



**ALESSANDRA DE OLIVEIRA RIBEIRO**

**ANATOMIA FOLIAR E DO LENHO DE  
ÁRVORES DE *Sebastiania commersoniana*  
(BAILLON) L.B.SM. & R.J.DOWNS  
(Euphorbiaceae) EM SOLO CONTAMINADO  
PELO DERRAMAMENTO DE PETRÓLEO**

**LAVRAS - MG**

**2015**

**ALESSANDRA DE OLIVEIRA RIBEIRO**

**ANATOMIA FOLIAR E DO LENHO DE ÁRVORES DE *Sebastiania commersoniana* (BAILLON) L.B. SM. & R.J. DOWNS (Euphorbiaceae)  
EM SOLO CONTAMINADO PELO DERRAMAMENTO DE  
PETRÓLEO**

Tese apresentada à Universidade Federal de Lavras, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Botânica Aplicada, área de concentração em Botânica Aplicada, para a obtenção do título de Doutora.

Orientador

Dr. Fábio Akira Mori

Coorientador

Dr. Franklin Galvão

**LAVRAS - MG**

**2015**

**Ficha catalográfica elaborada pelo Sistema de Geração de Ficha  
Catalográfica da Biblioteca Universitária da UFLA, com dados  
informados pelo (a) próprio(a) autor(a).**

Ribeiro, Alessandra de Oliveira.

Anatomia foliar e do lenho de árvores de *Sebastiania  
commersoniana* (BAILLON) L.B.SM. & R.J. DOWNS (Euphorbiaceae)  
em solo contaminado pelo derramamento de petróleo / Alessandra de  
Oliveira Ribeiro. – Lavras: UFLA, 2015.

105 p.

Tese (doutorado) – Universidade Federal de Lavras, 2015.

Orientador: Fábio Akira Mori.

Bibliografia.

1. Petróleo. 2. Contaminação ambiental. 3. Anatomia. I.  
Universidade Federal de Lavras. II. Título.

**ALESSANDRA DE OLIVEIRA RIBEIRO**

**ANATOMIA FOLIAR E DO LENHO DE ÁRVORES DE *Sebastiania commersoniana* (BAILLON) L.B. SM. & R.J. DOWNS (Euphorbiaceae)  
EM SOLO CONTAMINADO PELO DERRAMAMENTO DE  
PETRÓLEO**

Tese apresentada à Universidade Federal de Lavras, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Botânica Aplicada, área de concentração em Botânica Aplicada, para a obtenção do título de Doutora.

APROVADA em 12 de junho de 2015.

Dr. Mario Tommasiello Filho	ESALQ/USP
Dra. Adriana Tiemi Nakamura	UFU
Dr. Fabrício José Pereira	UFLA
Dra. Marcela Gomes da Silva	UFRA

Dr. Fábio Akira Mori  
Orientador

Dr. Franklin Galvão  
Coorientador

**LAVRAS - MG**

**2015**

Agradeço a Deus, por ter me dado condições de lutar e sempre seguir em frente na busca dos meus objetivos. Aos meus pais, por toda dedicação, amor e pelos exemplos de vida que contribuíram para a minha formação profissional, mas, principalmente, do meu caráter e dos meus valores. Aos meus irmãos, pela torcida e incentivo.

#### OFEREÇO

*A minha filha amada, Jéssica.*

*Ao Tiago, pelo amor e companheirismo.*

#### DEDICO

## AGRADECIMENTOS

Gostaria de agradecer, primeiramente, à minha família. Aos meus pais, meus irmãos e minha avó, por sempre me apoiarem nesta caminhada.

À Universidade Federal de Lavras e ao Programa de Pós Graduação em Botânica Aplicada.

Ao meu orientador, Prof. Fábio Akira Mori, pela orientação durante esses anos, pelo respeito, incentivo e confiança.

Ao meu coorientador, Prof. Franklin Galvão, da Universidade Federal do Paraná, pela parceria na realização deste trabalho, auxílio nas coletas das amostras e pela imensa ajuda na execução deste trabalho.

Ao professor Mário e à Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz/USP, pela disponibilidade em realizar as análises de densitometria.

À professora Ana Carolina Maioli Campos Barbosa, pelos exemplos de competência, simplicidade e apoio em todos os momentos em que fui procurá-la.

A todos os professores do Programa de Pós-Graduação em Botânica Aplicada, pelo conhecimento transmitido.

Ao professor Fabrício Pereira, pela atenção e proveitosas sugestões para a melhoria do trabalho.

À amiga Selma Lopes Goulart que sempre me ajudou e contribuiu, com alegria e bom humor, nos momentos mais difíceis.

À Marcela e à Cassiana, pela amizade e o pensamento positivo.

Aos amigos e colegas, em especial Matheus, Gabriel, Marina, Santiago e, principalmente, ao Tomaz, pela imensa ajuda nas coletas de dados e na interpretação dos resultados de dendrocronologia.

Muito obrigada a todos!

## RESUMO

A extração de petróleo tem aumentado muito, nos últimos anos, para suprir a crescente exigência energética mundial. O aumento dessa extração tem potencializado os riscos de o petróleo ser acidentalmente descarregado no ambiente e, com isso, o presente estudo foi realizado com o objetivo de verificar o efeito do derramamento de petróleo ocorrido em 2000, em Araucária, Paraná, na espécie arbórea *Sebastiania commersoniana*, dominante em ambientes aluviais na região sul do Brasil. O estudo foi realizado em remanescentes da Floresta Ombrófila Mista Aluvial, em duas localidades na porção centro-sul do primeiro planalto paranaense, designadas como área contaminada e área controle. Foram selecionadas 17 árvores de *Sebastiania commersoniana* na área contaminada e 12 árvores na área controle. Realizaram-se análise de anatomia foliar, caracterização anatômica dos anéis de crescimento, determinação da densidade aparente dos anéis de crescimento, análise dendrocronológica e análise anatômica dos elementos de vasos. Com os resultados obtidos conclui-se que a espécie é tolerante à contaminação por petróleo. As diferenças observadas na anatomia foliar podem não estar relacionadas com o efeito da contaminação por petróleo, uma vez que a composição do solo pode estar exercendo papel relevante sobre estas diferenças. A densitometria de raios X possibilitou a identificação e a demarcação exata dos limites dos anéis de crescimento, bem como as variações de densidade do lenho intra e interanéis de crescimento e no sentido radial. Para os estudos dendrocronológicos observou-se redução no crescimento radial no lenho das árvores, nos anos de 2000 e 2001. A espécie apresenta modificações na anatomia nos elementos de vaso do lenho, comprovando a sua grande plasticidade para ocupar diferentes condições ambientais. Essa capacidade de adaptação da espécie justifica a sua forte presença em ambientes alterados, como observado na área de estudo.

Palavras-chave: Petróleo. Contaminação ambiental. *Sebastiania commersoniana*. Anatomia. Dendrocronologia.

## ABSTRACT

Oil extraction has increased in recent years to meet the growing global energy demand, and this, has boosted the risk of oil being accidentally discharged into the environment. Thereby, the present study aims to determine the effect of the oil spill occurred in 2000, in Araucaria, Parana, in the tree species *Sebastiania commersoniana*, dominant in alluvial environments in southern Brazil. The study was conducted on remnants of the Joint Flood Rain Forest at two sites in south-central portion of the first plateau of Paraná, designated as contaminated area and control area. There were selected 17 trees of *S. commersoniana* from contaminated area and 12 trees from control area. The analysis performed were leaf anatomy, anatomical characterization of the growth rings, determination of bulk density of the growth rings, dendrochronological analysis and anatomical analysis of vessel elements. With the results obtained here, it concluded that the species is tolerant to contamination by oil. The differences observed in leaf anatomy may not be related to the effect of contamination by oil, since the soil composition may be playing a significant role on these differences. The X-ray densitometry allowed the identification and marking of the exact limits of the growth rings of the wood and the density growth of the intra and inter-rings and the radial direction. For dendrochronological studies, was observed a reduction in radial growth in the wood of trees in the years 2000 and 2001. The species show changes in the anatomy of the wood vessel elements, proving its great plasticity to occupy different environmental conditions. This kind of adaptability justifies its strong presence in disturbed habitats, as noted in the study area.

Keywords: Petroleum. Environmental contamination. *Sebastiania commersoniana* Anatomy. Dendrochronology.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1	Aspectos dendrológicos de <i>Sebastiania commersoniana</i> . A-Árvore típica; B: folha e flor e C: Aspecto da madeira.....	21
Figura 2	Localização e distância entre as áreas de coleta das árvores de <i>Sebastiania commersoniana</i> .....	31
Figura 3	A e C. Foto aérea do vazamento de petróleo no ano 2000. A) Óleo atingindo o rio Barigui e seu afluente rio Iguaçu. B) Raízes da vegetação arbórea atingida pelo derramamento. Fonte: Gazeta do Povo (2013). C) Barreira de contenção do óleo derramado no rio Barigui. Fonte: Melo (2006) .....	33
Figura 4	Climatograma mensal de precipitação e temperatura máxima e mínima para o período de 1972 a 2013, para a região de Curitiba, a partir de dados fornecidos pelo Instituto Nacional de Meteorologia - INMET (2015), modificado pelo autor .....	35
Figura 5	Coleta das amostras do lenho das árvores de <i>S. commersoniana</i> .....	39
Figura 6	Secções paradérmicas (A e B) e transversais (C-F) das folhas de <i>S. commersoniana</i> na área contaminada (A, C, E) e controle (B, D, F). Mesofilo C e D (seta branca) papilas. Nervura central E e F. (ead = epiderme da face adaxial, eab = epiderme da face abaxial, pp = parênquima paliçádico, pj = parênquima esponjoso, xi = xilema, floe = floema, fi = fibras) .....	51
Figura 7	Características anatômicas do lenho na secção transversal das árvores de <i>S. commersoniana</i> na área contaminada. Estrutura macroscópica (A, B e C); estrutura microscópica (D, E, F); B: espessamento da parede das fibras (seta preta) e C: anel semiporoso (seta branca). D e E: seta preta fibras gelatinosas. F: seta preta mácula. Barra Figura A: 1 mm .....	55
Figura 8	Perfil radial de densidade aparente no lenho das árvores de <i>S. commersoniana</i> nas áreas contaminada (A) e controle (B) .....	57
Figura 9	Séries cronológicas máster das árvores de <i>S. commersoniana</i> , nas duas áreas de estudo .....	62
Figura 10	Séries cronológicas padronizadas e número de amostras de árvores de <i>S. commersoniana</i> , nas duas áreas de estudo.....	63
Figura 11	Larguras de anéis de crescimento das árvores de <i>S. commersoniana</i> no período de 1991 a 2010, na área contaminada (A) e na área controle (B) .....	65
Figura 12	Correlações entre índices de anéis de crescimento de <i>S. commersoniana</i> com as variáveis mensais de temperatura mínima (A), média (B) e máxima (C), na área contaminada.....	68

Figura 13	Correlações entre índices de anéis de crescimento de <i>S. commersoniana</i> com as variáveis mensais de precipitação na área contaminada.....	69
Figura 14	Correlações entre índices de anéis de crescimento de <i>S. commersoniana</i> com as variáveis mensais de temperatura de temperatura mínima (A), média (B) e máxima(C), na área controle.....	71
Figura 15	Correlações entre índices de anéis de crescimento de <i>S. commersoniana</i> com as variáveis mensais de precipitação na área controle.....	72
Figura 16	Características estruturais dos elementos de vasos de <i>S. commersoniana</i> .....	73
Figura 17	Intervalos de confiança, com 95% de probabilidade, para o comprimento dos elementos de vasos de <i>S. commersoniana</i> , no período de 1995 a 2010.....	74
Figura 18	Intervalos de confiança, com 95% de probabilidade, para o diâmetro e a frequência dos vasos (mm) de <i>S. commersoniana</i> nas duas áreas, no período de 1995 a 2010.....	75
Figura 19	Varição do agrupamento dos vasos: solitários e múltiplos de <i>S. commersoniana</i> , no período de 1995 a 2010, nas duas áreas.....	78
Figura 20	Varição do agrupamento dos vasos múltiplos de <i>S. commersoniana</i> , no período de 1995 a 2010, nas duas áreas.....	79
Figura 21	Frequência dos vasos no lenho de <i>S. commersoniana</i> , em 1999 (A), 2000 (C) e 2001 (E) área contaminada e em 1999 (B), 2000 (D) e 2001(F) área controle. Barra = 50 µm.....	81
Figura 22	Intervalos de confiança, com 95% de probabilidade, do índice de vulnerabilidade de Carlquist de <i>S. commersoniana</i> , no período de 1995 a 2010, nas duas áreas.....	82
Figura 23	Intervalos de confiança, com 95% de probabilidade, do índice de mesomorfia de <i>S. commersoniana</i> , no período de 1995 a 2010, nas duas áreas.....	83

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1	Dados da circunferência à altura do peito (CAP) e altura das árvores de <i>S. commersoniana</i> , nas duas áreas de estudo.....	37
Tabela 2	Parâmetros físico-químicos e teor de hidrocarbonetos totais do petróleo (TPH) no solo da área contaminada e controle .....	48
Tabela 3	Médias das características anatômicas quantitativas das folhas de <i>Sebastiania commersoniana</i> entre as áreas contaminada e controle...	50
Tabela 4	Valores de densidade média, desvio padrão e coeficiente de variação das amostras do lenho de <i>S. commersoniana</i> .....	58
Tabela 5	Resultado da sincronização entre as séries cronológicas dos anéis de crescimento de <i>S. commersoniana</i> em áreas distintas.....	60

## SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	12
2	OBJETIVOS.....	14
3	REFERENCIAL TEÓRICO.....	15
3.1	Floresta Ombrófila Mista Aluvial.....	15
3.2	Efeitos da poluição por petróleo nas plantas.....	17
3.3	<i>Sebastiania commersoniana</i> (BAILLON) L.B. SMITH & R.J. DOWNS.....	19
3.4	Anatomia foliar.....	22
3.5	Dendrocronologia.....	23
3.6	Densitometria de raios X aplicada na análise do lenho dos anéis de crescimento.....	26
3.7	Estudo dos elementos de vasos nos anéis de crescimento do lenho das árvores.....	28
4	MATERIAL E MÉTODOS.....	31
4.1	Caracterização das áreas de estudo.....	31
4.2	Análise química do solo.....	36
4.3	Seleção das árvores de <i>S. commersoniana</i> nas áreas de estudo.....	36
4.4	Anatomia da folha.....	37
4.5	Coleta das amostras do lenho das árvores.....	39
4.5.1	Caracterização anatômica dos anéis de crescimento.....	39
4.5.2	Determinação da densidade aparente do lenho por densitometria de raios X.....	40
4.5.3	Análise dendrocronológica do lenho das árvores de <i>S. commersoniana</i> .....	41
4.5.4	Análise dos elementos de vasos.....	44
4.6	Análise estatística.....	45
5	RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	47
5.1	Análise química do solo.....	47
5.2	Anatomia foliar.....	49
5.3	Caracterização anatômica dos anéis de crescimento.....	53
5.4	Densidade aparente dos anéis de crescimento.....	56
5.5	Análise dendrocronológica dos anéis de crescimento.....	59
5.5.1	Correlação com variáveis climáticas.....	67
5.6	Análise dos elementos de vasos do lenho das árvores.....	72
6	CONCLUSÃO.....	85
7	CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	86
	REFERÊNCIAS.....	87
	ANEXOS.....	104

## 1 INTRODUÇÃO

O petróleo é uma das principais fontes de energia no mundo. O uso de combustíveis contribui largamente para o desenvolvimento econômico e social de um país (PONS et al., 2014). Entretanto, o desenvolvimento em larga escala da indústria do petróleo tem resultado na contaminação do solo, que é um problema ainda não solucionado. A principal causa da poluição por hidrocarbonetos é a ocorrência de derramamentos durante a extração e o transporte do petróleo bruto e seus derivados. Além disso, solos contaminados com hidrocarbonetos derivados do petróleo, em concentrações elevadas, representam risco à saúde humana e impacto ao meio ambiente (MOHSENZADE et al., 2009).

Não obstante, em 16 de julho de 2000, na Refinaria Getúlio Vargas (REPAR), em Araucária, Paraná, ocorreu o vazamento de quatro milhões de litros de petróleo, extravasando pela planície e atingindo, principalmente, as áreas de Formação Pioneira e de Floresta Ombrófila Mista Aluvial, sendo este um dos incidentes ambientais mais marcantes do país, causando um impacto negativo sobre os componentes bióticos da área.

Nas planícies aluviais, a espécie *S. commersoniana* é dominante, formando de 60% a 80% do estrato contínuo das florestas ciliares. Gibbs e Leitão-Filho (1978) relatam que essa espécie é um dos elementos que melhor caracterizam o estrato arbóreo das florestas ciliares.

No mais, quando um derramamento de petróleo ocorre, causa dano imediato à flora e à fauna local, devido à sua toxicidade (POTHULURI; CERNIGLIA, 1994). A toxicidade depende do volume derramado, do tipo de petróleo, da exposição, do tempo, dos fatores ambientais e da sensibilidade dos organismos no ecossistema afetado (MERKL; SCHULTZE-KRAFT; INFANTE, 2005).

Os hidrocarbonetos policíclicos aromáticos (HPA) provenientes do petróleo são um grupo de substâncias que podem apresentar efeitos nocivos aos organismos do solo, incluindo microrganismos e plantas (CHAÎNEAU et al., 2003). Entretanto, as plantas podem ser sensíveis ou tolerantes à poluição (MALALLAH et al., 1996). Segundo Baker (1970), os efeitos da poluição nas plantas podem variar de acordo com o tipo e a quantidade de petróleo envolvido, a época do ano, a idade e as espécies de plantas atingidas.

Nesse contexto o presente estudo foi realizado com o propósito de investigar o efeito do derramamento, tendo como referência a espécie arbórea dominante *Sebastiania commersoniana* no remanescente de floresta aluvial. É de extrema importância a realização de estudos que correlacionem o crescimento da espécie como resposta a interferências ambientais, de forma a facilitar o entendimento do comportamento da vegetação e auxiliar na estruturação e na definição de ações que priorizem a conservação dessas áreas.

## 2 OBJETIVOS

Objetivo geral: verificar o efeito do derramamento de petróleo, ocorrido em 2000, em Araucária, Paraná, em *Sebastiania commersoniana*, espécie arbórea dominante em ambientes aluviais na região sul do Brasil.

Para tanto, foram estabelecidos os seguintes objetivos específicos:

- a) analisar a ocorrência de modificações anatômicas na folha;
- b) descrever anatomicamente os anéis de crescimento;
- c) caracterizar os limites dos anéis de crescimento pela densitometria de raios X, através do perfil radial da densidade intra e interanéis de crescimento;
- d) avaliar o efeito do solo contaminado no crescimento radial do tronco das árvores;
- e) verificar possíveis modificações nos elementos de vasos.

### 3 REFERENCIAL TEÓRICO

#### 3.1 Floresta Ombrófila Mista Aluvial

A Floresta Ombrófila Mista, também conhecida como Floresta de Araucária, é assim designada pela ocorrência de *Araucaria angustifolia*, espécie emblemática desta unidade fitogeográfica, presente, principalmente, na região sul do Brasil e em algumas áreas da região sudeste, em fragmentos de Mata Atlântica (INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA - IBGE, 1992).

Esta unidade fitogeográfica apresenta variações na composição e na fisionomia, em função das características geográficas presentes em sua área de distribuição, podendo ser classificada, segundo o IBGE (1992), como:

- a) aluvial: em terraços antigos situados ao longo dos flúvios;
- b) submontana: de 50 até mais ou menos 400 m de altitude s. n. m.;
- c) montana: de 400 até mais ou menos 1.000 m de altitude s. n. m.;
- d) alto-montana: a mais de 1.000 m de altitude s.n.m.

As florestas aluviais, que correspondem às florestas ripárias, também designadas de florestas ciliares ou de galeria, são formações arbóreas que se desenvolvem às margens dos rios, em diferentes latitudes e altitudes, acompanhando planícies sedimentares recentes e sujeitas a inundações periódicas (LEITE; KLEIN, 1990).

Roderjan et al. (2002) relatam que essas formações apresentam terrenos de geomorfia plana até suave-ondulada, não raro fazendo limite com várzeas de extensão variável. Ainda segundo os mesmos autores, essas formações estão relacionadas com os diferentes graus de desenvolvimento, desde a formação de comunidades simplificadas com a presença dominante da espécie *Sebastiania*

*commersoniana*, em função dos diferentes graus de hidromórficos dos solos deste ambiente, com predominância de Neossolos flúvicos e Gleissolos e/ou associações mais complexas, em que *Araucaria angustifolia* apresenta participação expressiva.

Dentre as funções atribuídas a essas formações, Lima e Zakia (2000) e Oliveira (2001) enfatizam a função hidrológica, comentando que o estado de conservação da vegetação ao longo do curso de água é diretamente correlacionado com fatores de fundamental importância para a integridade da bacia hidrográfica, como a estabilidade das margens, o escoamento das águas das chuvas, a atenuação dos picos nos períodos de cheia, o equilíbrio térmico das águas, a ciclagem de nutrientes e o controle da sedimentação.

Além disso, a vegetação desempenha importante papel no processo de interceptação da chuva (LIMA, 1989), contribuindo para a proteção dos rios (BERNACCI; GOLDENBERG; METZGER, 1998). Contudo, essas formações florestais também propiciam a formação de corredores, favorecendo a migração e a dispersão de animais e plantas (OLIVEIRA, 2001).

Lobo e Joly (2000) relatam que tanto os diferentes níveis de oxigenação do solo quanto os padrões de sedimentação das áreas inundáveis ocasionam uma maior heterogeneidade ambiental, que ocorre em função das mudanças do padrão florístico e estrutural da vegetação.

A eliminação do ar no solo limita as trocas gasosas entre as plantas e a atmosfera, criando um ambiente hipóxico ou anóxico, que exerce caráter seletivo no processo de estabelecimento das espécies (IVANAUSKAS; RODRIGUES; NAVE, 1997; LOBO; JOLY, 2000).

Além disso, as espécies que ocorrem neste ambiente respondem ao alagamento por meio de adaptações morfológicas, anatômicas e fisiológicas. Assim, as florestas aluviais podem ser consideradas importantes nos processos

de especiação, contribuindo para a geração de diversidade de espécies (JUNK; PIEDADE, 1993).

Conforme Paraná (2007), as áreas úmidas são ecossistemas frágeis, de alta complexidade ecológica, importantes para o processo de estabilidade ambiental e manutenção da biodiversidade que, por estarem em relevos planos ou abaciados, se encontram frequentemente com elevados níveis de saturação hídrica. Essa situação determina uma elevada capacidade de fixação de carbono que, por sua vez, resulta em alta capacidade de retenção de água e de íons no solo, aumentando a capacidade de filtragem das águas e de regularização da vazão dos rios.

No entanto, as florestas aluviais estão entre os ecossistemas que sofrem maior pressão antrópica, sendo frequentemente suprimidos pela expansão urbana (ARAUJO et al., 2004).

### **3.2 Efeitos da poluição por petróleo nas plantas**

O petróleo é uma mistura complexa devido à diversidade de substâncias em sua composição. Entre as principais estão os hidrocarbonetos (CLARK; BROWN, 1977). Dentre os hidrocarbonetos de petróleo, os maiores problemas de contaminação nos solos e nas águas subterrâneas são atribuídos aos hidrocarbonetos aromáticos, pois são, geralmente, mais tóxicos que os alifáticos e têm maior mobilidade em água (MELO, 2006).

Acidentes envolvendo derramamento de petróleo podem atingir o lençol freático por percolação (CAVALCANTE; SABADIA, 1992), contaminando rios e, conseqüentemente, a vegetação que compõe as planícies de inundação associadas. Os microrganismos do solo e as plantas, na maioria das vezes, são os primeiros organismos a serem atingidos (CHAÎNEAU et al., 2003).

Os efeitos da poluição por petróleo nas plantas podem variar de acordo com o tipo, a concentração, o momento e a duração da exposição ao poluente, a idade da planta, a época do ano e o tipo de espécie vegetal atingida e as condições edafoclimáticas do local (BAKER, 1970; LARCHER, 2000; LIN et al., 2002; PEZESHKI et al., 2000; SILVA, 2014).

Baker (1970) relata, ainda, que o petróleo pode causar efeitos crônicos ou agudos na planta, diminuindo a condutividade hídrica.

Os sintomas de injúria são variados e, geralmente, não específicos. A mesma substância pode induzir diferentes efeitos em diferentes espécies e, por outro lado, o mesmo sintoma pode ser produzido por diferentes substâncias (BAKER, 1970; LARCHER, 2000).

Desse modo, Larcher (2000) menciona ser imprudente tirar conclusões a partir de um sintoma ou resposta isolado. Padrões de resposta envolvendo vários critérios proporcionam bases mais seguras para um diagnóstico a respeito da poluição como um fator de estresse.

O estresse provocado pelos hidrocarbonetos em espécies vegetais pode ocasionar redução da capacidade de tamponamento dos tecidos (LARCHER, 2000), erosão da cera epicuticular (BAKER, 1970; LARCHER, 2000), diminuição ou aumento da atividade de certas enzimas (LARCHER, 2000) e alterações quantitativas e qualitativas entre metabólitos (LARCHER, 2000; MALALLAH et al., 1998).

Ainda, o aparecimento de hormônios vegetais relacionados ao estresse (especialmente o etileno) pode ocasionar aumento ou diminuição da respiração (LARCHER, 2000), distúrbios na fotossíntese (LARCHER, 2000; LIN et al., 2002), alterações na abertura e fechamento estomático, diminuição na alocação dos assimilados para o sistema radicular (BAKER, 1970; BUJOKAS, 2001; LARCHER, 2000), alterações na taxa de evapotranspiração (LIN et al., 2002) e degradação da clorofila (BAKER, 1970; MALALLAH et al., 1996, 1998).

Alguns trabalhos são encontrados, na literatura, sobre os efeitos negativos no crescimento de plantas expostas à contaminação por petróleo, como os de Inckot (2007), Rezende (2006), Santos (2006) e Silva (2006). A redução na taxa de crescimento pode ser ocasionada pelos componentes tóxicos do petróleo, que podem desintegrar as membranas celulares e, em alguns casos, matar as células (BAKER, 1970), ou por desequilíbrio nutricional causado por alterações químicas e físicas (HESTER; MENDELSSOHN, 2000).

Pesquisas na área de poluição ocasionada por acidentes com derramamentos de petróleo ainda são escassos, principalmente os que analisam os efeitos do petróleo no crescimento e na anatomia de espécies arbóreas.

Nesse sentido, mais trabalhos que analisem tais características tornam-se necessários para que seja possível compreender melhor como as plantas respondem ao estresse causado pela poluição do solo por petróleo e quais espécies podem ser utilizadas para recuperar áreas atingidas por acidentes desse tipo.

### **3.3 *Sebastiania commersoniana* (BAILLON) L.B. SMITH & R.J. DOWNS**

*Sebastiania commersoniana* (BAILLON) L.B. SMITH & R.J. DOWNS, conhecida popularmente como branquilha, pertence à família Euphorbiaceae. É uma espécie arbórea (Figura 1 A) de médio porte (de 20 a 30 m de altura) e, de acordo com Roderjan et al. (2002), ocorre com grande predominância em florestas com solos hidromórficos.

Segundo Isernhagen (2001), a espécie ocorre no nordeste da Argentina, no leste do Paraguai e no Uruguai. No Brasil, ocorre principalmente nas regiões sul e sudeste. No estado do Paraná está presente na Floresta Ombrófila Mista (Montana e Aluvial), na Floresta Estacional Semidecidual (Aluvial) e nos ecótonos entre essas duas unidades. Ocorre, geralmente, em agrupamentos,

chegando a formar populações quase puras, e se desenvolvem em ambientes abertos e em beira de capões (LORENZI, 2002).

Segundo Reitz (1988), *S. commersoniana* é característica e quase exclusiva das planícies aluviais, onde, não raro, se torna a espécie dominante, formando de 60% a 80% do estrato contínuo das florestas ciliares.

Gibbs e Leitão-Filho (1978) relatam que essa espécie é um dos elementos que mais bem caracterizam o estrato arbóreo das florestas ciliares encontradas em várzeas planas do segundo planalto paranaense, tendo, na bacia do rio Tibagi, ocupado a segunda posição, em valor de importância (VI), com 237 indivíduos por hectare (SILVA et al., 1992).

Em estudos fitossociológicos realizados em um trecho de floresta aluvial do rio Barigui, localizado em Araucária, PR, verificou-se que o branquilha é a principal espécie, assumindo também um maior VI (BARDDAL et al., 2004).

Quanto à utilização da espécie, *Sebastiania commersoniana* pode ser empregada na confecção de caibros, cabos de ferramentas, lenha e carvão (REITZ; KLEIN; REIS, 1983).

Devido à sua expressiva ocorrência nas planícies aluviais, essa espécie tem sido estudada por Kolb et al. (1998); Kanieski (2013) sob o ponto de vista de sua capacidade de adaptação a solos sujeitos à saturação hídrica plena.

Barddal (2006) traz um enfoque mais abrangente sobre o comportamento ecofisiológico desta espécie. Este autor estudou a distribuição do branquilha na planície do Iguaçu e avaliou a germinação das sementes e o crescimento de plantas jovens em diferentes graus de umidade do substrato.

Quanto às características morfológicas da espécie, as folhas (Figura 1 B) são simples, alternas, coriáceas, glabras e a face inferior é pubescente, com 2-6 cm de comprimento. Floresce com maior intensidade de setembro a novembro e os frutos amadurecem entre janeiro e abril (LORENZI, 2002).

Em relação à sua madeira, segundo Lorenzi (2002), o branquilha tem madeira moderadamente pesada (0,63 g.cm<sup>-3</sup>), compacta, pouco elástica, alburno amarelado a esbranquiçado e cerne pouco diferenciado (Figura 1C), macia e de baixa durabilidade quando exposta a intempéries (REITZ; KLEIN; REIS, 1983).

Conforme Reitz, Klein e Reis (1983), o tronco é, geralmente, tortuoso e irregular, com casca externa quase lisa, com escamas muito pequenas e retangulares, cor cinza-escura, formando leves fissuras. Traz espinhos nos ramos e troncos novos.



Figura 1 Aspectos dendrológicos de *Sebastiania commersoniana*. A-Árvore típica; B: folha e flor e C: Aspecto da madeira

De acordo com Rodrigues (2005), anatomicamente, o lenho dessa espécie apresenta porosidade difusa, com vasos numerosos, múltiplos, em

arranjo radial; comprimento médio e diâmetro tangencial pequeno, placa de perfuração simples, com ou sem apêndices. O parênquima axial é indistinto a olho nu, apotraqueal, difuso em agregado, às vezes formando pequenas faixas tangenciais contíguas. Os raios são heterogêneos, unisseriados, apresentando células perfuradas. A espécie tem fibras libriformes curtas, com paredes delgadas a espessas. As camadas de crescimento, quando evidenciadas, são demarcadas por zonas fibrosas mais espessadas.

Cosmo, Kuniyoshiii e Botosso (2010) observaram, também, a presença de canais intercelulares e máculas medulares, estas últimas contendo grânulos de amido.

### **3.4 Anatomia foliar**

A folha é o principal órgão fotossintético das plantas, exercendo papel fundamental no crescimento e no desenvolvimento das mesmas (MANDRE et al., 2012).

Vários são os fatores que podem influenciar as características anatômicas foliares das plantas, como intensidade e quantidade de luminosidade, temperatura, altitude, umidade, tipos de solos, como os arenosos e bem drenados, além de disponibilidade de água no solo (TAIZ; ZEIGER, 2006), pH, fertilidade do solo, topografia do relevo (BOTREL et al., 2002) e exposição à poluição (ALKIO et al., 2005; LARCHER, 2006; MELLO JÚNIOR; RAIMUNDO; AMORIM, 2014).

Quanto ao efeito da poluição por petróleo na estrutura das folhas, poucos trabalhos têm sido realizados no Brasil (FARIAS, 2005; MARANHO et al., 2006; MAYER, 2004; OLIVEIRA, 2004) e alguns estudos com a espécie *Sebastiania commersoniana* (Baill.) L. B. Sm. & Downs (BONA et al., 2011; GARCIA et al., 2004; SILVA et al., 2004).

A incidência e o grau de injúria foliar em resposta ao poluente estão relacionados a variáveis como capacidade de umedecimento foliar e de penetração do poluente via cutícula e estômatos, bem como pilosidade, espessura da parede celular, padrão de deposição das ceras epicuticulares e idade da planta, entre outras variáveis (DICKISON, 2000).

Como mencionado acima, pesquisas realizadas com petróleo e derivados que analisem seus efeitos na estrutura interna nas folhas ainda são poucos. Assim, o conhecimento desta espécie torna-se importante para a manutenção desses ambientes aluviais, auxiliando na compreensão das características adaptativas de *S. commersoniana*.

### **3.5 Dendrocronologia**

Dendrocronologia provém do grego (*dendron* = madeira; *chronos* = tempo e *logus* = estudo) e é definida como a ciência que estuda a idade das plantas por meio de análises dos anéis de crescimento do xilema secundário (FRITZ, 1976; SCHWEINGRUBER, 1996).

Conforme Tomazello Filho e Botosso (2001), trata-se de uma ciência que, por meio de análises dos anéis de crescimento, permite a determinação da taxa de crescimento das árvores, avaliando o efeito das variações ecológicas, naturais ou antropogênicas no lenho das árvores. Além disso, constitui uma ferramenta importante no biomonitoramento de ecossistemas florestais subtropicais e tropicais (TOMAZELLO FILHO; BOTOSSO, 2001). A dendrocronologia pode ser aplicada em diversas áreas, como dendroclimatologia, dendroquímica e dendropaleontologia, entre outras (CORONA, 1986).

Os anéis de crescimento podem ser utilizados para estudar as variações climáticas anuais do passado, permitindo reconstruções e prognósticos

climáticos (FRITZ, 1976), sendo considerados verdadeiros bancos de dados naturais que podem armazenar informações ecológicas e históricas (KITZBERGER; VELEN; VILLALBA, 2000; KOZLOWSKI; KRAMER; PALLARDY, 1991).

Nos últimos anos, muita atenção tem sido dada aos estudos das correlações do clima com a largura dos anéis de crescimento para a formação de cronologias (BUCKLEY et al., 1995; ENQUIST; LEFFLER, 2001; PUMIJUMNONG; ECKSTEIN; SASS, 1995; STAHLE et al., 1999).

Neste contexto, a datação cruzada consiste em uma ferramenta de suma importância em estudos dendrocronológicos. Em uma região em que o crescimento das plantas é limitado pela disponibilidade hídrica do ano corrente, espera-se que a maioria das espécies lenhosas forme anéis estreitos, em anos com baixa pluviosidade e anéis largos, em anos com maior quantidade de chuva (FRITTS, 1976; SCHWEINGRUBER, 2007; STAHLE et al., 1999).

Dessa forma, árvores de diferentes povoamentos que se desenvolveram em condições semelhantes, ao longo de um período de anos, devem apresentar sincronismo na variação da largura dos seus anéis de crescimento, permitindo a datação cruzada (CHAGAS, 2009). Nestes casos, comparando-se séries temporais de anéis de crescimento entre árvores, pode-se comparar e corrigir a datação destes anéis. Portanto, por meio da datação-cruzada, pode-se inferir se uma dada população de plantas forma anéis de crescimento com periodicidade anual (FRITTS, 1976; SCHWEINGRUBER, 2007; STAHLE et al., 1999).

Para isso, três programas estatísticos são amplamente utilizados em estudos dendrocronológicos, COFECHA, ARSTAN e RESPO, criados pela Universidade do Arizona (HOLMES, 1983; HOLMES; ADAMS; FRITTS, 1986).

COFECHA tem a função de checar estatisticamente a datação realizada, identificando as amostras, ou segmentos, das amostras que apresentam

problemas de demarcação ou de mensuração dos anéis de crescimento, realizando o princípio fundamental da dendrocronologia que é a datação-cruzada.

O programa ARSTAN, por meio do ajuste de uma função de regressão dos dados de largura dos anéis de crescimento, proporciona a formação de uma cronologia da espécie para posterior comparação com o clima. RESPO tem a função de correlacionar a cronologia formada pelo ARSTAN com as variáveis climáticas (HOLMES, 1983; HOLMES; ADAMS; FRITTS, 1986).

Pesquisas recentes têm comprovado a ocorrência de anéis de crescimento anuais em várias espécies tropicais e subtropicais, corroborando estudos pioneiros do final do século XIX e início do século XX. Ciclos anuais de dormência cambial (ou redução drástica do crescimento) em espécies tropicais estão principalmente relacionados a regimes estacionais de seca ou inundação (MATTOS et al., 2010).

Todavia, estudos dendrocronológicos em espécies tropicais e subtropicais vêm se tornando uma alternativa muito importante para se obter informações do seu crescimento passado, permitindo uma maior compreensão da sucessão ecológica e da dinâmica da floresta. A maioria dos estudos desenvolvidos em áreas tropicais relata correlações entre crescimento e precipitação, devido à baixa variação da temperatura interanual nessas áreas. No entanto, em algumas áreas de clima tropical e em áreas subtropicais, a temperatura também é uma característica limitante ao crescimento (ROZENDAAL; ZUIDEMA, 2011).

Ainda existem poucos estudos dendrocronológicos em áreas de Floresta Aluvial, comparado com a importância e a abrangência dessa unidade fitoecológica (ANDREACCI, 2012; COSMO, 2008; KANIESKI, 2013; LONGHI-SANTOS, 2013; MATTOS et al., 2007a, 2007b, 2010; OLIVEIRA, 2007; WATZLAWICK et al., 2005), o que fortalece a necessidade de um maior

conhecimento sobre os anéis de crescimento das espécies nessas áreas, permitindo avaliar como os eventos ocorridos no passado, a exemplo da poluição ambiental, influenciam o crescimento de *S. commersoniana*.

### **3.6 Densitometria de raios X aplicada na análise do lenho dos anéis de crescimento**

Com a necessidade de se obter informações mais precisas sobre a taxa de crescimento e a idade das árvores de espécies tropicais, a dendrocronologia levou ao desenvolvimento de dois métodos, conhecidos como dinâmico e estático (FAHN et al., 1981).

Neste contexto, a densitometria de raios x é um método que possibilita a determinação da periodicidade da atividade cambial e da taxa de crescimento das árvores e comprova a formação de anéis de crescimento. Por sua vez, as análises dos anéis de crescimento atingiram grande avanço após o desenvolvimento das análises de raios X, na França, por Polge (1963), permitindo a determinação da densidade aparente da madeira inter e intra-anéis de crescimento.

Tomazello Filho, Chagas e Roque (2005) relatam que a técnica da densitometria de raios X constitui uma acurada ferramenta de análise dos anéis de crescimento, propiciando a determinação dos valores pontuais da densidade aparente do lenho, sendo representativa das variações inter e intra-anéis de crescimento. Dentre as áreas em que a técnica é aplicada, destacam-se análises genéticas, silvicultura, proteção fitossanitária e edafoclimáticas (TOMAZELLO FILHO; CHAGAS; ROQUE, 2005).

Ainda, a densitometria de raios X possibilita a determinação da produção anual de biomassa e carbono fixado nos anéis de crescimento do lenho e sua relação com a estrutura anatômica (MOTHE et al., 1998).

Dentre as principais vantagens da aplicação da densitometria de raios X no estudo do lenho das árvores destacam-se o registro radiográfico do lenho, a alta sensibilidade e resolução, a velocidade de processamento dos dados e a interpretação dos perfis radiais de densidade (CASTRO, 2011). Ela tem sido aplicada na análise do lenho de coníferas e folhosas, determinando os perfis radiais da densidade aparente do lenho, a demarcação dos limites dos anéis de crescimento e os valores de densidade média, mínima e máxima (ZUMAETA et al., 2009).

No Brasil, a técnica de densitometria de raios X tem sido empregada no estudo do lenho das árvores de folhosas, como *Croton sonderianus* (SILVA, 2006), *Eucalyptus grandis* x *urophylla* (TOMAZELLO FILHO et al., 2008), *Eucalyptus grandis* (SETTE JUNIOR et al., 2009), *Swietenia macrophylla* (ALVARADO et al., 2010), *Cederela odorata* (ANHOLETTO JUNIOR, 2013), *Caesalpinia pluviosa* var. *peltophoroides* e *Tabebuia pentaphylla* (CHAGAS, 2013), *Azelia xylocarpa*, *Neolitsea obtusifolia*, *Vitex peduncularis*, *Toona ciliata*, *Melia azedarach* e *Chukrasia tabularis* (NOCK et al., 2009), dentre muitas outras.

Considerando a importância que as florestas aluviais representam, em termos de biodiversidade, estudos de densitometria de raios X aplicada na análise do lenho dos anéis de crescimento são úteis para maior conhecimento das espécies dessas áreas.

### **3.7 Estudo dos elementos de vasos nos anéis de crescimento do lenho das árvores**

Durante o processo de formação do lenho das árvores, numerosos fatores, tanto internos quanto externos, conduzem a variações no tipo, no número, no tamanho e na constituição dos seus elementos anatômicos. Estas diferenças podem ser atribuídas tanto à variação axial e radial existente no tronco, como à altura e à posição do anel de crescimento (ROCHA; FLORSHEIM; COUTO, 2004), quanto às condições ambientais (BAAS, 1986).

Em espécies tropicais, condições como altitudes elevadas, precipitação e déficit hídrico, entre outras, induzem a redução ou a dormência do câmbio vascular, resultando na formação dos anéis de crescimento (TOMAZELLO FILHO; CARDOSO, 1999).

Assim, a periodicidade da atividade do câmbio vascular é decorrente de alterações na temperatura, no fotoperíodo e na precipitação, e de fatores endógenos, inerentes a cada espécie, controlando seu ritmo de crescimento (FAHN et al., 1981; WORBES, 2002).

Os anéis de crescimento são camadas de células formadas no xilema das espécies arbóreas pela divisão e diferenciação das células cambiais e caracterizam-se pelas mudanças estruturais abruptas nos seus limites (GASSON; BAAS; WHEELER, 1989). Em espécies tropicais e subtropicais, os anéis de crescimento apresentam diversidade na estrutura anatômica da camada de crescimento, quanto aos elementos de vasos (tamanho, espessura da parede, frequência, distribuição), representando anéis porosos, semiporosos ou difusos (GASSON; BAAS; WHEELER, 1989; VETTER, 2000).

Os elementos de vasos são responsáveis pela condução de água na planta (KEDROV, 2012) e desempenham importante função quanto à vulnerabilidade à cavitação e à embolia (BAAS; WHEELER, 2011).

A literatura relata, ainda, que o diâmetro e a frequência de vasos são diretamente influenciados pelas mudanças ambientais (VERHEYDEN et al., 2005), parâmetros estes que são registrados por meio de diferenças nos anéis de crescimento, por períodos com grande disponibilidade hídrica, em comparação com períodos de baixa disponibilidade (KANIESKI, 2013).

Dessa forma, o estudo das características anatômicas do lenho, como comprimento, diâmetro e frequência de vasos entre os anéis de crescimento, podem fornecer informações ambientais importantes sobre a vida da árvore (GÄRTNER; LUCCHINETTI; SCHWEINGRUBER, 2013; SCHWEINGRUBER, 2007).

Além disso, pesquisas relacionadas à inclusão de parâmetros anatômicos do lenho com o estudo dos anéis de crescimento das árvores constituem um dos mais importantes avanços em estudos dendrocronológicos e que são fortemente influenciados pelas condições climáticas (LINDORF, 1994).

Segundo Baas e Wheeler (2011), muitos parâmetros anatômicos do lenho podem ser utilizados como indicadores de temperatura e sazonalidade e, do mesmo modo, condições métricas ou xéricas. Isso ocorre devido à alta sensibilidade que muitos elementos anatômicos têm perante as modificações no ambiente. Dessa forma, os fatores ambientais, como precipitação, temperatura e disponibilidade hídrica, influenciam a constituição anatômica do lenho (COSMO, 2008).

No Brasil, vários trabalhos relacionam variações na anatomia do lenho de espécies em diferentes condições ambientais. Alves e Angyalossy-Alfonso (2002) verificaram diferenças nas características dos anéis de crescimento e nos elementos de vasos em espécies lenhosas de diversas regiões do Brasil.

Bosio, Soffiatti e Boeger (2010) encontraram variações no comprimento e no diâmetro dos vasos de *Miconia sellowiana* provenientes de três tipos de vegetação do estado do Paraná. Diferenças também foram observadas quanto

aos parâmetros diâmetro e frequência de vasos na espécie *Blepharocalyx salicifolius*, em duas regiões do Rio Grande do Sul (DENARDI; MARCHIORI, 2005).

Além dos fatores responsáveis pela modificação da estrutura anatômica do lenho já mencionados, a poluição ambiental também deve ser considerada como elemento coadjuvante nos processos, todavia, em menor proporção.

Entretanto, poucos são os trabalhos nos quais que avaliam essas diferenças no lenho em decorrência da poluição por petróleo (GARCIA et al., 2004; MARANHO et al., 2006; RODRIGUES, 2005; SILVA et al., 2004), principalmente estudos envolvendo a espécie *Sebastiania commersoniana*, no que se refere à resposta e à adaptação referentes a esta ação antrópica (COSMO; KUNIYOSHIII; BOTOSSO, 2010; KANIESKI, 2013).

Devido à existência de poucos trabalhos na literatura, estudos complementares são necessários para melhor compreensão adaptativa da espécie exposta à poluição.

## 4 MATERIAL E MÉTODOS

### 4.1 Caracterização das áreas de estudo

O estudo foi realizado em remanescentes da Floresta Ombrófila Mista Aluvial localizados na planície de inundação da bacia do rio Iguaçu, em duas localidades (Figura 2), na porção centro-sul do primeiro planalto paranaense, entre a Serra do Mar e a Escarpa Devoniana (MAACK, 1981), designadas como área contaminada e área controle.

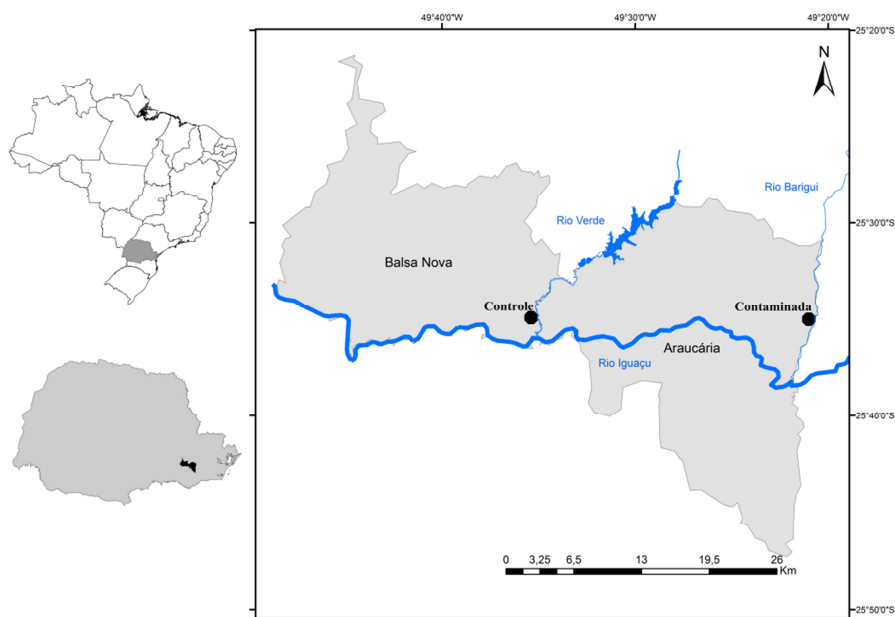


Figura 2 Localização e distância entre as áreas de coleta das árvores de *Sebastiania commersoniana*

A área contaminada está situada a 871 m s.n.m de altitude, sob as coordenadas geográficas latitude 25° 34' 55" Sul e longitude 49° 21' 0" Oeste, nos domínios do município de Araucária, Região Metropolitana de Curitiba, PR,

onde se situa a Refinaria Presidente Getúlio Vargas (REPAR), em que o solo dominante é de origem alúvio-coluvionar, formado por sedimentos de fina granulometria, textura argilosa denominado Gleissolo Háptico ou Melânico (BARDDAL, 2002; SOCHER, 2004).

De acordo com Melo et al. (2003), em 16 de julho de 2000, ocorreu um vazamento nesta área de cerca de quatro milhões de litros de petróleo no oleoduto da REPAR, da Petrobras. A partir do ponto de ruptura, o scraper (ponto de ligação do oleoduto com a refinaria) da REPAR, o óleo escoou por uma encosta e atingiu o arroio Saldanha. Ao longo dos 2,25 km de extensão deste arroio, o óleo extravasou o canal, contaminando uma série de banhados ali existentes, até chegar ao rio Barigui, afluente do rio Iguaçu (Figuras 3 A ,B e C). O óleo foi contido cerca de 40 km a jusante, já no rio Iguaçu, no município de Balsa Nova (Figura 2).

De acordo com dados fornecidos pela Petrobras (2003), os resultados das análises do petróleo indicam 71% de compostos saturados, 18% de compostos aromáticos, 10% resinas e 1% de asfaltenos. O petróleo foi classificado como sendo do tipo cusiana, perfil parafínico, na faixa predominante de compostos com cadeias de C10 a C14, com ponto de ebulição de 174 a 483 °C.



Figura 3 A e C. Foto aérea do vazamento de petróleo no ano 2000. A) Óleo atingindo o rio Barigui e seu afluente rio Iguazu. B) Raízes da vegetação arbórea atingida pelo derramamento. Fonte: Gazeta do Povo (2013). C) Barreira de contenção do óleo derramado no rio Barigui. Fonte: Melo (2006)

Os tipos de hidrocarbonetos policíclicos aromáticos (HPA) provenientes do petróleo derramado na área são naftaleno, fluoreno, fenantreno, antraceno, fluoranteno e pireno, e os principais n-alcanos são n-decano, n-dodecano, n-tetradecano, n-hexadecano, n-octadecano, n-eicosano, n-docosano, n-tetracosano, n-hexacosano, n-octacosano, n-triacontano e n-dotriacontano. Também foram encontrados enxofre, nitrogênio, oxigênio e menores quantidades de vanádio, níquel, sódio, cálcio, cobre e urânio (PETROBRÁS, 2003).

A área controle encontra-se a 887 m s.n.m., nas coordenadas geográficas latitude 25° 34' 51" Sul e longitude 49° 35' 3" Oeste, situada no município de Balsa Nova, PR, às margens do rio Verde, afluente do rio Iguazu. O solo

predominante na planície do rio é o Neossolo flúvico (DOTZER et al., 2011 apud CUNHA et al., 2011).

O clima predominante em ambas as áreas de estudo é do tipo Cfb, com chuvas bem distribuídas durante o ano, inverno rigoroso, sem estação seca definida, com características típicas do planalto meridional brasileiro (BARDDAL, 2002; SOCHER, 2004). A região caracteriza-se por temperatura média das máximas de 23,2 °C e temperatura média das mínimas, de 16,0 °C. (FIGURA 4), com umidade relativa do ar de 81% e precipitação pluviométrica média de 1.503 mm/ano, com ocorrência de menos disponibilidade hídrica no período de abril a agosto.

A partir de dados fornecidos pelo Instituto Nacional de Meteorologia (INMET), que contemplam o período de 1972 a 2013, para a região de Curitiba, PR, foi construído o climatograma apresentado na Figura 4. Com esses dados foi possível identificar os meses de maiores precipitações e a variação térmica mensal.

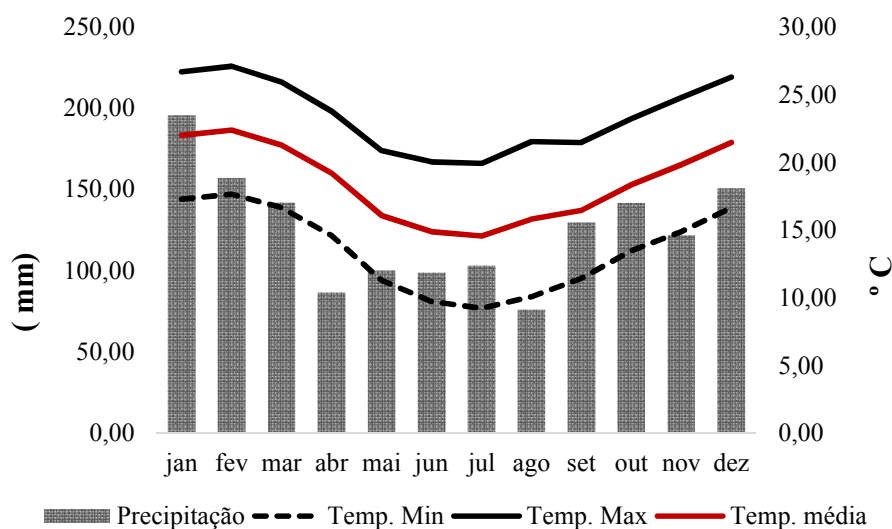


Figura 4 Climatograma mensal de precipitação e temperatura máxima e mínima para o período de 1972 a 2013, para a região de Curitiba, a partir de dados fornecidos pelo Instituto Nacional de Meteorologia - INMET (2015), modificado pelo autor

Nas áreas em estudo, nos locais de encostas, destacam-se dois tipos principais de vegetação remanescente: as formações secundárias da Floresta Ombrófila Mista, em vários estágios sucessionais, e os núcleos de campos, em diferentes graus de transformação, no geral muito descaracterizados.

Nas planícies observa-se um complexo vegetacional diferenciado, adaptado às condições de saturação hídrica, que pode ter fisionomia exclusivamente herbácea (várzeas) ou florestal, onde o substrato, mesmo que hidromórfico é mais bem drenado. Nestes locais, o branquilha, *Sebastiania commersoniana*, é a espécie dominante; nas áreas em que a hidromorfia não está presente, é possível observar a ocorrência de *Araucaria angustifolia*, espécie emblemática desta unidade fitogeográfica (RODERJAN et al., 2002).

#### 4.2 Análise química do solo

Foram coletadas amostras de solo das áreas: contaminada e controle, a uma profundidade entre 10 e 30 cm, para a realização da análise química. O solo foi coletado em três pontos em cada parcela, para formar uma amostra composta. As análises físicas e químicas do solo foram realizadas pelo Laboratório de Fertilidade do Solo e de Nutrição Mineral da Universidade Federal de Lavras, segundo as técnicas usuais para análise dos níveis de alumínio, H+Al, Ca+2 Mg+2, cálcio, potássio, capacidade de trocas catiônicas (T), fósforo, carbono, pH, capacidade de saturação de bases (V), ferro, manganês, cobre e zinco.

A análise de teores de hidrocarbonetos totais do petróleo (TPH) dos solos amostrados foi realizada por espectrometria de massa, utilizando-se o analisador Infracal com cubeta de quartzo de caminho óptico igual a 10 mm, modelo CVH-50 da Wilks Enterprise, conforme o método USEPA 418.1 (UNITED STATES ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY - USEPA, 1983), com modificações.

#### 4.3 Seleção das árvores de *S. commersoniana* nas áreas de estudo

Para a realização do estudo, foram selecionadas 17 árvores de *Sebastiania commersoniana* na área contaminada e 12 árvores na área controle, com troncos relativamente retilíneos e pouco inclinados, copas bem formadas e desenvolvidas. Os dados dendrométricos das árvores são apresentados na Tabela 1.

Tabela 1 Dados da circunferência à altura do peito (CAP) e altura das árvores de *S. commersoniana*, nas duas áreas de estudo

Área contaminada			Área controle		
Árvore	CAP (cm)	altura (m)	Árvore	CAP (cm)	altura (m)
1	35,0	8,5	1	40,0	9,0
2	53,0	10,0	2	46,3	10,5
3	38,0	9,5	3	49,0	8,5
4	32,5	10,0	4	49,5	9,0
5	26,5	11,5	5	60,0	11,0
6	26,0	8,5	6	63,0	12,0
7	48,5	9,5	7	56,5	10,0
8	52,0	10,5	8	52,0	9,0
9	55,9	11,5	9	55,8	10,5
10	63,0	12,0	10	76,0	12,0
11	44,0	10,5	11	49,0	9,0
12	46,0	11,0	12	55,8	10,5
13	49,0	12,0	13	*	*
14	55,0	10,0	14	*	*
15	68,0	9,5	15	*	*
16	84,0	9,0	16	*	*
17	40,0	10,0	17	*	*
<b>Média</b>	<b>48,0</b>	<b>10,2</b>	<b>Média</b>	<b>54,5</b>	<b>10,1</b>

O material botânico de referência foi coletado e submetido à confecção de exsicatas, sendo posteriormente incorporado no Herbário UPCB da UFPR, sob nº de registro 12.130 na área contaminada e 12.129 na área controle, segundo técnicas descritas por Fidalgo e Bononi (1984).

#### 4.4 Anatomia da folha

Para o estudo anatômico das folhas foram selecionados seis indivíduos provenientes da área contaminada (1, 3, 6, 7, 15 e 16), conforme especificado no item anterior e seis indivíduos da área controle (1, 3, 4, 7, 8 e 11). As coletas foram realizadas no início de dezembro de 2013. De cada indivíduo foram coletadas 10 folhas, na região mediana da copa, localizadas nos pontos cardeais norte e sul.

As folhas foram fixadas em FAA70 (JOHANSEN, 1940) por um período de 48 horas, sendo, então, transferidas para etanol 70%, até a data das análises. Foram realizadas secções paradérmicas à mão livre na face abaxial da epiderme. Posteriormente, as amostras foram coradas com safranina, lavadas em água destilada e montadas em lâmina com glicerina 50% (KRAUS; ARDUIM, 1997).

Para as análises transversais, pequenas porções da parte mediana da folha foram destinadas à obtenção das seções histológicas, posteriormente desidratadas em série etanólica, infiltradas e incluídas em resina sintética (Leica Historresin®), segundo as instruções do fabricante. Foram realizados cortes transversais em micrótomo rotativo Yidi, na espessura de 4 µm, distendidos em lâminas histológicas e coradas com azul de toluidina (O'BRIEN; FEDER; MCCULLY, 1965).

Nas secções paradérmicas e transversais das folhas foram analisadas seis folhas de cada árvore, por área amostrada. Foi feita uma lâmina por folha e avaliados três campos por lâmina, totalizando 78 avaliações realizadas em microscópio de luz modelo Zeiss Axio Lab, acoplado à câmera digital Axion ERC5S. Os parâmetros anatômicos quantitativos foram analisados por meio de software de análise de imagem (UTHSCSA-Imagetool) calibrado com régua microscópica fotografada nos mesmos aumentos das fotografias.

Os parâmetros avaliados foram diâmetro polar e equatorial, densidade estomática, espessura da epiderme das faces abaxial e adaxial, espessura do parênquima paliádico e esponjoso, diâmetro dos vasos, índice de vulnerabilidade de Carlquist e área do xilema, floema e de fibras.

#### 4.5 Coleta das amostras do lenho das árvores

A extração das amostras do lenho das árvores selecionadas conforme a Tabela 1 foi feita por meio de método não destrutivo (Figura 5), de dois a quatro raios por indivíduo selecionado, que consiste na retirada de cilindros do lenho com o trado de Pressler com 5 mm de diâmetro, a 1,30 m do solo, para a realização do estudo anatômico dos anéis de crescimento, densitometria de raios x, dendrocronológica e elementos de vasos.



Figura 5 Coleta das amostras do lenho das árvores de *S. commersoniana*

##### 4.5.1 Caracterização anatômica dos anéis de crescimento

Para a análise macroscópica dos anéis de crescimento, foram selecionadas três árvores provenientes da área contaminada. Em seguida, as amostras tiveram a sua secção transversal polida com lixas microabrasivas de granulometria crescente de 40 a 9  $\mu\text{m}$ . Posteriormente, estas amostras foram observadas, em microscópio estereoscópico Nikon SMZ 1500, no Laboratório de Microscopia Eletrônica da UFLA e as imagens foram coletadas pela câmera digital, descrevendo a estrutura macroscópica do lenho, seguindo as normas do

Gasson, Baas e Wheeler (1989) e do Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis - IBAMA (1991).

Quanto à análise microscópica, foram montadas lâminas histológicas permanentes do plano transversal provenientes das três árvores analisadas macroscopicamente. Para isso, as amostras foram saturadas e seccionadas em micrótomo de deslize (Leica SM 2000R), com espessura de 18  $\mu\text{m}$ . As secções obtidas foram clarificadas, lavadas (álcool 20%), coradas (azul de alcian e safranina), desidratadas (série alcoólica, 20%-100%), fixadas (acetato de butila) e montadas em Entellan para a confecção de lâminas permanentes (JOHANSEN, 1940). As secções do lenho foram examinadas em microscópio de luz Olympus BX51 acoplado a uma câmera digital e coletadas as imagens seguindo-se a descrição anatômica microscópica do COPANT e da Gasson, Baas e Wheeler (1989).

#### **4.5.2 Determinação da densidade aparente do lenho por densitometria de raios X**

Na determinação do perfil de densidade aparente das árvores de *S. commersoniana* aplicou-se a metodologia descrita por Amaral e Tomazello Filho (1998). As análises de densitometria foram realizadas no Laboratório de Anatomia e Identificação de Madeiras da Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz (ESALQ – USP, em Piracicaba, SP).

As amostras do lenho provenientes das 17 árvores na área contaminada e das 12 árvores na área controle foram cortadas no sentido transversal, em equipamento de dupla-serra e acondicionadas em sala de climatização. Em seguida, essas amostras foram colocadas no equipamento QTRS-01X (Quintek Measurement Systems), procedendo-se à sua varredura radial contínua por um feixe de raios X colimado. Apresentaram-se, então, os valores pontuais de

densidade no monitor e a respectiva imagem da seção transversal da amostra do lenho.

Os valores de raios X que atravessaram a amostra do lenho foram transformados em densidade aparente pelo software QMS, originando um arquivo DAT (relatório da análise com os valores pontuais de densidade aparente do lenho a cada 40  $\mu\text{m}$ ), lido pelo software Excel, o que possibilitou construir os perfis radiais de densidade aparente do lenho das árvores.

Os perfis radiais de densidade aparente do lenho foram analisados com o propósito de avaliar a aplicação da técnica na identificação dos limites dos anéis de crescimento e na determinação dos valores de densidade média, máxima e mínima do lenho das árvores nas áreas amostradas.

#### **4.5.3 Análise dendrocronológica do lenho das árvores de *S. commersoniana***

Após o estudo de densitometria de raios x, as amostras das 17 árvores de na área contaminada e de 12 árvores na área controle tiveram a sua secção transversal polida com lixas microabrasivas de granulometria crescente de 40 a 9  $\mu\text{m}$ . Em seguida, as amostras foram analisadas no microscópio estereoscópico Nikon SMZ 1500 acoplado a sistema de iluminação de fibra ótica, possibilitando a visualização dos anéis de crescimento. A demarcação, a contagem e a mensuração da largura dos anéis de crescimento foram determinadas no Laboratório de Microscopia Eletrônica da UFLA, pelo software Nis Elements D-32.

Posteriormente, os valores da largura dos anéis de crescimento foram exportados e analisados pelo software Excel e construídas as séries cronológicas dos anéis de crescimento para cada amostra do lenho. Em seguida, foi feita a datação-cruzada das árvores (“cross dating”), que consiste na identificação de padrões de crescimento que podem ser sincronizados entre as amostras de uma

mesma árvore e entre árvores, possibilitando a construção de uma série cronológica de anéis de crescimento datados no ano exato de sua formação.

Após a datação-cruzada dos anéis de crescimento do lenho, procedeu-se ao teste de controle de qualidade da sincronização do crescimento entre as amostras de cada área, utilizando-se o software COFECHA, obtendo-se a série média – denominada de série máster – a partir de todas as séries cronológicas (HOLMES; ADAMS; FRITTS, 1986). Este procedimento verifica estatisticamente a datação realizada, identificando amostras e/ou segmentos de amostras de lenho que apresentem problemas de marcação ou mensuração dos anéis de crescimento (GRISSINO-MAYER, 2001).

As séries temporais radiais utilizadas na sincronização podem ser consideradas como um modelo de agregação linear de crescimento, em que estão sendo levadas em conta características inerentes à própria árvore e características do ambiente que influenciam o crescimento de cada série, de acordo com a equação proposta por Cook e Kairiukstis (1990).

$$R_t = A_t + C_t + D1_t + D2_t + E_t$$

em que

$R_t$  = largura observada do anel;

$A_t$  = tendência da largura dos anéis de crescimento relacionada com o tamanho e a idade das árvores;

$C_t$  = sinal climático relacionado com o ambiente;

$D1_t$  = distúrbios causados por perturbações endógenas de ação individual (indicador binário relacionado com a presença  $\delta=1$  ou ausência  $\delta=0$ );

$D2_t$  = distúrbios causados por perturbações exógenas comuns à população;

$E_t$  = variabilidade não relacionada com os demais fatores ano a ano.

Na etapa de sincronização ajustou-se uma função de remoção de tendência do crescimento dos indivíduos, chamada de spline cúbico, em que o valor de cada série é dividido por seu valor correspondente da curva spline.

O programa COFECHA fornece uma série cronológica chamada de máster, o qual contém o padrão de crescimento de todos os indivíduos analisados ao longo dos anos. O COFECHA comparou as diferentes séries em intervalos de 20 e 10 anos, apresentando como resultado uma correlação de Pearson entre cada série de largura de anel de crescimento com a série máster, no nível de significância crítico de 99%.

Nesse momento foi realizada uma triagem das séries temporais, eliminando-se alguns raios de determinados indivíduos, para uma melhor sincronização das séries cronológicas. A sincronização foi realizada entre os indivíduos de *S. commersoniana* provenientes da área contaminada, da área controle e de ambas as áreas.

Após a identificação, cada série foi padronizada retirando-se a tendência de crescimento de variáveis não dependentes de sinais climáticos por meio do aplicativo computacional ARSTAN (HOLMES, 1984). O ajuste das mensurações originais dos anéis de crescimento foi realizado com uma função exponencial negativa, seguido da aplicação de uma função spline cúbico, com porcentagem de longitude de série de 67%, conforme sugerido por Cook e Kairiukstis (1990).

As séries sincronizadas foram correlacionadas por meio de correlação de Pearson com os fatores meteorológicos temperatura (máxima, média e mínima) e precipitação, a partir de dados históricos fornecidos pelo INMET, no aplicativo Microsoft Office Excel 2010.

#### 4.5.4 Análise dos elementos de vasos

Para a análise dos elementos de vasos foram utilizadas quatro amostras de cada área, com idade de 33 anos, provenientes das análises de dendrocronológicas e de densitometria. Para isso, utilizaram-se os anéis correspondentes aos anos de 1995 a 2010, para a descrição qualitativa e quantitativa dos elementos de vasos.

Para a mensuração do comprimento dos elementos de vasos foram retirados pequenos palitos de amostra de madeira, correspondente aos anéis de 1995 a 2010, os quais foram colocados em frascos de vidro contendo solução de ácido acético glacial e água oxigenada, na proporção 1:1, seguindo o método de Franklin (1945), modificado por Kraus e Arduim (1997), para dissociação dos elementos anatômicos.

Cada frasco foi vedado e levado à estufa, a 60 °C, por cerca de 20 horas, ou até que a solução se apresentasse transparente e os palitos esbranquiçados. Posteriormente, o material foi lavado em água corrente. Para a montagem de lâminas semipermanentes, o material foi corado com safranina hidroalcoólica 50% e montado em água destilada (50%).

As mensurações do comprimento dos elementos de vaso foram realizadas no microscópio de luz Olympus BX51 acoplado a uma câmera digital por meio do software analisador de imagem “Wincell”, obtendo-se, de forma direta, seus comprimentos. Tais processos foram realizados no Laboratório de Anatomia da Madeira, no Departamento de Ciências Florestais, da UFLA.

O diâmetro e a frequência dos vasos foram analisados no microscópio estereoscópico Nikon SMZ 1500, do Laboratório de Microscopia Eletrônica da UFLA, pelo software Nis Elements D-32. Foram realizadas 30 medições por anel das características anatômicas dos elementos de vasos (comprimento, diâmetro e frequência). Para a ilustração das características anatômicas dos

vasos foram feitas lâminas permanentes dos anos de 1999 a 2001, de cada área amostrada.

O índice de vulnerabilidade (diâmetro de vaso/frequência de vaso) e o índice de mesomorfia (diâmetro de vaso x comprimento de elementos de vaso/frequência de vasos) foram analisados conforme proposto por Carlquist (2001).

Os elementos de vaso, bem como a variação de suas formas e dimensões, foram descritos, qualitativa e quantitativamente, conforme recomendações propostas pela Comisión Panamericana de Normas Técnicas - COPANT (1974) e IAWA - "List of Microscopic Features of Hardwood Identification" (GASSON; BAAS; WHEELER, 1989).

#### **4.6 Análise estatística**

Os dados de solo foram analisados de acordo com um modelo de análise de , considerando um delineamento inteiramente casualizado. Para tal utilizou-se o teste de Tukey, a 5% de significância, utilizando-se o software SISVAR 5.0 (FERREIRA, 2011).

Quanto aos dados da anatomia foliar e elementos de vasos, eles foram analisados seguindo-se dois modelos diferentes, em função da distribuição dos dados.

As variáveis anatômicas das folhas foram realizadas por meio de um modelo linear misto, sendo os indivíduos (árvores) considerados como efeitos aleatórios.

Para as variáveis anatômicas do lenho, comprimento e diâmetro dos vasos, IVC e IM, utilizou-se o modelo linear misto com efeitos aleatórios das áreas e dos indivíduos (árvores) e efeito fixo (anos). Em casos de não normalidade, foi realizada a transformação de box Cox.

Quanto à frequência dos vasos, ajustou-se um modelo linear misto generalizado, pois os dados são sabidamente não normais, mas seguem algum modelo da família exponencial (Poisson). Os níveis de significância adotados foram de 0,05%. As análises foram realizadas utilizando-se o software R versão 3.0.2 (R CORE TEAM, 2013), pacotes nlme, doBy, multcomp, ggplot2, MASS e lme4.1.

## 5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 5.1 Análise química do solo

Os resultados dos parâmetros físicos e químicos e teores de hidrocarbonetos totais do petróleo (TPH) nos solos, das áreas amostradas, são apresentados na Tabela 2.

A área contaminada pertence à classe dos Gleissolos, constituída por sedimentos compostos por argilas (538 dag/kg) e, subordinadamente, areias de granulometria variada, com presença constante de matéria orgânica (Tabela 2). De acordo com a Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária - EMBRAPA (1999), esta constituição de solo mineral é fortemente influenciada pelo lençol freático, em que a saturação hídrica plena leva ao processo de redução do ferro, em função de hipoxia ou anoxia, formando um horizonte gley “Cg” de coloração normalmente acinzentada, com presença ocasional de mosqueados mais escuros ou avermelhados.

Já na área controle ocorrem sedimentos aluvionares atuais (Neossolo Flúvico), sendo estes sedimentos mais finos superficialmente e materiais mais arenosos em profundidade (430 dag/kg). A matéria orgânica também é observada principalmente na superfície, porém, em menor quantidade, quando comparada com o gleissolo háplico.

Quanto aos parâmetros de fertilidade do solo, os maiores valores de pH e matéria orgânica foram maiores na área contaminada; já a saturação por bases (V) foi maior na área controle, 51,01%. Por apresentar valores de saturação por bases acima de 50%, este solo é classificado como eutrófico (fértil), enquanto na área contaminada o solo é distrófico (pouco férteis) (RONQUIM, 2010). Para os outros macronutrientes analisados, como fósforo (P), cálcio (Ca), magnésio

(Mg), potássio (K) e enxofre (S), foram detectados maiores valores na área contaminada.

Em relação aos micronutrientes, os teores mais elevados de boro (B), cobre (Cu), níquel (Ni) e zinco (Zn) foram verificados nas amostras da área controle, e de ferro (Fe) e alumínio (Al) na área contaminada. O teor de hidrocarbonetos totais do petróleo (TPH) foi superior no solo contaminado por petróleo,  $8.500 \text{ mg kg}^{-1}$ , enquanto na área controle foi de  $574 \text{ mg kg}^{-1}$ .

Tabela 2 Parâmetros físico-químicos e teor de hidrocarbonetos totais do petróleo (TPH) no solo da área contaminada e controle

Variáveis	Áreas		
	Contaminada	Controle	
Textura (dag/kg)	Areia	3,1 b	43,0 a
	Silte	43,1 b	30,0 a
	Argila	53,8 b	27,0 a
Al (cmol/dm <sup>3</sup> )	1,67 a	0,47 b	
H + Al (cmol/dm <sup>3</sup> )	9,72 a	6,38 b	
Ca (cmol/dm <sup>3</sup> )	4,58 a	2,49 b	
Mg (cmol/dm <sup>3</sup> )	1,88 a	0,88 b	
SB (cmol/dm <sup>3</sup> )	3,37 b	6,61 a	
CTC (cmol/dm <sup>3</sup> )	13,09 a	12,99 a	
V (%)	26,67 b	51,01 a	
M.O (dag/kg)	3,94 a	3,24 a	
pH (mg/dm <sup>3</sup> )	5,23 a	4,40 b	
K (mg/dm <sup>3</sup> )	52,00 a	50,00 a	
P (mg/dm <sup>3</sup> )	6,51 a	3,42 b	
Zn (mg/dm <sup>3</sup> )	2,28 b	11,08 a	
Fe (mg/dm <sup>3</sup> )	600,27 a	537,17 b	
Mn (mg/dm <sup>3</sup> )	64,28 b	142,88 a	
Cu (mg/dm <sup>3</sup> )	0,53 b	4,40 a	
B (mg/dm <sup>3</sup> )	0,13	0,20	
S (mg/dm <sup>3</sup> )	15,52 a	15,10 a	
TPH (mg kg <sup>-1</sup> )	8.500 a	574 b	

Al (alumínio), H+Al (acidez potencial), Ca (cálcio), Mg (magnésio), SB (soma de bases trocáveis), CTC (capacidade de troca catiônica), V (saturação por bases), M.O (matéria orgânica), K (potássio), P (fósforo), Zn (zinco), Fe (ferro), Mn (manganês), Cu (cobre), B (boro), S (enxofre), TPH (hidrocarbonetos totais do petróleo)

As médias seguidas de mesma letra na linha não diferem, pelo teste de Tukey, a 5%, para  $P < 0,05$

## 5.2 Anatomia foliar

As folhas de *S. commersoniana* apresentam epiderme unisseriada em ambas as faces, mesófilo dorsiventral, com uma camada de parênquima paliádico e aproximadamente quatro camadas de parênquima esponjoso. As folhas são hipoestomáticas, com estômatos do tipo paracítico, características estas que são comumente encontradas em folhas dos representantes de Euphorbiaceae, conforme descrito por Metcalfe e Chalk (1957).

Para as variáveis: diâmetro polar, diâmetro equatorial e funcionalidade estomática não foram observados diferenças significativas entre as áreas analisadas. Entretanto, a densidade estomática nos indivíduos da área contaminada foi de 959,32 estômatos por  $\text{mm}^2$  (Figura 6A), diferindo estatisticamente da área controle, com 659,69 estômatos por  $\text{mm}^2$  (Tabela. 3; Figura 6B). *S. commersoniana* exibiu tendência ao aumento da frequência de estômatos na área contaminada, que pode estar relacionado aos maiores valores de pH e teores de macronutrientes disponíveis no solo, ocasionando maior eficiência fotossintética.

Rodrigues et al. (2006), estudando o solo na mesma área contaminada por petróleo, encontraram valores inferiores de pH (4,4) e de macronutrientes, como Ca ( $2,9 \text{ cmol/dm}^3$ ), Mg ( $2,7 \text{ cmol/dm}^3$ ), K ( $0,14 \text{ mg/dm}^3$ ) e P ( $2,4 \text{ mg/dm}^3$ ). Dessa forma, os resultados obtidos por estes autores divergem dos resultados obtidos neste trabalho, em que se observam o aumento do pH do solo e a elevada concentração de alumínio. Além disso, outra possibilidade para o aumento da densidade estomática pode estar relacionada também ao aumento dos teores de alumínio, uma vez que a presença de metais pesados no solo pode promover esse tipo de reação nos estômatos.

James e Bell (2000) relatam que espécies tolerantes podem maximizar a absorção dos nutrientes, uma vez que a eficiência fotossintética é afetada pelo

estado nutricional das folhas, dependendo também da absorção de CO<sub>2</sub> através dos estômatos (LANDSBERG; SANDS, 2011).

Tabela 3 Médias das características anatômicas quantitativas das folhas de *Sebastiania commersoniana* entre as áreas contaminada e controle

Características avaliadas	Contaminada	Controle
	Áreas	
Diâmetro polar (µm)	26,95a	27,62 a
Diâmetro equatorial (µm)	19,37a	19,80 a
Densidade estomática (estômatos por mm <sup>2</sup> )	959,32 a	659,69 b
Funcionalidade (µm)	1,39 a	1,39 a
Epiderme adaxial (µm)	16,50 a	12,64 b
Epiderme abaxial (µm)	9,44 a	8,16 b
Parênquima paliçádico (µm)	91,05 a	70,63 b
Parênquima esponjoso (µm)	64,89 a	56,44 b
Mesofilo (µm)	156,66 a	128,85 b
Diâmetro vasos (µm)	16,94a	18,01 a
IVC	0,96a	1,06 a
Área xilema %	18,47 a	22,30 a
Área floema %	11,63 a	10,98 a
Área fibras %	0,02 a	0,02 a

As médias seguidas de mesma letra na linha não diferem, pelo teste de Tukey, a 5%, para P<0,0

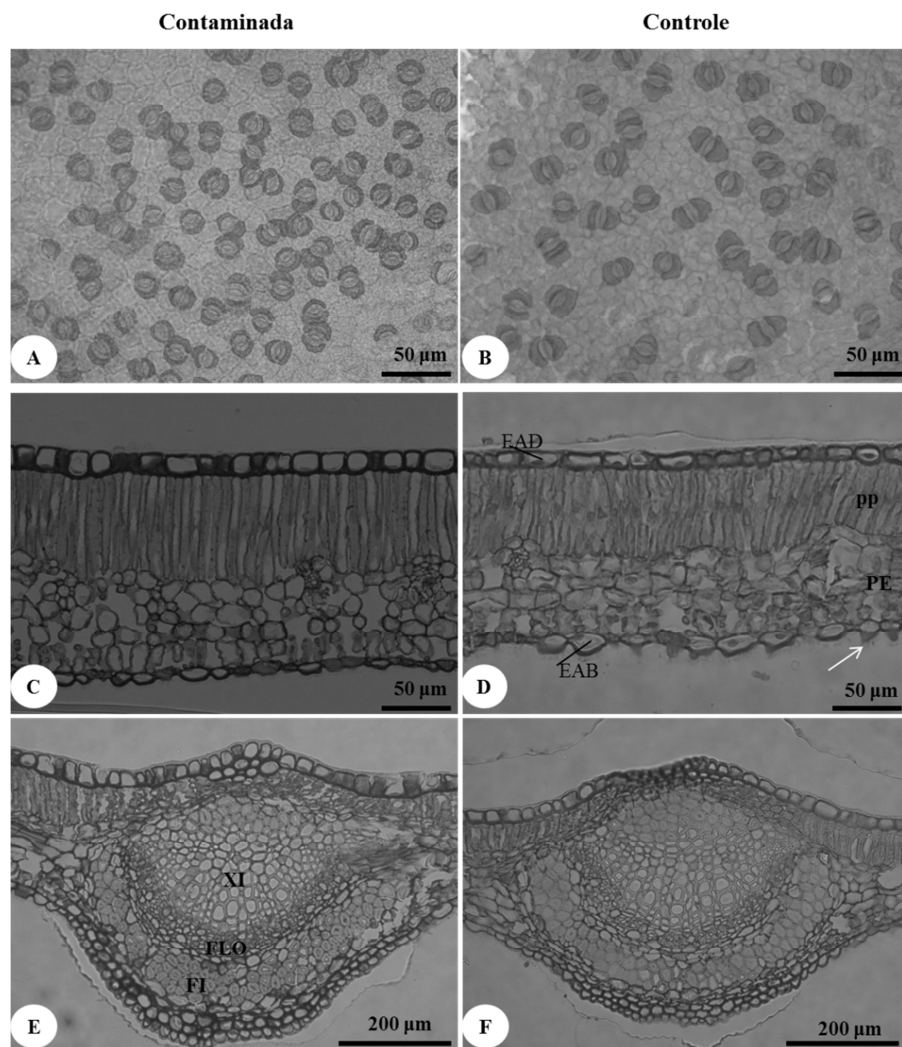


Figura 6 Secções paradérmicas (A e B) e transversais (C-F) das folhas de *S. commersoniana* na área contaminada (A, C, E) e controle (B, D, F). Mesófilo C e D (seta branca) papilas. Nervura central E e F. (ead = epiderme da face adaxial, eab = epiderme da face abaxial, pp = parênquima paliçádico, pj = parênquima esponjoso, xi = xilema, floe = floema, fi = fibras)

Além disso, por se tratar de uma espécie pioneira em ambiente natural, diversos fatores ambientais, como intensidade e quantidade de luminosidade, temperatura, tipo de solo, pH, fertilidade e disponibilidade de água no solo, também podem estar relacionados com o aumento da frequência dos estômatos.

A capacidade das plantas de apresentarem adaptações anatômicas ao ambiente pode surgir com certo grau de regularidade, podendo ser considerada ecologicamente benéfica (CUTLER; BOTHA; STEVENSON, 2011). Essa capacidade pode estar relacionada tanto a aspectos genotípicos quanto à plasticidade fenotípica das plantas (ARANDA et al., 2001).

Na seção transversal, observou-se, nos indivíduos da área contaminada, aumento na espessura da epiderme nas faces adaxial e abaxial, assim como no mesofilo (Tabela 3; Figura 6C), quando comparados com os da área controle (Figura 6 D). Quanto ao mesofilo, este aumento é devido ao alongamento das células do parênquima paliádico e esponjoso.

De acordo com Terashima et al. (2006), o aumento da espessura dos tecidos do mesofilo é associado com a regulação da difusão luminosa e gasosa dentro da folha, maximizando a eficiência fotossintética.

O aumento da espessura do mesofilo é relatado na literatura em diferentes tipos de estresse (COSTA et al., 2009; GRISI et al., 2008; PEREIRA, 2011; SOUZA et al., 2010). Em contrapartida e obstante, o aumento em espessura nos tecidos paliádico e esponjoso observado na área contaminada parece estar atribuído não especificamente à presença do petróleo, e sim às características e condições nutricionais do solo, quando comparada com a área controle, favorecendo o fluxo de CO<sub>2</sub> para o interior da folha.

O tecido vascular é composto por feixe colateral único, com os elementos de xilema e floema dispostos em séries radiais (Figuras 6E e F). Quanto às características quantitativas avaliadas na nervura central, não foram

observadas diferenças significativas entre as áreas quanto à proporção de área de floema, xilema e fibras, diâmetro dos vasos e IV.

Alterações nas estruturas foliares ocasionadas pela poluição do solo por petróleo foram observadas em indivíduos adultos de *S. commersoniana* (SILVA et al., 2004), *Podocarpus lambertii* (MARANHO et al., 2006) e por contaminação por arsênio em *Eichhornia crassipes* (PEREIRA et al., 2011). Nestes estudos, os autores observaram aumento na densidade estomática e maior espessura dos tecidos foliares nas plantas expostas à contaminação.

Contudo, neste estudo, nas variáveis em que foram observadas diferenças significativas, o efeito de diferentes tipos de solo entre a área controle e contaminada pode estar mascarando o efeito específico da contaminação, embora apresente maiores valores de TPH na área contaminada.

### **5.3 Caracterização anatômica dos anéis de crescimento**

O lenho das árvores de *S. commersoniana* apresenta coloração creme-amarelada, sem distinção entre cerne e alborno (Figura 7A). A porosidade é difusa (Figura 7B), embora, eventualmente, possa ocorrer a formação de anéis semiporosos (Figura 7C).

Os anéis de crescimento são distintos a pouco distintos a olho nu, evidenciados pelo achatamento das paredes das fibras (Figura 7B) e por uma camada estreita de fibras gelatinosas (Figuras 7D e 7E), ocorrendo também a formação de falsos anéis.

A ocorrência de anéis de crescimento distintos é comum na família Euphorbiaceae (MENNEGA, 2005), como em *Alchornea triplinervea* e *A. sidifolia* (CALLADO et al., 2001), *Croton urucurana* (LUCHI, 2004; COSTENARO, 2006) e em *S. commersoniana*, por Cosmo, Kuniyoshiii e Botosso (2010), Kanieski (2013) e Longhi-Santos (2013).

No entanto, evidenciou-se a presença de falsos anéis. De acordo com Kramer (1964), falsos anéis podem ser formados por fatores de estresse durante o período de maior crescimento do xilema, tais como déficit hídrico severo e perda de folhas por herbivoria, seguidos por condições favoráveis ao crescimento, antes do período de dormência. Condições climáticas extremas podem também levar à ausência de formação de uma camada distinta entre dois anos consecutivos (FRITTS, 1976).

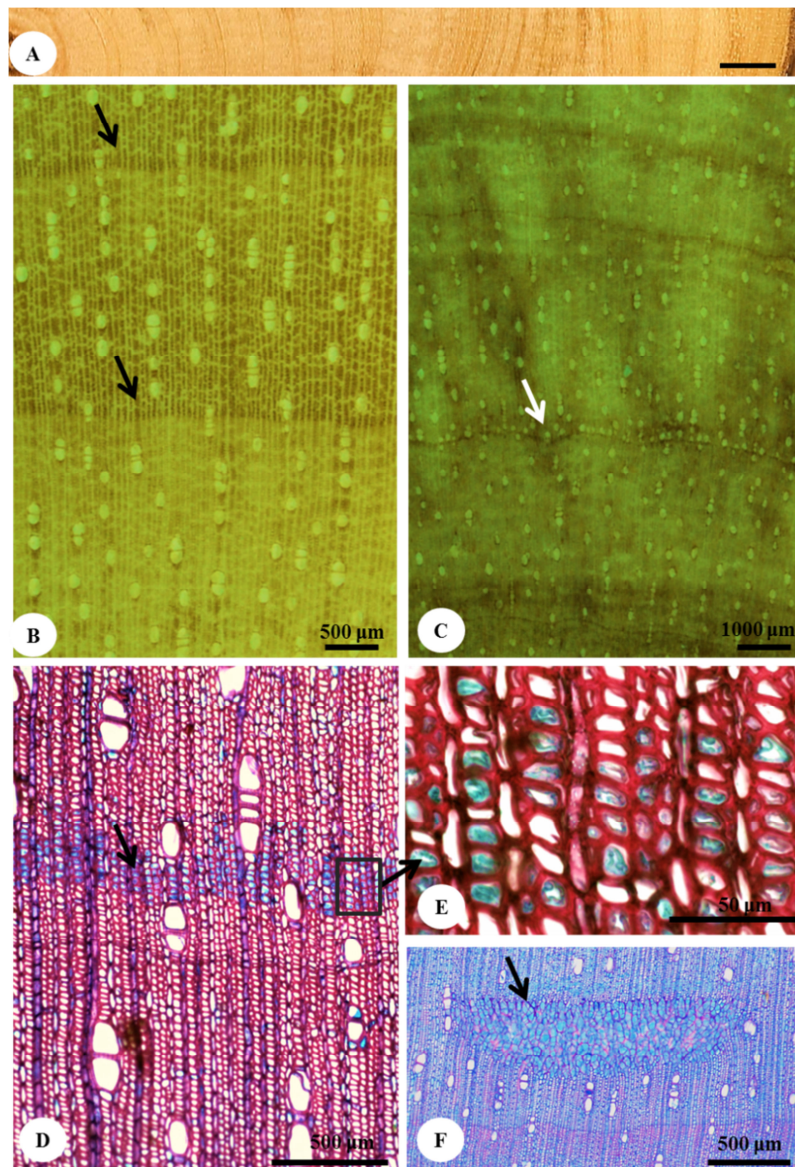


Figura 7 Características anatômicas do lenho na secção transversal das árvores de *S. commersoniana* na área contaminada. Estrutura macroscópica (A, B e C); estrutura microscópica (D, E, F); B: espessamento da parede das fibras (seta preta) e C: anel semiporoso (seta branca). D e E: seta preta fibras gelatinosas. F: seta preta mácula. Barra Figura A: 1 mm

Além dessas características, evidenciou-se a ocorrência de máculas (Figura 7F), formadas por células parenquimáticas de formato irregular, ocorrendo com maior frequência, no início da formação dos anéis, após o ano do derramamento. As máculas são formadas em resposta a injúrias na região cambial, causadas por danos de natureza biótica ou abiótica. Entretanto, tais estruturas são muito frequentes em espécies de planícies aluviais, dadas as condições adversas enfrentadas pelas árvores nesses locais (SCHWEINGRUBER, 1996).

#### **5.4 Densidade aparente dos anéis de crescimento**

Os perfis radiais de densidade aparente do lenho das árvores de *S. commersoniana* das áreas contaminada e controle encontram-se na Figura 8.

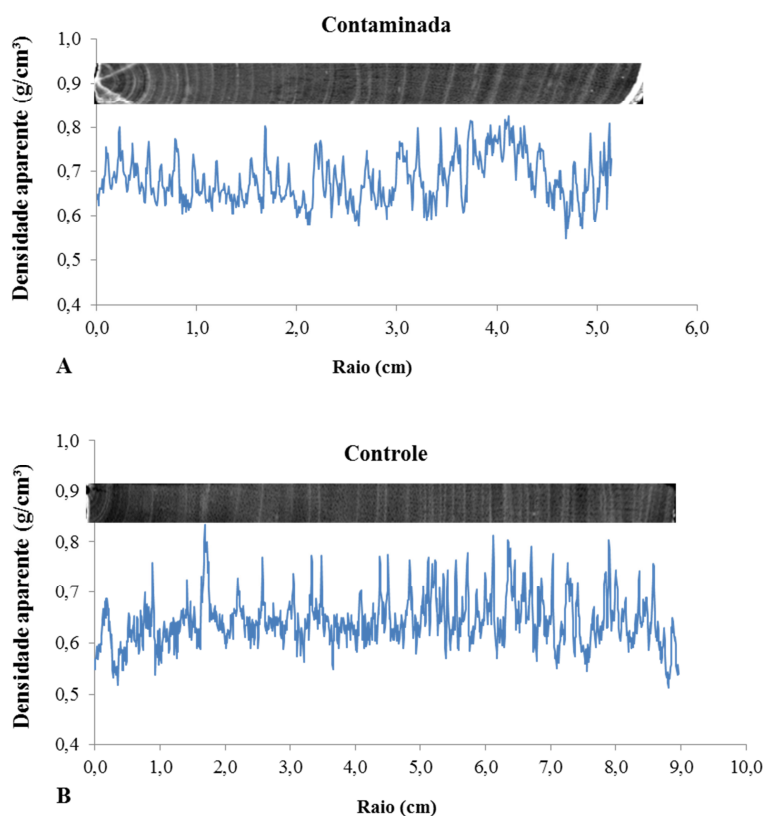


Figura 8 Perfil radial de densidade aparente no lenho das árvores de *S. commersoniana* nas áreas contaminada (A) e controle (B)

Os perfis de densidade aparente do lenho das árvores das duas áreas mostram tendência de aumento dos valores de densidade no sentido medula-casca, com redução dos valores na região próxima à casca (Figura 8).

A aplicação da densitometria de raios X possibilitou a demarcação do limite dos anéis de crescimento no lenho das árvores de *S. commersoniana* pelas variações de densidade inter e intra-anéis de crescimento e pela caracterização dos anéis de crescimento, como apresentado na seção anterior (Figuras 7B, C e D). A queda do valor da densidade do lenho, inter e intra-anéis ocorrem devido à

variação do espessamento da parede das fibras (Figura 7B), uma vez que esta variação dentro do anel ocorre pelas diferenças entre lenho inicial, com menor espessamento da parede das fibras em relação ao lenho tardio, representado por paredes delgadas, exercendo maior atenuação à passagem dos raios X, durante a irradiação do lenho.

A ausência de distinção das regiões do cerne-alburno observadas neste estudo é indicada na caracterização dos anéis de crescimento (Figura 7A), corroborando os resultados obtidos do perfil radial de densidade pela densitometria de raios X. Da mesma forma, o perfil de densidade não permite a identificação das regiões de madeira juvenil-adulta, o que indica a necessidade da aplicação de outros parâmetros anatômicos da madeira, como a avaliação do comprimento das fibras.

Por outro lado, a técnica de densitometria de raios x permitiu a demarcação dos limites dos anéis de crescimento em resposta às características anatômicas do lenho, nas duas áreas amostradas (Figuras 8A e B) que são definidas e que demarcam a transição entre as camadas de crescimento. O aumento do valor de densidade do lenho, próximo ao limite do anel de crescimento, é resultado das camadas de células de fibras de parede espessa e com achatamento radial e pela redução do diâmetro dos vasos (Figura 7C), corroborando o trabalho de Chagas (2013), que relata o mesmo comportamento para a espécie *Caesalpinia pluviosa*.

Tabela 4 Valores de densidade média, desvio padrão e coeficiente de variação das amostras do lenho de *S. commersoniana*

Área	Densidade aparente (g/cm <sup>3</sup> )				CV
	Média	Máxima	Mínima	Desvpad	
Contaminada	0,70	1,19	0,55	0,09	15,51
Controle	0,69	1,01	0,57	0,05	8,3

Para as árvores das duas áreas não foram observadas variações importantes nos valores de densidade aparente média do lenho (Tabela 4). O valor médio da densidade das árvores de *S. commersoniana* foi de 0,70 g/cm<sup>3</sup> que, embora menor, fica próximo ao apresentado por Carvalho (2003), de 0,77 g.cm<sup>-3</sup>.

### 5.5 Análise dendrocronológica dos anéis de crescimento

A idade estimada das árvores de *S. commersoniana* foi de 20 a 40 anos, na área contaminada e de 22 a 42 anos, na área controle.

Para a realização do controle de qualidade da largura dos anéis de crescimento das árvores de *S. commersoniana*, foram utilizadas, no total, 74 séries radiais provenientes de 29 árvores (17 da área contaminada e 12 da área controle). Na área contaminada das 38 séries radiais provenientes das 17 árvores, 22 séries de 14 árvores apresentaram boa sincronia para compor a cronologia, com intercorrelação de 0,455.

Já na área controle, das 36 séries radiais provenientes de 12 árvores, 25 séries de 10 indivíduos apresentaram boa sincronia para compor a cronologia, com intercorrelação de 0,424.

Em geral, as 47 séries provenientes tanto da área contaminada (22) quanto da área controle (25) foram sincronizadas de maneira muito satisfatória, embora os resultados de intercorrelações entre os indivíduos analisados separadamente entre as áreas não tenham atingido o ponto crítico considerado para esta análise, que é de 0,515 (Tabela 5), para uma janela de sobreposição de 20 a 10 anos.

Tabela 5 Resultado da sincronização entre as séries cronológicas dos anéis de crescimento de *S. commersoniana* em áreas distintas

Análises	Áreas		
	Contaminada	Controle	Contaminada e Controle
Número de séries	22	25	47
Série codatada	1974-2013	1972- 2013	1972- 2013
Idade da série	40	42	42
Média de sensibilidade	0,363	0,374	0,371
Intercorrelação	0,455	0,424	0,424
Correlação crítica	0,515	0,515	0,515

Segundo Grissino-Mayer (2001), o nível de intercorrelação pode variar entre espécies, área geográfica, homogeneidade do sítio, competição e grau de distúrbio. Dessa forma, como a delimitação dos anéis de crescimento não é tão nítida em espécies de clima tropical, quando comparadas com espécies como coníferas de clima temperado, valores inferiores que 0,5 podem ser considerados de alta intercorrelação.

O valor de sensibilidade média foi de 0,363, na área contaminada e de 0,374, na área controle, mostrando que as séries de anéis de crescimento das duas áreas são sensíveis ( $>0,30$ ), conforme Grissino-Mayer (2001). Segundo Fritts (1976), os valores de sensibilidade média estão diretamente correlacionados a respostas a estímulos ambientais.

Entretanto, os resultados de sincronismo encontrados para *S. commersoniana* não se distanciam dos apresentados na literatura. Kanieski (2013), trabalhando com a espécie *S. commersoniana* ocorrendo na mesma área de estudo onde ocorreu o derramamento de petróleo, entretanto, em duas condições diferentes de saturação hídrica, encontrou intercorrelação de 0,444 e média de sensibilidade de 0,392, valores estes superiores aos encontrados neste trabalho, sendo o mesmo relatado por Longhi-Santos (2013).

Todavia, Milani (2013) relata que, por se tratar de uma espécie semidecídua, sem um período totalmente desprovida de folhas, mas com reposição anual, as intercorrelações obtidas em *S. commersoniana* são consideradas muito boas, quando comparadas com espécies decíduas que apresentam um período desprovido de folhas, característica esta que atua como facilitadora na demarcação dos anéis de crescimento (LARCHER, 2004).

O fato de as intercorrelações estarem abaixo do ponto crítico pode estar relacionado também à formação de falsos anéis, ou pouco distintos e à presença frequente de fibras gelatinosas, características estas apresentadas na caracterização anatômica dos anéis de crescimento de *S. commersoniana* e que também se encontram relatadas por outros autores (COSMO, 2008; COSMO; KUNIYOSHIII; BOTOSSO, 2010; MENNEGA, 2005; RODRIGUES, 2005).

A formação de falsos anéis de crescimento ou anéis incompletos no lenho das árvores é amplamente discutida na literatura. Além disso, outras formas de estresse devem ser atribuídas à formação de falsos anéis de crescimento, como elevados níveis de poluição atmosférica, inundações periódicas e geadas leves durante e no final da primavera e no início do verão (KOZLOV; KISTERNAYA, 2004; KURCZYNSKA et al., 1997; YOUNG et al., 1993).

Após o controle de qualidade da datação das séries nas áreas amostradas, foram construídas as cronologias utilizando o programa Cofecha (Figura 9). Posteriormente, foram realizadas as cronologias standartizadas com as curvas máster do Cofecha que foram ajustadas no programa Arstan (Figura 10), e tiveram as tendências biológicas de crescimento retiradas, restando apenas os sinais climáticos.

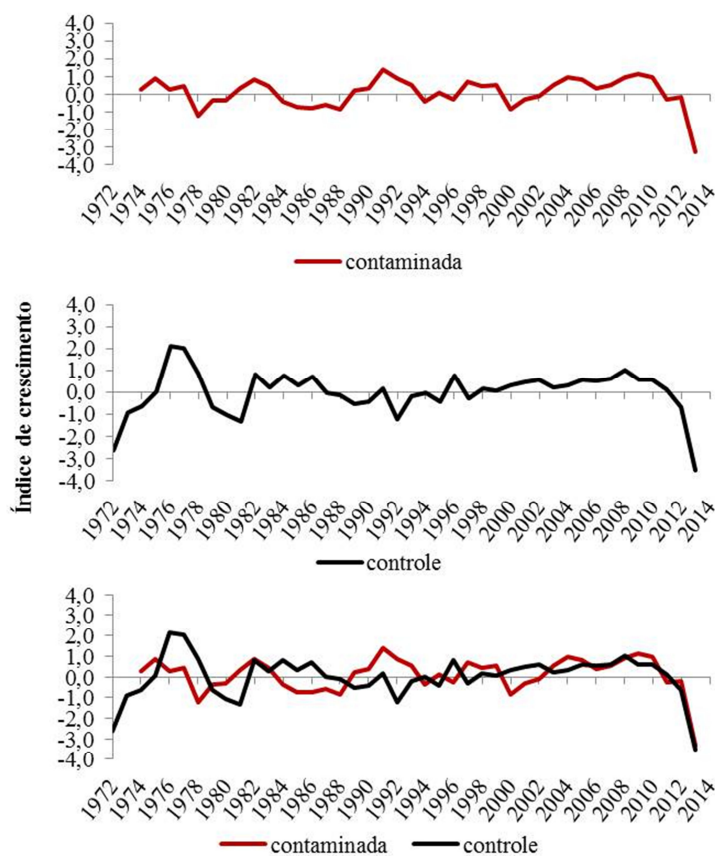


Figura 9 Séries cronológicas máster das árvores de *S. commersoniana*, nas duas áreas de estudo

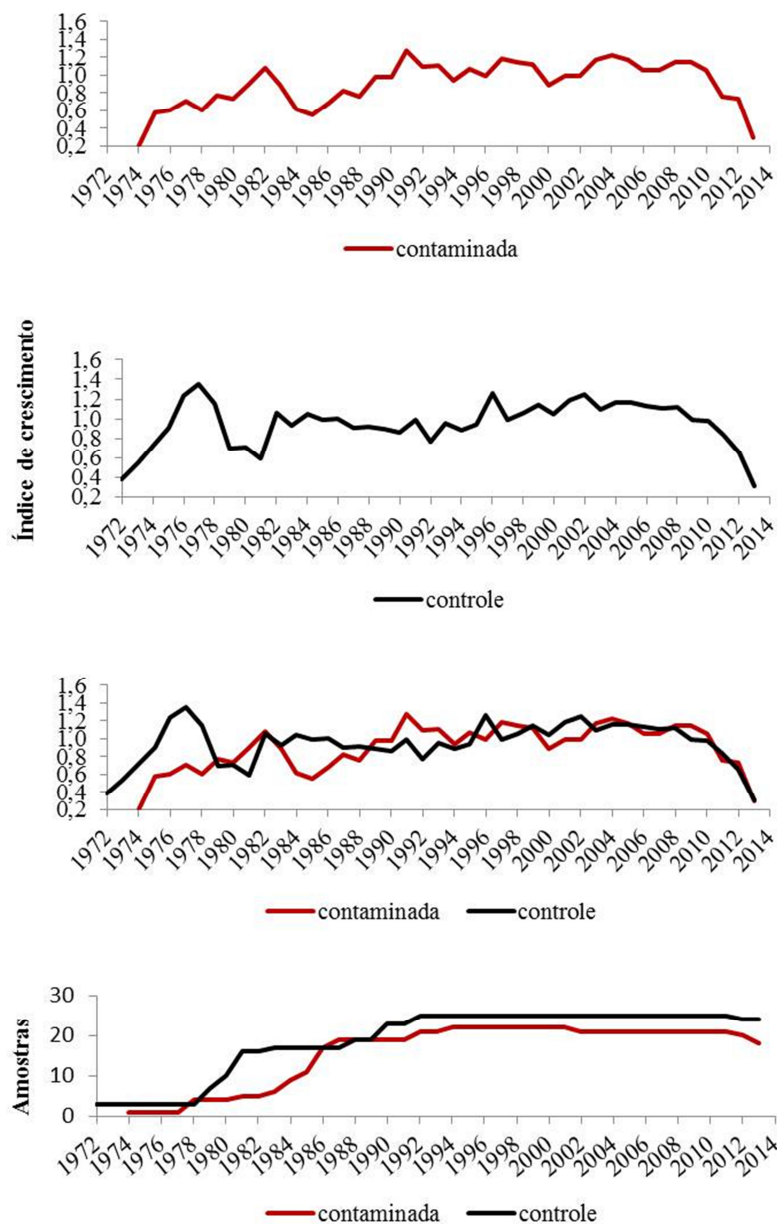


Figura 10 Séries cronológicas padronizadas e número de amostras de árvores de *S. commersoniana*, nas duas áreas de estudo

As séries cronológicas apresentaram diferenças quanto ao padrão de crescimento entre as árvores da área contaminada e as árvores da área controle. A partir do ano 1989 houve um maior número de indivíduos sincronizados para compor as séries, tornando-as mais homogêneas.

No ano de 2000 e, principalmente, em 2001, observou-se uma queda no crescimento das árvores de *S. commersoniana* provenientes da área contaminada, o que pode ser atribuído ao derramamento de petróleo, ocorrido em julho de 2000, uma vez que todas as árvores amostradas na área contaminada apresentaram comportamento similar nestes anos.

Observa-se, ainda, que, no ano de 2002, a espécie mesmo exposta à poluição consegue retomar o seu crescimento, característica esta que indica que a espécie apresentou um comportamento de tolerância ao evento (Figura 11A). Em contrapartida, nas árvores provenientes da área controle, não foi observado comportamento de redução de crescimento para o mesmo período analisado (Figura 11B).

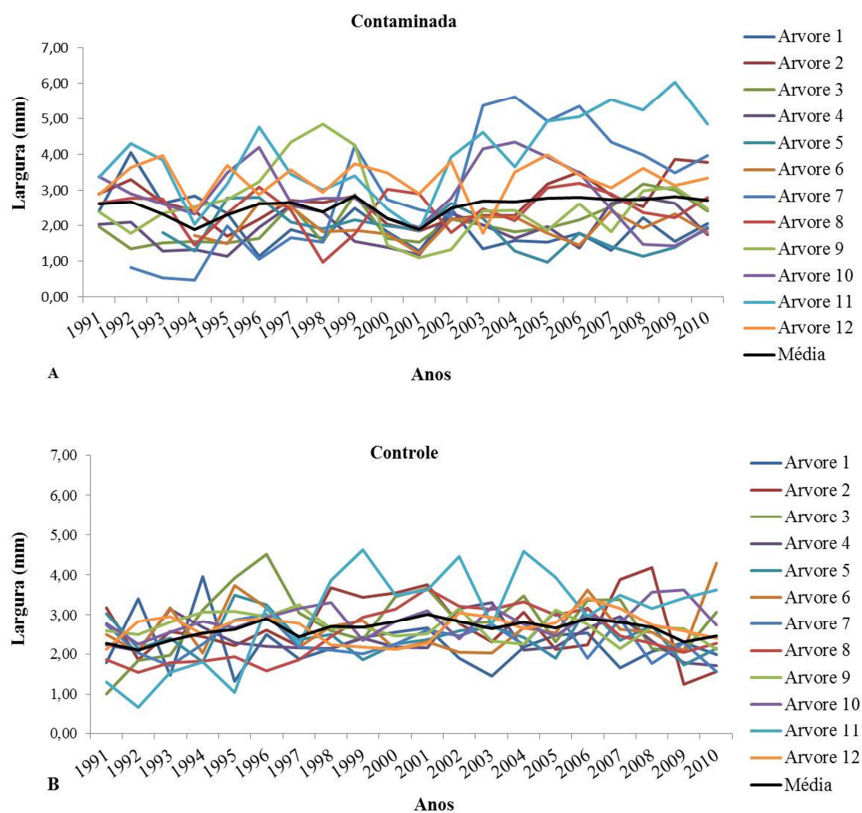


Figura 11 Larguras de anéis de crescimento das árvores de *S. commersoniana* no período de 1991 a 2010, na área contaminada (A) e na área controle (B)

De acordo com Medeiros (2005), a contaminação ambiental em espécies arbóreas pode alterar as taxas de crescimento anual, resultado este que corrobora o que observou Kaniesky (2013), estudando *S. commersoniana* na mesma área, que foi uma diminuição do incremento nesse ano.

Após o incidente, diversas pesquisas científicas foram desenvolvidas para a análise do comportamento da vegetação na área atingida, relacionadas, principalmente, às formações arbóreas e de regeneração (BARDDAL, 2002; CARVALHO, 2003; FUNDAÇÃO DA UNIVERSIDADE FEDERAL PARA O

DESENVOLVIMENTO DA CIÊNCIA, DA TECNOLOGIA E DA CULTURA - FUNPAR, 2001; GRAF NETO, 2011; KANIESKY, 2013; LONGHI-SANTOS, 2013; MILANI, 2013).

Os efeitos negativos quanto ao crescimento de plantas submetidas à contaminação com petróleo também foram observados por Inckot (2007), Rezende (2006), Santos (2006) e Silva (2006). Merkl, Schultze-Kraft e Infante (2004) relatam que a redução na taxa de crescimento pode ser ocasionada pelos componentes tóxicos do óleo e que podem desintegrar as membranas celulares e, em alguns casos, matar as células, ou por desequilíbrio nutricional causado por alterações químicas e físicas (HESTER; MENDELSSOHN, 2000).

Além do mais, outros fatores também devem ser analisados, como relatam Baker (1970) e Pezeshki et al. (2000), como a estação do ano, o tipo de solo e de óleo e o tempo que os vegetais ficam expostos ao óleo, os quais interferem nos impactos causados nas plantas. O efeito do óleo em diferentes estações do ano foi registrado por Alexander e Webb Junior (1985), que observaram redução da biomassa de *Spartina alterniflora* Loisel somente quando a contaminação ocorreu, ou seja, durante a estação de crescimento.

Segundo Taiz e Zeiger (2006), durante a estação de crescimento, as plantas estão ativas e, desse modo, qualquer interrupção nos processos fisiológicos básicos e/ou danos nos tecidos vegetais pode gerar uma redução no crescimento.

Huguenin et al. (1996) relatam que a penetração do óleo no solo está relacionada com a capacidade de permeabilidade do contaminante e o tipo de solo (BAKER, 1970; HUGUENIN et al., 1996). Neste contexto, alguns estudos indicaram que a granulometria e a composição do solo (areia, argila, silte) influenciam o grau de degradação do petróleo.

De acordo com Pezeshki et al. (2000), a resposta diferencial ao tipo de substrato está relacionada à área dos espaços entre os grãos. Dessa forma, o

substrato arenoso permite a penetração mais rápida e mais profunda do óleo do que substratos argilosos, o qual é característico da área contaminada.

Huguenin et al. (1996) relatam, ainda, que, após o óleo penetrar no solo, a temperatura do solo pode ser alterada e este aumento da temperatura no solo pode diminuir a condução hídrica, ocasionando uma redução no crescimento das plantas expostas à contaminação.

Ao comparar ambas as áreas, no ano de 2013, verificou-se a ocorrência de um comportamento de redução significativa do crescimento. Isto se deve ao fato de que o material foi coletado no período que antecede à formação completa do último anel de crescimento, que seria finalizado em 2014 (Figuras 9 e 10).

Quanto ao comportamento fenológico de *S. commersoniana*, Milani (2013) relata a existência de dois períodos reprodutivos para a espécie, sendo o primeiro de agosto a novembro e o segundo, com menor intensidade, no mês de fevereiro. Este primeiro período reprodutivo inicia-se antes da retomada do crescimento em diâmetro da espécie que ocorre no mês de outubro, o que corresponde às taxas de incremento radial do ano seguinte.

### **5.5.1 Correlação com variáveis climáticas**

A análise da influência das variáveis climáticas (temperatura e precipitação) entre as cronologias dos anéis de crescimento e os registros climáticos mensais (de setembro do ano anterior ao período de crescimento até maio do ano corrente: período de 21 meses) determinou em que período as variáveis climáticas influenciam significativamente a largura dos anéis de crescimento.

As árvores de *S. commersoniana* provenientes da área contaminada não apresentaram nenhuma correlação significativa com a temperatura máxima (Figura 12A). Entretanto, para as temperaturas médias (Figura 12 B) e mínimas (Figura 12C), obteve-se correlação negativa e significativa com o crescimento

do tronco, tendo a média sido significativa nos meses de outubro (-0,318) e dezembro (-0,320), enquanto a mínima foi significativa nos meses de dezembro (-0,324) e fevereiro (-0,317), ambas no ano anterior.

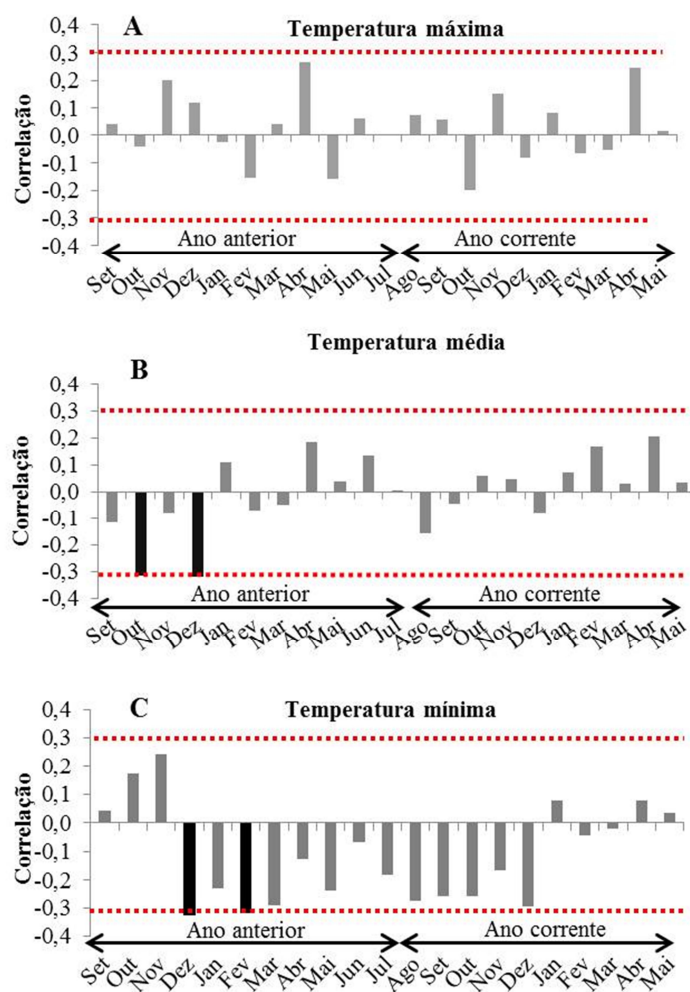


Figura 12 Correlações entre índices de anéis de crescimento de *S. commersoniana* com as variáveis mensais de temperatura mínima (A), média (B) e máxima (C), na área contaminada

Para a variável precipitação, a correlação foi positiva em grande parte dos meses e significativa no mês de janeiro (0,385) do ano anterior e nos meses de outubro (0,327) e janeiro (0,307) do ano corrente (Figura 13). A correlação positiva com o mês de janeiro do ano anterior ao crescimento mostra que as chuvas no início do verão são importantes como impulsionadoras para a retomada de crescimento da espécie e, também, por ser um período em que são registradas as maiores temperaturas, fisiologicamente as plantas demandam maior quantidade de água em seus processos. Além disso, Larcher (2004) relata que altas temperaturas acarretam um aumento nas perdas por respiração, resultado este que também foi verificado por Kanieski (2013) e Longhi-Santos (2013).

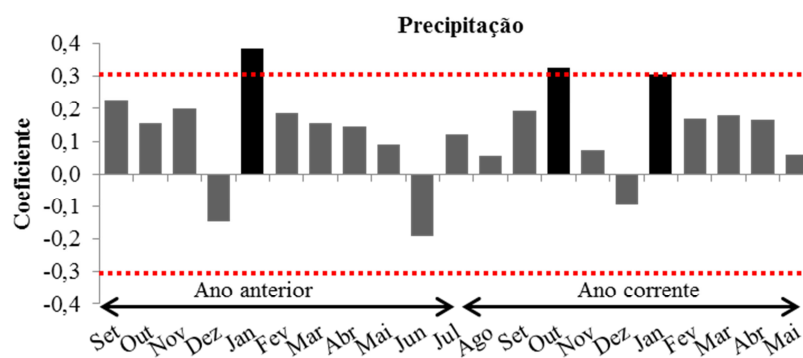


Figura 13 Correlações entre índices de anéis de crescimento de *S. commersoniana* com as variáveis mensais de precipitação na área contaminada

Para as árvores de *S. commersoniana* na área controle também não foi encontrada nenhuma correlação da série do índice de largura dos anéis de crescimento com as temperaturas máximas (Figura 14 A). Já as temperaturas médias (Figura 14 B) apresentaram correlações positivas e significativas com o

crescimento no mês de abril, tanto do ano anterior (0,343) quanto do ano corrente (0,349).

As temperaturas mínimas apresentam bem mais meses com correlação negativa (Figura 14C), mesmo que não significativa, tanto no ano anterior quanto ao ano de crescimento, com significância no mês de dezembro, o que indica que altas temperaturas médias influenciam positivamente a largura dos anéis de crescimento.

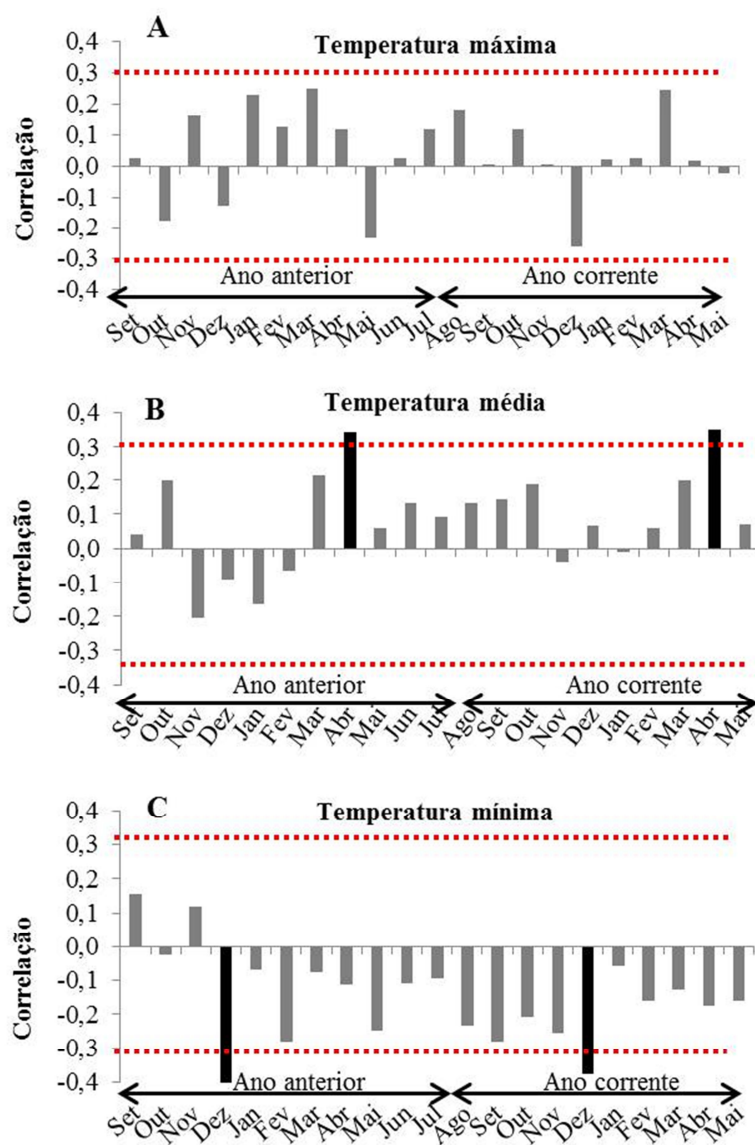


Figura 14 Correlações entre índices de anéis de crescimento de *S. commersoniana* com as variáveis mensais de temperatura de temperatura mínima (A), média (B) e máxima(C), na área controle

Entretanto, para a variável precipitação na área controle não foi encontrada nenhuma correlação com a série do índice de largura dos anéis de crescimento (Figura 15), que é algo esperado para uma planície de inundação que tem um grau de hidromorfia maior do que outros ambientes. Andreacci (2012) e Oliveira (2007), trabalhando com espécies da Floresta Ombrófila Mista, no sul do Brasil, também encontraram correlações positivas, porém, não significativas, para o crescimento anterior ou corrente dos anéis de crescimento com a precipitação.

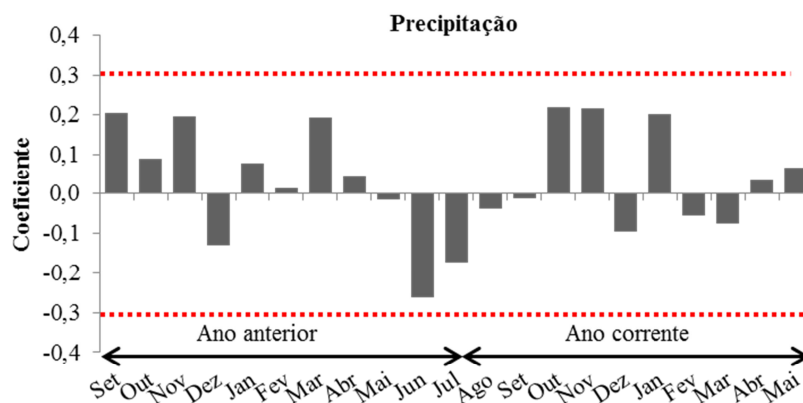


Figura 15 Correlações entre índices de anéis de crescimento de *S. commersoniana* com as variáveis mensais de precipitação na área controle

### 5.6 Análise dos elementos de vasos do lenho das árvores

Qualitativamente, os elementos de vasos de *S. commersoniana* apresentam placa de perfuração simples, com ou sem apêndices nas extremidades (Figuras 16 A e B), de comprimento e diâmetro variáveis, características estas encontradas também por Cosmo (2008).

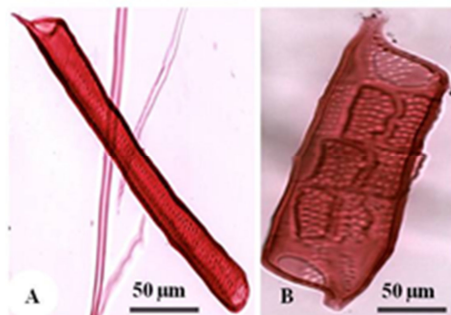


Figura 16 Características estruturais dos elementos de vasos de *S. commersoniana*

O comprimento dos elementos de vasos, na área contaminada, apresentou diferenças entre os anos avaliados (Anexo A). No período de 1995 a 1998, os valores apresentaram pouca variabilidade (Figura 17). Em 2001, o valor médio do comprimento de vaso apresentou seu menor valor na série analisada (598,07µm), provavelmente por reflexo da contaminação do solo no ano anterior. Posteriormente, em 2002, houve um aumento no comprimento, tendendo a um valor constante até 2010, com uma média, neste período, de 629,64 µm, porém, menor do que no período anterior ao evento (751,40 µm).

É provável que esta diminuição no comprimento dos vasos na área contaminada seja um reflexo da influência do derramamento de óleo sobre o desenvolvimento das iniciais cambiais, uma vez que, na área controle (Anexo B), o comprimento dos elementos de vaso apresentou pouca variação ao longo de todos os anos analisados no presente estudo. Considerando o período analisado, nenhum outro fator externo, além do derramamento de petróleo, ocorreu na área contaminada.

De acordo com Carlquist (2001), elementos de vaso mais curtos podem isolar melhor bolhas de ar em caso de cavitação, tendo, portanto, valor adaptativo em situações de estresse ambiental. O autor relata, ainda, que o

comprimento do elemento de vaso é ditado pelo comprimento da célula inicial cambial da qual ele provém. Por isso, o comprimento do elemento de vaso é, em muitos casos, um bom indicativo do comprimento das iniciais cambiais.

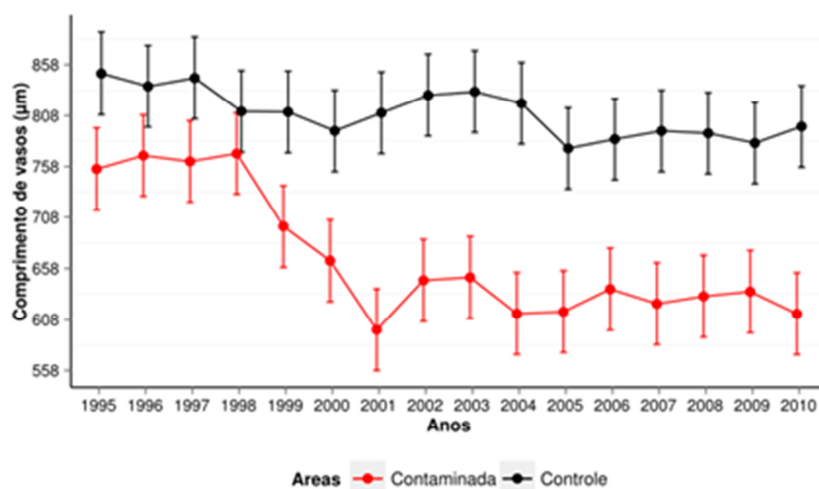


Figura 17 Intervalos de confiança, com 95% de probabilidade, para o comprimento dos elementos de vasos de *S. commersoniana*, no período de 1995 a 2010

Na Figura 18 estão apresentados os dados da variação do diâmetro e frequência dos vasos nas áreas de estudo e os dados meteorológicos (precipitação e temperatura média) no período de 1995 a 2010.

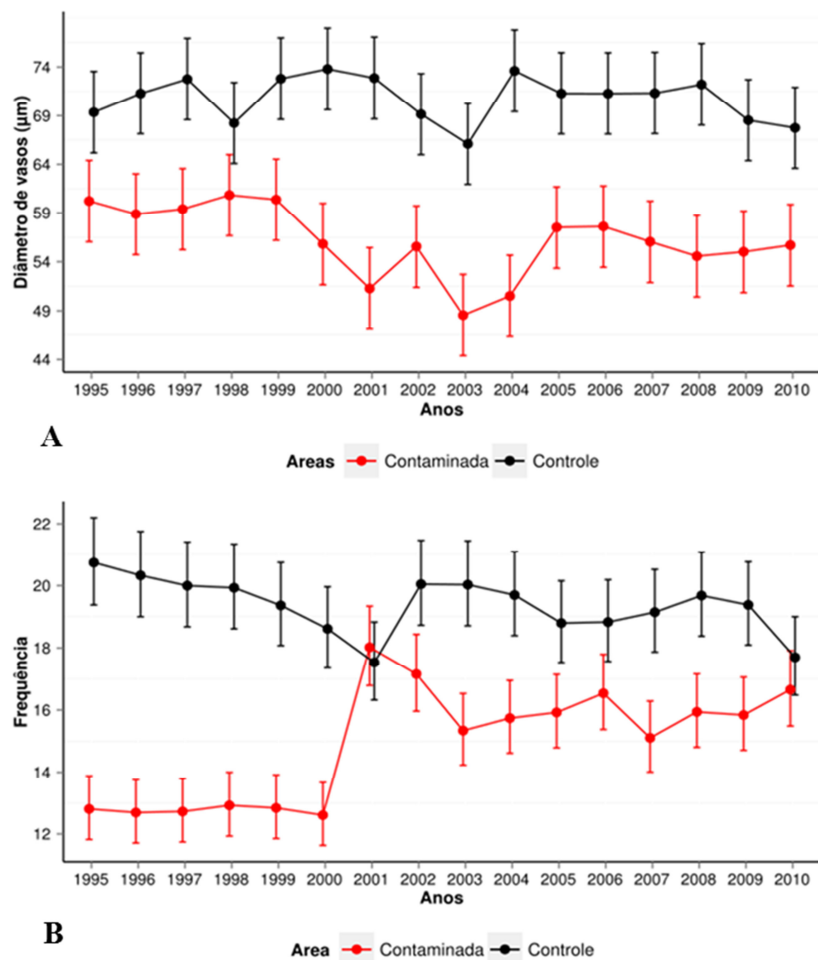


Figura 18 Intervalos de confiança, com 95% de probabilidade, para o diâmetro e a frequência dos vasos (mm) de *S. commersoniana* nas duas áreas, no período de 1995 a 2010

Em relação ao diâmetro médio dos vasos, observaram-se diferenças significativas entre as duas áreas, ao longo de todo o período analisado, excetuando-se no ano de 1998. Porém, uma observação peculiar na série ocorreu exatamente nos anos de 2000 e 2001. Na área contaminada houve uma tendência

de decréscimo do diâmetro médio do vaso, enquanto na área controle houve um pequeno aumento dessa característica. Após este período, o comportamento dessa característica nas duas áreas foi muito similar (Figura 18 A).

A frequência de vasos dos indivíduos da área contaminada variou de 12 a 18 mm<sup>2</sup>, com média de 12 vasos por mm<sup>2</sup>, no período de 1995 a 2000, e de 16 vasos por mm<sup>2</sup>, de 2001 a 2010. No ano de 2001 (Figuras 18B), como resposta ao derramamento, houve um aumento significativo na frequência (18,02 mm<sup>2</sup>), assegurando maior eficiência na condução de água (Anexo A). Já na área controle, a frequência de vasos variou de 17 a 21 mm<sup>2</sup>, com média de 20 e 19 vasos por mm<sup>2</sup>, respectivamente de 1995 a 2000 e de 2001 a 2010, ou seja, houve uma diminuição no número de vasos, principalmente em 2001, com 17 vasos por mm<sup>2</sup> (Figura 18 B, Anexo B).

Neste contexto, Alves e Angyalossy-Alfonso (2000) e Baas e Carlquist (1985) relataram que vasos menores e mais numerosos são formados no lenho das árvores, sob estresse ambiental. Além disso, essa baixa eficiência na condução de água é compensada pela formação de grande número de vasos menores, que aumenta o potencial de condução de água, diminuindo os riscos de embolismo (BAAS; WHEELER, 2011).

Em relação ao agrupamento dos vasos do lenho de *S. commersoniana*, nota-se que a área contaminada apresentou maior número de vasos múltiplos, após o ano do derramamento, do que vasos solitários. Nos anos de 1995 e 1999 (Figura 19 A), a porcentagem de vasos solitários e múltiplos se manteve igual. No ano de 2000 (Figura 19 A) houve um aumento na quantidade de vasos múltiplos, com 57,38%; destes, 37,52% eram germinados, 14,54% eram múltiplos de três, 2,96% eram múltiplos de quatro e 2,46% em cachos >4 (Figura 20A), sendo que, no ano de 2001 (Figuras 20 A e 21 E), a quantidade de vasos múltiplos de 2, 3, 4 e em cachos > 4 aumentou consideravelmente, mantendo-se até o ano de 2010.

Em contrapartida, na área controle (Figura 19B) não foram observadas diferenças significativas quanto ao número de vasos múltiplos ao longo dos anos, reduzindo um pouco de 2000 (49,52%) para 2001 (48,20%).

Comparando-se os períodos de 1995 a 2000 (59,10%, destes 24,97% germinados; 19,84% M3; 6,74% M4 e 7,55% M>4) e de 2001-2010 (54,10%, com 23,55% germinados; 16,44% M3; 7,34% M4 e 6,78% de M>4). Esta característica também pode ser observada nas Figuras 21 B, D e F, quanto ao número de vasos solitários e múltiplos nos anos de 1999, 2000 e 2001, respectivamente, quando comparada com a área contaminada (Figuras 21 A, C, E).

Esta maior frequência de vasos múltiplos nos indivíduos de *S. commersoniana* na área contaminada possibilita maior quantidade de vias para a passagem da água, o que acaba sendo um fator de segurança do sistema de condução (BAAS; WERKER; FAHN, 1983; CARLQUIST, 2001; KEDROV, 2012; ZIMMERMANN, 2002), assim como vasos solitários são mais frequentes em ambientes úmidos e raramente ocorrem agrupados (ALVES, ANGYALOSSY-ALFONSO, 2000).

Dessa forma, o aumento da frequência após o derramamento (Figura 18B) pode ser justificado como uma resposta adaptativa dos indivíduos *S. commersoniana* na área contaminada por petróleo, já que o mesmo pode ter propiciado uma diminuição na disponibilidade de água por aderir às raízes, sendo esta hipótese justificada pelo comportamento dos indivíduos na área controle (Figuras 19B e 20B), onde a proporção entre vasos múltiplos e solitários praticamente não se altera ao longo dos anos, e pelo fato de a área não ter sido atingida pelo derramamento ocorrido em 2000.

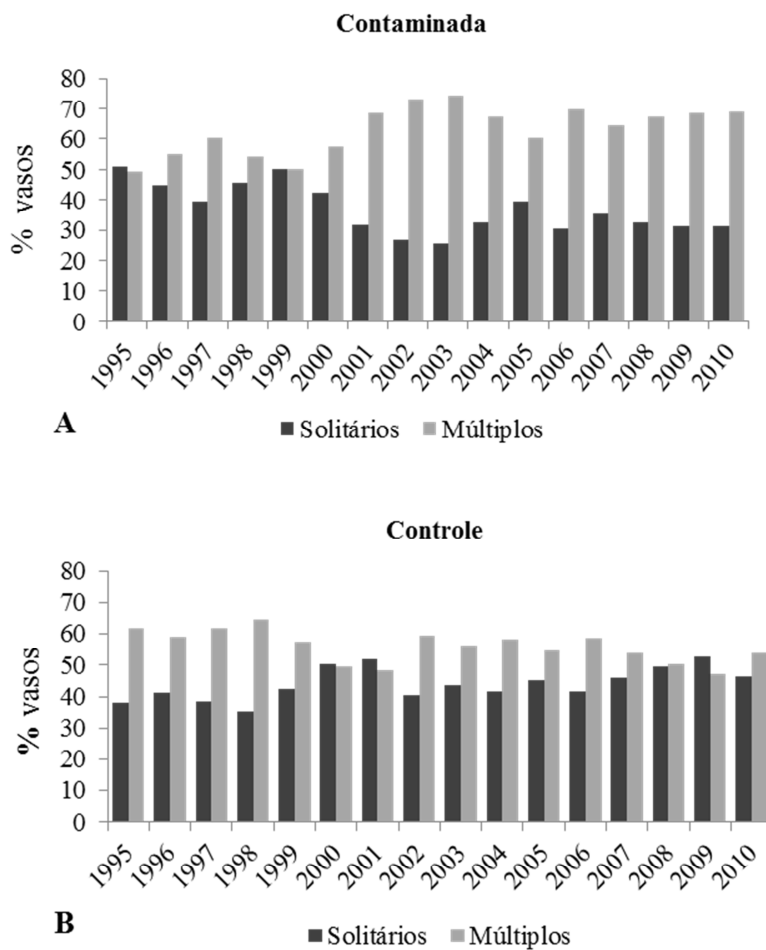


Figura 19 Variação do agrupamento dos vasos: solitários e múltiplos de *S. commersoniana*, no período de 1995 a 2010, nas duas áreas

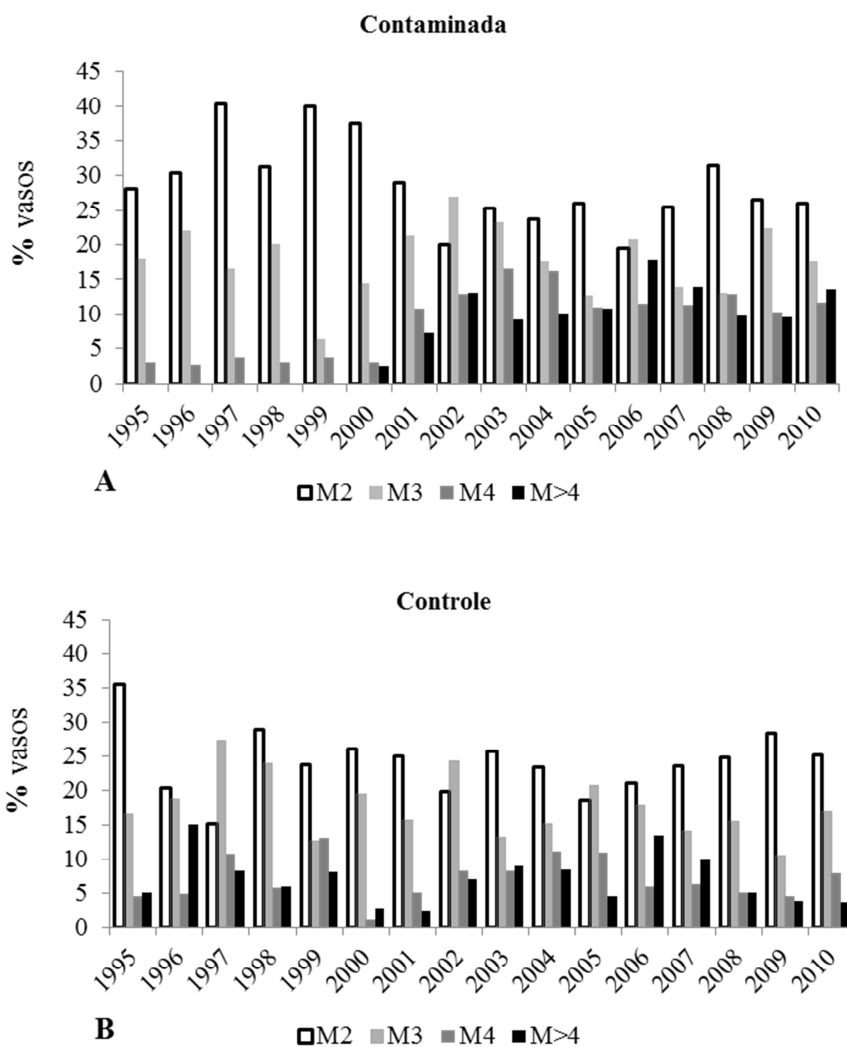


Figura 20 Variação do agrupamento dos vasos múltiplos de *S. commersoniana*, no período de 1995 a 2010, nas duas áreas

Rajput, Rao e Kim (2008) estudaram a anatomia do lenho de *Prosopis spicigera* crescendo sob a influência da combinação de poluentes do ar e observaram que as plantas expostas à poluição apresentaram menor diâmetro de vasos e maior frequência de vasos, como respostas das plantas para mitigar a

tensão negativa da coluna de água no xilema, causada pela combinação desses poluentes atmosféricos.

Garcia et al. (2004), ao estudarem *S. commersoniana* submetida à contaminação com petróleo, concluíram que as plantas que crescem em ambientes poluídos apresentaram características que podem aumentar a segurança da condução, ou seja, menor diâmetro de vasos, entretanto, mais numerosos e redução no comprimento dos elementos de vasos. Resultados semelhantes foram obtidos por Maranhão et al. (2006) que observaram menor comprimento e diâmetro das traqueídes e menor espessura e grau de lignificação da parede celular das traqueídes em plantas adultas de *Podocarpus lambertii* expostas à poluição por petróleo.

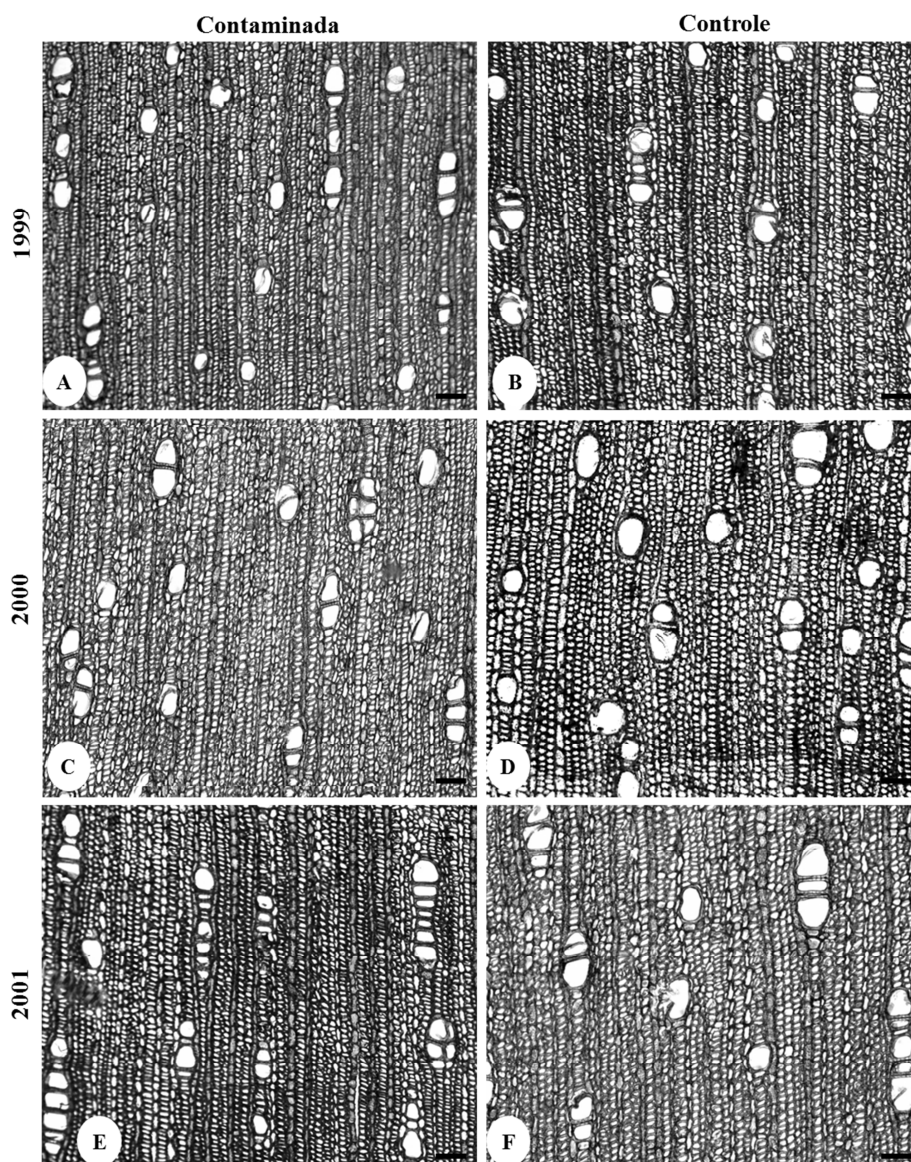


Figura 21 Frequência dos vasos no lenho de *S. commersoniana*, em 1999 (A), 2000 (C) e 2001 (E) área contaminada e em 1999 (B), 2000 (D) e 2001 (F) área controle. Barra = 50  $\mu$ m

Entre os indivíduos de *S. commersoniana* estudados na área contaminada ocorreu diferença significativa (Anexo A) nos valores de vulnerabilidade e mesomorfia, entre os anos analisados (Figuras 22 e 23), desde 7,73 de vulnerabilidade e 3.540 de mesomorfia (1995-2000), até 3,42 de vulnerabilidade e 2.182 de mesomorfia (2001-2010). Os menores valores foram observados no ano de 2001, diminuindo consideravelmente para 2,88 e 1.711, respectivamente, fato este que pode ser interpretado como uma resposta adaptativa dos indivíduos expostos à contaminação. Como estratégia de sobrevivência, a espécie *S. commersoniana* se modifica anatomicamente, apresentando elementos de vasos mais curtos e mais numerosos.

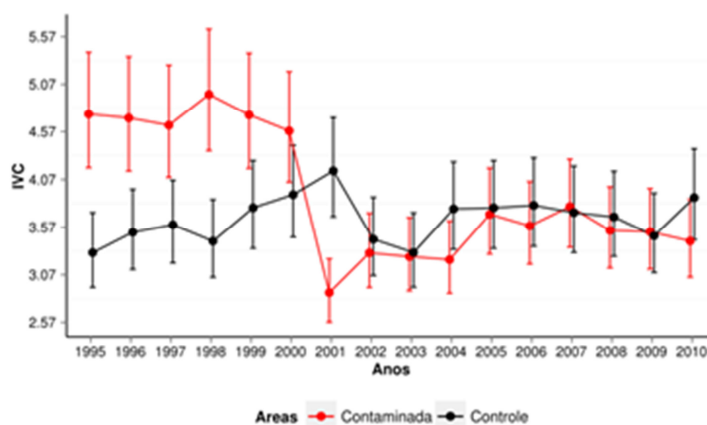


Figura 22 Intervalos de confiança, com 95% de probabilidade, do índice de vulnerabilidade de Carlquist de *S. commersoniana*, no período de 1995 a 2010, nas duas áreas

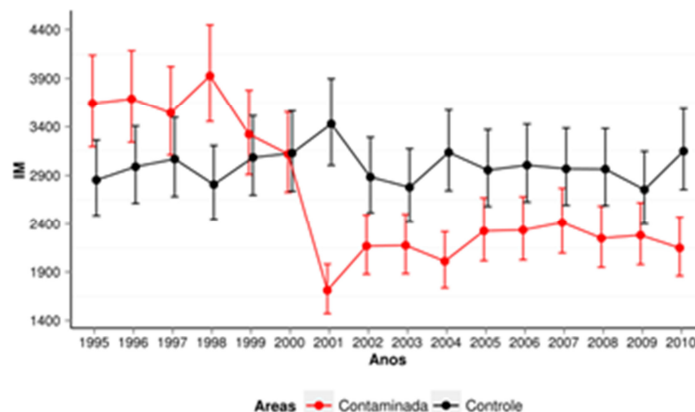


Figura 23 Intervalos de confiança, com 95% de probabilidade, do índice de mesomorfia de *S. commersoniana*, no período de 1995 a 2010, nas duas áreas

Os menores valores de vulnerabilidade e mesomorfia encontrados no ano de 2001 são devido ao menor comprimento e diâmetro de elementos de vaso e, principalmente, ao aumento expressivo da frequência de vasos múltiplos que, por sua vez, devem estar refletindo a influência de fatores ambientais ocorridos no ano de 2000 sobre os processos de divisão, crescimento e diferenciação celular, uma vez que estes processos dependem do equilíbrio hormonal, nutricional e, especialmente, do suprimento adequado e contínuo de água (KRAMER, 1964).

Além disso, a primeira e mais significativa resposta ao estresse ambiental provocado por poluição na planta é a diminuição da turgescência celular, com a conseqüente diminuição do processo de crescimento (LARCHER, 2000). Segundo Kramer e Koslowski (1960), a poluição ambiental pode diminuir a condução de água, reduzindo o crescimento das células. Portanto, a absorção permanente de água é essencial à contínua expansão da célula, uma vez

que o crescimento pode ser interrompido mesmo quando as células estejam apenas ligeiramente plasmolisadas.

No mais, Kozlowski e Pallardy (1997) afirmam que o estresse ambiental provocado por poluição pode inibir diversos aspectos do crescimento cambial, incluindo a divisão das iniciais fusiformes e das células-mãe do xilema. Além da poluição, outros fatores externos, como disponibilidade hídrica, luz, temperatura e oxigênio, exercem também influência sobre a atividade cambial a partir de seus efeitos no equilíbrio bioquímico da planta, e especialmente na produção de auxina (WAREING; HANNEY; DIGBY, 1964).

Entretanto, na área controle ocorreu o inverso. O índice de vulnerabilidade e de mesomorfia, em 2001, aumentou de forma discreta, não tendo sido observadas diferenças significativas entre os anos analisados (Figuras 22 e 23; Anexo B).

Na área contaminada, observou-se uma tendência, nos indivíduos de *S. commersoniana*, entre o conjunto de parâmetros de elementos de vasos analisados (comprimento, diâmetro, frequência, índice de vulnerabilidade e de mesomorfia) e as taxas de crescimento obtidas na análise dendrocronológica, especificamente em 2000 (ano da contaminação do solo por petróleo) e no ano seguinte, em 2001. Contudo, originou uma diminuição no comprimento e um aumento significativo na frequência dos vasos, além da diminuição nas taxas de incremento nestes anos, levando a crer que estas modificações ocorridas sejam em decorrência da contaminação, uma vez que essas alterações não foram observadas na área controle para os mesmos períodos analisados.

Com os resultados encontrados para os indivíduos de *S. commersoniana* entre as duas áreas, nota-se que houve modificações anatômicas dos indivíduos na área contaminada, provavelmente como resposta à poluição ambiental. Além disso, essa capacidade de adaptação da espécie ao ambiente é um diferencial que assegura a sua permanência em ambientes alterados.

## 6 CONCLUSÃO

As diferenças anatômicas nas folhas observadas se devem às características nutricionais do solo.

O lenho de *S. commersoniana* apresenta coloração creme-amarelada, sem distinção entre cerne e alborno, com anéis de crescimento distintos a pouco distintos a olho nu, evidenciados por uma camada estreita de fibras gelatinosas e pelo achatamento das paredes das fibras, ocorrendo também a formação de falsos anéis.

A densitometria de raios X possibilitou verificar as variações de densidade do lenho intra e interanéis de crescimento e no sentido radial.

As árvores de *S. commersoniana* expostas à poluição por petróleo alteraram o seu padrão de incremento nos anos de 2000 e 2001.

Nas características dos elementos de vasos observou-se, no ano de 2000 (contaminação) e no ano seguinte, que houve uma diminuição do comprimento dos elementos de vasos e um aumento na frequência de vasos por mm<sup>2</sup>.

Essa capacidade de adaptação da espécie justifica a sua forte presença em ambientes alterados, como observado na área de estudo.

## 7 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A falta de análises químicas e físicas do solo, antes e durante a ocorrência do evento, impossibilita concluir que tais diferenças anatômicas da folha se devem, realmente, ao efeito da contaminação, uma vez que a composição do solo entre as áreas de estudo apresenta características distintas em termos nutricionais.

As adaptações dos elementos de vasos do xilema secundário contribuíram de forma positiva na condução, evitando, assim, fatores como a redução da disponibilidade hídrica nas folhas.

Em função da redução do crescimento de *S. commersoniana*, no ano da contaminação e no ano subsequente, observada no estudo dos anéis de crescimento, podem ter ocorrido alterações nos tecidos foliares nestes anos, não observados durante a realização deste estudo, em função da característica de plasticidade da folha.

Portanto, fazem-se necessários estudos futuros em casas de vegetação em que possa ser induzida a contaminação por petróleo em solos com a mesma composição, para fins de avaliar o efeito desta nas variáveis morfoanatômicas e fisiológicas nas folhas de *S. comersoniana*.

Estudos dendrocronológicos são de extrema importância para avaliar o efeito da contaminação ambiental no lenho das árvores. Entretanto, aliada a estas técnicas, sugere-se a aplicação de análises dendroquímicas mais precisas, como a técnica analítica LIBS, a espectrometria de massa com fonte de plasma acoplado a um sistema com ablação a laser (LA-ICP-MS) e a fluorescência de raios X (XRF), com o objetivo de determinar os elementos de alto potencial tóxico, oriundos da composição química do petróleo, presentes nos anéis de crescimento.

## REFERÊNCIAS

- ALEXANDER, S. K.; WEBB JUNIOR, J. W. Seasonal response of *Spartina alterniflora* to oil. In: OIL SPILL CONFERENCE: PREVENTION, BEHAVOIR, CONTROL, CLEANUP, 1., 1985, Los Angeles. **Proceedings...** Los Angeles: American Petroleum Institute, 1985. p. 355-357.
- ALKIO, M. et al. Stress responses to polycyclic aromatic hydrocarbons in *Arabidopsis* include growth inhibition and hypersensitive response-like symptoms. **Journal of Experimental Botany**, Oxford, v. 56, n. 421, p. 2983-2994, 2005.
- ALVARADO, R. J. et al. Variação da densidade do lenho e relação com a largura dos anéis de crescimento de árvores de mogno, *Swietenia macrophylla*, da floresta tropical amazônica do Peru. **Scientia Forestalis**, Piracicaba, v. 38, n. 86, p. 171-179, jun. 2010.
- ALVES, E. S.; ANGYALOSSY-ALFONSO, V. Ecological trends in the wood anatomy of some brazilian species: 1., growth rings and vessels. **IAWA Journal**, Utrecht, v. 21, n. 1, p. 3-30, 2000.
- AMARAL, A. C. B.; TOMAZELLO FILHO, M. Avaliação das características dos anéis de crescimento de *Pinus taeda* através de microdensitometria de raios X. **Revista Ciência e Tecnologia**, Piracicaba, v. 11/12, n. 6, p. 17-23, 1998.
- ANDREACCI, F. **Atividade cambial, fenologia vegetativa e ritmo de crescimento de Cedrela fissilis Vell. em áreas de Florestas Ombrófilas Mista e Densa do estado do Paraná: aspectos dendrocronológicos e dendroecológicos**. 2012. 56 f. Dissertação (Mestrado em Botânica) - Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2012.
- ANHOLETTO JUNIOR, C. **Dendroecologia e composição isotópica ( $\delta^{13}C$ ) dos anéis de crescimento de árvores de Cedrela odorata, Meliaceae, na Caatinga e Mata Atlântica do Estado de Sergipe, Brasil**. 2013. 96 p. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Piracicaba, 2013.
- ARANDA, I. et al. Effects of relative irradiance on the leaf structure of *Fagus sylvatica* L. seedlings planted in the understory of a *Pinus sylvestris* L. stand after thinning. **Annals of Forest Science**, Les Ulis, v. 58, n. 6, p. 673-680, 2001.

ARAÚJO, M. M. et al. Caracterização da chuva de sementes, banco de sementes do solo e banco de plântulas em Floresta Estacional Decidual Ripária em Cachoeira do Sul, RS, Brasil. **Scientia Forestalis**, Piracicaba, n. 66, p. 128-141, dez. 2004.

BAAS, P. Ecological patterns in xylem anatomy. In: GIUNISH, T. J. (Ed.). **On the economy of plant form and function**. Cambridge: Cambridge University, 1986. p. 327-352.

BAAS, P.; CARLQUIST, S. A comparison of the ecological wood anatomy of the floras of Southern California and Israel. **IAWA Bulletin New Series**, Utrecht, v. 6, n. 4, p. 141-159, 1985.

BAAS, P.; WERKER, E.; FAHN, A. Some ecological trends in vessel characters. **IAWA Bulletin**, Leiden, v. 4, p. 141-159, 1983.

BAAS, P.; WHEELER, E. A. Wood anatomy and climate change. In: HODKINSON, T. R. et al. (Ed.). **Climate change, ecology and systematics**. Cambridge: Cambridge University, 2011. p. 141-155.

BAKER, J. M. The effects of oils on plants. **Environmental Pollution**, Barking, v. 1, p. 27-44, 1970.

BARDDAL, M. L. **Aspectos florísticos e fitossociológicos do componente arbóreo-arbustivo de uma Floresta Ombrófila Mista Aluvial, Araucária, PR**. 2002. 89 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) - Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2002.

BARDDAL, M. L. **A influência da saturação hídrica na distribuição de oito espécies arbóreas da Floresta Ombrófila Mista Aluvial do rio Iguazu, Paraná, Brasil**. 2006. 115 f. Tese (Doutorado em Engenharia Florestal) - Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2006.

BARDDAL, M. L. et al. Fitossociologia do sub-bosque de uma Floresta Ombrófila Mista Aluvial, no município de Araucária, PR. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 14, n. 1, p. 35-45, 2004.

BERNACCI, L. C.; GOLDENBERG, R.; METZGER, J. P. Estrutura florística de 15 fragmentos florestais ripários da bacia do rio Jacará-Pepira, SP. **Naturalia**, São Paulo, v. 23, p. 23-54, 1998.

BONA, C. et al. Efeito do solo contaminado com óleo diesel na estrutura da raiz e da folha de plântulas de *Sebastiania commersoniana* (Euphorbiaceae) e *Schinus terebinthifolius* (Anacardiaceae). **Acta Botanica Brasilica**, Porto Alegre, v. 25, n. 2, p. 277-285, 2011.

BOSIO, F.; SOFFIATTI, P.; BOEGER, M. R. T. Ecological wood anatomy of *Miconia sellowiana* (Melastomataceae) in three vegetation types of Paraná State, Brazil. **IAWA Journal**, Leiden, v. 31, n. 2, p. 179-190, 2010.

BOTREL, R. T. et al. Influência do solo e topografia sobre as variações da composição florística e estrutural da comunidade arbóreo-arbustiva de uma floresta estacional semidecidual em Ingaí, MG. **Revista Brasileira de Botânica**, São Paulo, v. 25, n. 2, p. 195-213, mar./abr. 2002.

BUCKLEY, B. M. et al. Dendrochronological investigations in Thailand. **IAWA Journal**, Leiden, v. 16, n. 4, p. 393-409, 1995.

BUJOKAS, W. M. **Impacto da poeira de cimento em *Schinus terebinthifolius* Raddi (Anacardiaceae)**. 2001. 95 f. Dissertação (Mestrado em Botânica) - Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2001.

CALLADO, C. H. et al. Anatomical features of growth rings in flood-prone trees of the Atlantic Rain Forest in Rio de Janeiro, Brazil. **IAWA Journal**, Leiden, v. 22, n. 1, p. 29-42, 2001.

CARLQUIST, S. **Comparative wood anatomy: systematic, ecological and evolutionary**. New York: Springer, 2001. 418 p.

CARVALHO, J. **Florística e estrutura do estrato de regeneração de uma Floresta Ombrófila Mista Aluvial, Rio Barigui, Araucária, PR**. 2003. 160 p. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) - Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2003.

CASTRO, V. R. **Aplicação de métodos não destrutivos na avaliação das propriedades físicas do lenho de árvores de *Pinus caribaeavar. hondurensis* Barr. et Golf. e *Tectona grandis* (L.f.)**. 2011. 102 p. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Piracicaba, 2011.

CAVALCANTE, I. N.; SABADIA, J. A. B. Potencial hídrico subterrâneo: um bem mineral ameaçado pela ação antrópica. **Revista Geologia**, Fortaleza, n. 5, p. 115-124, 1992.

CHAGAS, M. P. **Anéis de crescimento do lenho de árvores como monitores ambientais**: avaliação temporal e espacial da poluição atmosférica na cidade de Paulínia, São Paulo. 2013. 160 p. Tese (Doutorado em Recursos Florestais) - Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Piracicaba, 2013.

CHAGAS, M. P. **Caracterização dos anéis de crescimento e dendrocronologia de árvores de *Grevillea robusta* A. Cunn, *Hovenia dulcis* Thunb., *Persea americana* Mill., *Tabebuia pentaphylla* Hemsl. e *Terminalia catappa* L. nos municípios de Piracicaba e Paulínia, SP**. 2009. 114 p. Dissertação (Mestrado em Recursos Florestais) - Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Piracicaba, 2009.

CHAÎNEAU, C. H. et al. Bioremediation of a crude oil-polluted soil: biodegradation, leaching and toxicity assessments. **Water, Air and Soil Pollution**, Dordrecht, v. 144, n. 1/4, p. 419-440, Apr. 2003.

CLARK, R. C.; BROWN, D. W. Petroleum: properties and analyses in biotic and abiotic systems. In: MALINS, D. C. (Ed.). **Effects of petroleum on arctic and subarctic marine environments and organisms**. New York: Academic, 1977. v. 1, p. 1-90.

COMISIÓN PANAMERICANA DE NORMAS TÉCNICAS. **Descripción de características generales, macroscópicas de las maderas angiospermas dicotiledoneas**. 1974. 19 p.

COOK, E. R.; KAIRIUKSTIS, L. A. **Methods of dendrochronology**: applications in the environmental science. Amsterdam: Kluwer, 1990. 394 p.

CORONA, E. **Dendrochronologia**: principi e applicazioni. Verona: Istituto Italiano de Dendrochronologia, 1986. 103 p.

COSMO, N. L. **Anatomia ecológica e crescimento do lenho de *Sebastiania commersoniana* (Baillon) Smith & Downs, em diferentes condições geomorfológicas e pedológicas da planície do rio Iguaçu-PR**. 2008. 93 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) - Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2008.

COSMO, N. L.; KUNYOSHIII, Y. S.; BOTOSSO, P. C. Anatomia da madeira de *Sebastiania commersoniana* (Baillon) Smith & Downs (Euphorbiaceae): aspectos funcionais e ecológicos. **Acta Botanica Brasilica**, São Paulo, v. 24, n. 3, p. 756-764, jul./set. 2010.

COSTA, F. H. S. et al. Anatomical and physiological modifications of micropropagated 'Caipira' banana plants under natural light. **Scientia Agraria**, Piracicaba, v. 66, n. 3, p. 323-330, 2009.

COSTENARO, G. A. R. **Análise de crescimento de uma população de *Sebastiania commersoniana* (Baillon) L.B. Sm & R. J. Downs (Euphorbiaceae) em uma Floresta Ombrófila Mista Aluvial**. Curitiba: UFPR, 2006. 29 f. Relatório de Iniciação Científica, 79. Engenharia Florestal.

CUNHA, C. L. N. et al. **Eutrofização em reservatórios: gestão preventiva: estudo interdisciplinar na Bacia do Rio Verde, PR**. Curitiba: UFPR, 2011. 515 p.

CUTLER, D. F.; BOTHA, T.; STEVENSON, D. W. M. **Anatomia vegetal: uma abordagem aplicada**. Porto Alegre: Artmed, 2011. 165 p.

DENARDI, L.; MARCHIORI, J. N. C. Anatomia ecológica da madeira de *Blepharocalyx salicifolius* (H. B. K.) Berg. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 15, n. 2, p. 119-127, 2005.

DICKISON, W. C. **Integrative plant anatomy**. San Diego: Academic, 2000. 533 p.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. Brasília: EMBRAPA Produção de Informações; Rio de Janeiro: EMBRAPA Solos, 1999. 412 p.

ENQUIST, B. J.; LEFFLER, A. J. Long-term tree ring chronologies from sympatric tropical dry-forest trees: individualistic responses to climatic variation. **Journal of Tropical Ecology**, Cambridge, v. 17, n. 1, p. 41-60, Jan. 2001.

FAHN, A. et al. Possible contributions of wood anatomy to the determination of the age of tropical trees. In: BORMANN, F. H.; BERLYN, G. (Ed.). **Age and growth rate of tropical trees: new directions for research**. New Haven: Yale University, 1981. p. 83-100. (Bulletin, 94).

FARIAS, L. H. M. **Efeitos do solo contaminado por petróleo nas folhas e raízes de *Rhynchospora corymbosa* (L.) Britt. (Cyperaceae)**. 2005. 75 f. Dissertação (Mestrado em Botânica) - Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2005.

FERREIRA, D. F. Sisvar: a computer statistical analysis system. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 35, n. 6, p. 1039-1042, nov./dez. 2011.

FIDALGO, O.; BONONI, V. L. (Coord.). **Técnicas de coleta, preservação e herborização de material botânico**. São Paulo: Instituto de Botânica, 1984. (Manual, 4).

FRANKLIN, G. L. Preparation of thin sections of synthetic resins and wood-resin composites, and a new macerating method for wood. **Nature**, London, v. 155, n. 3924, p. 51, 1945.

FRITZ, H. C. **Tree rings and climate**. London: Academic, 1976. 567 p.

FUNDAÇÃO DA UNIVERSIDADE FEDERAL PARA O DESENVOLVIMENTO DA CIÊNCIA, DA TECNOLOGIA E DA CULTURA. **Diagnóstico e monitoramento da cobertura vegetal da área de influência direta e indireta do vazamento de óleo da Refinaria Presidente Getúlio Vargas - REPAR, Araucária, PR: fase I, diagnóstico**. Curitiba: UFPR, 2001. 82 p.

GARCIA, F. A. et al. Monitoramento da Influência do derramamento de petróleo pela estrutura do lenho de *Sebastiania commersoniana* (Baillon) Smith & Downs (Euphorbiaceae). In: CONGRESSO NACIONAL DE BOTÂNICA, 55.; ENCONTRO REGIONAL DE BOTÂNICOS DE MG, BA E ES, 26., 2004, Viçosa, MG. **Anais...** Viçosa, MG: UFV, 2004. 1 CD-ROM.

GÄRTNER, H.; LUCCHINETTI, S.; SCHWEINGRUBER, F. H. New perspectives for wood anatomical analysis in Dendrosciences: the GSL1-microtome. **Dendrochronologia**, Jena, v. 32, n. 1, p. 47-51, Jan. 2013.

GASSON, P. E.; BAAS, P.; WHEELER, E. A. IAWA list of microscopic features for hardwood identification. **IAWA Bulletin New Series**, Leiden, v. 10, n. 3, p. 219-332, 1989.

GAZETA DO POVO. **Justiça condena Petrobrás a pagar multa de R\$ 1,4 bi**. Disponível em:  
<<http://www.gazetadopovo.com.br/vidaecidadania/conteudo.phtml?id=1399415>>. Acesso em: 25 nov. 2014.

GIBBS, P. E.; LEITÃO-FILHO, H. F. Floristic composition of an area of gallery forest near Moji-Guaçu, State of São Paulo, SP, Brazil. **Revista Brasileira de Botânica**, São Paulo, v. 1, n. 2, p. 151-156, 1978.

GRAF NETO, J. **Crescimento, recrutamento e mortalidade no período de 2001- 2010 de uma Floresta Ombrófila Mista Aluvial, município de Araucária, Paraná.** 2011. 118 p. Dissertação (Mestrado em Botânica) - Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2011.

GRISI, F. A. et al. Avaliações anatômicas foliares em mudas de café 'Catuaí' e 'Siriema' submetidas ao estresse hídrico. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 32, n. 6, p. 1730-1736, nov./dez. 2008.

GRISSINO-MAYER, H. D. Evaluating crossdating accuracy: a manual and tutorial for the computer program COFECHA. **Tree - Ring Research**, Tucson, v. 57, n. 2, p. 205-221, 2001.

HESTER, M. W.; MENDELSSOHN, I. A. Long-term recovery of a *Louisiana brackish* marsh plant community from oil-spill impact: vegetation response and mitigation effects of marsh surface elevation. **Marine Environmental Research**, Kidlington, v. 49, n. 3, p. 339-347, 2000.

HOLMES, R. L. Computer-assisted quality control in tree: ring dating and measurement. **Tree - Ring Bulletin**, Loveland, v. 43, p. 69-78, 1983.

HOLMES, R. L. **Dendrochronology program library: user's manual.** Tucson: University of Arizona, 1984. 51 p.

HOLMES, R. L.; ADAMS, R. K.; FRITTS, H. C. Quality control of crossdating and measuring: a user's manual for program COFECHA. In: \_\_\_\_\_. **Tree-ring chronologies of Western North America: California, eastern Oregon and northern Great Basin.** Tucson: Arizona University, 1986. p. 15-35.

HUGUENIN, M. T. et al. **Injury assessment:** guidance document for natural resource damage assessment under the oil pollution act of 1990. Maryland: Damage Assessment and restoration Program National oceanic and Atmospheric Administration, 1996. 222 p.

INCKOT, R. C. **Germinação, desenvolvimento e morfoanatomia de *Mimosa pilulifera* Bentham (Leguminosae) em solo contaminado por petróleo e solo biorremediado.** 2007. 83 f. Dissertação (Mestrado em Botânica) - Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2007.

ISERNHAGEN, I. **A fitossociologia florestal no Paraná:** listagem bibliográfica comentada. 2001. 175 p. Dissertação (Mestrado em Botânica) - Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2001.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Manual técnico da vegetação brasileira**. Rio de Janeiro: Fundação IBGE, 1992. 92 p. (Manuais Técnicos de Geociências, 1).

INSTITUTO BRASILEIRO DO MEIO AMBIENTE E DOS RECURSOS NATURAIS RENOVÁVEIS. **Normas de procedimento em estudos de anatomia da madeira**: I., Angiospermae, II., Gimnospermae. Brasília: Laboratório de Produtos Florestais, 1991. 19 p. (Série Técnica, 15).

INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA. Disponível em: <<http://www.inmet.gov.br/portal/index.php?r=home2/index>>. Acesso em: 3 mar. 2015.

IVANAUSKAS, N. M.; RODRIGUES, R. R.; NAVE, A. G. Aspectos ecológicos de um trecho da floresta de brejo em Itatinga, SP: florística, fitossociologia e seletividade de espécies. **Revista Brasileira de Botânica**, São Paulo, v. 20, n. 2, p. 139-153, 1997.

JAMES, S. A.; BELL, D. T. Influence of light availability on leaf structure and growth of two *Eucalyptus globulus* ssp. **Tree Physiology**, Oxford, v. 20, n. 15, p. 1007-1018, Sept. 2000.

JOHANSEN, D. A. **Plant microtechnique**. New York: McGraw Hill, 1940. 523 p.

JUNK, W. J.; PIEDADE, M. T. F. Herbaceous plants of the Amazon floodplain near Manaus: species diversity and adaptations to the flood pulse. **Amazoniana**, Manaus, v. 12, n. 3/4, p. 467-484, 1993.

KANIESKI, M. R. **Estudo dendroecológico de *Sebastiania commersoniana* (Baill.) L.B.Sm. & R.J.Downs e de arbóreas invasoras em Floresta Ombrófila Mista Aluvial, Sul do Brasil**. 2013. 127 f. Tese (Doutorado em Ciências Florestais) - Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2013.

KEDROV, G. B. Functioning wood. **Wulfenia Journal**, Klagenfurt, n. 19, p. 57-95, 2012.

KITZBERGER, T.; VELEN, T. T.; VILLALBA, R. Métodos dendroecológicos y sus aplicaciones en estudios de dinámica de bosques templados de Sudamérica. In: ROIG, F. A. (Ed.). **Dendrocronología en América Latina**. Mendoza: EDIUNC, 2000. p. 17-78.

KOLB, R. M. et al. Anatomia ecológica de *Sebastiania commersoniana* (Baillon) Smith & Downs (Euphorbiaceae) submetida ao alagamento. **Revista Brasileira de Botânica**, São Paulo, v. 21, n. 3, p. 305-312, 1998.

KOZLOV, V.; KISTERNAYA, M. Architectural wooden monuments as a source of information for past environmental changes in northern Russia. **Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology**, Amsterdam, v. 209, n. 1/4, p. 103-111, July 2004.

KOZLOWSKI, T. T.; PALLARDY, S. G. **Physiology of woody plants**. San Diego: Academic, 1997. 411 p.

KOZLOWSKI, T. T.; KRAMER, P. J.; PALLARDY, S. G. **The physiological ecology of woody plants**. San Diego: Academic, 1991. 657 p.

KRAMER, P. J. The role of water in wood formation. In: ZIMMERMANN, M. H. (Ed.). **The formation of wood in forest trees**. New York: Academic, 1964. p. 519-532.

KRAMER, P. J.; KOZLOWSKI, T. T. **Fisiologia das árvores**. Lisboa: Fundação Calouste Gulbenkian, 1960. 745 p.

KRAUS, J. E.; ARDUIN, M. **Manual básico de métodos em morfologia vegetal**. Rio de Janeiro: EDUR, 1997. 198 p.

KURCZYNSKA, E. U. et al. The influence of air pollutants on needles and stems of Scots pine (*Pinus sylvestris* L.) trees. **Environnemental Pollution**, London, v. 98, n. 3, p. 325-334, Dec. 1997.

LANDSBERG, J. J.; SANDS, P. J. **Physiological ecology of forest production: principles, processes, and models**. London: Academic, 2011. 331 p.

LARCHER, W. **Ecofisiologia vegetal**. São Carlos: RiMa, 2000. 531 p.

LARCHER, W. **Ecofisiologia vegetal**. São Carlos: RiMa, 2004. 531 p.

LARCHER, W. **Ecofisiologia vegetal**. 3. ed. São Carlos: Rima, 2006. 531 p.

LEITE, P. F.; KLEIN, R. M. Vegetação. In: INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Geografia do Brasil: região sul**. Rio de Janeiro, 1990. v. 2, p. 113-150.

LIMA, W. de P. Função hidrológica da mata ciliar. In: SIMPÓSIO SOBRE MATA CILIAR, 1989, São Paulo. **Anais...** Campinas: Fundação Cargil, 1989. p. 25-42.

LIMA, W. de P.; ZAKIA, M. J. B. Hidrologia em matas ciliares. In: RODRIGUES, R. R.; LEITÃO FILHO, H. (Ed.). **Matas ciliares: conservação e recuperação.** São Paulo: USP/FAPESP, 2000. p. 33-44.

LIN, Q. et al. The dose-response relationship between nº 2 fuel oil and the growth of the salt marsh grass, *Spartina alterniflora*. **Marine Pollution Bulletin**, Kidlington, v. 44, n. 9, p. 897-902, 2002.

LINDORF, H. Eco-anatomical wood features of species from a very dry tropical forest. **Iawa Journal**, Utrecht, v. 15, n. 4, p. 361-376, 1994.

LOBO, P. C.; JOLY, C. A. Aspectos ecofisiológicos da vegetação de mata ciliar do sudoeste do Brasil. In: RODRIGUES, R. R.; LEITÃO FILHO, H. F. (Ed.). **Matas ciliares: conservação e recuperação.** São Paulo: EDUSP, 2000. p. 143-158.

LONGHI-SANTOS, T. **Dendroecologia de *Sebastiania commersoniana* (Baill.) L.B.Sm. & Downs em um fragmento de Floresta Ombrófila Mista Aluvial, Paraná, Brasil.** 2013. 95 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) - Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2013.

LORENZI, H. **Árvores brasileiras: manual de identificação e cultivo de plantas arbóreas nativas do Brasil.** 2. ed. Nova Odessa: Plantarum, 2002. v. 2, 368 p.

LUCHI, A. E. Anatomia do lenho de *Croton urucurana* Baill. (Euphorbiaceae) de solos com diferentes níveis de umidade. **Revista Brasileira de Botânica**, São Paulo, v. 27, n. 2, p. 271-280, 2004.

MAACK, R. **Geografia física do estado do Paraná.** Curitiba: J. Olympio, 1981. 450 p.

MALALLAH, G. et al. Impact of oil pollution on some desert plants. **Environment International**, New York, v. 24, n. 8, p. 919-924, 1998.

MALALLAH, G. et al. *Vicia faba* as a bioindicator of oil pollution. **Environmental Pollution**, New York, v. 92, n. 2, p. 213-217, 1996.

MANDRE, M. et al. Hybrid aspens responses to alkalisation of soil: growth, leaf structure, photosynthetic rate and carbohydrates. **Trees - Structure and Function**, Berlin, v. 26, n. 6, p. 1847-1858, Dec. 2012.

MARANHO, L. T. et al. Efeitos da poluição por petróleo na estrutura da folha de *Podocarpus lambertii* Klotzsch ex Endl., Podocarpaceae. **Acta Botanica Brasílica**, São Paulo, v. 20, n. 3, p. 615-624, jul./set. 2006.

MATTOS, P. P. et al. Aceleração de crescimento em diâmetro de espécies da Floresta Ombrófila Mista nos últimos 90 anos. **Pesquisa Florestal Brasileira**, Colombo, v. 30, n. 64, p. 319-326, 2010.

MATTOS, P. P. et al. Crescimento de *Araucaria angustifolia* na reserva Florestal Embrapa/Epagri, Caçador, SC. **Pesquisa Florestal Brasileira**, Colombo, n. 55, p. 107-114, jul./dez. 2007a.

MATTOS, P. P. et al. Dendrocronologia de espécies da Floresta Ombrófila Mista do município de Candói, PR. **Pesquisa Florestal Brasileira**, Colombo, n. 54, p. 153-156, jan./jun. 2007b.

MAYER, J. L. S. **Impacto do solo contaminado com petróleo no crescimento e desenvolvimento de *Campomanesia xanthocarpa* O. Berg (Myrtaceae)**. 2004. 81 f. Monografia (Bacharelado em Ciências Biológicas) - Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2004.

MEDEIROS, J. G. da S. **Anéis de crescimento de árvores de *Araucaria columnaris* Hook.**: caracterização anatômica, densitométrica, e aplicação no monitoramento ambiental. 2005. 85 p. Dissertação (Mestrado em Recursos Florestais) - Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Piracicaba, 2005.

MELLO JÚNIOR, J. C. F.; RAIMUNDO, C. M.; AMORIM, M. W. Efeito da poluição atmosférica em folhas de *Tibouchina granulosa* (Desr.) Cogn. (Melastomataceae). **Acta Biológica Catarinense**, Joinville, v. 1, n. 1, p. 65-72, jan./jun. 2014.

MELO, C. L. **Evolução da contaminação na área do vazamento de óleo cru na Repar (2000)**: estudo do sistema “Banhado 4” e aplicação do método de polarização induzida na investigação da biodegradação de hidrocarbonetos. 2006. 315 f. Tese (Doutorado em Geociências) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2006.

MELO, C. L. et al. Contaminação do lençol freático pelo vazamento de óleo na Refinaria Presidente Getúlio Vargas - REPAR, município de Araucária, Paraná. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, Porto Alegre, v. 8, n. 1, p. 13-19, 2003.

MENNEGA, A. M. W. Wood anatomy of the subfamily Euphorbioideae: a comparison with subfamilies Crotonoideae and Acalyphoideae and the implications for circumscription of the Euphorbiaceae. **IAWA Journal**, Utrecht, v. 26, n. 1, p. 1-68, 2005.

MERKL, N.; SCHULTZE-KRAFT, R.; INFANTE, C. Assessment of tropical grasses and legumes for phytoremediation of petroleum-contaminated soils. **Water, Air, and Soil Pollution**, Dordrecht, v. 165, n. 1/4, p. 195-209, July 2005.

MERKL, N.; SCHULTZE-KRAFT, R.; INFANTE, C. Phytoremediation in the tropics: the effect of oil on the growth of tropical plants. **Biochemical Journal**, London, v. 8, n. 3/4, p. 177-184, 2004.

METCALFE, C. R.; CHALK, L. **Anatomy of dicotyledons**. Oxford: Oxford University, 1957. 724 p.

MILANI, J. E. de F. **Comportamento fenológico de espécies arbóreas em um fragmento de Floresta Ombrófila Mista Aluvial**. 2013. 103 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) - Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2013.

MOHSENZADE, F. et al. Phytoremediation of petroleum-contaminated soils: pre-screening for suitable plants and rhizospheral fungi. **Toxicological & Environmental Chemistry**, Oxford, v. 91, n. 8, p. 1443-1453, 2009.

MOTHE, F. et al. Localisation de la transition bois initial-bois final dans un cerne de chêne par analyse microdensitométrique. **Annales des Sciences Forestières**, Champenoux, v. 4, n. 55, p. 437-449, 1998.

NOCK, C. A. et al. Wood density and its radial variation in six canopy tree species differing in shade-tolerance in western Thailand. **Annals of Botany**, Oxford, v. 104, n. 2, p. 297-306, Aug. 2009.

O'BRIEN, T. P.; FEDER, N.; MCCULLY, M. E. Polychromatic staining of plant cell walls by toluidine blue O. **Protoplasma**, Karlsruhe, v. 59, p. 368-373, 1965.

OLIVEIRA, E. A. **Caracterização florística, fitossociológica e pedológica de um trecho de floresta ripária dos Campos Gerais do Paraná**. 2001. 106 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) - Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2001.

OLIVEIRA, J. M. de. **Anéis de crescimento de *Araucaria angustifolia* (Bertol.) O. Kuntze**: bases de dendroecologia em ecossistemas subtropicais montanos no Brasil. 2007. 139 p. Tese (Doutorado em Ecologia) - Universidade Federal do Rio Grande Sul, Porto Alegre, 2007.

OLIVEIRA, L. S. **Influência do solo contaminado com petróleo na morfologia e fisiologia de *Schinus terebinthifolius* Raddi (Anarcadiaceae)**. 2004. 63 f. Dissertação (Mestrado em Botânica) - Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2004.

PARANÁ. Resolução nº 45, de 2 de outubro de 2007. Resolução de áreas úmidas. **Diário Oficial [do] Estado do Paraná**, Curitiba, n. 7570, p. 18-20, 3 out. 2007.

PEREIRA, F. J. et al. Mecanismos anatômicos e fisiológicos de plantas de aguapé para a tolerância à contaminação por Arsênio. **Planta Daninha**, Viçosa, MG, v. 29, n. 2, p. 259-267, abr./jun. 2011.

PETROBRÁS. **Caracterização físico-químico preliminar do óleo derramado da REPAR em julho de 2003**: relatório técnico, Petrobrás. Curitiba, 2003.

PEZESHKI, S. R. et al. The effects of oil spill and clean-up on dominant US Gulf coast marsh macrophytes: a review. **Environmental Pollution**, Barking, v. 108, n. 2, p. 129-139, May 2000.

POLGE, H. Densitometric analysis of radiographs. **Annales de L'école Nationale des Eaux et Forêts**, Paris, v. 20, n. 4, p. 530-581, 1963.

PONS, A. M. A. et al. **Derramamentos de petróleo e consequências para o meio ambiente**. Disponível em:  
<[http://www.arvore.com.br/artigos/htm\\_2014/ar1407\\_1.htm](http://www.arvore.com.br/artigos/htm_2014/ar1407_1.htm)>. Acesso em: 10 ago. 2014.

POTHULURI, J. V.; CERNIGLIA, C. E. Microbial metabolism of polycyclic aromatic hydrocarbons. In: CHAUDHRY, G. R. (Ed.). **Biological degradation and bioremediation of toxic chemicals**. Portland: Dioscorides, 1994. p. 92-124.

PUMIJUMNONG, N.; ECKSTEIN, D.; SASS, U. Tree-ring research on *Tectona grandis* on northern Thailand. **IAWA Journal**, Leiden, v. 16, n. 4, p. 385-392, 1995.

R CORE TEAM. **R: a language and environment for statistical computing**. Vienna: R Foundation for Statistical Computing, 2013. Disponível em: <<http://www.R-project.org/>>. Acesso em: 10 nov. 2014.

RAJPUT, K. S.; RAO, K. S.; KIM, Y. S. Cambial activity and wood anatomy in *Prosopis spicigera* (Mimosaceae) affected by combined air pollutants. **IAWA Journal**, Leiden, v. 29, n. 2, p. 209-219, 2008.

REITZ, R. Euforbiáceas. In: \_\_\_\_\_. **Flora ilustrada catarinense**. Itajaí: Herbário Barbosa Rodrigues, 1988.

REITZ, R.; KLEIN, R. M.; REIS, A. **Projeto Madeira do Rio Grande do Sul**. Itajaí: HBR, 1983. 525 p.

REZENDE, I. M. **Efeito do solo contaminado por óleo diesel na germinação e desenvolvimento das plântulas de *Schinus terebinthifolius* Raddi**. 2006. 81 f. Dissertação (Mestrado em Botânica) - Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2006.

ROCHA, F. T.; FLORSHEIM, S. M. B.; COUTO, H. T. Z. Variação das dimensões dos elementos anatômicos da madeira de árvores de *Eucalyptus grandis* Hill ex Maiden aos sete anos. **Revista do Instituto Florestal**, São Paulo, v. 16, n. 1, p. 43-55, 2004.

RODERJAN, C. V. et al. As unidades fitogeográficas do Estado do Paraná. **Ciência e Ambiente**, Santa Maria, v. 24, n. 1, p. 75-92, 2002.

RODRIGUES, T. T. **Os efeitos do solo contaminado com petróleo na estrutura anatômica e estado nutricional do lenho jovem de *Campomanesia xanthocarpa* Berg (Myrtaceae) e *Sebastiania commersoniana* (Baillon) Smith & Downs (Euphorbiaceae)**. 2005. 154 f. Tese (Doutorado em Ciências Florestais) - Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2005.

RONQUIM, C. C. **Conceitos de fertilidade do solo e manejo adequado para as regiões tropicais**. Campinas: EMBRAPA Monitoramento por Satélite, 2010. 26 p.

ROZENDAALL, D. M. A.; ZUIDEMA, P. A. Dendroecology in the tropics: a review. **Trees - Structure and Function**, Heidelberg, v. 25, n. 1, p. 3-16, 2011.

SANTOS, G. de O. **Crescimento, nutrição e estrutura do lenho juvenil de três espécies florestais com potencial de fitorremediação em solos contaminados com petróleo**. 2006. 179 f. Tese (Doutorado em Ciências Florestais) - Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2006.

SCHWEINGRUBER, F. H. **Tree rings and environment dendroecology**. Birmensdorf: Swiss Federal Institute for Forest, 1996. 609 p.

SCHWEINGRUBER, F. H. **Wood structure and environment**. Heidelberg: Springer, 2007. 279 p. (Springer Series in Wood Science).

SETTE JUNIOR, C. R. et al. Efeito da aplicação de potássio e sódio nas características do lenho de árvores de *Eucalyptus grandis* W. Hill, aos 24 meses de idade. **Revista Floresta**, Curitiba, v. 39, n. 3, p. 535-546, jul./set. 2009.

SILVA, M. P. et al. Monitoramento da Influência do derramamento de petróleo por meio da estrutura da folha de *Sebastiania commersoniana* (Baillon) Smith & Downs (Euphorbiaceae). In: ENCONTRO REGIONAL DE BOTÂNICOS DE MG, BA E ES, 55., 2004, Viçosa, MG. **Anais...** Viçosa, MG: UFV, 2004. 1 CD-ROM.

SILVA, M. Y. B. da. **Efeitos do solo contaminado com óleo diesel na germinação, crescimento e morfoanatomia de *Sebastiania commersoniana* (Baill.) L.B.Sm. e Downs (Euphorbiaceae)**. 2006. 81 f. Dissertação (Mestrado em Botânica) - Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2006.

SILVA, M. Y. B. da. **Florística e estrutura de uma formação pioneira com influência flúvio-lacustre 12 anos após derramamento de óleo, Araucária, Paraná**. 2014. 129 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) - Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2013.

SILVA, S. M. et al. Composição florística e fitossociologia do componente arbóreo das florestas ciliares da Bacia do Rio Tibagi, Paraná: 2., várzea do rio Bitumirim, Município de Ipiranga, PR. **Revista do Instituto Florestal**, Colombo, v. 4, p. 192-198, 1992.

SOCHER, L. G. **Dinâmica e biomassa aérea de um trecho de Floresta Ombrófila Mista Aluvial no município de Araucária, Paraná.** 2004. 101 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) - Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2004.

SOUZA, T. C. et al. Leaf plasticity in successive selection cycles of 'Saracura' maize in response to periodic soil flooding. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 45, n. 1, p. 16-24, jan. 2010.

STAHLE, D. W. et al. Management implications of annual growth rings in *Pterocarpus angolensis* from Zimbabwe. **Forest Ecology and Management**, Amsterdam, v. 124, n. 2/3, p. 217-229, Dec. 1999.

TAIZ, L.; ZEIGER, E. **Fisiologia vegetal.** 3. ed. Porto Alegre: Artmed, 2006. 715 p.

TERASHIMA, I. et al. Irradiance and phenotype: comparative eco-development of sun and shade leaves in relation to photosynthetic CO<sub>2</sub> diffusion. **Journal of Experimental Botany**, Eynshan, v. 57, n. 2, p. 343-354, 2006.

TOMAZELLO FILHO, M.; BOTOSSO, P. C. Análise e aplicação dos anéis de crescimento das árvores como indicadores ambientais: dendrocronologia e dendroclimatologia. In: MAIA, N. B.; MARTOS, H. L.; BARRELLA, W. (Org.). **Indicadores ambientais: conceitos e aplicações.** São Paulo: EDUC, 2001. p. 117-143.

TOMAZELLO FILHO, M.; CARDOSO, N. S. Variations of the vascular cambium of teak (*Tectona grandis* L.) in Brazil. In: WIMMER, R.; VETTER, R. E. (Org.). **Tree-ring analysis biological, methodological and environmental aspects.** Oxon: CABI, 1999. p. 147-154.

TOMAZELLO FILHO, M.; CHAGAS, M. P.; ROQUE, R. M. **Manual de aplicação de densitometria de raios-X em amostras de madeira.** Piracicaba: CRAD; CERD, 2005. 32 p.

TOMAZELLO FILHO, M. et al. Application of X-ray technique in nondestructive evaluation of eucalypt wood. **Maderas Ciencia y Tecnología**, Concepción, v. 10, n. 2, p. 139-150, 2008.

UNITED STATES ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY. **USEPA method 418.1**: petroleum hydrocarbons: total recoverable (spectrophotometric, infrared), issued 1978: methods for chemical analysis of water and wastes. 3<sup>rd</sup> ed. Cincinnati, 1983.

VERHEYDEN, A. et al. High-resolution time series of vessel density in Kenyan mangrove trees reveal a link with climate. **New Phytologist**, London, v. 167, p. 425-435, 2005.

VETTER, R. E. Growth periodicity and age of Amazonian tree species: methods for their determination. In: ROIG, F. A. (Ed.). **Dendrocronología en América Latina**. Mendoza: EDIUNC, 2000. p. 135-155.

WAREING, P. F.; HANNEY, C. E. A.; DIGBY, J. The role of endogenous hormones in cambial activity and xylem differentiation. In: ZIMMERMANN, M. H. (Ed.). **The formation of wood in forest trees**. New York: Academic, 1964. p. 323-344.

WATZLAWICK, L. F. et al. Perspectivas de manejo de capororoca (*Myrsine umbellate* Mart.) utilizando análise retrospectiva. **Ambiência**, Guarapuava, v. 1, n. 1, p. 71-82, 2005.

WORBES, M. One hundred years of tree-ring research in the tropics: a brief history and an outlook to future challenges. **Dendrochronologia**, Amsterdam, v. 20, n. 1/2, p. 217-231, 2002.

YOUNG, P. J. et al. False ring formation in baldcypress (*Taxodium distichum*) saplings under two flooding regimes. **Wetlands**, Dordrecht, v. 13, n. 4, p. 293-298, 1993.

ZIMMERMANN, M. H. **Xylem structure and the ascent of sap**. Berlin: Springer Verlag, 2002. 283 p.

ZUMAETA, L. E. C. et al. Uso de la densitometría de rayos X y de la espectroscopia en el infrarrojo cercano para predecir las propiedades tecnológicas de la madera en especies forestales. **Xilema**, Lima, v. 1, p. 81-86, 2009.

## ANEXOS

### ANEXO A

Tabela 1A Estatística descritiva da análise dos elementos de vasos do lenho de *S. commersoniana* na área contaminada

Anos	Comprimento		Diâmetro		Frequência		IVC		IM	
1995	795,92	e	60,22	fgi	12,81	a	4,75	hi	3642	il
1996	808,73	ef	58,87	dgh	12,69	a	4,71	hi	3689	jl
1997	802,98	ef	59,40	efgh	12,72	a	4,64	gi	3542	hil
1998	810,69	eh	60,83	hi	12,92	a	4,96	i	3926	l
1999	739,16	d	60,37	gi	12,84	a	4,75	hi	3322	gij
2000	705,58	cd	55,82	cdg	12,61	a	4,58	fgi	3118	ghk
2001	638,09	a	51,28	ac	18,02	b	2,88	a	1711	a
2002	686,44	bc	55,55	cdf	17,16	cdf	3,30	ad	2168	bc
2003	689,31	bc	48,56	a	15,34	b	3,26	ad	2175	bc
2004	653,95	ab	50,51	ab	15,74	bc	3,23	ac	2011	ab
2005	655,82	ab	57,51	dgh	15,92	bd	3,71	bcde	2325	bde
2006	677,88	ac	57,60	dgh	16,54	bde	3,59	bcde	2335	bde
2007	663,58	ac	56,05	dg	15,11	b	3,79	bde	2414	cdf
2008	670,86	ac	54,57	bcd	15,94	bd	3,54	bcde	2250	bd
2009	675,62	ac	55,02	bcde	15,84	bd	3,52	bcde	2281	bd
2010	653,74	ab	55,70	cdg	16,66	bde	3,43	bcde	2148	bc

Letras diferentes na mesma coluna indicam valores médios estatisticamente diferentes, pelo teste t de Student, a 5% de significância

\*Anos 2000 e 2001 em vermelho (anos em que ocorreu a contaminação e que os indivíduos responderam ao efeito do derramamento, respectivamente)

## ANEXO B

Tabela 1B Estatística descritiva da análise dos elementos de vasos do lenho de *S. commersoniana* na área contaminada

Anos	Comprimento		Diâmetro		Frequência		IVC		IM	
1995	889,72	j	69,36	jm	20,74	k	3,30	ab	2854	efg
1996	876,66	ij	71,30	klm	20,33	jk	3,52	ad	2990	fgij
1997	884,99	j	72,76	lm	20,00	ijk	3,60	bcde	3068	gij
1998	852,21	efhj	68,25	jl	19,93	ijk	3,42	ad	2808	dg
1999	851,64	efhj	72,80	lm	19,37	hk	3,78	bcdeg	3084	gij
2000	833,04	efhi	73,79	m	18,62	fghj	3,91	cdegh	3128	gij
2001	850,77	efhj	72,87	lm	17,53	cdg	4,16	ei	3428	ikl
2002	868,21	ghj	69,16	jm	20,05	ijk	3,44	ad	2884	efgh
2003	871,59	hj	66,10	ij	20,03	ijk	3,30	ab	2779	dg
2004	860,20	fhj	73,61	m	19,70	ijk	3,76	bcdeg	3136	gij
2005	815,79	ef	71,30	klm	18,80	fghj	3,78	bcdeg	2955	fgi
2006	824,89	efg	71,29	klm	18,83	fghj	3,80	bcdeg	3006	fgij
2007	832,97	efhi	71,33	klm	19,15	ghk	3,73	bcdef	2969	fgi
2008	830,74	eh	72,22	klm	19,68	ijk	3,68	bcde	2965	fgi
2009	821,10	ef	68,54	jl	19,38	hk	3,48	ad	2755	dg
2010	837,35	efhi	67,76	jk	17,70	dh	3,88	cdegh	3149	gij

Letras diferentes na mesma coluna indicam valores médios estatisticamente diferentes, pelo teste t de Student, a 5% de significância