras após a eletroforese em gel (Harry *et al.*, 1998).

As informações obtidas com o RAPD permitem estimar o grau de similaridade entre os indivíduos analisados, possibilitando a indicação de cruzamentos entre pares mais ou

menos divergentes, conforme o objetivo desejado e também, a determinação das relações filogenéticas entre populações ou espécies. Também é possível detectar-se marcadores específicos para raças ou espécies, de uma maneira simples e rápida, permitindo o desenvolvimento de protocolos para identificação da procedência de amostras e indivíduos (Grattapaglia *et al.*, 1992).

Em geral, a variação nos *locus* dos marcadores seletivamente neutros não reflete uma capacidade de mudança evolutiva adaptativa para agentes de controle biológico nas populações de espécies invasoras (Reed e Frankham, 2001; Müller-Schärer e Steing, 2004). Em vez disso, a evolução adaptativa depende da variação genética relacionada com características de aptidão, tais como: taxa de crescimento, fenologia e resistência a herbívoros (Lande, 1988). O grau e a estruturação da variação genética neutra indicam, no entanto, o número de introduções geográficas, as origens genéticas possíveis, e as vias de propagação dos genótipos invasores nos locais invadidos. Tal informação é importante na identificação de áreas para se procurar inimigos naturais que poderiam ser utilizados como agentes de controle biológico (Roderick e Navajas, 2003; Roderick, 2004) e, portanto, pode fornecer informações sobre a adequação do controle biológico clássico para uma espécie invasora.

Devido *Arundo donax* parecer ser obrigatoriamente clonal, a sua diversidade genética deve ser menor do que a de espécies de reprodução sexuada (Barrett, 1982). No entanto, muitas espécies que se reproduzem assexuadamente, ocasionalmente, apresentam reprodução sexual de modo a manter um nível significativo de diversidade genética (Khudamrongsawat *et al.*, 2004). Ellstrand e Roose (1987), Widén e *et al.* (1994), e Diggle e *et al.* (1998) fizeram uma revisão de literatura sobre a diversidade genética em populações de plantas clonais e encontraram quantidades substanciais de diversidade na maioria das espécies de plantas. Diferentes clones de plantas invasoras de reprodução assexuada também podem ter sido

introduzidos no seu novo habitat diversas vezes, resultando numa variação genética entre as populações. E a análise de diversidade genética em *Arundo donax* pode fornecer informações sobre a importância da invasão dessa espécie e o potencial de aplicação de controle biológico (Khudamrongsawat *et al.*, 2004).

4.1. Material e Métodos.

Para análise de produção de sementes, coletou-se um total de 180 pendões em 18 pontos diferentes do Distrito Federal. A escolha dos pontos foi feita com base no mapeamento realizado da distribuição da espécie, considerando também o espaçamento entre as populações encontradas no Distrito Federal e a presença de pendões (Figura 27). As coletas e análise das sementes, assim como a medição do tamanho dos indivíduos com pendões, foram realizadas durante o período de março a agosto de 2012, conforme a época de florescimento da planta no hemisfério Norte, que geralmente ocorre entre os meses de março e setembro (Cal-IPC, 2011). Ressalta-se, porém, que muitas plantas nem sempre florescem, ou pelo menos não em todos os anos (Else, 1996), e que não existem estudos fenológicos para essa espécie no Brasil. Existindo somente observações de campo realizadas durante a elaboração dessa dissertação, onde se constatou plantas dessa espécie florindo durante todo ano (de janeiro a dezembro).

LOCAIS DE COLETA DE PENDÕES DE *Arundo donax*, NO DISTRITO FEDERAL, BRASIL.

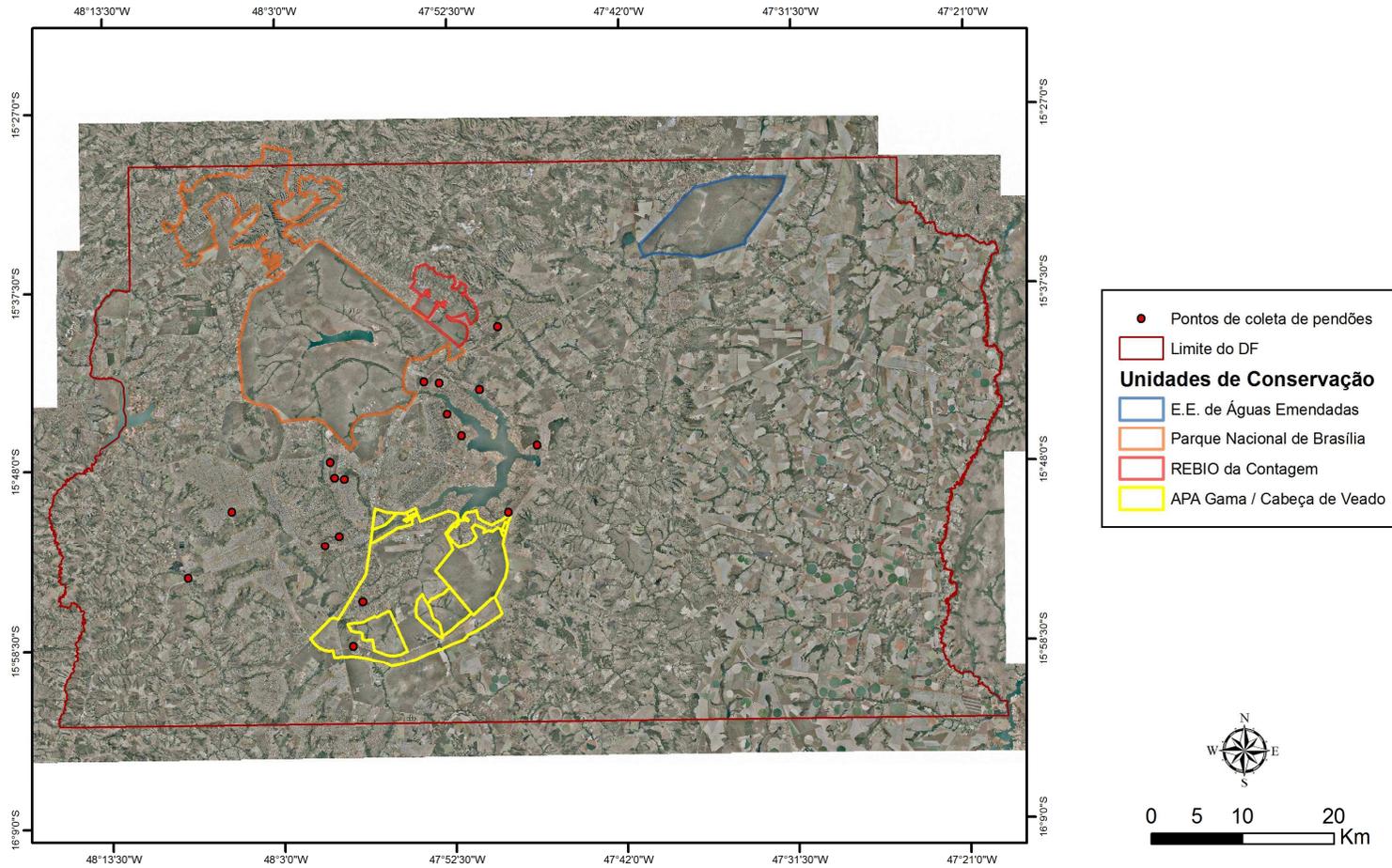


Figura 27. Locais de coleta de pendão de *Arundo donax*, no Distrito Federal, Brasil. Data do mapa: agosto de 2012.

A época de coleta também coincidiu com o momento em que aproximadamente a terça parte das espiguetas já havia se desprendido das inflorescências, de forma a coletar-se apenas as maduras, procedimento este bastante usual na colheita de sementes de gramíneas forrageiras (Brown, 1982).

Para mensurar a produção de espiguetas cheias e vazias, as inflorescências de *Arundo donax* foram conduzidas para o Laboratório de Ecologia Vegetal da Universidade de Brasília e postas para secar em temperatura ambiente. Foi realizado o processo de trilha (separação das espiguetas das inflorescências), além de uma amostragem conforme as regras para análise de sementes do Ministério da Agricultura (2009). Posteriormente, analisou-se com o auxílio de uma lupa a presença de espiguetas cheias e vazias (Figura 28).

Para a análise genética foram coletadas folhas novas de indivíduos de *Arundo donax* em sete pontos do Distrito Federal, selecionados conforme o mapeamento da distribuição da espécie realizado, e considerando também o espaçamento entre as populações (tabela 2 e Figura 29). Além dessas folhas de *Arundo donax*, foi coletada, como *out group*, folhas da espécie *Aristida torta*, que pertence a mesma subfamília de *Arundo donax*, no caso a subfamília Arundinoideae. Essa amostra de *Aristida torta* foi coletada na Reserva do IBGE no Distrito Federal, e cedida pelo Laboratório de Ecologia do Fogo da Universidade de Brasília que possui autorização para coletas dentro dessa UC. As coletas foram realizadas em agosto de 2012.

O DNA genômico total foi extraído de folhas jovens, no Laboratório de Genética Vegetal da Embrapa Recursos Genéticos e Biotecnologia, de acordo com o método descrito por Ferreira e Grattapaglia (1998). A concentração de DNA de cada amostra foi estimada por eletroforese em gel de agarose a 1% de concentração, comparando-se as intensidades de fluorescências de cada amostra corada com brometo de etídio com diferentes padrões de DNA

Lambda, e adicionalmente foram quantificadas utilizando o espectrofotômetro NanoDrop 1000 (Thermo Scientific) de acordo com as recomendações do fabricante. Foram feitas 2 extrações independentes para cada ponto amostrado, como forma de se observar possíveis contaminações.



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.

Tabela 2. Pontos de coleta, para análises genéticas, de folhas jovens de *Arundo donax*, no Distrito Federal, Brasil.

Localização dos Pontos	Coordenadas Geográficas	
1. Parque Nacional de Brasília	154401	475543
2. Sobradinho	154651	474727
3. Gama	155941	480323
4. Saída para Goiânia	155422	480840
5. Ceilândia	155035	480609
6. UnB	154602	475149
7. Paranoá	154651	474727

As reações de amplificação constaram de um volume final de 13 μL , contendo 1,30 μL de Tampão 10X, 0,25 μL de MgCl_2 ; 1,04 μL dNTPs, 1,04 μL de BSA, 2 μL de primer (10 μM) (Operon Technologies), 2,0 μL de DNA molde (2,5 ng/ μL), 0,2 μL de Taq polimerase e 4,17 μL de água miliQ, e foram conduzidas em placas de 96 poços em Termociclador com um pré- ciclo de 92°C, por cinco minutos, e mais 40 ciclos de 92°C, por um minuto, 35°C, por um minuto e, 72°C, por dois minutos e 30 segundos e, um ciclo final de extensão de 72°C, por cinco minutos.

Foram utilizados 13 oligonucleotídeos iniciadores (primers): OPA-08, OPE-06, OPE-11, OPE-19, OPF-09, OPF-10, OPF-16, OPG-06, OPK-17, OPL-01, OPL-08, OPM-12 e OPN-01.

Os produtos de amplificação originários das reações de RAPD foram separados em gel de agarose 1,5% (Sigma) submerso em tampão TBE 1X (Tris-borato 90 mM e EDTA 1 mM, Sigma) com brometo de etídio (5 μg . mL⁻¹) durante 3 h a 160 V. Ao término da corrida, os géis foram fotografados sob luz ultravioleta no comprimento de onda de 300 nm.

As fotos das amplificações realizadas com os oligonucleotídios selecionados foram utilizadas para a análise do polimorfismo entre os isolados analisados. Os fragmentos de DNA presentes nos géis foram considerados como marcadores RAPD. E, devido aos resultados encontrados, não foi necessária a elaboração de uma matriz de similaridade e dendograma.

LOCAIS DE COLETA DE *Arundo donax* PARA ANÁLISES GENÉTICAS NO DISTRITO FEDERAL, BRASIL.

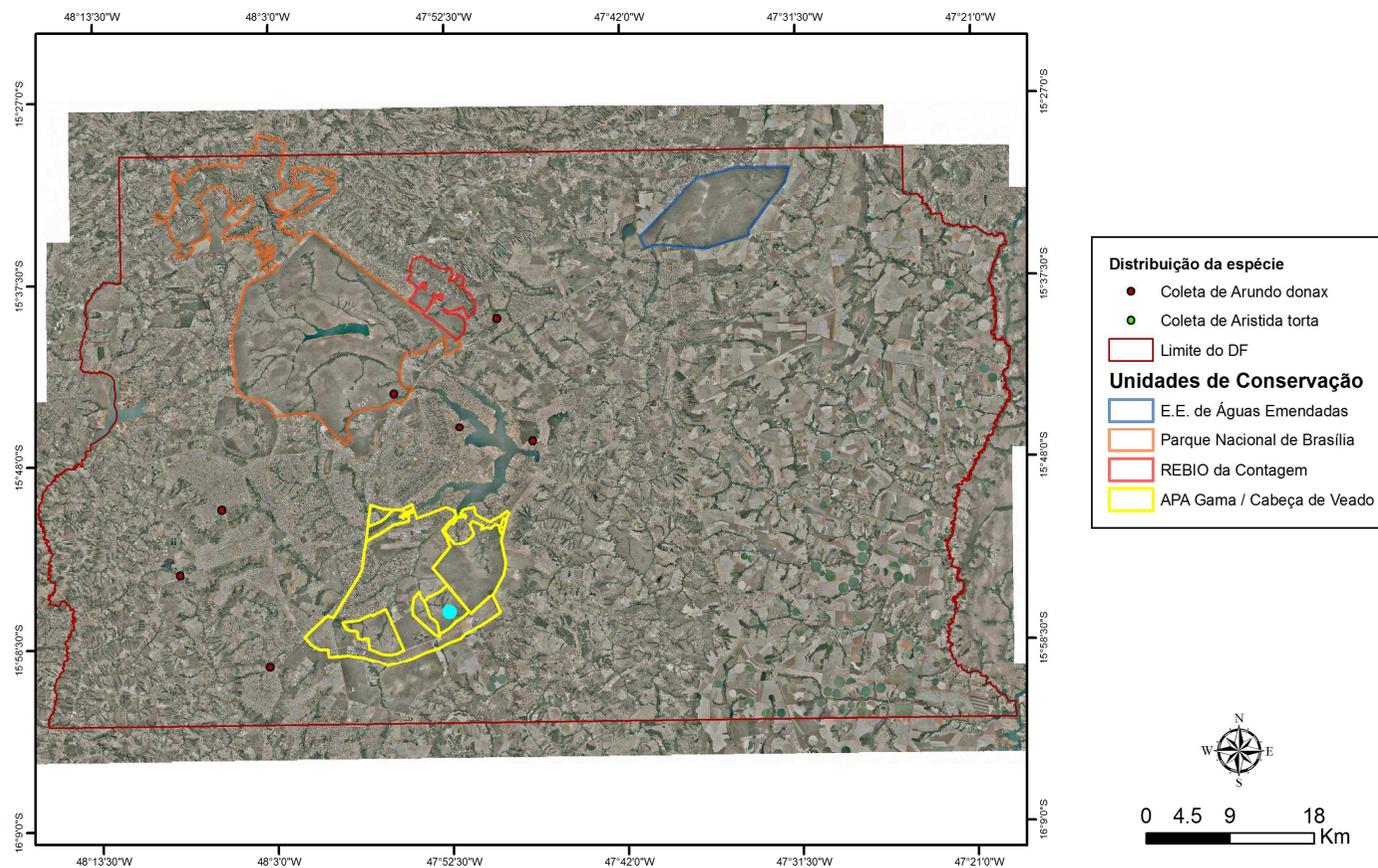


Figura 29. Locais de coleta, para análises genéticas, de folhas jovens de *Arundo donax*, e *Aristida torta*, no Distrito Federal, Brasil. Data do mapa: agosto de 2012.

4.2. Resultados e Discussão.

Após as análises, não foi encontrada nenhuma espigueta cheia, o que corrobora os trabalhos realizados nos Estados Unidos (Cal-IPC, 2011). E, conforme Perdue (1958), essa espécie não produz sementes viáveis na maioria das áreas onde foi introduzida, 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* nos locais onde ocorre como espécie nativa. E a reprodução sexual, bem como vegetativa têm sido relatadas para indivíduos nativos do Oriente Médio (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).

Haddadchi *et al.* (2012) estudaram a variação genotípica de *Arundo donax* em três rios no sudeste da Austrália. De acordo com esses autores, nenhuma semente em desenvolvimento ou madura foi detectada em plantas dessa espécie, e foi observado que as anteras maduras eram murchas e não produziam pólen. Esse estudo apresenta a falta de produção de pólen como a causa mais próxima da infertilidade, já a causa mais distante, é o nível de ploidia irregular apresentado por essa planta.

Com relação ao nível de ploidia dessa planta, tem se as seguintes considerações: o número básico de cromossomos de *Arundo donax* em área nativa na China é relatado em $x = 12$ (Liang e Phillips, 2006). No sudeste da Austrália, células somáticas de *Arundo donax* mostraram uma média contagem perto do número esperado dos heptaploides $2n = 7x = 84$ (Haddadchi *et al.*, 2012). Números elevados de ploidia ($2n = 60, 72, 108$ e 112) também são

relatados nas populações nativas do sul da Índia, do Mediterrâneo (Christopher e Abraham, 1971) e em populações invasoras dos EUA (Connor e Dawson, 1993). Na Itália, *Arundo donax* é relatado como sendo um tetraplóide (Mariani *et al.*, 2010). Os diferentes níveis de ploidia entre as populações estudadas no sudeste da Austrália, populações nativas e introduzidas, pode ser devido a: (a) condições diferentes de habitat ocupados por *Arundo donax* no mundo, (b) as histórias evolutivas diferentes entre os poliploides (Haddadchi *et al.*, 2012), (c) o processo de poliploidização por si só (Münzbergová, 2007), ou (d) o estado das espécies em faixas nativas e introduzidas (em extinção versus invasão, Pandit *et al.*, 2011). Uma falha na megasporogênese (Bhanwra *et al.*, 1982), ou no pólen e no desenvolvimento da célula ovo (Mariani *et al.*, 2010) têm sido associados a aborto de embriões e interrupção da produção de sementes nessa espécie (Haddadchi *et al.*, 2012).

As alturas dos indivíduos com pendão amostrados teve uma média de 4,98m , \pm 0,87m. O maior indivíduo tinha 7,08m e o menor 3,21m.

Com relação ao estudo de variabilidade genética, os 13 oligonucleotídeos testados apresentaram sucesso na amplificação dos fragmentos de DNA, e produziram um total de 196 fragmentos de amplificação. O número médio de marcadores por iniciador foi de 15,07 \pm 3,04, variando de 11 (OPE-11 e OPN-01) a 20 (OPG-06 e OPK-17) (tabela 3 e Figuras 30 a 34).

Ao se analisar os perfis eletroforéticos dos treze primers utilizados, observou-se, com base na análise de RAPD, que todas as amostras de *Arundo donax* (amostras de 1 a 14) eram geneticamente idênticas (clones), se diferenciando somente do *out group* (*Aristida torta* – amostras 15 e 16) (Figuras de 30 a 34). Ou seja, não foi encontrada, com a utilização do marcador molecular do tipo RAPD, uma variabilidade genética entre os indivíduos, e devido a essa falta de variação, não houve a necessidade de elaboração de um dendograma de

similaridade, já que os indivíduos são 100% idênticos, havendo falhas somente de amplificação, comuns em RAPD.

Tabela 3: Número total de fragmentos produzidos por 13 iniciadores de RAPD utilizados na análise genética de *Arundo donax* e *Aristida torta*. D. P. Desvio padrão.

Iniciador de RAPD	Fragmentos gerados por iniciador
OPA-08	13
OPE-06	15
OPE-11	11
OPE-19	16
OPF-09	13
OPF-10	13
OPF-16	15
OPG-06	20
OPK-17	20
OPL-01	19
OPL-08	15
OPM-12	15
OPN-01	11
Total	196
Média	15,07
D.P.	3,04

A semelhança genética encontrada em diferentes pontos do Distrito Federal demonstra que um único clone está sendo disperso nessa região, ou esse mesmo clone foi introduzido diversas vezes no Distrito Federal. Ressalta-se, que não há na literatura científica dados de quando, como e onde essa planta foi introduzida no Distrito Federal. Porém, a distribuição e o padrão genético encontrado indicam ser uma introdução recente. Lembrando que a mesma ainda não é encontrada em todos os pontos do DF, se concentrando em algumas regiões.

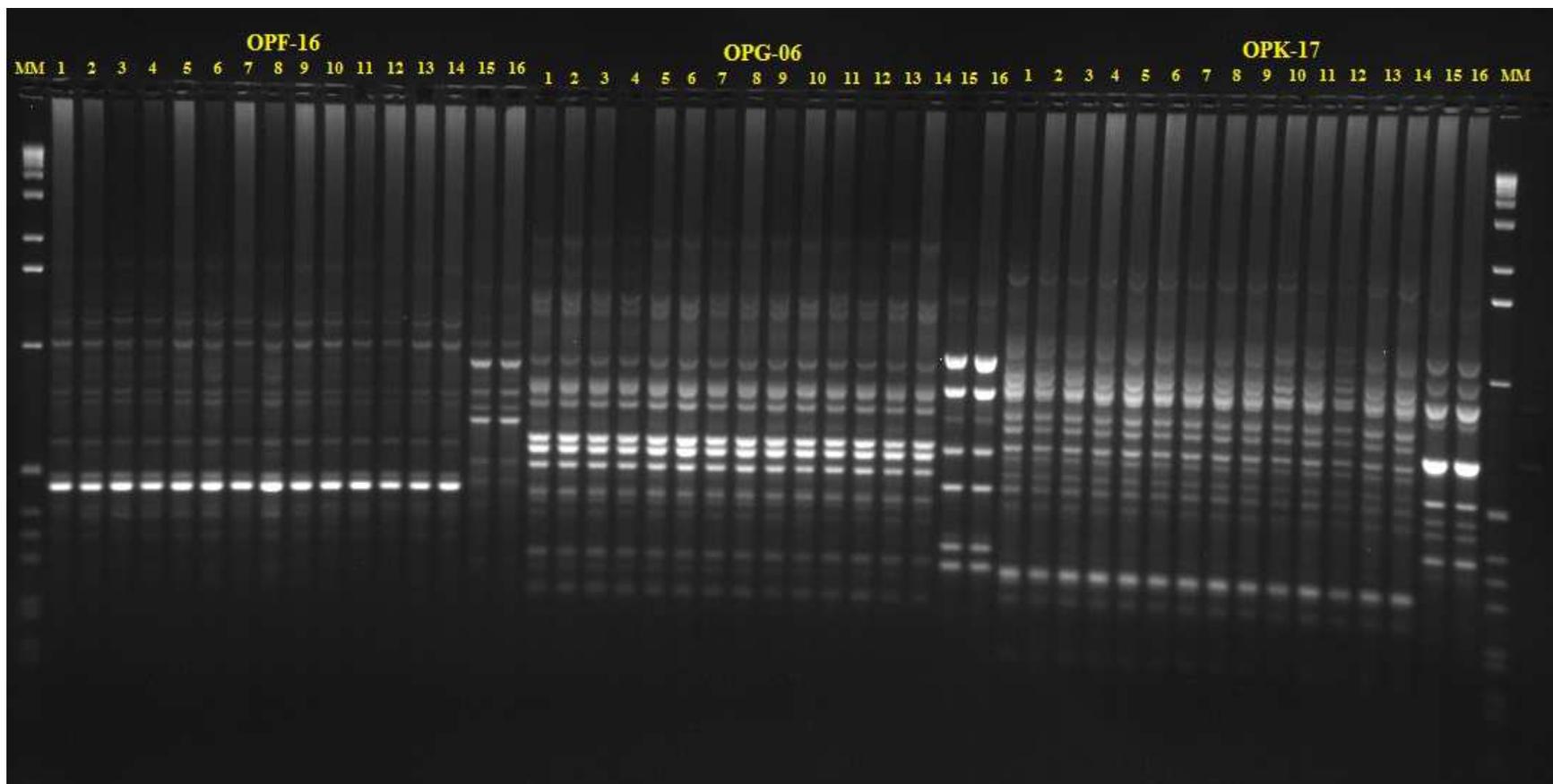


Figura 30. Perfil eletroforético de RAPD com os oligonucleotídeos OPF-16, OPG-06 e OPK-17, em gel de agarose 1,5%, dos indivíduos de *Arundo donax* e *Aristida torta*. A sigla MM indica o marcador molecular 100pb ladder (Gibco). Cada local amostrado no Distrito Federal, Brasil, corresponde aos seguintes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

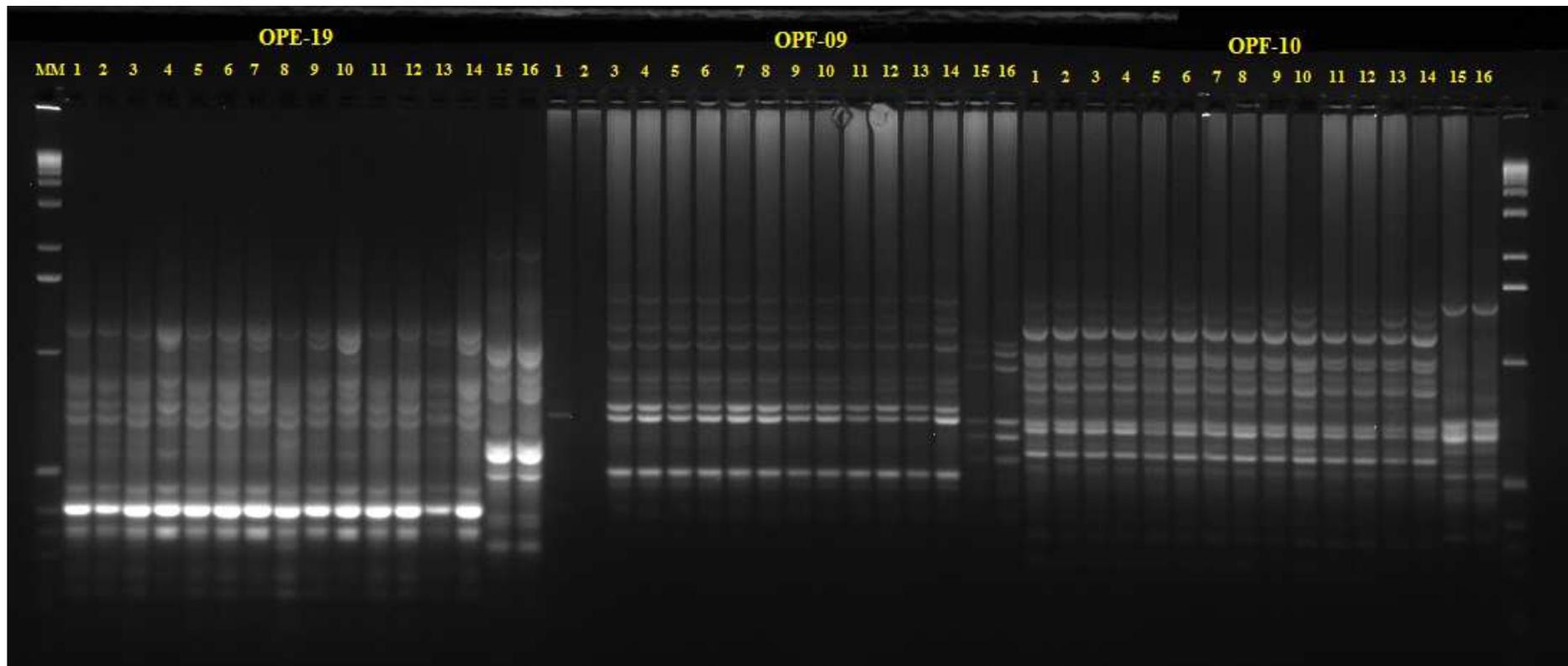


Figura 31. Perfil eletroforético de RAPD com os oligonucleotídeos OPE-19, OPF-09 e OPF-10, em gel de agarose 1,5%, dos indivíduos de *Arundo donax* e *Aristida torta*. A sigla MM indica o marcador molecular 100pb ladder (Gibco). Cada local amostrado no Distrito Federal, Brasil, corresponde aos seguintes 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.

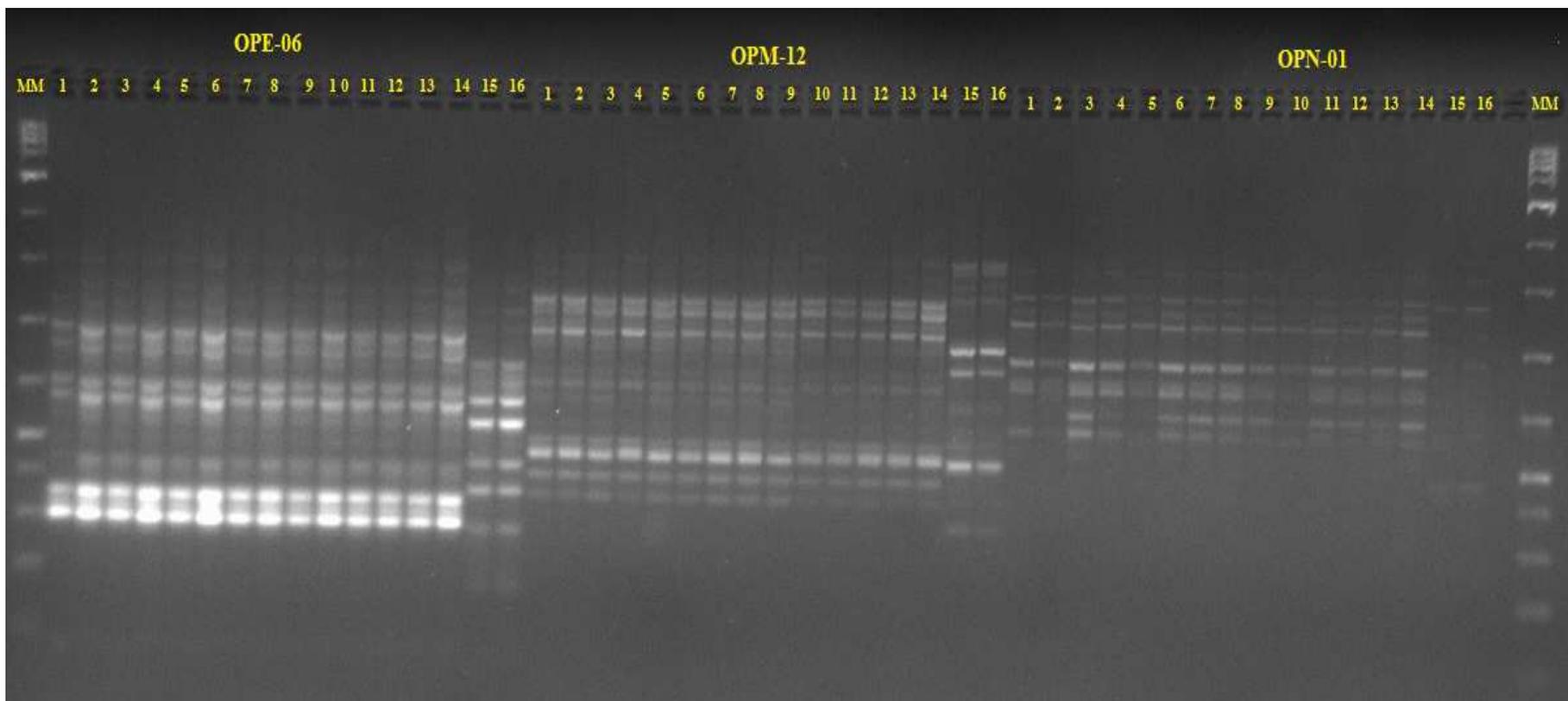


Figura 32. Perfil eletroforético de RAPD com os oligonucleotídeos OPE-06, OPM-12 e OPN-01, em gel de agarose 1,5%, dos indivíduos de *Arundo donax* e *Aristida torta*. A sigla MM indica o marcador molecular 100pb ladder (Gibco). Cada local amostrado no Distrito Federal, Brasil, corresponde aos seguintes 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.

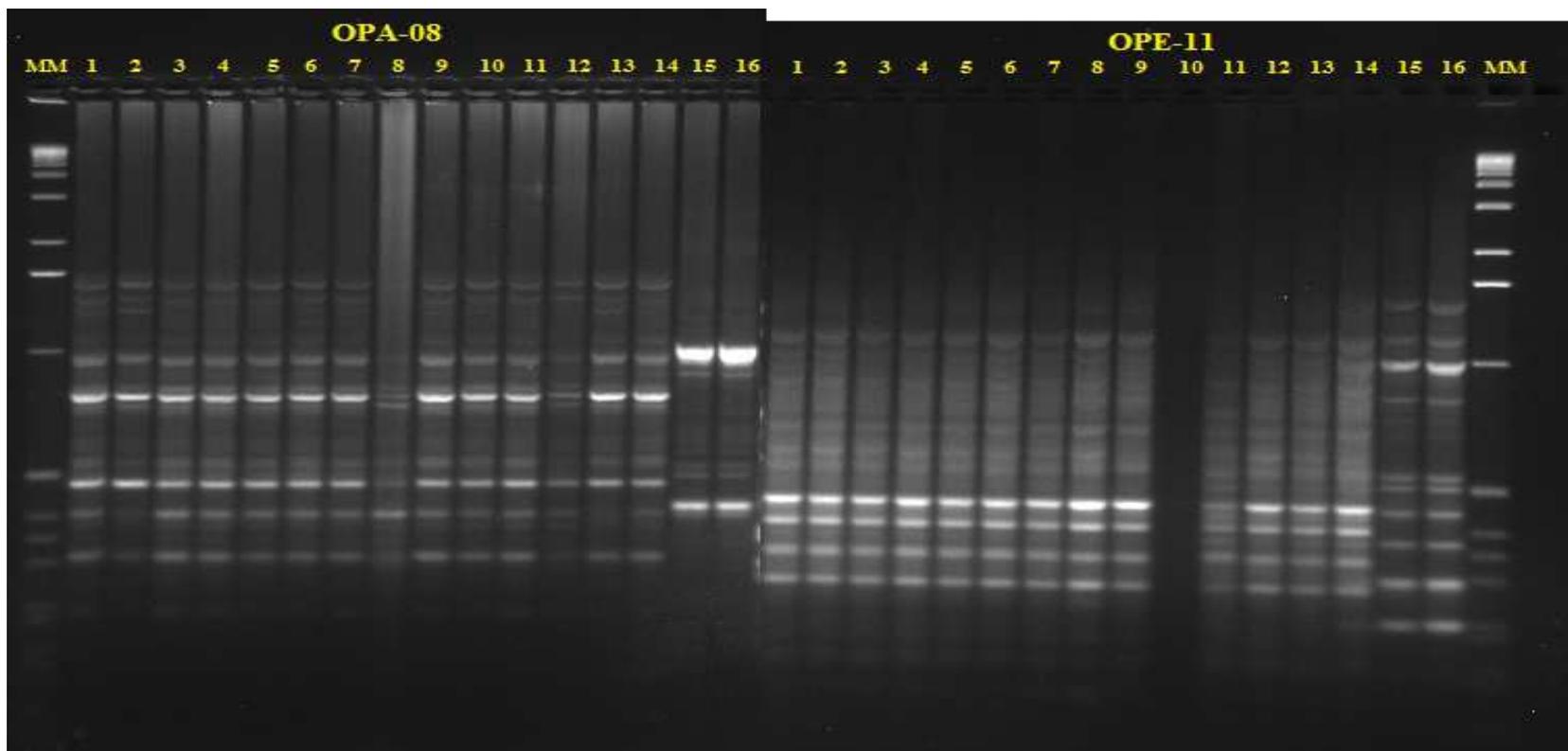


Figura 33. Perfil eletroforético de RAPD com os oligonucleotídeos OPA-08 e OPE-11, em gel de agarose 1,5%, dos indivíduos de *Arundo donax* e *Aristida torta*. A sigla MM indica o marcador molecular 100pb ladder (Gibco). Cada local amostrado no Distrito Federal, Brasil, corresponde aos seguintes números: 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.

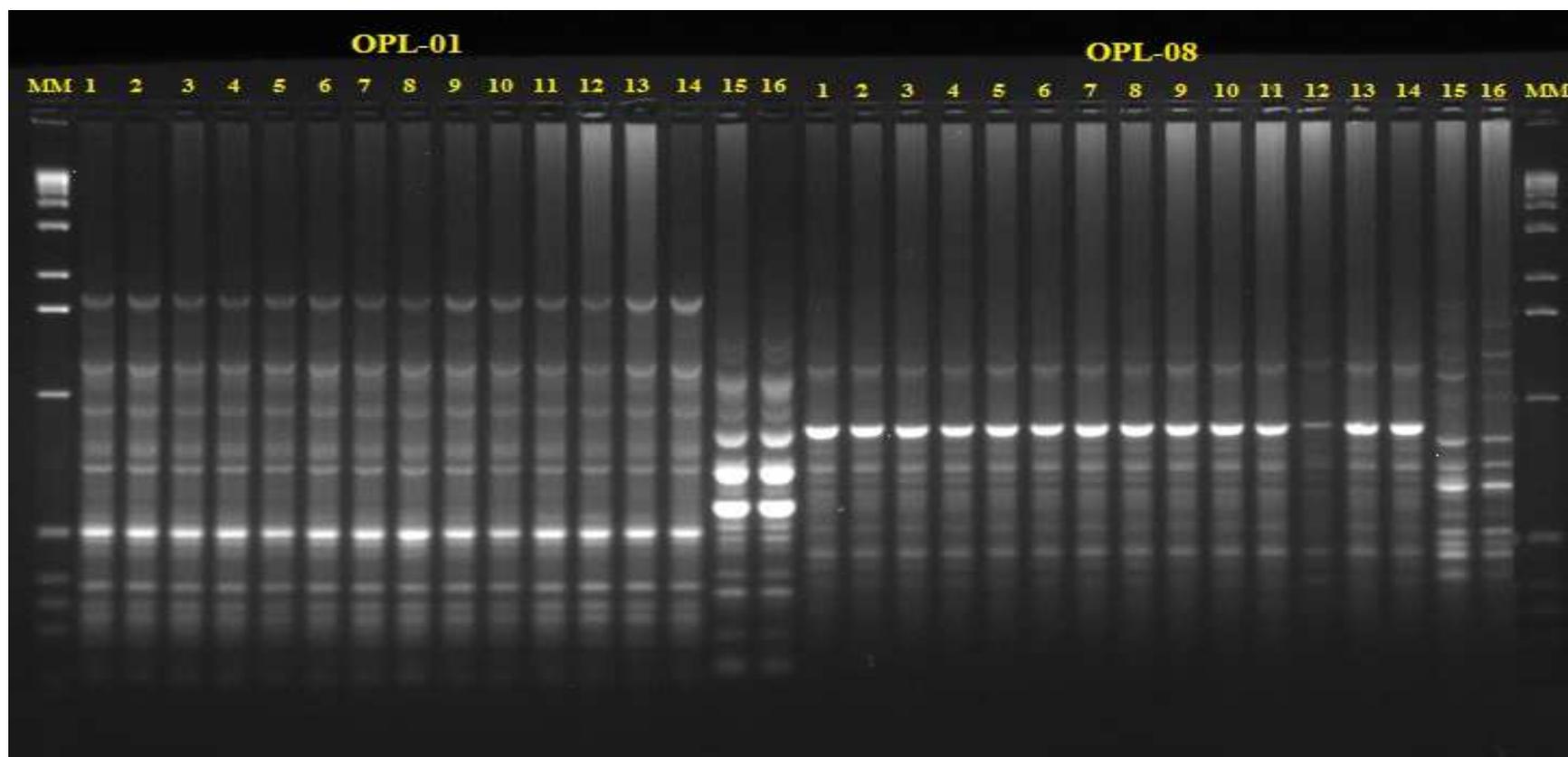


Figura 34. Perfil eletroforético de RAPD com os oligonucleotídeos OPL-01 e OPL-08, em gel de agarose 1,5%, dos indivíduos de *Arundo donax* e *Aristida torta*. A sigla MM indica o marcador molecular 100pb ladder (Gibco). Cada local amostrado no Distrito Federal, Brasil, corresponde aos seguintes números: 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.

Os resultados obtidos podem indicar que *Arundo donax* está se dispersando com o auxílio da intervenção humana, através de máquinas de roçagem, que levariam o material de um lugar para outro; aterros feitos com materiais alóctones; bota-fora da construção civil; e outros tipos de intervenções. A falta de um manejo adequado para essa espécie pelo Governo do Distrito Federal, ao invés de auxiliar na sua erradicação está favorecendo a sua propagação.

Essa dispersão auxiliada pela intervenção humana também foi observada por Haddadchi e *et al.* (2012). Esses autores concluíram alguns mecanismos pelos quais *Arundo donax* tem se dispersado no sudeste da Austrália: o transporte de propágulos vegetativos ao longo dos rios (até 200 km de distância da planta de origem), indicando que os rios servem como um corredor de dispersão eficaz para expansão dessa espécie; a dispersão de um genótipo entre bacias hidrográficas através de veículos ou máquinas agrícolas; e por fim, a dispersão de indivíduos, usados como ornamentais, de viveiros.

Estudos moleculares usando Isoenzimas e RAPD em populações de *Arundo donax* presentes no Rio Santa Ana, na Califórnia, também 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 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 donax* 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).

Ahmad e *et al.* (2008) com o objetivo de obter informações sobre o potencial para controle biológico de *Arundo donax*, estudaram a variação genética em plantas amostradas a partir de uma ampla área geográfica nos Estados Unidos, utilizando os marcadores moleculares SRAP (*Sequence Related Amplified Polymorphism*) e os baseados em elementos transponíveis (*TE-based markers*). Com a exceção das mutações individuais detectadas em quatro amostras de plantas, *Arundo donax* coletados da Califórnia para a Carolina do Sul, e na Flórida, os indivíduos coletados não apresentaram variação genética molecular. Os dados moleculares desse estudo apontam para um único clone genético dessa invasora nos Estados Unidos. A diferença de resultado entre esse estudo que não apresentou variação genética molecular, e o de Khudamrongsawat e *et al.* (2004) que apresentou baixa variação genética, pode estar relacionado aos diferentes marcadores moleculares utilizados.

Haddadchi e *et al.* (2012) estudaram a variação genotípica de *Arundo donax* em três rios no sudeste da Austrália utilizando marcadores ISSR (*Inter Simple Sequence Repeats*). Foram detectados 38 genótipos nas 58 plantas amostradas, e variação genotípica, dentro de cada sistema fluvial, foi de moderada a alta ($G/N = 0,485-1,000$ e $D \text{ Simpson} = 0,881-1,000$). Segundo esses autores, uma provável explicação para diferentes níveis de variação genética relatados nesse estudo em comparação a outros realizados em diferentes regiões pode ser o uso de diferentes marcadores moleculares para detectar a variação genotípica, por exemplo, marcadores ISSRs detectam mais bandas polimórficas por primer do que os marcadores RAPDs, e o fato de os níveis de ploidia poderem variar entre regiões.

O nível de variação genética observada em *Arundo donax* no sudeste da Austrália é semelhante ao relatado em espécies invasoras que são introduzidas em várias ocasiões a partir

de diferentes fontes, por exemplo, *Lathyrus latifolius* (Godt e Hamrick, 1991) e *Pueraria lobata* (Sun *et al.*, 2005). Múltiplas introduções foram postuladas para o nível moderado de variação *Arundo donax* no EUA (Khudamrongsawat *et al.*, 2004). Em segundo lugar, as mutações somáticas também podem contribuir para a variação genética em *Arundo donax*, como relatado nos EUA por Khudamrongsawat e colaboradores. (2004). Finalmente, poliploidia pode afetar a quantidade de variação genotípica devido à existência de múltiplas cópias do genoma e, portanto, uma maior oportunidade para a amplificação de bandas polimórficas (Haddadchi *et al.*, 2012). Porém Mariani e *et al.* (2010) relataram, na região do Mediterrâneo, indivíduos tetraplóides de *Arundo donax* se reproduzindo vegetativamente e apresentando baixa variação genética com o uso de marcadores ISSR.

Em todo o mundo, *Arundo donax* mostra diferentes níveis de variações genotípicas, desde monotípica (Mariani *et al.*, 2010) a baixa diversidade na Europa (Lewandowski *et al.*, 2003); de monotípica (Ahmad *et al.*, 2008) a moderadamente diversificada nos EUA (Khudamrongsawat *et al.*, 2004); e de moderada a alta no sudeste da Austrália (Haddadchi *et al.*, 2012). Dessa forma, considerando que essa espécie se reproduz vegetativamente nas áreas onde foi introduzida, a sua variação genética estará ligada a mutações, nível de ploidia e quantidade e o tempo de introduções no local. E, para um melhor estudo genético da população localizada no Distrito Federal, como forma de entender melhor a similaridade entre as populações de locais invadidos por essa planta, é recomendável à utilização de outros marcadores moleculares já usados em estudos em outras regiões do mundo, tal como Microsatélites e ISSR, além da obtenção de amostras desses locais.

Capítulo V

Produção de Biomassa e crescimento de *Arundo donax* L (CANA-DO-REINO) no Distrito Federal

Nativa para o sul da Eurásia, a cana gigante (*Arundo donax*) foi introduzida e invadiu os ecossistemas ripários de muitos climas em todo o mundo, desde tropical a temperado (Polunin e Huxley 1987). É uma das invasoras mais bem sucedidas em ecossistemas ripários. Embora suas sementes serem estéreis na Califórnia, *Arundo donax* se espalha rapidamente a jusante quando pequenos pedaços da planta se quebram e caem em um substrato nu e úmido em ecossistemas ripários (Bell, 1997). Crescendo a uma taxa extremamente alta (até 7 centímetros por dia), *Arundo donax* rapidamente se estabelece em locais sem vegetação ou com vegetação escassa, e atinge até mais de 8 metros de altura depois de apenas alguns meses (Reiger e Kreager, 1989). Em seguida, ele se expande para fora da área, deslocando rapidamente herbáceas, arbustivas, e, eventualmente, até mesmo árvores (Ambrose e Rundel, 2007).

Já segundo Perdue (1958), quando as condições são favoráveis, os colmos de *Arundo* 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. Rieger e Kreager (1989) registraram o crescimento dessa espécie tanto de sete centímetros em um dia, até oito metros em poucos meses. 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). Já no Cerrado Distrito Federal, com base em observações de campo, outro fator que pode

também afetar a taxa de crescimento dessa espécie é a competição com outras gramíneas invasoras, porém ainda não existem registros científicos sobre isso.

As populações de *Arundo donax* estão entre as mais biologicamente produtivas de todas as comunidades. Em condições ideais de crescimento, podem produzir mais de 20 toneladas por hectare 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 mesmo 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). 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 (Abichandani, 2007, Perdue, 1958, Watts, 2009).

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 e *et al.* (2006) que também avaliaram 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 no Sul da Califórnia). 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 19,8MJ/kg). Estes valores o comparam favoravelmente com as culturas de outros biocombustíveis, sendo a cultura do Arundo uma das mais altas (Cal-IPC, 2011).

A biomassa (acima e abaixo do solo) gerada por *Arundo donax* é importante porque traz informações sobre vários fatores relacionados aos impactos causados por essa planta. Ela fornece informações sobre a produtividade, o consumo de recursos (nutrientes, luz e água), a presença física no sistema (com impactos nos fluxos de matéria e energia, sedimentos, fauna, luz, vento e outros parâmetros físicos), bem como de questões que indicam o destino desse material (quer em porções do sistema aquático, como do terrestre) (Cal-IPC, 2011).

A biomassa vegetal é normalmente medida mensurando o peso seco de plantas retiradas de parcelas. Esta abordagem é adequada para as comunidades com estrutura simples e com plantas de curta duração (Whittaker e Marks, 1975). Em comunidades compostas de plantas de longa duração e com estruturas complexas, esta abordagem é mais difícil (Whittaker, 1961). Análise de dimensão é uma alternativa às técnicas de colheita (Whittaker, 1962). Este método envolve equações que descrevem as relações de crescimento derivadas a partir de medições de um pequeno número de amostras de plantas. Estas equações são então utilizadas para estimar biomassa a partir de características da planta que são mais facilmente medidas (por exemplo, a altura e diâmetro do caule). Daoust e Childers (1998) estimaram a biomassa individual para nove espécies de plantas de zonas úmidas, utilizando várias medições morfológicas. Van *et al.* (2000) desenvolveram uma equação para previsão de biomassa acima do solo com base em diâmetro do caule de *Melaleuca quinquenervia*. Sidorkewicz e Fernandez (2000) utilizaram um método de intersecção de linha de para estimar o comprimento da folhagem para *Potamogeton pectinatus* L. Já Spencer *et al.* (2006) desenvolveram uma equação para o peso seco da parte aérea de *Arundo donax* a partir do comprimento dessa mesma parte.

A utilização de métodos não destrutivos de amostragem permite a repetição de estimativas de biomassa de plantas individuais ao longo do tempo. Esta capacidade é

importante para estimar o impacto das técnicas de gestão tais como controle biológico em parcelas permanentes, onde amostragem destrutiva não é possível (Van *et al.*, 2000). Em adição, recentemente, pesquisadores têm focado interesse nestes tipos de equações para estimar quantidade e fluxo de carbono entre a vegetação e a atmosfera (Chave *et al.*, 2005).

5.1. Material e Métodos.

Para condução do levantamento de biomassa, selecionaram-se diferentes touceiras de acordo com o tamanho dos indivíduos, como forma de abranger os diferentes tamanhos dos mesmos. Mediu-se a circunferência da touceira e posteriormente foram lançados quadrados de 0,25 m² (0,50 m x 0,50 m) ao longo da mesma, de forma a transpor a touceira em linha reta. Em cada quadrado foi contado o número de colmos, e esses foram cortados próximo ao solo (Figura 35).



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.

O material coletado foi levado para o Laboratório de Ecologia Vegetal da Universidade de Brasília para ser seco (n= 306 indivíduos). Mediu-se o comprimento total do colmo e da inflorescência (quando presente), o número e o diâmetro dos nós, e o número de

folhas. Folha e colmo foram coletados durante o pico da floração, separados e secos em estufa a 80°C para determinação do peso seco (biomassa total). Os comprimentos foram medidos com auxílio de trena, e o diâmetro com o paquímetro. As análises estatísticas entre as variáveis mensuradas, e a elaboração de equações alométricas para se estimar a biomassa dessa espécie foram feitas com o auxílio do programa SigmaPlot®. Os resultados obtidos serão comparados com os obtidos nos Estados Unidos por Spencer *et al.* (2006).

Para estimar a taxa de crescimento, 200 indivíduos de *Arundo donax* foram marcados, no Distrito Federal, com lacres numerados. Porém, devido essas plantas estarem em local aberto, vários indivíduos foram perdidos, seja por corte, como por fogo, o que diminuiu o número de medições realizadas. Cada planta marcada era medida no momento da marcação e a cada 30 dias, e os indivíduos cortados ou queimados eram descartados. Foram realizadas 210 medições de indivíduos em 18 diferentes locais do Distrito Federal (Figura 36).



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.

Os locais amostrados compreenderam áreas com solo compactado, sem solo (cascalheira), com grande quantidade de solo trazido de outros lugares (aterros ou locais de bota-fora da construção civil), e com solo em boas condições (tabela 4). O período de medição compreendeu os meses de janeiro a outubro de 2012, abrangendo o período de seca e chuva da região. Nenhum dos pontos amostrados encontrava-se em locais com presença de água, com exceção do indivíduo número 6 do ponto 1 (Colina/UnB) que se encontrava em um local onde existia água empossada na época de chuva. As análises estatísticas dos dados de crescimento foram realizadas no Microsoft Excel[®].

Tabela 4: Locais de amostragem, no Distrito Federal, de indivíduos de *Arundo donax*, para estimar a taxa de crescimento, com a respectiva condição do solo.

Locais de Amostragem	Condição do Solo
1. Colina/UnB	Compactado
2. EPIA Norte	Compactado
3. Aeropark/Aeroporto 1	Boa
4. Aeropark/Aeroporto 2	Boa
5. Setor Policial Sul/Metrô	Cascalheira
6. Granja do Torto 1	Cascalheira
7. Granja do Torto 2	Cascalheira
8. Garagem/UnB	Aterro
9. L2 Norte 1	Compactado/Local de bota fora
10. L2 Norte 2	Compactado/Local de bota fora
11. Sudoeste 1	Compactado
12. Sudoeste 2	Compactado
13. Arvoreto/Colina/UnB 1	Boa
14. Arvoreto/Colina/UnB 2	Boa
15. PróDF/Gama 1	Local de bota fora
16. PróDF/Gama 2	Local de bota fora
17. Lago Norte 1	Compactado
18. Lago Norte 2	Compactado

5.2. Resultados e Discussão.

Arundo donax apresentou, no Distrito Federal, considerando todas as amostragens de crescimento, uma média de crescimento de $0,01\text{mdia}^{-1}$, $\pm 0,01\text{mdia}^{-1}$. A maior taxa de crescimento ocorreu em um indivíduo que rebrotou após a passagem do fogo ($0,05\text{mdia}^{-1}$ – ponto 13 – Arvoreto/Colina/UnB 1), e a menor em um indivíduo localizado em uma cascalheira ($0,0002\text{mdia}^{-1}$ – ponto 6 – Granja do Torto 1). As médias e os desvios padrões para cada ponto encontram-se na tabela 5.

Tabela 5: Taxa de crescimento média (mdia^{-1}) para cada local de amostragem, no Distrito Federal, de indivíduos de *Arundo donax*, com a respectiva condição do solo. DP: Desvio Padrão.

Locais de Amostragem	Condição do Solo	Média(mdia^{-1})	DP(mdia^{-1})
1. Colina/UnB	Compactado	0.010	0.006
2. EPIA Norte	Compactado	0.014	0.020
3. Aeropark/Aeroporto 1	Boa	0.022	0.005
4. Aeropark/Aeroporto 2	Boa	0.016	0.009
5. Setor Policial Sul/Metrô	Compactado	0.010	0.011
6. Granja do Torto 1	Cascalheira	0.004	0.004
7. Granja do Torto 2	Cascalheira	0.005	0.007
8. Garagem/UnB	Compactado/Aterro	0.002	0.002
9. L2 Norte 1	Compactado/Local de bota fora	0.010	0.009
10. L2 Norte 2	Compactado/Local de bota fora	0.005	0.007
11. Sudoeste 1	Compactado	0.009	0.008
12. Sudoeste 2	Compactado	0.013	0.006
13. Arvoreto/Colina/UnB 1	Boa	0.035	0.009
14. Arvoreto/Colina/UnB 2	Boa	0.019	0.005
15. PróDF/Gama 1	Compactado/Local de bota fora	0.018	0.011
16. PróDF/Gama 2	Compactado/Local de bota fora	0.010	0.015
17. Lago Norte 1	Compactado	0.004	0.002
18. Lago Norte 2	Compactado	0.005	0.002

Os maiores valores de crescimento foram encontrados nos locais com solo em boas condições (pontos 3, 4, 13 e 14). No ponto 13 foi onde ocorreu a maior taxa de crescimento $0,035\text{mdia}^{-1}$, que aconteceu após a passagem do fogo. Os locais de menor crescimento foram alguns pontos com solos compactados, cascalheiras e compactado/local de bota fora (pontos 6, 7, 8, 10, 11, 17 e 18). Foi no ponto 8 (Garagem/UnB) onde ocorreu a menor taxa de crescimento $0,002\text{mdia}^{-1}$, ressaltando que é um local de aterro, que é construído de forma a manter a estrutura estável, e por isso o solo é bastante compactado, o que pode estar interferindo na taxa de crescimento.

É interessante notar que, mesmo em locais com solo compactado, essa espécie teve uma significativa taxa de crescimento (pontos 1, 2, 5, 9, 12, 15 e 16). Isso pode ter ocorrido

porque o solo desses locais possui um grau de compactação menor, o que permite uma melhor fixação da planta no solo e nos locais de bota fora as plantas tem o solo depositado para se fixar e crescer (Figura 37).

Os valores de desvio padrão mostram a grande variação na taxa de crescimento de *Arundo donax* no Distrito Federal (dados assimétricos e de elevada variância), que está relacionada com os diferentes habitats amostrados, já que a taxa de crescimento dessa espécie é influenciada pela disponibilidade de água e de nutrientes, e pelos regimes de temperatura (Cal-IPC, 2011). Mas esses dados assimétricos e de elevada variância podem também estar relacionados com o problema de amostragem ocorrido (perda de indivíduos marcados por corte ou fogo).



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.

Perdue (1958) relatou uma taxa de crescimento para *Arundo donax*, em condições favoráveis, de 0,3-0,7m por semana, durante um período de vários meses, o que dá 0,04 a 0,10mdia⁻¹. Rieger e Kreager (1989) registraram o crescimento dessa espécie tanto de sete centímetros em um dia, até oito metros em poucos meses. Os resultados encontrados foram abaixo dos registrados por esses autores, isso pode ter ocorrido devido ao fato das populações

amostradas não se encontrarem em locais com boas condições de crescimento, tais como cascalheiras, solos compactos, aterros e bota foras. Essa taxa de crescimento é alta, porém muito menor que de algumas espécies de bambus (30 a 100 cm por dia na estação de crescimento). Os bambus são conhecidos por possuírem uma das maiores taxas de crescimento do mundo (Zhou *et al.*, 2005).

Ressalta-se que essa espécie pode tolerar uma grande variedade de condições ecológicas principalmente devido a seus rizomas e raízes que penetram profundamente (Perdue, 1958). Plantas individuais podem sobreviver a períodos de seca ou de excesso de umidade (Guthrie, 2007). Ele sobrevive e prospera em todos os tipos de solos, desde argilas pesadas, até areias soltas e cascalho (Perdue, 1958). 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).

O experimento de campo de Quinn e Holt (2008) examinou se o local é um fator importante na invasão por *Arundo donax*. Para isso, esses autores plantaram um conjunto de cem rizomas ao longo de cinco transectos em cada um dos três habitats ripários no sul da Califórnia escolhidos e avaliaram crescimento, sobrevivência e alguns fatores abióticos. Os resultados indicam que o estabelecimento de dessa espécie é promovido pela reprodução

vegetativa e fatores abióticos, não sendo aparentemente afetado pela composição da comunidade nativa. A capacidade de *Arundo donax* de responder a diferentes condições de cada local, combinado com baixa variação genética e fenotípica observada em outros estudos, sugere que um elevado grau de tolerância ambiental contribui para o sucesso de invasão.

A maior taxa de crescimento, de $0,035\text{mdia}^{-1}$, ocorreu no ponto 13 (Arvoreto/Colina/UnB 1) e aconteceu após a passagem do fogo. Esse valor foi o que mais se assemelhou aos descritos por Perdue (1958) e aos relatados por Coffman e *et al.* (2010) em experimento com fogo. Essa alta taxa de crescimento ocorre porque essa espécie responde fortemente ao excesso de nitrogênio oriundo de fontes antropogênicas e fogo (Ambrose e Rundel, 2007). Além disso, *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).

Coffman e *et al.* (2010) avaliaram a influência de fogo na invasão por *Arundo donax* investigando sua taxa relativa de restabelecimento após fogo em relação a de espécies nativas ripárias. Os indivíduos de *Arundo donax* brotaram dentro de dias após a passagem do fogo e apresentaram maiores taxas de crescimento e produtividade em comparação a de plantas nativas ripárias. *Arundo donax* cresceu de 3 a 4 vezes mais rápido do que as espécies nativas lenhosas, a uma média de $2,62\text{cmdia}^{-1}$, e atingiu 2,3 m de altura 3 meses após o fogo. Após um ano do experimento, a densidade de *Arundo donax* foi quase 20 vezes maior, e a produtividade foi de 14 a 24 vezes maior do que a de espécies arbóreas nativas. Segundo esses autores, três mecanismos: fenologia adaptada ao fogo, elevada taxa de crescimento, e alta

resposta para o enriquecimento de nutrientes parecem favorecer *Arundo donax* em relação ao fogo quando comparado com as espécies nativas.

Para prever uma relação entre a produção de biomassa de *Arundo donax* no Distrito Federal e as características biométricas mensuradas nesse trabalho, uma análise de regressão foi realizada. Como era de se esperar, ocorreu um aumento no peso seco total do indivíduo com o aumento da altura do mesmo, porém esse aumento não tende a não ser linear ($R^2 = 0,8784$) (Figura 38).

No trabalho de Spencer *et al.* (2006), a relação entre peso seco e altura da parte aérea também não tende a ser linear ($R^2 = 0,90$). Nesse estudo, a equação de regressão com o quadrado da altura da parte aérea como a variável independente foi tão eficaz como qualquer outra variável biométrica independente ou combinação de variáveis biométricas independentes para explicar a variação no peso seco da parte aérea. Na verdade, adicionando até quatro características biométricas à equação, o R^2 só aumentou em 0,04 (Spencer *et al.*, 2006). Ou seja, o trabalho de se adicionar mais variáveis não dá uma diferença significativa nos resultados. Os resultados apresentados aqui no Distrito Federal e os de Spencer *et al.* (2006) concordam com a ampla utilidade demonstrada pelas funções de poder em matéria de peso do organismo para a sua altura, ou alguma outra dimensão linear de tamanho (Batschelet, 1973).

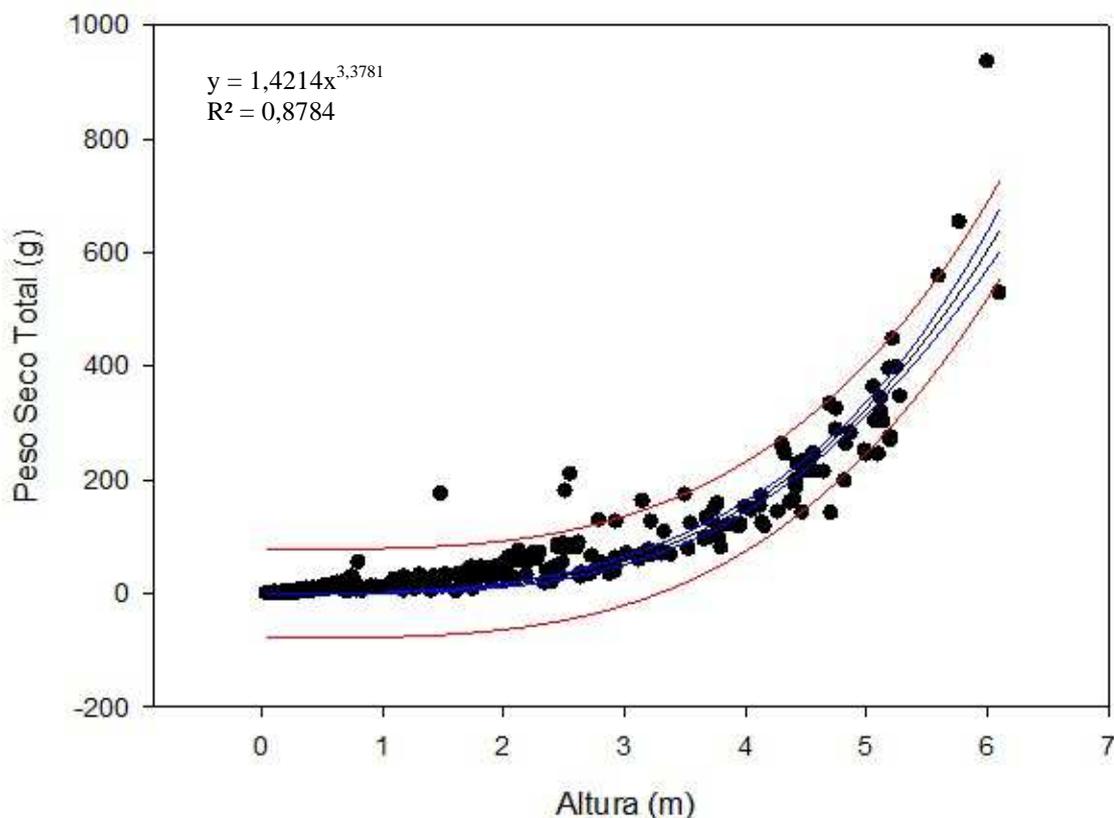


Figura 38. Relação entre altura da planta (x) e peso seco total (y) dos indivíduos coletados no Distrito Federal, com um nível de probabilidade (p) < 0,001. Linha azul: intervalo de confiança de 95%. Linha vermelha: intervalo de predição de 95% de confiança. A equação e o coeficiente de determinação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

Já os resultados de Angelini e *et al.* (2009), trabalhando com *Arundo donax* plantado para produção de bioenergia, mostraram que a produção de biomassa seca aumentou linearmente com a altura das plantas e diâmetro do caule basal, com um coeficiente de determinação (R^2) de 0,62 e 0,61 respectivamente. Essa diferença de resultados pode estar relacionada ao fato de que em plantios, os indivíduos possuem uma mesma idade e uma homogeneidade nas suas características biométricas, dando uma relação mais linear. Já nos locais invadidos, ao se fazer a amostragem, indivíduos com diferentes idades e com características biométricas mais heterogêneas serão amostrados. Por exemplo, o indivíduo jovem pode rapidamente atingir o diâmetro dos colmos maduros, com crescimento subsequente que envolve o espessamento das paredes (Perdue 1958), o que aumenta a

quantidade de biomassa sem o aumento da altura, e no caso de áreas plantadas, como os indivíduos tem a mesma idade, a probabilidade de isso acontecer para a maioria deles na mesma época é maior do que em áreas invadidas com indivíduos de idades diferentes. Além disso, a diferença na idade pode influenciar na quantidade de biomassa oriunda das folhas, pois indivíduos com mais de 1 ano de idade começam a formar ramos secundários (Cal-IPC, 2011).

Uma análise de regressão também foi utilizada para analisar a relação entre as variáveis altura e diâmetro da base do colmo, mensuradas dos indivíduos coletados no Distrito Federal. Os dados coletados formaram dois grupos, com uma relação que tende a ser linear positiva entre diâmetro da base e altura em ambos ($R^2 = 0,7852$ para o grupo 1 e $R^2 = 0,7113$ para o grupo 2) (Figura 39). O trabalho de Angelini *et al.* (2009) também observou uma relação que tende a ser linear positiva entre essas duas variáveis ($R^2 = 0,51$).

O grupo 1 é formado por indivíduos mais jovens (alturas entre 0,038 a 3,15m; média de 0,94m, $\pm 0,77$ m), coletados na Colina/UnB (data: 16/04/2012) e Estacionamento do IB (data: 08/06/2012). Já o grupo 2, coletado nas mediações do Hospital Veterinário da UnB (data: 21/05/2012) é formado por indivíduos mais velhos, alguns com ramificações, o que mostra que possuem mais de 1 ano conforme relatos do Cal-IPC (2011). Esse grupo possui alturas variando de 0,31m a 6,1m, com uma média de 3,37m, $\pm 1,35$ m. Ou seja, o grupo 2 é formado por indivíduos mais altos e conseqüentemente mais espessos na base do colmo, enquanto que o grupo 1 é formado por indivíduos mais jovens e com um diâmetro menor na base. Esses indivíduos do grupo 1 ainda não atingiram a altura e o diâmetro dos colmos maduros, e, com isso, o seu crescimento ainda não envolve o espessamento das paredes, conforme observa-se no caso do grupo 2 e é relatado por Perdue (1958).

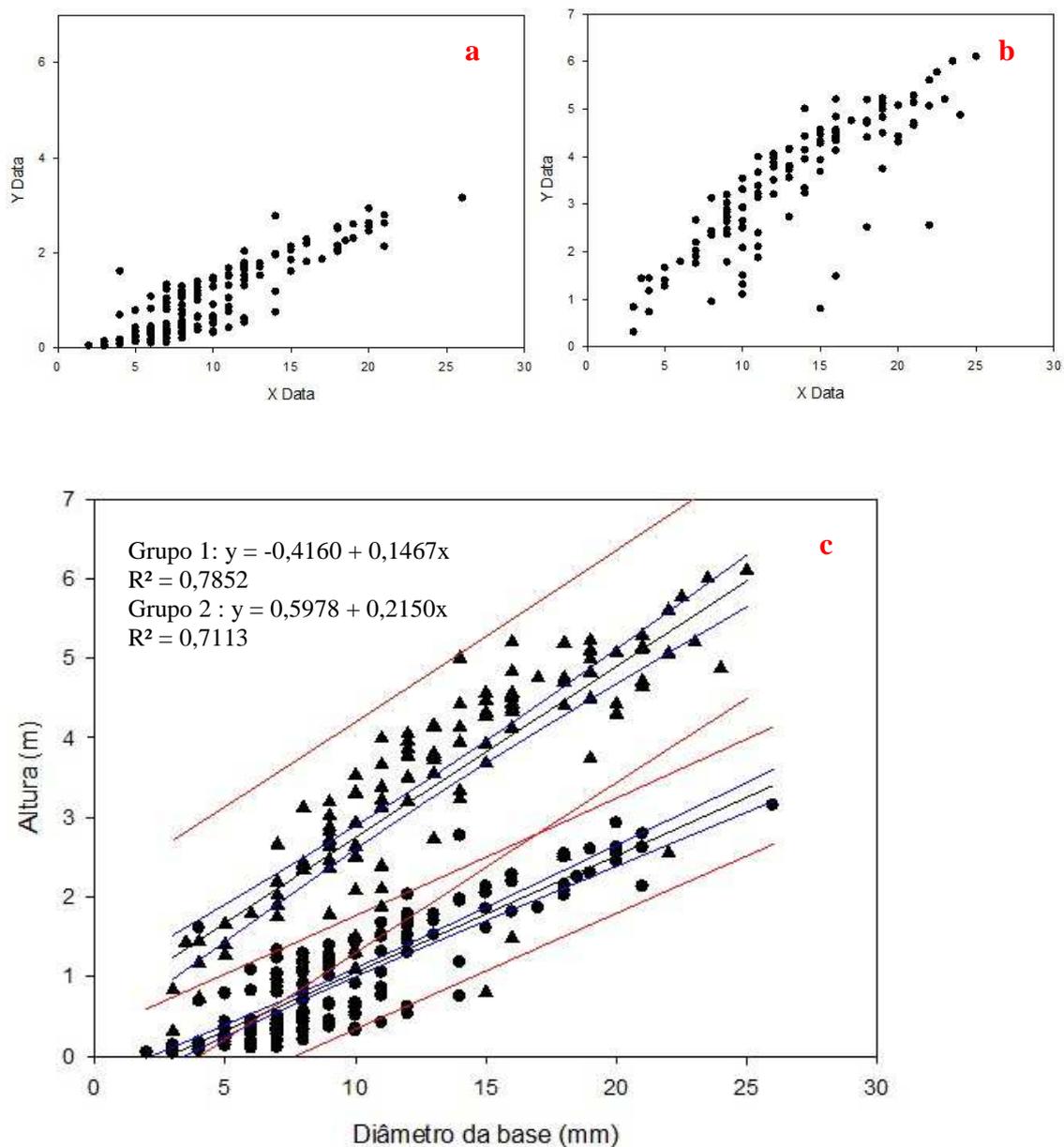


Figura 39. Relação entre altura da planta (x) e peso seco total (y) dos indivíduos coletados no Distrito Federal, com um nível de probabilidade (p) < 0,001. Grupo 1 (a). Grupo 2 (b). Grupo 1 e 2 (c) Linha azul: intervalo de confiança de 95%. Linha vermelha: intervalo de predição de 95% de confiança.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

Com relação à produção de biomassa em cada grupo, o grupo 1 produziu uma média de $0,75\text{kg/m} \pm 0,50\text{kg/m}^2$. Já o grupo 2 produziu uma média de $4,47\text{kg/m}^2 \pm 3,52\text{kg/m}^2$. Há poucos dados publicados de *Arundo donax* com relação à biomassa acima do solo em sistemas naturais com os quais podemos comparar os dados obtidos nesse estudo. Spencer *et*

al (2006) relataram valores de biomassa, para amostradas coletadas na Califórnia, Mississippi e Texas, variando de 3,07 kg/m² a 39,97 kg/m². Já o estudo do Cal-IPC (2011) na Califórnia encontrou uma biomassa ajustada de 15,5 kg/m² para essa espécie. Sharma *et al.* (1998) relataram dados de dois locais em Jaipur (Rajasthan, Índia). Eles relataram que a biomassa acima do solo variou de 3,63-5,71 kg/m² em Amanishah Drain e de 6,40-16,74 kg/m² em um ponto no campus da Universidade de Rajasthan.

Angelini *et al.* (2009), trabalhando com *Arundo donax* plantado para produção de bioenergia, obteve um valor de biomassa de (37,7 t/ha), esse valor é uma média do 2º ao 12º ano de crescimento dos indivíduos estudados. Segundo esses autores, a produtividade dessa cultura era muito baixa no primeiro ano. E depois desse período a produção de biomassa aumentou rapidamente desde os mais jovens até os indivíduos maduros. Esse comportamento de crescimento é semelhante ao observado, no estudo realizado aqui no Distrito Federal, pelos grupos 1 (indivíduos mais jovens) e 2 (indivíduos mais maduros). Se extrapolarmos os dados obtidos aqui no Distrito Federal para t/ha, o grupo 1 produziu uma média de 7,50 t/ha, \pm 5,00 t/ha e o grupo 2 produziu uma média de 44,7t/ha, \pm 35,2 t/ha.

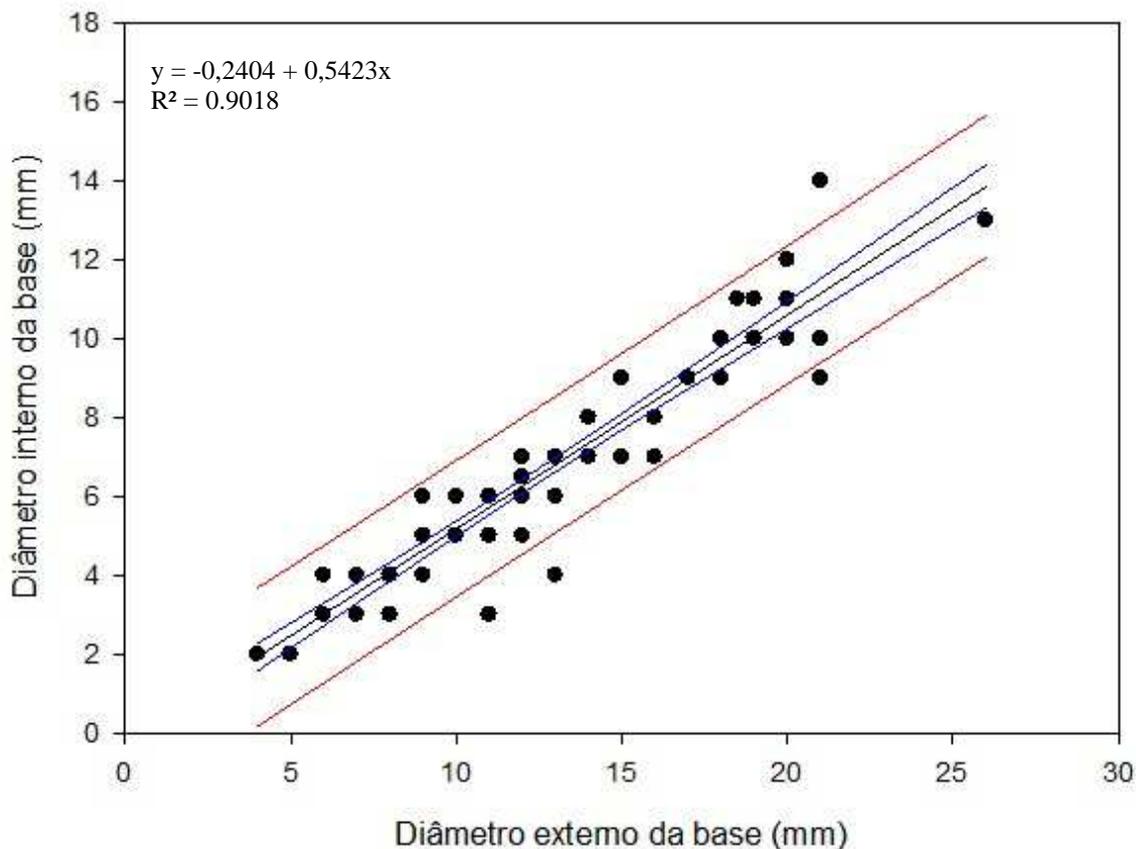


Figura 40. Relação entre diâmetro externo da base (x) e diâmetro interno da base (y) dos indivíduos coletados no Distrito Federal, com um nível de probabilidade (p) < 0,001. Linha azul: intervalo de confiança de 95%. Linha vermelha: intervalo de predição de 95% de confiança. A equação e o coeficiente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

Análises de regressão também foram utilizadas para analisar a relação entre as seguintes variáveis mensuradas dos indivíduos coletados no Distrito Federal: diâmetro externo da base e diâmetro interno da base (Figura 40); altura e número de nós (Figura 41); e peso seco dos colmos e das folhas (Figura 42). Com relação à regressão entre o diâmetro externo da base e diâmetro interno da base, observou-se uma relação que tende a ser linear positiva ($R^2 = 0,9018$). Para o peso seco dos colmos e das folhas também se observou uma tendência de relação linear positiva ($R^2 = 0,9568$). Já para a altura e número de nós, também se observa um aumento no número de nós com o aumento da altura da planta, porém esse aumento tende a não ser linear ($R^2 = 0,7900$).

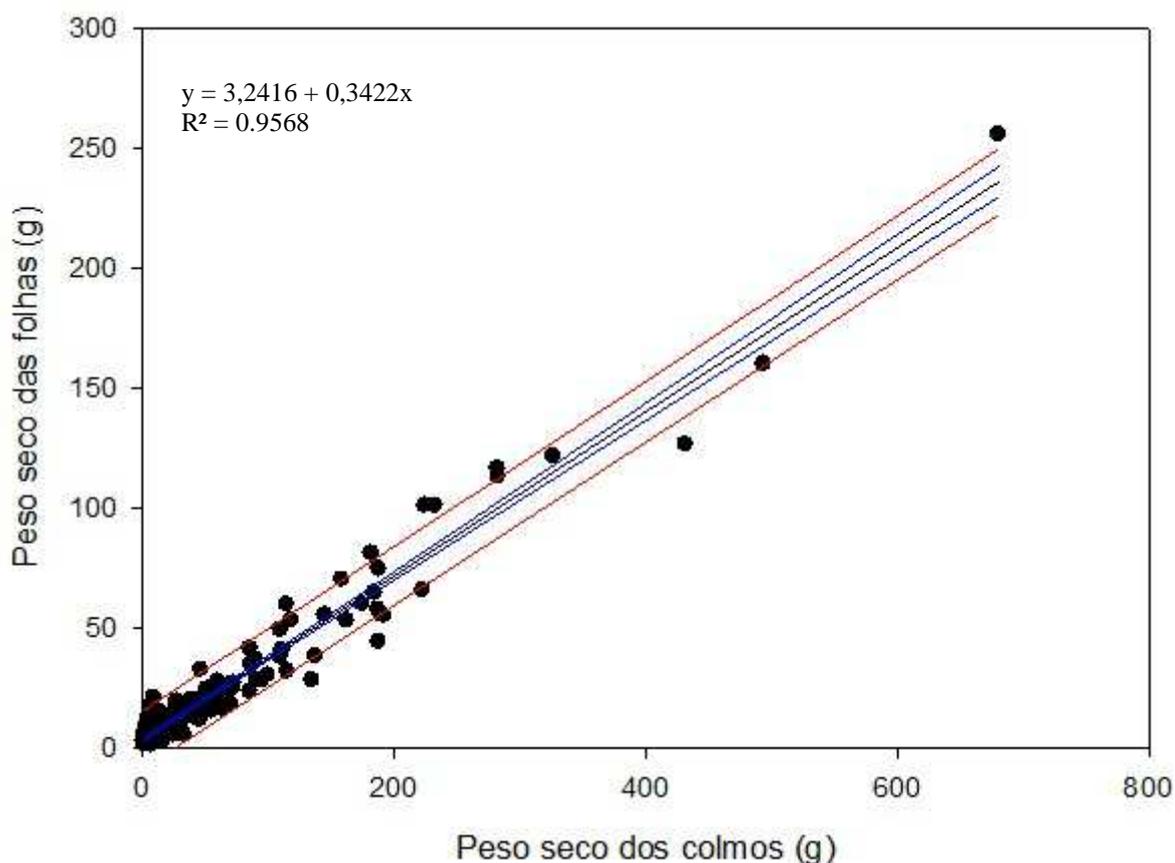


Figura 41. Relação entre peso seco dos colmos (x) e peso seco das folhas (y) dos indivíduos coletados no Distrito Federal, com um nível de probabilidade (p) < 0,001. Linha azul: intervalo de confiança de 95%. Linha vermelha: intervalo de predição de 95% de confiança. A equação e o coeficiente de determinação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

Observou-se ainda que a variável dependente biomassa total pode ser prevista a partir de uma combinação linear das variáveis independentes, no caso: altura, diâmetro externo da base e número de nós. Considerando somente a altura para determinar a biomassa total, o coeficiente de determinação (R^2) é de 0,879, com o $p = 0,003$, ao se acrescentar a variável diâmetro externo da base, o R^2 é de 0,914 com um $p > 0,001$ e, finalmente, ao se acrescentar a variável número de nós, o R^2 é de 0,926 com um $p > 0,001$. Ou seja, ao se acrescentar três variáveis à equação o R^2 aumentou somente 0,047, semelhante ao observado por Spencer *et al.* (2006), que adicionaram até quatro características biométricas à equação e o R^2 só

aumentou em 0,04. Ou seja, o trabalho de se adicionar mais variáveis não dá uma diferença significativa nos resultados.

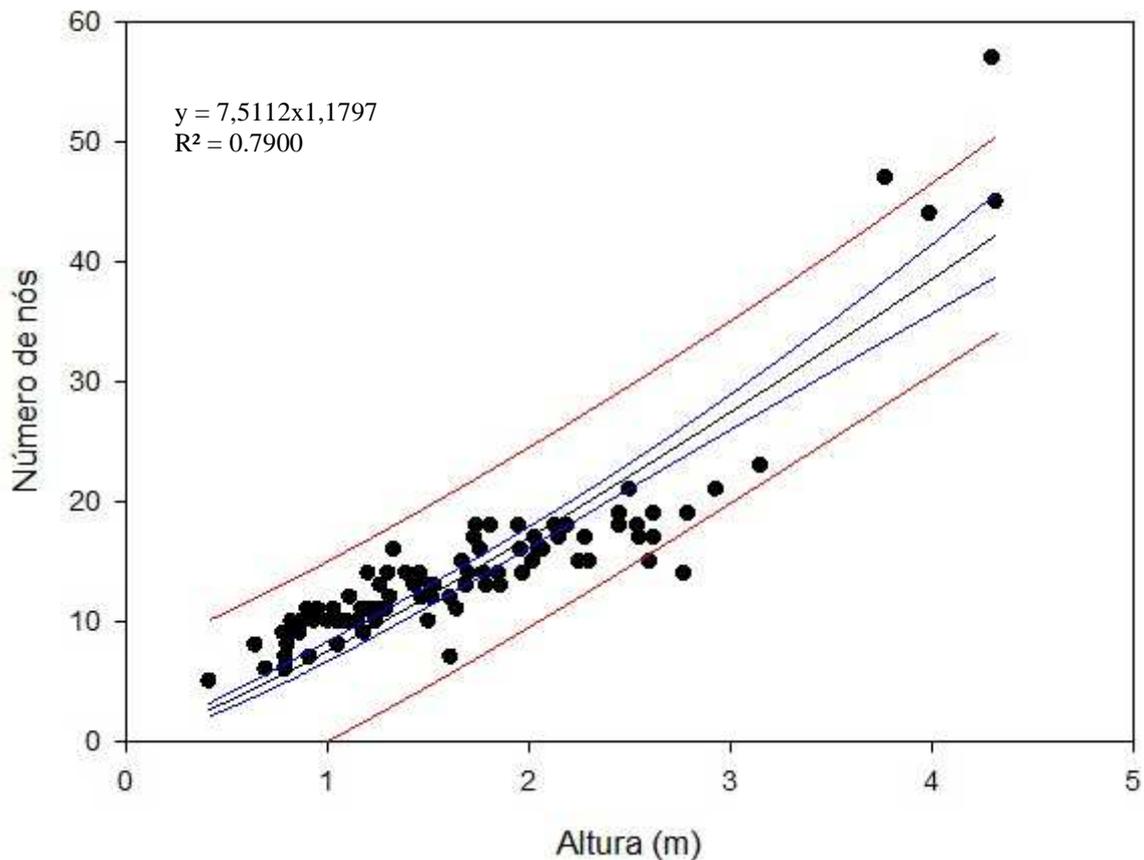


Figura 42. Relação entre altura (x) e número de nós (y) dos indivíduos coletados no Distrito Federal, com um nível de probabilidade (p) < 0,001. Linha azul: intervalo de confiança de 95%. Linha vermelha: intervalo de predição de 95% de confiança. A equação e o coeficiente de determinação estão inseridos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

Observa-se então, que para todas as análises entre as variáveis mensuradas, usando um ajuste linear, os coeficientes de determinação foram significativamente altos (Figuras de 38 a 42).

As equações apresentadas aqui nesse estudo proporcionam um método para a estimativa de biomassa e de outras variáveis de *Arundo donax* em vários pontos geograficamente dispersos no Distrito Federal, ou até mesmo no Brasil. E devido ao fato desse método ser preciso e menos demorado, pode ser útil na avaliação de técnicas de gestão

utilizadas no controle de *Arundo donax* (Spencer *et al.*, 2006). Futuros refinamentos em tecnologias de sensoriamento remoto, como o Lidar (detecção pela variação de luz), que podem ser utilizadas para estimar a distribuição de alturas (Harding *et al.*, 2001; Sun e Ranson, 2000) podem estender a aplicação de uso das equações. Ressalta-se, porém, que várias técnicas de sensoriamento remoto são bem aplicadas para o ambiente temperado, não sendo aplicadas para diversidade de espécies de outras gramíneas encontradas nos ambientes tropicais, ou necessitam ainda de adequações para o uso nesses ambientes.

Capítulo VI

CONCLUSÃO

Considerando a falta de estudos sobre *Arundo donax* no Brasil, os resultados aqui apresentados são pioneiros e fornecem importantes informações sobre a ecologia de *Arundo donax* no Distrito Federal, que poderão ser utilizadas para o manejo adequado dessa espécie invasora.

Com relação aos mapas de distribuição, observou-se que a maior concentração dessa espécie é na região central do Distrito Federal. Os pontos críticos da presença dessa espécie são os localizados nas imediações das Unidades de Conservação (Parque Nacional de Brasília, Reserva do IBGE e Jardim Botânico), e os localizados próximos aos cursos d'água. Esses pontos requerem um imediato monitoramento e controle do processo de invasão.

Essa espécie tem invadido constantemente novas áreas no Distrito Federal devido principalmente a uma falta de manejo adequado da mesma e a má gestão de resíduos e entulhos, principalmente os oriundos de obras. Pois, como essa espécie se reproduz vegetativamente ao serem utilizadas máquinas em locais com a presença da mesma, essas máquinas podem estar levando material vegetativo e a propagando em diferentes locais. Além disso, ela também estaria sendo levada junto com materiais que são indiscriminadamente descartados no Distrito Federal, seja solo retirado de construções, assim como os próprios resíduos da construção civil e lixo urbano. Ressalta-se ainda que ao se roçar áreas com a presença dessa planta o que ocorre é um aumento no número de indivíduos no local, pois os colmos cortados e os rizomas irão originar novas plantas. Caso não ocorra uma mudança manejo dessa espécie e na gestão de resíduos e entulhos, a tendência é que a mesma se espalhe por mais pontos no Distrito Federal.

Com relação às análises de sementes e genéticas, não foi encontrada nenhuma espigueta cheia, o que corrobora os trabalhos realizados nos Estados Unidos. E, também, não foi observada, com a utilização do marcador molecular do tipo RAPD, uma variabilidade genética entre os indivíduos coletados. A semelhança genética encontrada em diferentes pontos do Distrito Federal demonstra que um único clone está sendo disperso nessa região, ou esse mesmo clone foi introduzido diversas vezes nessa região. Os resultados obtidos podem indicar que *Arundo donax* está se dispersando com o auxílio da intervenção humana, através de máquinas de roçagem, aterros feitos com materiais alócones; bota-fora da construção civil; e outros tipos de intervenções.

Para um melhor estudo genético da população localizada no Distrito Federal, como forma de entender melhor a similaridade entre as populações de locais invadidos por essa planta, é recomendável à utilização de outros marcadores moleculares já usados em estudos em outras regiões do mundo, tal como Microsatélites e ISSR, além da obtenção de amostras desses locais.

Com relação a taxa de crescimento e produção de biomassa no Distrito Federal, *Arundo donax* apresentou uma média de crescimento de $0,01\text{mdia}^{-1}$, $\pm 0,01\text{mdia}^{-1}$. A análise de regressão mostrou que ocorreu um aumento no peso seco total do indivíduo com o aumento da altura do mesmo, porém esse aumento não é linear ($R^2 = 0,8784$). Já com relação à produção de biomassa, essa variou nos pontos estudados de $0,75\text{kg/m}^2$ a $4,47\text{kg/m}^2$.

As equações apresentadas nesse estudo proporcionam um método para a estimativa de biomassa e de outras variáveis de *Arundo donax* em vários pontos geograficamente dispersos no Distrito Federal.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Abichandani, S. L. 2007. The potential impact of the invasive species *Arundo donax* on water resources along the Santa Clara River: Seasonal and Diurnal Transpiration. Dissertação de Mestrado. Programa de Pós Graduação em Ciências Ambientais e Saúde, Universidade da Califórnia, Estados Unidos. 44p.
- Ahmad, R.; Liow, P. S.; Spencer, D. F.; Jasieniuk, M. 2008. Molecular evidence for a single genetic clone of invasive *Arundo donax* in the United States. *Aquatic Botany*, 88:113–120.
- Ahmed, M.; Jabbar, A.; Samad, K. 1977. Ecology and behavior of *Zyginidia guyumi* (Typhlocyloinae: Cicadellidae) in Pakistan. *Pakistan Journal of Zoology*, 9:79-85.
- Ambrose, R. F. e Rundel, P. W. 2007. Influence of Nutrient Loading on the Invasion of an Alien Plant Species, Giant Reed (*Arundo donax*), In Southern California Riparian Ecosystems, UC Water Resources Center Technical Completion Report Project N°. W-960.
- Angelini, L. G.; Ceccarini, L.; Bonari, E. 2005. Biomass yield and energy balance of giant reed (*Arundo donax* L.) cropped in central Italy as related to different management practices. *Eur. J. Agron.*, 22:375–389.
- Asner, G. P. e Beatty, S.W. 1996. Effects of an African grass invasion on Hawaiian shrubland nitrogen biogeochemistry. *Plant & Soil*, 186:205-211.
- Baker, H. G. 1965. Characteristics and modes of origin of weeds. Pp. 147-172. In *The Genetics of Colonizing Species* (eds. Baker, H. G. e Stebbins, G. L. Stebbins). Nova Iorque: Academic.
- Barrett, S.C.B. 1992. Genetics of weed invasions. In *Applied Population Biology* (eds. Jain, S. K. e Botsford, L. W.). Dordrecht: Kluwer. pp. 91-120

- Baruch, Z.; Ludlow, M. M.; Davis, R. 1985. Photosynthetic responses of native and introduced C4 grasses from Venezuelan savannas. *Oecologia*, 67:388-393.
- Batschelet, E., 1973. Introduction to Mathematics for Life Scientists. Nova Iorque: Springer-Verlag. 495p.
- Bell, G. P. 1997. Ecology and management of *Arundo donax* and approaches to riparian habitat restoration in Southern California. *In: Plant Invasions: Studies from North America and Europe*. J. H. Brock; M. Wade; P. Pysek, e D Green (eds). Leiden: Backhuys Publishers. pp. 103–113.
- Bhanwra, R. K.; Choda, S. P.; Kumar, S. 1982. Comparative embryology of some grasses. *Proceedings of the Indian National Science Academy*, 48:152–162.
- Boland, J. M. 2006. The importance of layering in the rapid spread of *Arundo donax* (giant reed). *Madrono*, 53:303–312.
- Bossard, C. C.; Randall, J. M. e Hoshovsky, M. C. 2000. Invasive plants of California's wildlands. Berkeley: University of California Presse. 360p.
- Boose, A. B. e Holt, J. S. 1999. Environmental effects on asexual reproduction in *Arundo donax*. *Weed Research*, 39:117-127.
- Botsford, L. W. and S. K. Jain. 1992. Population biology and its application to practical problems. *In Applied Population Biology*. (eds. Jain, S. K. e Botsford, L. W.). Dordrecht: Kluwer. pp. 1-24
- Brinke, J. T. 2010. Effects of the invasive species *Arundo donax* on bank stability in the Santa Clara River, Ventura, CA. Poster, Simpósio do Conselho de Plantas Invasoras da Califórnia. Ventura, Califórnia.
- Bromilow, C. 2001. Problem plants of South Africa – a guide to identification and control of more than 300 invasive plants and other weeds. Pretoria: Briza Publications. 258p.

- Brooks, M.L. 2002. Peak fire temperatures and effects on annual plants in the Mojave Desert. *Ecol. Appl.*, 12:1088–1102.
- Brooks, M. L.; D'Antonio, C .M.; Richardson, D. M.; Grace, J. B.; Keeley, J. E.; DiTomaso, J. M.; Hobbs, R. J.; Pellant, M.; Pyke, D. 2004. Effects of invasive plants on fire regimes. *BioScience*, 54:677–688.
- Brown, R. F. 1982. Seed dormancy in *Aristida armata*. *Australian Journal of Botany*, Sidney. 30:67-73.
- Burdon, J. J. e Marshall, D. R. 1981. Biological control and the reproductive mode of weeds. *J. Appl. Ecol*, 18:649-658.
- Byers, J. E.; Reichard, S.; Randall, J. M.; Parkers, I. M.; Smith, C. S.; Losdale, W. M.; Atkinson, I. A. E.; Seasatedt, T. R.; Williamson, M.; Chornesky, E.; Hayes, D. 2001. Directing research to reduce the impacts of nonindigenous species. *Conservation Biology*, 16:630-640.
- California Invasive Plant Council (Cal-IPC). 2011. *Arundo donax*: Distribution and Impact Report. Disponível em http://www.cal-ipc.org/ip/research/arundo/Arundo%20Distribution%20and%20Impact%20Report_Cal-IPC_March%202011.pdf. Acesso em 10 de março de 2012.
- Carmona, R.; Martins, C. R.; Fávero, A. P. 1998. Fatores que afetam a germinação de sementes de gramíneas nativas do cerrado. *Revista Brasileira de Sementes*, 20:16-22
- Carmona, R.; Martins, C. R.; Fávero, A. P. 1999. Características de sementes de gramíneas nativas do cerrado. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, 34:1067-1074.
- Centro de Pesquisas de Espécies Invasoras – Universidade da Califórnia. 2012. Giant Reed. Disponível em http://civr.ucr.edu/giant_reed_arundo.html. Acesso em 10 de janeiro de 2012.

- Chadwick e Associates. 1992. Santa Ana River use attainability analysis. Volume 2: Aquatic biology, habitat and toxicity analysis. Santa Ana Watershed Project Authority, Riverside.
- Chave, J.; Andalo, C.; Brown, S.; Cairns, M.A.; Chambers, J. Q.; Eamus, D., Folster, H.; Fromard, F.; Higuchi, N.; Kira, T.; Lescure, J. P.; Nelson, B. W.; Ogawa, H.; Puig, H.; Riera, B.; Yamakura, T. 2005. Tree allometry and improved estimation of carbon stocks and balance in tropical forests. *Oecologia*, 145:87–99
- Christou, M. 2001. Giant Reed in Europe. In: Proceedings of the 1th World Conference on Biomass for Energy and Industry, Sevilla, Espanha, 5–9 Junho, 2000. pp. 2092–2094.
- Christou, M., Mardikis, M.; Alexopoulou, E.; Cosentino, S.; Copani, V.; Sanzone, E. 2003. Environmental studies on *Arundo donax*. In: Proceedings of the 8th International Conference on Environmental Science and Technology. Universidade de Aegean, Ilha de Lemos, Grécia. pp. 102-110.
- Coffman, G. C.; Ambrose, R. F.; Rundel, P. W. 2004. Invasion of *Arundo donax* in river ecosystems of Mediterranean climates: causes, impacts and management strategies. In: Proceedings of the 10th MEDECOS Conference, 25 Abril – 1 Maio 2004, Ilha de Rhodes, Grécia. pp. 1-8.
- Coffman, G. C. 2007. Factors Influencing Invasion of Giant Reed (*Arundo donax*) in Riparian Ecosystems of Mediterranean-type Climate Regions. Tese de Doutorado. Programa de Filosofia e Ciências Ambientais e da Saúde, Universidade da Califórnia, Estados Unidos. 282p.
- Coffman, G. C.; Ambrose, R. F.; Rundel, P. W, 2010. Wildfire promotes dominance of invasive giant reed (*Arundo donax*) in riparian ecosystems. *Biological Invasions*, 12: 2723–2734.

- Connor, H. E. e Dawson, M. I., 1993. Evolution of reproduction in *Lamprothyrsus* (Arundineae: Gramineae). *Annals of the Missouri Botanical Garden*, 80:512–517.
- Cosentino, S. L.; Copani, V.; D’Agosta, G. M.; Sanzone, E.; Mantineo, M. 2005. First results on evaluation of *Arundo donax* L. clones collected in Southern Italy. *Industrial Crops and Products*, 23:212–22.
- Coutinho, L. M. 1982. Aspectos ecológicos da saúva no cerrado - os murundus de terra, as características psamofíticas das espécies de sua vegetação e a sua invasão pelo capim-gordura. *Revista Brasileira de Botânica*, 42:147-153
- Coutinho, L. M. 1990. Fire in the ecology of the Brazilian cerrado. *In: Fire in the Tropical Biota*. Goldammer, J. (ed.). Berlin: Springer-Verlag. pp. 273-291.
- Christopher, J., Abraham, A., 1971. Studies on the cytology and phylogeny of South Indian grasses. I. Subfamilies Bambusoideae, Oryzoideae, Arundinoideae and Festucoideae. *Cytologia*, 36:579–594.
- Czech, B.; Krausman, P. R. 1997. Distribution and causation of species endangerment in the United States. *Science*, 277:116-117.
- D’Antonio, C. 1997. Introduction. *Assessment and Management of Plant Invasions*. Nova Iorque:Springer. 338p.
- D’Antonio, C.M. 2000. Fire, plant invasions, and global changes. *In Invasive Species in a Changing World* (eds Mooney, H. A., Hobbs, R. J.). Washington: Island Press. pp. 65–93.
- D’Antonio, C. M. e Meyerson, L. A. 2002. Exotic plant species as problems and solutions in ecological restoration: a synthesis. *Restoration Ecology*, 10:703-713.
- D’Antonio, C. M. e Vitousek, P. M. 1992. Biological invasions by exotic grasses, the grass/fire cycle, and global change. *Annual Review of Ecology and Systematics*, 23: 63-87.
- Daar, S. 1983. Using goats for brush control. *The IPM Practitioner*, 5:4-6.

- Daoust, R. J. D. L. e Childers, 1998. Quantifying aboveground biomass and estimating net aboveground primary production for wetland macrophytes using a non-destructive phenometric technique. *Aquatic Botany*, 62:115– 133.
- Decruyenaere, J. G. e Holt, J. S. 2001 Seasonality of clonal propagation in giant reed. *Weed Science*, 49: 760-767.
- Decruyenaere, J. G. e Holt, J. S. 2005. Ramet demography of a clonal invader, *Arundo donax* (Poaceae), in Southern California. *Plant and Soil*, 277:41–52.
- Di Castri, F. 1991 An ecological overview of the five regions with a Mediterranean climate. *Biogeography of Mediterranean Invasions*. (eds Groves, R. H. e Di Castri, F.). Cambridge: Cambridge University Press. pp 3-16.
- Diggle, P. K., S. Lower, and T. A. Ranker. 1998. Clonal diversity in alpine populations of *Polygonum viviparum* (Polygonaceae). *International Journal of Plant Sciences*, 159:606-615.
- DiPietro, D. Y. 2000. Mapping the invasive plant *Arundo donax* and associated riparian vegetation using hyperspectral remote sensing. Dissertação de Mestrado. Programa de Pós Graduação em Geografia, Universidade da Califórnia, Estados Unidos. 44p.
- Discover Life. 2012. Mapa de distribuição de *Arundo donax* no mundo. Disponível em http://www.discoverlife.org/mp/20m?kind=Arundo+donax&guide=North_American_Invasives&flags=HAS:. Acesso em 05 de janeiro de 2013.
- DiTomaso, J. M. 1998. Biology and ecology of giant reed. In: Bell, C.E. ed, in: *Arundo and Saltcedar: the Deadly Duo- Proceedings of a workshop on combating the threat from Arundo and saltcedar*. University of California Cooperative Extension: 1-5.
- DiTomaso, R.; Hobbs, J.; Pellant, M. e Pyke, D. 2004. Effects of invasive plants on fire regimes. *Bioscience*, 54:677-688.

- Douce, R.S. 1993. The biological pollution of *Arundo donax* in river estuaries and beaches. In Proceedings of the *Arundo donax* workshop, 19 Novembro de 1993, Ontário, Canadá.
- Dudley, T. L. 2000. *Arundo donax* L. In: Invasive Plants of California's Wildlands. C. C. Bossard e J. M. Randall (eds). Berkeley: University of California Press. p. 53–58.
- Dudley, T. L. e Collins, B. 1995. Biological invasions in California wetlands: the impacts and control of non-indigenous species in natural areas. Oakland: Pacific Institute for Studies in Development, Environment and Security. 59p.
- Dukes, J. S.; Mooney, H. A. 2004. Revista Chilena de Historia Natural, 77:411–437.
- Elmore, C. L. 1990. Use of solarization for weed control. Soil Solarization. (eds. DeVay, J. E.; Stapleton, J. J.; Elmore, C. L.), Roma: United Nations. pp. 61-72.
- Else, J. A. 1996. Post-flood establishment of native woody species and an exotic, *Arundo donax*, in a Southern California riparian system. Dissertação de Mestrado. Programa de Pós Graduação em Ciências. Universidade de San Diego, Estados Unidos. 81p.
- Ellstrand, N. C. e M. L. Roose. 1987. Patterns of genotypic diversity in clonal plant species. Am. J. Bot., 74:123-131.
- Estados Unidos - Departamento de Agricultura. 1993. Eradication of *Arundo donax*: San Francisquito and Soledad Canyons. Environmental Assessment. Arcadia, Califórnia.
- Evans R. C.; Tingey, D. T.; Gumpertz, M. L.; Burns, W. F. 1982. Estimates of isoprene and monoterpene emission rates in plants. Botanical Gazette, 143:304-310.
- Ferreira, M. E. e Grattapaglia, D. 1998. Introdução ao uso de marcadores moleculares em análise genética. Brasília: Embrapa/Cenargen, 220p.
- Filgueiras, T. de S. 1990. Africanas no Brasil: Gramíneas introduzidas da África. Cadernos de Geociências, 5: 57 -63.

- Filgueiras, T. S. 2005. Asiáticas no Brasil: gramíneas (Poaceae) introduzidas da Ásia. *Eugeniana*, 28:3-18.
- Frandsen, P. e Jackson, N. (1993) Impact of *Arundo donax* on flood control and endangered species. In Proceedings of the *Arundo donax*, workshop, 19 novembro 1993, Ontário, Canadá.
- Frandsen, P. 1997. Team *Arundo*: Interagency cooperation to control giant cane (*Arundo donax*). In: Assessment and Management of Plant Invasions. J. O. Luken e J. W. Thieret (eds). Nova Iorque: Springer. pp. 244–248.
- Freitas, G. K. 1999. Invasão biológica pelo capim-gordura (*Melinis minutiflora* Beauv.) em um fragmento de Cerrado (A.R.I.E Cerrado Pé-de-Gigante, Santa Rita do Passa Quatro, SP). Dissertação de Mestrado. Programa de Pós Graduação em Ecologia, Universidade de São Paulo, São Paulo. 157p.
- Fukushima, R. S.; Garippo, G.; Habitante, A. M. Q. B. e Lacerda, R. S. 2000. Extração de lignina e emprego da mesma em curvas de calibração para mensuração da lignina em produtos vegetais. *Revista Brasileira de Zootecnia*, 29:1302-1311.
- Gaffney, K. A. e Gledhill, K. 2003. Influence of giant reed on floodplain riparian plant communities: implications for invasive plant control and habitat restoration at the watershed level. In Proceedings of the Riparian Habitat and Floodplains Conference, 12-25 Março, 2001, Sacramento, Estados Unidos.
- Grattapaglia, D.; O'malley, D.; Sederoff, R. 1992. Multiple applications of RAPD markes to genetic analysis in *Eucalyptus* sp. In Proc. of the IUFRO Conference Breeding Tropical Trees, Cartagena e Cali, Colômbia.

- Genton, B. J.; Shykoff, J. A.; Giraud, T., 2005. High genetic diversity in French invasive populations of common ragweed, *Ambrosia artemisiifolia*, as a result of multiple sources of introduction. *Mol. Ecol.* 14:4275–4285
- Giesy, J. P.; Dobson, S.; Solomon, K. R. 2000. Ecotoxicological risk assessment for Roundup herbicide. *Reviews of Environmental Contamination & Toxicology*, 167:35-120.
- Godt, M. J. W., Hamrick, J. L. 1991. Genetic variation in *Lathyrus latifolius* (Leguminosae). *American Journal of Botany*, 78:1163–1171.
- Griffiths, A. J. F.; Miller, J. H.; Suzuki, D. T.; Lewontin, R. C.; Gelbart, W. M. 1998. *Introdução à genética*. Rio de Janeiro: Guanabara, 856p.
- Grossinger, R.; Alexander, J.; Cohen, A.; Collins, J. N. 1998. Introduced Tidal Marsh Plants in the San Francisco Estuary: Regional Distribution and Priorities for Control. Richmond: San Francisco Estuary Institute. 42p.
- Guthrie, G. Impacts of the invasive reed *Arundo donax* on biodiversity at the community-ecosystem level. Dissertação de Mestrado. Programa de Pós Graduação em Biodiversidade e Biologia da Conservação, Universidade Western Cape, Cidade do Cabo. 171p.
- Haddadchi, A.; Gross, C. L.; Fatemi, M. 2012. The expansion of sterile *Arundo donax* (Poaceae) in southeastern Australia is accompanied by genotypic variation. *Aquatic Botany*, 104:153–161.
- Haltuch, M. A.; Berkman, P. A.; Garton, D. W., 2000. Geographic information system (GIS) analysis of ecosystem invasion: Exotic mussels in Lake Erie. *Limnology and Oceanography*, 45:1778-1787.
- Harding, D. J.; Lefsky, M. A.; Parker, G. G.; Blair, J. B. 2001. Laser altimeter canopy height profiles methods and validation for closed-canopy, broadleaf forests. *Remote Sensing of Environment*, 76:283–297.

- Harry, M.; Robbin, S.; Lachaise, D. 1998. L'utilisation de marqueurs génetiques polymorphes (RAPDs) en entomologie évolutive et appliquée. *Annales de la Société Entomologique de France*, 34: 9-32.
- Hendrickson, D. e McGaugh, S. 2005. *Arundo donax* (Carrizo Grande/Giant Cane) in Cuatro Ciénegas. 17p. Disponível em <http://www.desertfishes.org/cuatroc/organisms/non-native/arundo/Arundo.html>. Acesso em 15/05/2010.
- Herrera, A. M. e Dudley, T. L. (2003) Reduction of riparian arthropod abundance and diversity as a consequence of giant reed (*Arundo donax*) invasion. *Biological Invasions*, 5: 167-177.
- Hewitt, C. N.; Monson, R. K.; Fall, R. 1990. Isoprene emissions from the grass *Arundo donax* L. are not linked to photorespiration. *Plant Science*, 66:139-144.
- Hickman, J. C. 1993. *The Jepson Manual: Higher Plants of California*. Berkeley: University of California Press. 1424p.
- Horowitz C.; Martins, C. R.; Machado, T. 2007. Espécies exóticas arbóreas, arbustivas e herbáceas que ocorrem nas zonas de uso especial e de uso intensivo do Parque Nacional de Brasília: diagnósticos e manejo. Brasília: IBAMA. 57p.
- Hughes, F. e Vitousek, P. M. 1993. Barriers to shrub establishment following fire in the seasonal submontane zone of Hawaii. *Oecologia*, 93: 557-563
- Hughes, F.; Vitousek, P. M.; Tunison, T. 1991. Alien grass invasion and fire in the seasonal submontane zone of Hawaii. *Ecology*, 72:743-746
- IBGE. 2010. Imagens do satélite ALOS. Disponível em <http://www.ibge.gov.br/alos/default.php>. Acesso em 13 de maio de 2010.
- Integrated Taxonomic Information System (ITIS). *Catalogue of Life: Arundo. donax*. Disponível em

http://www.itis.gov/servlet/SingleRpt/SingleRpt?search_topic=TSN&search_value=41450.

Acesso em 04 de agosto de 2012.

- Iverson, M. 1993 The impact of *Arundo donax* on water resources. In Proceedings of the *Arundo donax* workshop, 19 novembro 1993, Ontário, Canadá.
- Jackson, N.E. 1993. The story of Team Arundo. California EPPC News (United States), 1, 6-7.
- Jensen, W. A. 1962. Botanical histochemistry: principles and practices. São Francisco: W. H. Freeman. 408p.
- Johnson, M.; Dudley, T. e Burns, C. 2006. Seed production in *Arundo donax*? Cal-IPC News Fall, 14:12-13.
- Johansen, D. A. 1940. Plant microtechnique. Nova Iorque: Mc Graw Hill Book. 523p.
- Joshi, C.; De Leeuw, J.; Van Duren, I. C. 2004. Remote sensing and GIS applications for mapping and spatial modelling of invasive species. In Proceedings of ISPRS Istanbul, vol. 35, B7 (7), pp. 669–77.
- Katan, J.; Grinstein, A.; Greenberger, A.; Yarden, O.; DeVay, J. E. 1987. First decade (1976-1986) of soil solarization (solar heating)-A chronological bibliography. *Phytoparasitica*, 15:229-255.
- Keeley, J. E. e Fotheringham, C. J. 2005. Lessons learned from the wildfires of October 2003. In *Fire, Chaparral, and Survival in Southern California* (ed Halsey, R. W.), San Diego: Sunbelt Publications. pp. 112–122.
- Keeley, J. E. 2004. Invasive plants and fire management in California Mediterranean-climate ecosystems. In 10th International Conference on Mediterranean Climate Ecosystems (MEDECOS), (eds. Arianoutsou, M.; Papanastasis, V. P.). Millpress: Rhodes, Grécia.

- Klink, C. A. 1994. Effects of clipping on size and tillering of native and African grasses of the Brazilian savannas (the Cerrado). *Oikos*, 70:365-376.
- Klink, C. A.; Macedo, R. H. e Mueller, C. C. 1995. De Grão em Grão o Cerrado Perde espaço. Brasília: WWF. 66p.
- Klink, C. A. e Machado, R. B. 2005. A conservação do Cerrado brasileiro. *Megadiversidade*, 1:147-155.
- Khudamrongsawat, J.; Tayyar, R. e Holt, J. S. 2004. Genetic diversity of giant reed (*Arundo donax*) in the Santa Ana River, California. *Weed Science*, 52:395–405.
- Kraus, J. E. e Arduim, M. 1997. Manual básico de métodos em morfologia vegetal. Seropédica: EDUR. 198p.
- Lande, R., 1988. Genetics and demography in biological conservation. *Science*, 241:1455–1460
- Langeron, M. 1949. Précis de Microscopie. 7ª Ed. Paris: Masson e Cie. 1430p.
- Liang, L. e Phillips, S. M., 2006. Flora of China, Poaceae.115. *Arundo* Linnaeus, Sp. Pl. 1:81. 1753. Missouri Botanical Garden Press, St. Louis.
- Luque, R.; Sousa, H. K. e Kraus, J. E. 1996. Métodos de coloração de Roeser (1972) – modificado – e Kropp (1972) visando a substituição do azul de Astra por azul de alcião 8GS ou 8GX. *Acta Botanica Brasílica*, 10:199-212.
- Levine, J. M.; Vilá, M.; D’Antonio, C. M.; Duks, J. S.; Grigulis, K. e Lavorel, S. M. 2003. Mechanisms underlying the impacts of exotic plant invasions. *Proc. R. Soc. Lond. B*, 270: 775-781.
- Lewandowski, I.; Scurlock, J. M. O.; Lindvall, E.; Christou, M. 2003. The development and current status of perennial rhizomatous grasses as energy crops in the US and Europe. *Biomass and Bioenergy*, 25:335-361.

- Lockwood, J. L.; Hoopes, M. F.; Marchetti, M. P. 2007. Invasion ecology. Oxford: Blackwell Publishing. 312p.
- Los, S. O.; Tucker, C. J.; Anyamba, A.; Cherlet, M.; Collatz, G. J.; Giglio, L.; Hall, F. G.; Kendall, J. A. 2002. Environmental modelling with GIS and RS. Taylor & Francis, London.
- Lowe S.; Browne, M.; Boudjelas, S.; De Poorter, M. (2000) 100 of the World's Worst Invasive Alien Species A selection from the Global Invasive Species Database. Nova Zelândia: The World Conservation Union (IUCN). 12p.
- Machado, R. B.; Ramos Neto, M. B.; Pereira, P.; Caldas, E.; Gonçalves, D.; Santos, N.; Tabor, K. e Steininger, M. 2004. Estimativas de perda da área do Cerrado brasileiro. Conservation International do Brasil, Brasília. 25p.
- Mack, R. N.; Simberloff, D.; Lonsdale, W. M.; Evans, H.; Clout, M. e Bazzaz, F. 2000. Biotic invasions: cause, epidemiology, global consequences, and control. *Ecological Applications*, 10:689-710.
- Macdonald, I. A. W.; Powrie, F. J. e Siegfried, W. R. 1986. The differential invasions of southern African's biomes and ecosystems by alien plants and animals. *In: The ecology & management of biological invasions in Southern Africa*. I. A. W. Macdonald; F. J. Kruger A. A. Ferrar (eds); Oxford: Oxford University Press. pp. 209-225.
- Macdonald, I. A. W. 1988. The invasion of introduce species into nature reserves in tropical savannas and dry woodlands. *Biological Conservation*, 44:67-93.
- Mackenzie, A. 2004. Giant Reed. *The Weed Workers' Handbook*. (eds C. Harrington & A. Hayes). Califórnia: The Watershed Project and California Invasive Plant Council. pp. 92-93.

- Mariani, C.; Cabrini, R.; Danin, A.; Piffanelli, P.; Fricano, A.; Gomasca, S.; Dicandilo, M.; Grassi, F.; Soave, C.; 2010. Origin, diffusion and reproduction of the giant reed (*Arundo donax* L.): a promising weedy energy crop. *Annals of Applied Biology*, 157, 191–202.
- Martins, C. R.; Leite, L. L. e Haridsan, M. 2004. Capim-gordura (*Melinis minutiflora* P. Beauv.), uma gramínea exótica que compromete a recuperação de áreas degradadas em unidades de conservação. *Revista Árvore*, 5:739-747.
- Martins, C. R.; Hay, J. D. V.; Valls, J. F. M; Leite, L. L. e Henriques, R. P. B. 2007. Levantamento das gramíneas exóticas do Parque Nacional de Brasília, Distrito Federal, Brasil. *Natureza e Conservação*, 5: 23-30.
- Martins, C. R.; Hay, J. D. V. e Carmona, R. 2009. Potencial invasor de duas cultivares de *Melinis minutiflora* no cerrado brasileiro – características de sementes e estabelecimento de plântulas. *Revista Árvore*, 33:713-722.
- McCormick, C. M., 1999. Mapping exotic vegetation in the Everglades from large-scale aerial photographs. *Photogrammetric Engineering and RS*, 65:179-184.
- Mendonça, R.; Felfili, J. M.; Walter, B. M. T.; Silva Júnior, M. G.; Rezende, A. V.; Filgueiras, T. S. e Nogueira, P. E. 1998. Flora vascular do Cerrado. *In: Cerrado: Ambiente e Flora*. S. M. Sano e S. P. Almeida (eds.). Brasília: EMBRAPA. pp. 289-556.
- Miles, D. H.; Tunsuwan, K.; Chittawong, V.; Kokpol, U.; Choudhary, M. I.; Clardy, J. 1993. Boll weevil antifeedants from *Arundo donax*. *Phytochemistry*, 34:1277-1279.
- Milton, S. J. 2004. Grasses as invasive alien plants in South Africa. *South African Journal of Science*, 100: 69-75.
- Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA). 2009. Regras para análise de sementes/Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Secretaria de Defesa Agropecuária. – Brasília: Mapa/ACS, 399 p.

- Ministério do Meio Ambiente (MMA). 1998. Primeiro relatório nacional para a Conservação sobre Diversidade Biológica. Brasília: Ministério do Meio Ambiente (MMA). 284p.
- Ministério do Meio Ambiente (MMA). 2000. Convenção sobre Diversidade Biológica. Brasília: Ministério do Meio Ambiente (MMA). 32p.
- Ministério do Meio Ambiente (MMA). 2012. Resolução CONABIO n.º 05, de 21 de outubro de 2009. Disponível em http://www.mma.gov.br/estruturas/conabio/_arquivos/resoluo_conabio05_estrategia_32a_nacional_especies_exticas_invasoras_15.pdf. Acesso em 15 de abril de 2010.
- Monheit, S. 2003. Glyphosate-based aquatic herbicides – an overview of risk. California Department of Food & Agriculture, Integrated Pest Control. Noxious Times, Summer, p. 5-9.
- Mooney, H. A. e Hobbs, R. J. 2000. Invasive Species in a Changing World, Washington: Island Press. 457p.
- Morosini, I. B. e Klink, C. A. 1997. Interferência do capim-gordura (*Melinis minutiflora* Beauv.) no desenvolvimento de plântulas de embaúba (*Cecropia pachystachya* Trécul). In: Contribuição ao conhecimento ecológico do Cerrado. L. L. Leite e C. H. Saito (eds). Brasília: Universidade de Brasília. pp. 82-86.
- Müller-Schärer, H. e Steinger, T., 2004. Predicting evolutionary change in invasive, exotic plants and its consequences for plant–herbivore interactions. In: Genetics, Evolution and Biological Control. Cambridge: CAB International. pp. 137–162.
- Münzbergová, Z. 2007. Population dynamics of diploid and hexaploid populations of a perennial herb. *Annals of Botany*, 100:1259–1270.
- Myers, N.; Mittermeier, R. A.; Mittermeier, C. G.; Fonseca, G. A. B. e Kent, J. 2000. Biodiversity hotspots for conservation priorities. *Nature*, 403: 853-858.

- Organização das Nações Unidas (ONU). 2012. The future we want. Disponível em <http://hotsite.mma.gov.br/rio20/wp-content/uploads/THE-FUTURE-WE-WANT.pdf>. Acesso em 12 de novembro de 2012.
- Paiva, J. G. A.; Fank-de-Carvalho, S. M.; Magalhães, M. P. e Graciano-Ribeiro, D. 2006. Verniz vitral 500[®]: uma alternativa de meio de montagem economicamente viável. *Acta Botanica Brasília*, 20:257-264.
- Pandit, M .K.; Pockock, M. J. O.; Kunin, W. E. 2011. Ploidy influences rarity and invasiveness in plants. *Journal of Ecology*, 99:1108–1115.
- Panetta, F. D. e Timmins, S. M. 2004. Evaluating the feasibility of eradication for terrestrial weed incursions. *Plant Protection Quarterly*, 19:5-11.
- Papazoglou, E. G.; Karantounias, G. A.; Vemmos, S. N.; Bouranis, D. L. 2005. Photosynthesis and growth responses of giant reed (*Arundo donax* L.) to the heavy metals Cd and Ni. *Environment International*, 31:243-249.
- Peck, G.G. 1998. Hydroponic growth characteristics of *Arundo donax* L. under salt stress. In: Bell, Carl E., ed. In: *Arundo* and saltcedar: the deadly duo: Proceedings of a workshop on combating the threat from *Arundo* and saltcedar. Universidade da Califórnia, Cooperative Extension: 71.
- Perdue, R. E. 1958. *Arundo donax* - source of musical reeds and industrial cellulose. *Economic Botany*, 12:157-172.
- Pimentel, D.; McNair, S.; Janecka, J.; Wightman, J.; Simmonds, C.; O'Connell, C.; Wong, E.; Russel, L.; Zen, J. Aquino, T.; Tsomondo, T. 2000. Economic and environmental threats of alien plant, animal, and microbe invasions. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 84:1-20.

- Pivello, V. R.; Shida, C. N.; Meirelles, S. T. 1999 (a). Alien grasses in Brazilian savannas: a threat to biodiversity. *Biodiversity & Conservation*, 8:1281-1294
- Pivello, V. R.; Carvalho, V. M. C.; Lopes, P. F.; Peccinini, A. A.; Rosso, S. 1999 (b). Abundance and distribution of native and invasive alien grasses in a “cerrado” (Brazilian savanna) biological reserve. *Biotropica*, 31: 71-82.
- Pivello, V. R.; Carvalho, V. M. C.; Lopes, P. F.; Peccinini, A. A.; Rosso, S. 1999 (b). Abundance and distribution of native and invasive alien grasses in a “cerrado” (Brazilian savanna) biological reserve. *Biotropica*, 31: 71-82.
- Pivello, V. R. 2011. Invasões Biológicas no Cerrado Brasileiro: Efeitos da Introdução de Espécies Exóticas sobre a Biodiversidade. Disponível em <http://www.ecologia.info/cerrado.htm>. Acesso em 15 de setembro de 2012
- Pivello, V. R.; Carvalho, V. M. C.; Lopes, P. F.; Peccinini, A. A. e Roso, S. 1999. Abundance and distribution of native and alien grasses in a “cerrado” (Brazilian savanna) biological reserve. *Biotropica*, 31:71-82.
- Polunin, O. e A. Huxley. 1987. *Flowers of the Mediterranean*. Londres: Hogarth. 199p.
- Quinn, L. D. e Holt, J. S. 2008. Ecological correlates of invasion by *Arundo donax* in three southern California riparian habitats. *Biological Invasions*, 10:591–601.
- Reed, D. H. e Frankham, R., 2001. How closely correlated are molecular and quantitative measures of genetic variation? A meta-analysis. *Evolution*, 55:1095–1103.
- Reis, R. A.; Schwert, D. P.; Ashworth, A. C. 1995. Field preservation of Coleoptera for molecular genetic analyses. *Environment Entomology*, 24:716-719.
- Rejmánek, M. 1989. Invasibility of plant communities. *Biological Invasions: a global perspective*. (eds Drake, J. A.; Mooney, H. A.; Di Castri F.; Groves, R .H.; Kruger, F. J.; Rejmánek, M.; Williamson, M.), Chichester: John Wiley & Sons. pp. 369-388.

- Rieger, J. P. e Kreager, A. 1989. Giant reed (*Arundo donax*): a climax community of the riparian zone. In Proceedings of the California Riparian Systems Conference, 22-24 Setembro 1988, Davis, California, Estados Unidos. pp. 222-225.
- Rieger, J. P. e Kreager, D. A. 1998. Giant reed (*Arundo donax*): a climax community of the riparian zone, USDA Forest Service General Technical Report PSW, 110: 222-225.
- Robbins, W. W.; Bellue, M. K.; Ball, W. S. 1951. Weeds of California. Departamento de Agricultura, Sacramento.
- Roderick, G.K., 2004. Tracing the origin of pests and natural enemies: genetic and statistical approaches. In: Genetics, Evolution and Biological Control, (eds. Ehler, L. E.; Sforza, R.; Mateille, T.), Cambridge: CAB International. pp. 97–112.
- Roderick, G. K. e Navajas, M. 2003. Genes in new environments: genetics and evolution in biological control. Nature Reviews Genetics, 4:889–899.
- Rossa, B.; TuAers, A. V.; Naidoo, G., Von Willert, D. J. 1998. *Arundo donax* L. (Poaceae): a C3 species with unusually high photosynthetic capacity. Botanica Acta, 111:216–21.
- Rowlinson, L. C.; Summerton, M.; Ahmed, F. 1999. Comparison of RS data sources and techniques for identifying and classifying alien invasive vegetation in riparian zones. Water SA, 25:497-500.
- Sano, S. M.; Almeida, S. P.; Ribeiro, J. F. 2008 Cerrado Ecologia e Flora, Volume 2. Brasília: EMBRAPA. 1279p.
- Saltonstall, K., 2003. Microsatellite variation within and among North American lineages of *Phragmites australis*. Molecular Ecology 12:1689–1702.
- Scott, G. 1994. *Arundo donax*. In Workshop Proceedings, (eds. Jackson, N. E.; Frandsen, P.; Douthit, S.), Ontário, Canadá, p. 17–18.

- Shafroth, P. B.; Cleverly J. R.; Dudley, T. L.; Taylor, J. P.; Van Riper, C.; Weeks, E. P. e Stuart, J. N. 2005. Control of *Tamarix* in the western United States: Implications for water salvage, wildlife use, and riparian restoration. *Environmental Management*, 35: 231-246.
- Sharma, K. P.; Kushwaha, S. P. S; Gopal, B. 1998. A comparative study of stand structure and standing crops of two wetland species, *Arundo donax* and *Phragmites karka*, and primary production in *Arundo donax* with observations on the effect of clipping. *Tropical Ecology*, 39: 3-14.
- Sidorkewicj, N. S. e Fernandez, O. A. 2000. The line intersection method to estimate total foliage length in *Potamogeton pectinatus* L. *Aquatic Botany*, 68:79–85.
- Silva, J. M. C. e Baetas, J. M. 2002. Biogeographic patterns and conservation in the South American Cerrado: a tropical savanna hotspot. *BioScience*, 52: 225-233.
- Soule, M. E. e Kohm, K. A. 1989. *Research priorities for conservation Biology*. Washington: Island Press. 97p.
- Spencer, D. F.; Liow, P.; Chan, W. K.; Ksander, G. G.; Getsinger, K. D. 2006. Estimating *Arundo donax* shoot biomass. *Aquatic Botany*, 84:272-276.
- Stoms, D. M. e Estes, J. E. 1993. A RS research agenda for mapping and monitoring biodiversity. *International Journal of Remote Sensing*, 14:1839-1860.
- Stow, D.; Hope, A.; Richardson, D.; Chen, D.; Garrison, C.; Service, D. 2000. Potential of colour-infrared digital camera imagery for inventory and mapping of alien plant invasions in South African shrublands. *International Journal of Remote Sensing*, 21:2965-2970.
- Stow, D. A.; Hope, A. S.; George, T. H. 1989. Reflectance characteristics of arctic tundra vegetation from airborne radiometry. *International Journal of Remote Sensing*, 14: 1239-1244.

- Sun, G. e Ranson, K. J. 2000. Modeling Lidar returns from forest canopies. *IEEE Trans. Geoscience and Remote Sensing*, 38:2617–2626.
- Sun, J. H.; Li, Z. C.; Jewett, D. K.; Britton, K. O.; Ye, W. H.; Ge, X. J. 2005. Genetic diversity of *Pueraria lobata* (kudzu) and closely related taxa as revealed by inter-simple sequence repeat analysis. *Weed Research*, 45:255–260.
- Team Arundo del Norte. 1999 (a) Controlling Arundo in your watershed: a guide for organizations. US Environmental Protection Agency and California Department of Fish and Game. Disponível em http://teamarundo.org/education/org_guide.pdf. Acesso em 10 de agosto de 2012.
- Team Arundo del Norte 1999 (b) *Arundo donax*: Status and management needs in the CALFED Bay-Delta Watershed. Disponível em http://teamarundo.org/control_manage/whitepaper.txt. Acesso em 10 de agosto de 2012.
- Tracy, J. L. e DeLoach, C. J. 1999. Suitability of classical biological control for giant reed (*Arundo donax*). In *Proceedings of the Arundo and Saltcedar Workshop*; June 18, Ontário, Estados Unidos. pp. 73– 109.
- Tu, M.; Hurd, C.; Randall, J.M. 2001. *Weed Control Methods Handbook: Tools and Techniques for Use in Natural Areas*. California: The Nature Conservancy. 219p.
- Turner, W.; Spector, S.; Gardiner, N.; Fladeland, M.; Sterling, E.; Steininger, M. 2003. Remote sensing for biodiversity science and conservation. *Trends In Ecology & Evolution*, 18:306-314.
- Underwood, E. C.; Mulitsch, M. J.; Greenberg, J. A.; Whiting, S. L.; Ustin, M. L.; Kefauver, S. C. 2006. Mapping invasive aquatic vegetation in the Sacramento-San Joaquin Delta using hyperspectral imagery. *Environmental Monitoring and Assessment*, 121:47-64.
- UNESCO. 2000. *Vegetação no Distrito Federal – tempo e espaço*. UNESCO, Brasília. 74 p.

- Underwood, E. e Ustin, S. 2012. Trends in Invasive Alien Species. Disponível em www.cbd.int/ts32/ts32-chap-11.shtml. Acesso em 10 de dezembro de 2012.
- Ustin, S. L.; DiPietro, D.; Olmstead, K.; Underwood, E.; Scheer, G. J. Hyperspectral Remote Sensing for Invasive Species Detection and Mapping. In Proceedings of 2002 IEEE International Geoscience and Remote Sensing Symposium, Toronto, Canadá, 24–28 Junho 2002.
- Van der Meer, F., Schmidt, K. S., Bakker, A., & Bijker, W., 2002. New Environmental RS systems. In: Environmental modelling with GIS and RS. Londres: CRC Press. pp. 26-51.
- Van, T. K.; Rayachhetry, M. B.; Center, T. D. 2000. Estimating above-ground biomass of *Melaleuca quinquenervia* in Florida, USA. *J. Aquatic Plant Management*, 38:62–67.
- Vasconcelos G. C. e Gomes J. C. C. 2007. Propagação assexuada de CANA-DO-REINO (*Arundo donax* L.). Comunicado técnico. Pelotas: Embrapa Clima Temperado. 4p.
- Vitousek, P. M.; D'Antonio, C. M.; Loope, L. L.; Westbrooks. R. 1996. Biological invasions as global environmental change. *American Scientist*, 84:468–478.
- Watts, D. A. 2009. Dynamics of water use and responses to herbivory in the invasive reed, *Arundo donax* (L.), Dissertação de Mestrado. Programa de Pós Graduação em Ciências, Ecossistema e Manejo. Universidade do Texas, Estados Unidos.
- Widen, B.; Cronberg, N.; Widen, M. 1994. Genotypic diversity, molecular markers and spatial distribution of genets in clonal plants, a literature survey. *Folia Geobot. Phytotaxon. Praha*, 29:245-263.
- Wijte, A. H. B. M.; Mizutani, T.; Motamed, E. R.; Merryfield, M. L.; Miller, D. E.; Alexander, D. E. 2005. Temperature and endogenous factors cause seasonal patterns in rooting by stem fragments of the invasive giant reed, *Arundo donax* (Poaceae). *International Journal of Plant Science*, 166:507-517.

- Wilcove, D. S. e Chen, L. Y. 1998. Management costs for endangered species. *Conservation Biology*, 12:1405-1407.
- Williams, D. A.; Overholt, W. A.; Cuda, J. P.; Hughes, C. R. 2005. Chloroplast and microsatellite DNA diversities reveal the introduction history of Brazilian peppertree (*Schinus terebinthifolius*) in Florida. *Molecular Ecology*, 14:3643–3656.
- Williams, G. M.; Kroes, R.; Munro, I. C. 2000. Safety evaluation and risk assessment of the herbicide Roundup and its active ingredient, glyphosate, for humans. *Regulatory Toxicology and Pharmacology*, 31:117-165.
- Whittaker, R. H. 1961. Estimation of net primary production of forest and shrub communities. *Ecology*, 42: 177–180.
- Whittaker, R. H. 1962. Net production of shrubs in the Great Smoky mountains. *Ecology*, 43: 357–377.
- Whittaker, R.H. e Marks, P.L., 1975. Methods of assessing terrestrial productivity. In *Primary Productivity of the Biosphere*, (eds. Lieth, H. e Whittaker, R. H.), Nova Iorque: Springer-Verlag. pp. 55–118.
- Wynd, F. L.; Steinbauer, G. P.; Diaz, N. R. 1948. *Arundo donax* as a forage grass in sandy soils. *Lloydia*, 11:181-184.
- Yang, C.; Goolsby, J. A.; Everitt, J. H.; Du, Q. 2012. Applying six classifiers to airborne hyperspectral imagery for detecting giant reed. *Geocarto International*, 27:1–12.
- Zimmerman, P. 1999. Rates of transpiration by a native willow, *Salix exigua*, and by a non-native invasive, *Arundo donax*, in a riparian corridor of northern California. In *Proceedings of the California Exotic Pest Plant Council*, Outubro 1999, Sacramento, Califórnia.
- Zhou, B.; Fu, M.; Xie, J.; Yang, X.; Li, Z. 2005. Ecological functions of bamboo forest: Research and application. *Journal of Forestry Research*, 16:143–147.