

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SÃO CARLOS
CENTRO DE CIÊNCIAS BIOLÓGICAS E DA SAÚDE
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ECOLOGIA E RECURSOS NATURAIS

**POTENCIAL ALELOPÁTICO DE *Sapindus saponaria* L.
(SAPINDACEAE)**

Patrícia Umeda Grisi

São Carlos-SP
Brasil
2010

**POTENCIAL ALELOPÁTICO DE *Sapindus saponaria* L.
(SAPINDACEAE)**

Patrícia Umeda Grisi

Dissertação apresentada ao Centro de Ciências
Biológicas e da Saúde da Universidade Federal
de São Carlos, como parte dos requisitos para
obtenção do título de Mestre junto ao Programa
de Pós-Graduação em Ecologia e Recursos
Naturais

**Orientadora:
Prof^a.Dr^a. Sonia Cristina Juliano Gualtieri**

**São Carlos-SP
Brasil
2010**

**Ficha catalográfica elaborada pelo DePT da
Biblioteca Comunitária da UFSCar**

G869pa

Grisi, Patrícia Umeda.
Potencial alelopático de *Sapindus saponaria* L.
(Sapindaceae) / Patrícia Umeda Grisi. -- São Carlos :
UFSCar, 2010.
127 f.

Dissertação (Mestrado) -- Universidade Federal de São
Carlos, 2010.

1. Alelopatia. 2. Germinação. 3. Crescimento (Plantas). I.
Título.

CDD: 581.23 (20ª)

Patrícia Umeda Grisi

POTENCIAL ALELOPÁTICO DE *Sapindus saponaria* L. (SAPINDACEAE)

Dissertação apresentada à Universidade Federal de São Carlos, como parte dos requisitos para obtenção do título de Mestre em Ecologia e Recursos Naturais.

Aprovada em 24 de março de 2010

BANCA EXAMINADORA

Presidente Sônia Cristina Juliano Gualtieri
Profa. Dra. Sonia Cristina Juliano Gualtieri
(Orientadora)

1º Examinador Maria Inês Salgueiro Lima
Profa. Dra. Maria Inês Salgueiro Lima
PPGERN/UFSCar

2º Examinador Marli Aparecida Ranal
Profa. Dra. Marli Aparecida Ranal
UFU/Uberlândia-MG

AGRADECIMENTOS

Aos meus pais, Lumi e Rubens, pelo apoio, amor e confiança que sempre depositaram em mim e pela sábia educação com o qual me criaram.

Ao meu irmão, Bruno, pela torcida e amizade.

Ao meu marido Carlos, pela cumplicidade e dedicação.

Aos meus familiares que sempre confiaram em meu trabalho.

À professora Sônia Cristina Juliano Gualtieri, pela oportunidade e confiança.

À professora Marli Ranal, pelo grande apoio e sugestões que guiaram e enriqueceram o presente trabalho.

À professora Denise Garcia Santana, pela contribuição nas análises estatísticas.

Aos técnicos do Departamento de Botânica da UFSCar, Carlos Casali e Ademir de Paula, pelo auxílio e ajuda nas coletas.

Ao programa de Pós-Graduação em Ecologia e Recursos Naturais, da Universidade Federal de São Carlos.

À Universidade Federal de Uberlândia, pelas condições oferecidas para realização dos bioensaios.

Aos membros da banca pelas valiosas sugestões e correções oferecidas.

Aos meus amigos e colegas de trabalho pelo apoio em todos os momentos dessa jornada.

Ao CNPq e a CAPES pelo apoio financeiro.

SUMÁRIO

ÍNDICE DE FIGURAS.....	7
ÍNDICE DE TABELAS.....	11
RESUMO GERAL.....	12
ABSTRACT.....	13
INTRODUÇÃO GERAL.....	14
CAPÍTULO I.....	24
"Potencial alelopático do extrato aquoso de <i>Sapindus saponaria</i> L. na germinação de diásporos e na morfologia de plântulas de <i>Lactuca sativa</i> L. e <i>Allium cepa</i> L."	
RESUMO.....	25
ABSTRACT.....	25
1. Introdução.....	26
2. Material e Métodos.....	27
2.1. Preparação dos extratos.....	27
2.2. Potencial osmótico e pH dos extratos.....	28
2.3. Teste de germinação de diásporos.....	29
2.4. Morfologia de plântulas.....	31
2.5. Análise estatística.....	32
3. Resultados e Discussão.....	33
3.1. Teste de germinação e análise morfológica das plântulas.....	33
3.2. Análise conjunta.....	55
3.3. Potencial osmótico e pH dos extratos.....	58
4. Conclusões.....	59
5. Referências Bibliográficas.....	60
CAPÍTULO II.....	66
"Potencial alelopático do extrato aquoso de <i>Sapindus saponaria</i> L. no controle de plantas daninhas."	
RESUMO.....	67
ABSTRACT.....	67
1. Introdução.....	68
2. Material e Métodos.....	70
2.1. Preparação dos extratos.....	70
2.2. Potencial osmótico e pH dos extratos.....	70
2.3. Teste de germinação de sementes.....	71
2.4. Morfologia de plântulas.....	74
2.5. Análise estatística.....	74
3. Resultados e Discussão.....	75
3.1. Teste de germinação e análise morfológica das plântulas.....	75
3.2. Análise conjunta.....	99
3.3. Potencial osmótico e pH dos extratos.....	102
4. Conclusões.....	103
5. Referências Bibliográficas.....	104
CAPÍTULO III.....	109
"Estudo fitoquímico e alelopático das folhas jovens de <i>Sapindus saponaria</i> L. (Sapindaceae)."	
RESUMO.....	110

ABSTRACT.....	110
1. Introdução.....	111
2. Material e Métodos.....	112
2.1. Obtenção do material vegetal seco.....	112
2.2. Extração química.....	113
2.3. Bioensaio.....	113
2.4. Fracionamento.....	114
3. Resultados e Discussão.....	118
4. Conclusões.....	124
5. Referências Bibliográficas.....	124
CONCLUSÕES GERAIS.....	127

ÍNDICE DE FIGURAS

Introdução

Figura 1. *Sapindus saponaria* L. (Sapindaceae) e seus respectivos frutos e raízes.....20

Capítulo I

Figura 1. Tempo inicial e final, germinabilidade, tempo médio de germinação, coeficiente de variação do tempo, velocidade média de germinação, velocidade de germinação, incerteza e sincronia do processo de germinação de diásporos de *Lactuca sativa* (alface) e *Allium cepa* (cebola) submetidos à ação do extrato de folhas maduras de *Sapindus saponaria* em diferentes concentrações.....34

Figura 2. Frequência relativa de germinação de diásporos de *Lactuca sativa* (alface) e *Allium cepa* (cebola) submetidos à ação do extrato de folhas maduras de *Sapindus saponaria* em diferentes concentrações.....35

Figura 3. Porcentagem de plântulas normais, plântulas mortas, comprimento da parte aérea e da raiz de *Lactuca sativa* (alface) submetidas à ação do extrato de folhas maduras de *Sapindus saponaria* em diferentes concentrações.....37

Figura 4. Porcentagem de plântulas normais, plântulas mortas, comprimento da parte aérea e da raiz de *Allium cepa* (cebola) submetidas à ação do extrato de folhas maduras de *Sapindus saponaria* em diferentes concentrações.....37

Figura 5. Massa seca das plântulas de *Lactuca sativa* (alface) e *Allium cepa* (cebola) submetidas à ação do extrato de folhas maduras de *Sapindus saponaria* em diferentes concentrações.....37

Figura 6. Tempo inicial e final, germinabilidade, tempo médio de germinação, coeficiente de variação do tempo, velocidade média de germinação, velocidade de germinação, incerteza e sincronia do processo de germinação de diásporos de *Lactuca sativa* (alface) e *Allium cepa* (cebola) submetidos à ação do extrato de folhas jovens de *Sapindus saponaria* em diferentes concentrações.....39

Figura 7. Frequência relativa de germinação de diásporos de *Lactuca sativa* (alface) e *Allium cepa* (cebola) submetidos à ação do extrato de folhas jovens de *Sapindus saponaria* em diferentes concentrações.....40

Figura 8. Porcentagem de plântulas normais, plântulas mortas, comprimento da parte aérea e da raiz de *Lactuca sativa* (alface) submetidas à ação do extrato de folhas jovens de *Sapindus saponaria* em diferentes concentrações..... 41

Figura 9. Porcentagem de plântulas normais, plântulas mortas, comprimento da parte aérea e da raiz de *Allium cepa* (cebola) submetidas à ação do extrato de folhas jovens de *Sapindus saponaria* em diferentes concentrações.....41

Figura 10. Massa seca das plântulas de *Lactuca sativa* (alface) e *Allium cepa* (cebola) submetidas à ação do extrato de folhas jovens de *Sapindus saponaria* em diferentes concentrações.....41

Figura 11. Frequência relativa de germinação de diásporos de *Lactuca sativa* (alface) e *Allium cepa* (cebola) submetidos à ação do extrato de fruto de *Sapindus saponaria* em diferentes concentrações..... 43

Figura 12. Tempo inicial e final, germinabilidade, tempo médio de germinação, coeficiente de variação do tempo, velocidade média de germinação, velocidade de germinação, incerteza e sincronia do processo de germinação de diásporos de *Lactuca sativa* (alface) e *Allium cepa* (cebola) submetidos à ação do extrato de fruto de *Sapindus saponaria* em diferentes concentrações.....44

Figura 13. Porcentagem de plântulas normais, plântulas mortas, comprimento da parte aérea e da raiz de *Lactuca sativa* (alface) submetidas à ação do extrato de frutos de *Sapindus saponaria* em diferentes concentrações.....45

Figura 14. Porcentagem de plântulas normais, plântulas mortas, comprimento da parte aérea e da raiz de *Allium cepa* (cebola) submetidas à ação do extrato de frutos de *Sapindus saponaria* em diferentes concentrações.....45

Figura 15. Massa seca das plântulas de *Lactuca sativa* (alface) e *Allium cepa* (cebola) submetidas à ação do extrato de frutos de *Sapindus saponaria* em diferentes concentrações.....46

Figura 16. Tempo inicial e final, germinabilidade, tempo médio de germinação, coeficiente de variação do tempo, velocidade média de germinação, velocidade de germinação, incerteza e sincronia do processo de germinação de diásporos de *Lactuca sativa* (alface) e *Allium cepa* (cebola) submetidos à ação do extrato de raiz de *Sapindus saponaria* em diferentes concentrações.....47

Figura 17. Frequência relativa de germinação de diásporos de *Lactuca sativa* (alface) e *Allium cepa* (cebola) submetidos à ação do extrato de raiz de *Sapindus saponaria* em diferentes concentrações.....48

Figura 18. Porcentagem de plântulas normais, plântulas mortas, comprimento da parte aérea e da raiz de *Lactuca sativa* submetidas à ação do extrato de raiz de *Sapindus saponaria* em diferentes concentrações....49

Figura 19. Porcentagem de plântulas normais, plântulas mortas, comprimento da parte aérea e da raiz de *Allium cepa* submetidas à ação do extrato de raiz de *Sapindus saponaria* em diferentes concentrações....49

Figura 20. Massa seca das plântulas de *Lactuca sativa* (alface) e *Allium cepa* (cebola) submetidas à ação do extrato de raiz de *Sapindus saponaria* em diferentes concentrações.....49

Figura 21. Germinabilidade e velocidade média de germinação dos diásporos de *Lactuca sativa* (alface) e *Allium cepa* (cebola) submetidos à ação dos extratos de folha jovem, folha madura, fruto e raiz de *Sapindus saponaria*. Médias seguidas pelas mesmas letras maiúsculas para os órgãos e minúsculas para as espécies, não diferem entre si, pelo teste de Tukey a 0,05 de probabilidade. As barras verticais representam o erro padrão da média.....55

Figura 22. Porcentagem de inibição ou estímulo, em relação ao controle, de plântulas normais, massa seca, comprimento da parte aérea e da raiz de plântulas de *Lactuca sativa* (alface) e *Allium cepa* (cebola) submetidas à ação dos extratos de folha jovem, folha madura, fruto e raiz de *Sapindus saponaria*.....57

Capítulo II

Figura 1. Frequência relativa de germinação de sementes de *Echinochloa crus-galli* (capim-arroz) e *Ipomoea grandifolia* (corda-de-viola) submetidas à ação do extrato de folhas maduras de *Sapindus saponaria* em diferentes concentrações.....76

Figura 2. Tempo inicial e final, germinabilidade, tempo médio de germinação, coeficiente de variação do tempo, velocidade média de germinação, velocidade de germinação, incerteza e sincronia do processo de germinação de sementes de *Echinochloa crus-galli* (capim-arroz) e *Ipomoea grandifolia* (corda-de-viola) submetidas à ação do extrato de folhas maduras de *Sapindus saponaria* em diferentes concentrações.....77

Figura 3. Frequência relativa de germinação de sementes de *Echinochloa crus-galli* (capim-arroz) e *Ipomoea grandifolia* (corda-de-viola) submetidas à ação do extrato de folhas jovens de *Sapindus saponaria* em diferentes concentrações.....79

Figura 4. Tempo inicial e final, germinabilidade, tempo médio de germinação, coeficiente de variação do tempo, velocidade média de germinação, velocidade de germinação, incerteza e sincronia do processo de germinação de sementes de <i>Echinochloa crus-galli</i> (capim-arroz) e <i>Ipomoea grandifolia</i> (corda-de-viola) submetidas à ação do extrato de folhas jovens de <i>Sapindus saponaria</i> em diferentes concentrações.....	80
Figura 5. Porcentagem de plântulas normais, plântulas mortas, comprimento da parte aérea e da raiz de <i>Echinochloa crus-galli</i> (capim-arroz) submetidas à ação do extrato de folhas maduras de <i>Sapindus saponaria</i> em diferentes concentrações.....	81
Figura 6. Porcentagem de plântulas normais, plântulas mortas, comprimento da parte aérea e da raiz de <i>Ipomoea grandifolia</i> (corda-de-viola) submetidas à ação do extrato de folhas maduras de <i>Sapindus saponaria</i> em diferentes concentrações.....	82
Figura 7. Massa seca de <i>Echinochloa crus-galli</i> (capim-arroz) e <i>Ipomoea grandifolia</i> (corda-de-viola) submetidas à ação do extrato de folhas maduras de <i>Sapindus saponaria</i> em diferentes concentrações.....	82
Figura 8. Porcentagem de plântulas normais, plântulas mortas, comprimento da parte aérea e da raiz de <i>Echinochloa crus-galli</i> (capim-arroz) submetidas à ação do extrato de folhas jovens de <i>Sapindus saponaria</i> em diferentes concentrações.....	83
Figura 9. Massa seca, porcentagem de plântulas normais, plântulas mortas, comprimento da parte aérea e da raiz de <i>Ipomoea grandifolia</i> (corda-de-viola) submetidas à ação do extrato de folhas jovens de <i>Sapindus saponaria</i> em diferentes concentrações.	83
Figura 10. Frequência relativa de germinação de sementes de <i>Echinochloa crus-galli</i> (capim-arroz) e <i>Ipomoea grandifolia</i> (corda-de-viola) submetidas à ação do extrato de frutos de <i>Sapindus saponaria</i> em diferentes concentrações.....	85
Figura 11. Tempo inicial e final, germinabilidade, tempo médio de germinação, coeficiente de variação do tempo, velocidade média de germinação, velocidade de germinação, incerteza e sincronia do processo de germinação de sementes de <i>Echinochloa crus-galli</i> (capim-arroz) e <i>Ipomoea grandifolia</i> (corda-de-viola) submetidas à ação do extrato de frutos de <i>Sapindus saponaria</i> em diferentes concentrações.....	86
Figura 12. Porcentagem de plântulas normais, plântulas mortas, comprimento da parte aérea e da raiz de <i>Echinochloa crus-galli</i> (capim-arroz) submetidas à ação do extrato de frutos de <i>Sapindus saponaria</i> em diferentes concentrações.....	87
Figura 13. Porcentagem de plântulas normais, plântulas mortas, comprimento da parte aérea e da raiz de <i>Ipomoea grandifolia</i> (corda-de-viola) submetidas à ação do extrato de frutos de <i>Sapindus saponaria</i> em diferentes concentrações.....	87
Figura 14. Massa seca de plântulas de <i>Echinochloa crus-galli</i> (capim-arroz) e <i>Ipomoea grandifolia</i> (corda-de-viola) submetidas à ação do extrato de frutos de <i>Sapindus saponaria</i> em diferentes concentrações.....	88
Figura 15. Tempo inicial e final, germinabilidade, tempo médio de germinação, coeficiente de variação do tempo, velocidade média de germinação, velocidade de germinação, incerteza e sincronia do processo de germinação de sementes de <i>Echinochloa crus-galli</i> (capim-arroz) e <i>Ipomoea grandifolia</i> (corda-de-viola) submetidas à ação do extrato de raízes de <i>Sapindus saponaria</i> em diferentes concentrações.....	90
Figura 16. Frequência relativa de germinação de sementes de <i>Echinochloa crus-galli</i> (capim-arroz) e <i>Ipomoea grandifolia</i> (corda-de-viola) submetidas à ação do extrato de raízes de <i>Sapindus saponaria</i> em diferentes concentrações.....	91
Figura 17. Porcentagem de plântulas normais, plântulas mortas, comprimento da parte aérea e da raiz de <i>Echinochloa crus-galli</i> (capim-arroz) submetidas à ação do extrato de raízes de <i>Sapindus saponaria</i> em diferentes concentrações.....	92

Figura 18. Porcentagem de plântulas normais, plântulas mortas, comprimento da parte aérea e da raiz de *Ipomoea grandifolia* (corda-de-viola) submetidas à ação do extrato de raízes de *Sapindus saponaria* em diferentes concentrações.....92

Figura 19. Massa seca de plântulas de *Ipomoea grandifolia* (corda-de-viola) e *Echinochloa crus-galli* (capim-arroz) submetidas à ação do extrato de raízes de *Sapindus saponaria* em diferentes concentrações.....92

Figura 20. Massa seca, porcentagem de plântulas normais, plântulas mortas, comprimento da parte aérea e da raiz de *Ipomoea grandifolia* (corda-de-viola) e *Echinochloa crus-galli* (capim-arroz) submetidas à ação do herbicida nicosulfuron em diferentes concentrações.....93

Figura 21. Germinabilidade e velocidade média de germinação das sementes de *Echinochloa crus-galli* (capim-arroz) e *Ipomoea grandifolia* (corda-de-viola) submetidas à ação dos extratos de folha jovem, folha madura, fruto e raiz de *Sapindus saponaria*. Médias seguidas pelas mesmas letras maiúsculas para os órgãos e minúsculas para as espécies, não diferem entre si, pelo teste de Tukey a 0,05% de probabilidade. As barras verticais representam o erro padrão.....99

Figura 22. Porcentagem de inibição ou estímulo, em relação ao controle, de plântulas normais, massa seca, comprimento da parte aérea e da raiz de plântulas *Echinochloa crus-galli* (capim-arroz) e *Ipomoea grandifolia* (corda-de-viola) submetidas à ação do herbicida e dos extratos de folha jovem, folha madura, fruto e raiz de *Sapindus saponaria*.....100

Capítulo III

Figura 1. Esquema da coluna de adsorção. a: reservatório; b: fase móvel; c: coluna de vidro; d: sílica comum; e: chumaco de algodão; f: frasco coletor; g: amostra (“cabeça”); h: camada de areia colocada após a aplicação da amostra (Fonte: Collins et al., 1990).....116

Figura 2. Esquema sintetizando os fracionamentos e respectivos rendimentos a partir do pó das folhas jovens de *Sapindus saponaria*. ¹ Extração direta. ² Cromatografia em coluna, utilizando-se sílica comum como fase estacionária e eluentes em ordem crescente de polaridade: (A) Hexano (100%); (B) Hexano / Acetona (95%:5%); (C) Hexano / Acetona (90%:10%); (D) Hexano / Acetona (80%:20%); (E) Hexano / Acetona (70%:30%); (F) Hexano / Acetona (60%:40%); (G) Hexano / Acetona (40%:60%); (H) Hexano / Acetona (20%:80%); (I) Acetona (100%); (J) Metanol (100%). ³ Cromatografia de camada delgada analítica. As frações e sub-frações em negrito foram as que apresentaram atividade alelopática nos bioensaios.....117

Figura 3. Porcentagem de inibição dos extratos de folhas jovens de *Sapindus saponaria* sobre a elongação dos coleótilos de *Triticum aestivum* (trigo). As barras verticais representam o desvio padrão. (*) Diferença significativa em relação ao controle.....118

Figura 4. Cromatografia de camada delgada analítica da fração acetato de etila das folhas jovens de *Sapindus saponaria*, resultando em 10 sub-frações: 1 (1-17), 2 (18-26), 3 (27-38), 4 (39-50), 5 (51-56), 6 (57-70), 7 (71-77), 8 (78-101), 9 (102-108) e 10 (109-129). A fase móvel utilizada foi hexano: acetona (60%:40%).....120

Figura 5. Porcentagem de inibição / estímulo do herbicida e das sub-frações obtidas da cromatografia em coluna e em camada delgada analítica sobre a elongação dos coleótilos de *Triticum aestivum* (trigo). As barras verticais representam o desvio padrão. (*) Diferença significativa em relação ao controle.....121

Figura 6. Comprimento dos coleótilos de *Triticum aestivum* (trigo) submetidos à ação do controle, do herbicida, da fração acetato de etila e da sub-fração 6 (57-70).....123

ÍNDICE DE TABELAS

Capítulo I

Tabela 1. Teste-*F* para comparar os coeficientes angulares das regressões lineares, oriundas do teste de germinação de diásporos de *Lactuca sativa* (alface) e *Allium cepa* (cebola) submetidos à ação dos extratos de folhas maduras e frutos de *Sapindus saponaria*.....52

Tabela 2. Germinação das cipselas de *Lactuca sativa* (alface) submetidas à ação dos extratos de folhas maduras, frutos e raízes de *Sapindus saponaria* em diferentes concentrações.....53

Tabela 3. Germinação das sementes de *Allium cepa* (cebola) submetidas à ação dos extratos de folhas maduras e jovens, frutos e raízes de *Sapindus saponaria* em diferentes concentrações.....54

Tabela 4. Massa seca proveniente do teste de crescimento de plântulas de *Lactuca sativa* (alface) e *Allium cepa* (cebola) submetidas à ação dos extratos de folhas maduras e jovens, frutos e raízes de *Sapindus saponaria* em diferentes concentrações.55

Tabela 5. Potencial osmótico e pH dos extratos aquosos de maior concentração, obtidos de folhas maduras, folhas jovens, frutos e raízes de *Sapindus saponaria*.....60

Capítulo II

Tabela 1. Teste-*F* para comparar os coeficientes angulares das regressões lineares, oriundas do teste de germinação de sementes de *Echinochloa crus-galli* (capim-arroz) e *Ipomoea grandifolia* (corda-de-viola) submetidas à ação dos extratos de folhas maduras, folhas jovens e frutos de *Sapindus saponaria*.....95

Tabela 2. Germinação de sementes de *Echinochloa crus-galli* (capim-arroz) submetidas à ação dos extratos de folhas maduras e jovens, frutos e raízes de *Sapindus saponaria* em diferentes concentrações.....96

Tabela 3. Germinação de sementes de *Ipomoea grandifolia* (corda-de-viola) submetidas à ação dos extratos de folhas maduras e jovens, frutos e raízes de *Sapindus saponaria* em diferentes concentrações.....97

Tabela 4. Características das plântulas de *Echinochloa crus-galli* (capim-arroz) e *Ipomoea grandifolia* (corda-de-viola) submetidas à ação do herbicida e dos extratos de folhas maduras e jovens, frutos e raízes de *Sapindus saponaria* em diferentes concentrações.....98

Tabela 5. Potencial osmótico e pH dos extratos aquosos de maior concentração, obtidos de folhas maduras, folhas jovens, frutos e raízes de *Sapindus saponaria*.....103

Capítulo III

Tabela 1. Solventes e suas respectivas quantidades utilizadas no fracionamento cromatográfico em coluna.....115

Tabela 2. Média do comprimento dos coleótilos de *Triticum aestivum* (trigo) submetidos à ação do herbicida e das frações do extrato de folhas jovens de *Sapindus saponaria* em diferentes diluições.....119

Tabela 3. Média do comprimento dos coleótilos de *Triticum aestivum* (trigo) submetidos à ação do herbicida e das sub-frações provenientes do extrato de folhas jovens de *Sapindus saponaria* em diferentes diluições.....122

RESUMO GERAL

Os estudos sobre alelopatia têm sido fundamentais para o entendimento dos processos pelos quais as plantas influenciam a sua vizinhança pela liberação de substâncias do metabolismo secundário, bem como na sua aplicação na agricultura, sistemas florestais e manejo de ecossistemas. Diante disso, o objetivo desse estudo foi avaliar o potencial alelopático do extrato aquoso de raízes, frutos, folhas jovens e maduras de *Sapindus saponaria* L. (sabão-de-soldado) na germinação de diásporos e na morfologia de plântulas de hortaliças (*Lactuca sativa* L. e *Allium cepa* L.) e de espécies daninhas (*Echinochloa crus-galli* (L.) Link e *Ipomoea grandifolia* (Dammer) O'Donell). Além disso, avaliou-se por meio do fracionamento biodirigido, a atividade alelopática de diferentes frações dos extratos de folhas jovens de *Sapindus saponaria* no crescimento de coleótilos de trigo (*Triticum aestivum* L.). O extrato aquoso foi preparado na proporção de 100 g de material vegetal seco ou fresco para 1000 mL de água destilada, produzindo-se o extrato considerado concentrado (10%). A partir deste, foram feitas diluições em água destilada para 7,5; 5,0 e 2,5%. Os extratos evidenciaram potencialidades alelopáticas que variaram de acordo com a espécie receptora. O efeito inibitório sobre o processo de germinação dos diásporos e morfologia das plântulas alvo foi concentração-dependente. O extrato de folhas jovens foi o que exerceu maior efeito inibitório na germinabilidade, enquanto os extratos do fruto e das folhas jovens foram os que mais inibiram o desenvolvimento das plântulas. A análise química das folhas jovens de *Sapindus saponaria*, permitiu concluir que a fração de acetato de etila apresentou maior atividade alelopática sobre os coleótilos de trigo e que nela podem ser encontrados os compostos orgânicos responsáveis por essa inibição.

Palavras-chave: alelopatia, sabão-de-soldado, germinação, crescimento.

ABSTRACT

ALLELOPATHIC POTENTIAL OF SAPINDUS SAPONARIA L. (SAPINDACEAE)

Studies on allelopathy have been important in understanding the processes by which plants influence their neighborhood by releasing substances of secondary metabolism and its application in agriculture, forestry systems and ecosystem management. The objective of this study was to evaluate the allelopathic potential of aqueous extract of root, fruit, young and senesced leaves of *Sapindus saponaria* L. (soapberry) on the germination of seeds and morphology of seedlings vegetables (*Lactuca sativa* L. and *Allium cepa* L.) and weed (*Echinochloa crus-galli* (L.) Link and *Ipomoea grandifolia* (Dammer) O'Donell). Moreover, was evaluated by fractionation biodirigido, the allelopathic activity of different fractions of extracts from young leaves of *Sapindus saponaria* on the growth of wheat coleoptile (*Triticum aestivum* L.). The aqueous extract was prepared using 100 g of plant dried or fresh material + 1000 mL of distilled water, resulting in the concentrated extract (10%). The dilutions were made with distilled water to 7,5; 5,0 and 2,5%. The extracts showed allelopathic potential changing according to the receiver species. The inhibitory effect on the process of germination of the seeds and seedling morphology receptor was concentration-dependent. The leaf extract caused greater inhibitory effect on germination, while the extracts of the fruit and young leaves were the most inhibited seedling development. Chemical analysis of young leaves of *Sapindus saponaria*, showed that the fraction of ethyl acetate showed higher allelopathic activity on the wheat coleoptile and that it can be found on the compounds responsible for this inhibition.

Key-words: allelopathy, soapberry, germination, growth.

INTRODUÇÃO GERAL

O termo alelopatia foi cunhado por Molisch (1937) e significa do grego *allelon* = mútuo, *pathós* = prejuízo. O conceito descreve a influência de um indivíduo sobre o outro, seja prejudicando ou favorecendo o segundo, e sugere que o efeito é realizado por biomoléculas produzidas por uma planta e lançadas no ambiente, seja na fase aquosa do solo ou substrato, seja por substâncias gasosas volatilizadas no ar que cerca as plantas terrestres (Rizvi et al., 1999).

No entanto, é importante que se faça a distinção entre os eventos da alelopatia e competição, que são considerados processos opostos, uma vez que a competição acontece pela retirada ou redução de fatores (como água, luz, nutrientes) e a alelopatia ocorre pela introdução ou liberação de elementos no ambiente (Ferreira & Aqüila, 2000). Havendo dúvidas entre os conceitos, Muller (1969), sugere o termo interferência, que é o efeito de uma planta sobre a outra, incluindo ambos os eventos.

A liberação dessas substâncias químicas para o meio, denominadas aleloquímicos, pode ocorrer de várias maneiras. Entre as rotas de liberação incluem-se a volatilização pelas partes aéreas da planta; a lixiviação das superfícies do vegetal através da chuva, orvalho e neblina; a exsudação pelas raízes; a decomposição de resíduos vegetais e a lixívia de serapilheira (Whittaker & Feeny 1971; Chou, 1986; Anaya, 1999).

Os aleloquímicos podem apresentar ação direta ou indireta sobre a planta alvo. Alterações nas propriedades e características nutricionais e, também nas populações de organismos que habitam o solo são consideradas como efeitos indiretos. Os efeitos diretos, por sua vez, são mais estudados e compreendem alterações celulares e metabólicas, incluindo modificações no funcionamento de membranas, na absorção de nutrientes e de água, na atividade fotossintética e respiratória (Rizvi et al., 1992; Reigosa et al., 1999). Entretanto, as funções mais prejudicadas são divisão celular, síntese orgânica, interação com hormônios, efeito sobre enzimas, metabolismo respiratório, abertura estomática, fotossíntese e mudanças no metabolismo lipídico (Rezende et al., 2002). As saponinas, os taninos e os flavonóides estão entre os aleloquímicos comumente citados como responsáveis por causarem efeitos diretos e indiretos, podendo ser liberados em condições naturais, já que são hidrossolúveis (Ferreira & Aqüila 2000; Maraschin-Silva & Aqüila, 2006).

Para provar a existência da interação alelopática deve-se considerar três componentes: (1) ecológico – uma demonstração que o composto atua na natureza; (2) químico – isolar, identificar e caracterizar os aleloquímicos envolvidos; e (3) fisiológico – identificação dos mecanismos de interferência a nível bioquímico, fisiológico, celular e molecular (Inderjit & Weston, 2000). Para esse tipo de estudo, os bioensaios são ferramentas muito úteis para que se possa acompanhar a atividade dos aleloquímicos durante sua extração, purificação e identificação. Além disso, os

bioensaios realizados em laboratório são importantes para demonstrar as possíveis interferências de compostos químicos em ambientes naturais (Inderjit & Dakshini, 1995).

Para avanços em termos tecnológicos e possibilidade de aplicação dos resultados, é necessário identificar as frações e/ou aleloquímicos responsáveis pela atividade alelopática, bem como identificar quais destes compostos possuem potencial de uso como reguladores de crescimento e herbicidas (Romero et al., 2005).

O Brasil apresenta uma enorme biodiversidade e, nesta, há certamente vias metabólicas e/ou substâncias desconhecidas. A evolução natural dessas substâncias deve ter selecionado rotas ou substâncias do metabolismo secundário que ofereceram vantagens evolutivas ou adaptativas de algumas espécies no convívio com outras plantas (Reigosa et al., 1999).

Embora de escopo amplo, as investigações científicas em alelopatia têm se concentrado principalmente nas interações entre espécies vegetais cultivadas e na prospecção de novas moléculas com propriedades herbicidas. No âmbito das ciências florestais e da ecologia, persiste a escassez de conhecimentos relativos ao comportamento alelopático de espécies arbóreas nativas, ameaçadas ou não de extinção e, aquelas com potencial para utilização em reflorestamentos, plantios mistos, sistemas agroflorestais e agrossilvopastoris (Anaya, 1999; Carmo et al., 2007).

Produção de metabólitos secundários em plantas

As plantas desenvolveram ao longo da evolução e por meio da seleção natural, meios de defesa contra herbívoros, patógenos e fatores ambientais de estresse e, mecanismos sinalizadores para atrair polinizadores e dispersores (Wink, 2003). Alguns desses eventos, por muito tempo desconhecidos por suas funções, resultam da ação de compostos orgânicos de baixo peso molecular originados pelo metabolismo primário do carbono nos vegetais (Hadacek, 2002), conhecidos como metabólitos secundários (Taiz & Zeiger, 2004). Eles possuem funções importantes como: suporte estrutural fornecido pela lignina; proteção contra a radiação ultravioleta e a atração de polinizadores e dispersores pelos pigmentos flavonóides; proteção contra herbivoria e agentes patogênicos e atuação na interação planta-planta (Wink, 2003; Taiz & Zeiger, 2004).

Nos vegetais, os aleloquímicos podem ser encontrados nas folhas, caules, raízes, frutos, flores, cascas e sementes (Weir et al., 2004), porém a quantidade e as vias pelas quais são sintetizados diferem de espécie para espécie (Friedman, 1995). No solo, podem combinar-se de várias maneiras e, embora não se conheça todas as funções e substâncias, as que se conhecem podem interferir fortemente no metabolismo de outros organismos (Piña-Rodrigues & Lopes, 2001). A produção de metabólitos secundários nos vegetais é influenciada por diversos fatores como temperatura, umidade, índice de precipitação, radiação, sazonalidade e estágio de maturação.

A variação sazonal engloba alterações bruscas na temperatura e umidade do solo, provocando desvios de rotas biossintéticas de metabólitos primários e secundários (Taiz & Zeiger, 2004).

A interferência alelopática dificilmente é provocada por um único fator isolado, mas à união e ação sinérgica conjunta de várias destas substâncias somadas às condições ambientais. Torna-se difícil identificar qual composto químico específico produz o efeito alelopático, visto que um mesmo organismo produz diversos aleloquímicos e desencadeiam diversas interações. Os metabólitos secundários podem ser separados em grupos químicos que variam de acordo com o pesquisador. Whittaker & Feeny (1971) agrupam em cinco: ácidos fenólicos, flavonóides, terpenóides, esteróides e alcalóides. Enquanto, Rice (1974) separa em quinze categorias, agrupadas conforme as similaridades químicas. E finalmente para Putnam (1985), os compostos são: gases tóxicos, ácidos orgânicos e aldeídos, ácidos aromáticos, lactonas simples insaturadas, terpenóides, esteróis, quinonas, flavonóides, taninos, alcalóides, coumarinas e diversos, sendo que as principais rotas biossintéticas desses compostos são a via do acetato e ou do ácido chiquímico (Souza Filho et al., 2002). A via do acetato produz ácidos orgânicos, alcoóis de cadeia linear, aldeídos e cetonas e, a via do ácido chiquímico tem como produtos taninos hidrolizáveis, ácido gálico, aminoácidos aromáticos, além de outros (Einhellig, 1996).

Alelopatia e ecologia

A distribuição espacial das plantas no ambiente pode ser afetada pelo fenômeno alelopático ou pela competição, no entanto é difícil mensurar ambos os efeitos. Portanto, essas interações representam importante papel na dinâmica e reprodutividade do ecossistema (Sánchez-Moreiras et al., 2003).

Nas últimas décadas, a função da alelopatia em ecossistemas naturais e manejados tem despertado o interesse de muitos pesquisadores. A alelopatia é reconhecida como um evento ecológico que influencia na sucessão vegetal primária e secundária (Reigosa et al., 1999); na formação de comunidades vegetais, na dinâmica entre diferentes formações (Rizvi et al., 1992); na dominância de certas espécies vegetais (Reigosa et al., 1999) e na agricultura (Chou, 1999).

Espécies vegetais dominantes, isto é, presentes em alta densidade e que formam comunidades homogêneas, influenciam as condições do solo e da vegetação sob o dossel através de meios diretos como sombreamento, umidade e disponibilidade de nutrientes, porém, as características do hábitat podem ser determinadas, também, pela alelopatia (Melkania, 1992). Segundo Whittaker & Feeny (1971), espécies dominantes podem, por supressão alelopática, invadir comunidades vegetais pré-existentes e retardar sua substituição por outras plantas. Os efeitos químicos causados no solo por plantas dominantes limitam o estabelecimento de outras espécies tanto nas comunidades em processo de sucessão quanto naquelas em clímax. Já foi relatado que

algumas espécies pioneiras dificultam o estabelecimento de outros vegetais sob suas copas, sendo possível a ocorrência de alelopatia (Jacobi & Ferreira, 1991; Fontes, 1999; Maraschin-Silva & Áquila, 2005).

A distribuição da vegetação num determinado local, não é tão aleatória com se pensava. Além de fatores de competição por nutrientes, luz, entre outros, há uma interferência das plantas vizinhas por substâncias químicas liberadas no meio (Rizvi, 1999). Essa interação alelopática, responsável pelo estabelecimento e sobrevivência de certas espécies no ambiente, é feita por um mecanismo de “defesa e ataque” das plantas, que vem sendo adquirido ao longo de um processo evolutivo (Nishimura & Mizutani, 1995).

Interações alelopáticas em agroecossistemas

Alelopatia desempenha um importante papel no agroecossistema conduzindo a uma vasta gama de interações entre as culturas, plantas daninhas e árvores. Geralmente, essas interações são deletérias para a planta receptora, mas também podem proporcionar uma vantagem seletiva para o doador. No agroecossistema, ela provoca problema de doença no solo ou causa a autotoxidade que afeta negativamente as culturas e, conseqüentemente, a sua produtividade (Kohli et al., 2006).

Além das plantas daninhas e das culturas, as árvores são também uma parte integrante da agricultura intensiva e extensiva no âmbito de diversos programas agroflorestais. Vários estudos mostram que esta prática aumenta a produtividade, melhora a qualidade do solo, o microclima, a ciclagem de nutrientes, conserva o solo, controla as plantas daninhas e gera uma maior sustentabilidade global (Young, 1994), embora um número de interações negativas (incluindo alelopáticas) também foi reconhecido (Rao et al., 1997; Kohli et al., 2000). Rizvi et al. (1999) mostram uma lista de mais de 80 árvores cultivadas sob programa de sistema agroflorestal que exibem alelopatia. Algumas destas espécies são: *Acacia* spp., *Albizzia lebbek* L., *Eucalyptus* spp., *Grewia optiva* J.R. Drumm. ex Burret, *Gliricidia sepium* (Jacq.) Steud, *Leucaena leucocephala* Lam., *Moringa oleifera* Lam. e *Populus Deltóides* Marsh (Kohli et al., 1998; Rizvi et al., 1999, Singh et al., 2001).

Na maior parte dos casos, a serrapilheira interfere no crescimento e estabelecimento das plantas cultivadas vizinhas. Infelizmente, muito pouco tem sido feito para compreender as implicações alelopáticas em sistemas agroflorestais, embora seja um importante fator na determinação do sucesso das árvores. No entanto, se devidamente entendida a natureza das substâncias químicas envolvidas, tais mecanismos podem ser eficazmente explorados para aumentar a produtividade agrícola através do manejo das culturas de plantas daninhas, nematóides, patógenos e insetos (Kohli et al., 1998; Rizvi et al., 1999).

Na verdade, esta prática pode ser vista como uma ferramenta importante na sustentabilidade agrícola. Neste sentido, uma série de estratégias como adubação verde e utilização direta dos aleloquímicos como herbicidas e pesticidas naturais visam o manejo de plantas daninhas. A purificação dos aleloquímicos e/ou seus derivados pode ser usados diretamente como novos produtos agroquímicos para este manejo sustentável (Kohli et al., 2006).

Alelopatia e controle de plantas daninhas

O controle de plantas daninhas é uma prática de grande importância para a obtenção de altos rendimentos em qualquer exploração agrícola e tão antiga quanto a própria agricultura. São definidas como espécies que crescem onde não são desejadas, ou seja, grupo de plantas que crescem espontaneamente em solos agrícolas e em outras áreas de interesse do homem (Lorenzi, 2000; Mauli et al., 2009).

As plantas daninhas são componentes ecologicamente importantes dos agroecossistemas e apesar da sua remoção em grande escala, elas continuam a evoluir, o que representa ameaça às culturas (Kohli et al., 2006). Essas pragas co-evoluíram de plantas cultivadas, no entanto elas têm um número de características fisiológicas, agronômicas e reprodutivas, que as tornam dominantes em comparação as outras plantas (Kohli et al., 2004). No agroecossistemas, elas competem com os recursos das espécies vegetais, reduzem os rendimentos e, deterioram a qualidade da cultura, o que resulta em enormes perdas financeiras. Cerca de 12% do total da perda de colheitas tem sido atribuída às plantas daninhas (Anaya, 1999) que também são conhecidas por possuir propriedades alelopáticas e, portanto, afetam negativamente as culturas (Kohli et al. 1998; Weston & Duke, 2003). Qasem & Foy (2001) relataram que aproximadamente 240 plantas daninhas têm efeito alelopático.

A incidência de plantas daninhas em culturas agronômicas de interesse econômico representa sério problema devido à competição por nutrientes e luz, o que exige a adoção de medidas de controle que, por sua vez, podem representar 20 a 25% do custo total de produção (Anaya, 1999). Essas medidas de controle passam, muitas vezes, pelo uso de defensivos agrícolas que têm sido condenados pelo impacto ambiental que produzem. Uma alternativa a esses produtos são os compostos naturais, substâncias do metabolismo secundário das plantas.

A atividade dos aleloquímicos tem sido usada como alternativa ao uso de herbicidas, inseticidas e nematicidas (defensivos agrícolas). A maioria dessas substâncias provém do metabolismo secundário, porque na evolução das plantas, elas representaram alguma vantagem contra a ação de microrganismos, vírus, insetos, predadores e outros patógenos, sejam inibindo a ação destes ou estimulando o crescimento ou desenvolvimento das plantas (Waller, 1999). Assim, a vegetação de uma determinada área pode ter um modelo de sucessão condicionado às plantas pré-

existentes e às substâncias químicas que elas liberaram no meio. Da mesma forma, no manejo agrícola, florestal e na horticultura, a ocupação prévia da área pode ter significativa influência sobre os cultivos que estão sendo instalados (Ferreira & Aqüila, 2000).

A busca por princípios ativos para a formulação de herbicidas e pesticidas baseados em produtos naturais está aumentando gradativamente. A vantagem é que produtos dessa natureza são parcialmente solúveis em água, exibem bioatividade em baixas concentrações (Vyvyan, 2002; Maraschin-Silva & Aqüila, 2006) e não afetam a saúde humana. Das centenas de aleloquímicos identificados, o modo de ação é conhecido para poucos, mas muitos deles agem de forma diferente em relação aos herbicidas sintéticos, abrindo novas possibilidades, principalmente no controle biológico de plantas daninhas resistentes a esses produtos (Vyvyan, 2002).

***Sapindus saponaria* L.**

Sapindus saponaria L. (Figura 1), pertencente à família Sapindaceae, conhecida popularmente por saboneteiro, sabão-de-macaco, jequitinhaçu, fruta-de-sabão e sabão-de-soldado, é uma árvore nativa, pioneira, perenifólia ou semidecídua, heliófita, de pequeno porte (até 8m), utilizada em paisagismo e em modelos de recuperação de áreas degradadas, em margens de rios (Albiero, 2001). No Brasil, ocorre desde o Pará até o Rio Grande do Sul, com distribuição regular nos estados das regiões Norte, Nordeste e Centro Oeste. Encontra-se habitualmente em locais úmidos, nas florestas pluvial e semidecídua. Apresenta copa densa e perfeitamente globosa. As folhas são compostas imparipenadas com sete folíolos glabros de 10- 16cm de comprimento por 3-4 cm de largura. Suas flores são brancas, dispostas em panículas. Os frutos são multiglobosos, amarelados quando maduros e com sementes globulosas não ariladas, pretas e duras (Figura 1). A dispersão é barocórica e zoocórica por morcegos frugívoros (Lorenzi, 1992).

A espécie é conhecida não apenas pela utilização da madeira, mas também pela presença de saponinas, um surfactante natural encontrado nas sementes e nos frutos. A madeira é moderadamente pesada, dura, compacta, de baixa durabilidade natural, sendo empregada na construção civil. Os seus frutos são utilizados pela população como sabão, no banho e no combate a úlceras, feridas na pele e inflamações (Albiero et al., 2001; Pelegrini, et al., 2008).

Sapindus saponaria tem sido muito pesquisada pela presença de saponinas, por possuírem propriedades tensoativas como também para uso farmacológico, pois estes compostos, classificados como triterpenóides, apresentam atividade antiulcerativa e antineoplásica. As sementes, por conterem óleo, são utilizadas como inseticidas (Guarim Neto et al., 2000; Porras & Lopez-Avila, 2009). Uma das teorias mais aceita para explicar a alta concentração de saponinas em muitas espécies de plantas é que estas funcionariam como proteção ao ataque de patógenos, sejam estes fungos, bactérias ou vírus (Murgu, 2002; Sparg et al., 2004).

Em função disso, levantou-se as seguintes hipóteses: (1) extratos aquosos de diferentes órgãos de *Sapindus saponaria* poderiam interferir no processo de germinação e na morfologia das plântulas *Echinochloa crus-galli* e *Ipomoea grandifolia*, possibilitando, assim, o controle destas espécies daninhas; (2) além disso, essa interferência poderia ter caráter ecológico, considerando o efeito desses extratos sobre o desenvolvimento das hortaliças, espécies bioindicadoras e, (3) os extratos oriundos de órgãos mais jovens, como as folhas jovens, poderiam exercer maior efeito alelopático sobre as plantas vizinhas, uma vez que tecidos jovens, geralmente, possuem elevada taxa biossintética de metabólitos secundários.



Figura 1. *Sapindus saponaria* L. e seus respectivos frutos e raízes (Fonte: Grisi, 2008).

Referências Bibliográficas

ALBIERO, A.L.M. **Estudo farmacognóstico de *Sapindus saponaria* L. (Sabão-de-soldado)**. São Paulo. Dissertação (Mestrado) - Faculdade de Ciências Farmacêuticas – Universidade de São Paulo. 2001.

ANAYA, A.L. Allelopathy as a Tool in the Management of Biotic Resources in Agroecosystems. **Critical Reviews in Plant Sciences**, v. 18, n. 6, p. 697-739, 1999.

CARMO, F.M.S.; BORGES, E.E.L.; TAKAKI, M. Alelopatia de extratos aquosos de canela-sassafrás (*Ocotea odorifera* (Vell.) Rohwer). **Acta Botânica Brasileira**, v. 21, n. 3, p. 697-705, 2007.

CHOU, C.H. The role of allelopathy in subtropical agroecosystems in Taiwan. Pp. 57-73. In: A.L. Putnam; C.S. Tang (eds.). **The science of allelopathy**. New York, John Wiley & Sons, 1986.

- CHOU, C. H. Roles of allelopathy in plant biodiversity and sustainable agriculture. *Critical Reviews in Plant Science*, v.18, n.5, p. 609-636, 1999.
- EINHELLIG, F.A. Interaction involving allelopathy in crop systems. *Agronomy Journal*, v. 88, p. 886-893, 1996.
- FERREIRA, A.G.; AQÜILA, M.E.A. Alelopatia: uma área emergente da ecofisiologia. *Revista Brasileira de Fisiologia Vegetal*, v.12, p.175-204, 2000. Edição especial.
- FONTES, M. A.L. Padrões alométricos em espécies arbóreas pioneiras tropicais. *Scientia Forestalis*, n. 55, p. 79-87, 1999.
- FRIEDMAN, J. Allelopathy, autotoxicity, and germination. Pp. 629-644. In: J. Kegel & G. Galili (eds.). *Seed development and germination*. Marcel Dekker Inc., New York.1995.
- GUARIM NETO, G.; SANTANA, S.R.; SILVA, J.V.B. Notas etnobotânicas de espécies de Sapindaceae Jussieu. *Acta Botânica Brasílica*, v. 14, n. 3, p. 327-334, 2000.
- HADACEK, F. Secondary metabolites as plant traits: Current assessment and future perspectives. *Critical reviews in Plant Sciences*, v. 21 n. 4, p. 273-322, 2002.
- INDERJIT; DAKSHINI, K.M.M. On laboratory bioassays in allelopathy. *Botanical Review*, v. 61, n. 1, p. 28-44, 1995.
- INDERJIT; WESTON, L.A. Are laboratory bioassays for allelopathy suitable for prediction of field responses? *Journal of Chemical ecology*, v. 26, n. 9, p. 2111-2118. 2000.
- JACOBI, U.S.; FERREIRA, A.G. Efeitos alelopáticos de *Mimosa bimucronata* (DC) OK. sobre espécies cultivadas. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, v. 26, n. 7, p. 935-943, 1991.
- KOHLI, R.K.; BATISH, D.; SINGH, H.P. Allelopathy and its implications in agroecosystems. *Journal of Crop Production*, v. 1, p. 169-202, 1998.
- KOHLI, R.K.; BATISH, D.R.; SINGH, H.P.; ARORA, V. Allelopathic interactions in some forest and plantation systems. In Kohli RK, Singh HP, Vij SP, Dhir KK, Batish DR, Khurana DK (eds) *Man and Forests*, pp. 135-154. DNAES, IUFRO, ISTS, Botany Department and Centre for Vocational Studies, Panjab University, Chandigarh, India, 2000.
- KOHLI, R.K., BATISH, D.R., SINGH, H.P. Weeds and Their Management – Rationale and Approaches. In Singh HP, Batish DR, Kohli RK (eds) *Handbook of Sustainable Weed Management*, In Press. Haworth Press, Inc., USA, 2004.
- KOHLI, R.K.; BATISH, D.; SINGH, H.P. Allelopathic interactions in agroecosystems. In: Reigosa M.J.; Pedrol, N.; González L., (eds.), *Allelopathy: A Physiological Process with Ecological Implications*, 465-493, 2006.
- LORENZI, H. *Plantas daninhas do Brasil*. 3. ed. Nova Odessa: Instituto Plantarum de estudos da flora, 2000.
- MARASCHIN-SILVA, F.; AQÜILA, M.E.A. Potencial alelopático de *Dodonaea viscosa* (L.) Jacq. *IHERINGIA*, v. 60, n. 1, p. 91-98, 2005.

- MARASCHIN-SILVA, F.; AQUILA, M.E.A. Potencial alelopático de espécies nativas na germinação e crescimento inicial de *Lactuca sativa* L. (Asteraceae). **Acta Botanica Brasílica**, v. 20, n.1, p. 61-69, 2006.
- MAULI, M. M.; FORTES, A.M.T.; ROSA, D. M.; PICCOLO, G.; MARQUES, D.S.; CORSATO, J. M.; LESZCZYNSKI, R. Leucaena allelopathy on weeds and soybean seed germination. **Semina-Ciências Agrárias**, Londrina, v. 30, n. 1, p. 55-62, 2009.
- MELKANIA, N.P. Allelopathy in forest and agroecosystems in the himalayan region. In: RIZVI, S.J.H.; RIZVI, V. (Ed.) **Allelopathy: basic and applied aspects**. London: Chapman & Hall, 1992, 480p.
- MOLISCH, H. **Der Einfluss einer Pflanze auf die andere Allelopathie**. Jena: Fischer, 1937.
- MULLER, C.H. Allelopathy as a factor in ecological process. **Vegetatio**, v. 18, p. 348-357, 1969.
- MURGU, M. **Saponinas e glicosídeos de *Sapindus saponaria*: metodologias de análises por espectrometria de massas e relação com fungos endofíticos**. 2002. 133 f. Tese (Doutorado em Química Orgânica) – Departamento de Química da UFSCar, Universidade Federal de São Carlos, São Carlos, SP, 2002.
- NISHIMURA, H.; MIZUTANI, J. Identification of allelochemicals in *Eucalyptus citriodora* and *Polygonum sachalinense*. **Allelopathy – organisms, process and applications**. Washington: American Chemical Society. p. 74-85, 1995.
- PELEGRINI, D.D.; TSUZUKI, J.K.; AMADO, C.A.B.; CORTEZ, D.A.G.; FERREIRA, I.C.P. Biological activity and isolated compounds in *Sapindus saponaria* L. and other plants of the genus *Sapindus*. **Latin American Journal of Pharmacy**, v. 27, n. 6, p. 922-927, 2008.
- PIÑA-RODRIGUES, F.C.M.; LOPES, B.M. Potencial alelopático de *Mimosa caesalpiniaefolia* Benth sobre sementes de *Tabebuia alba* (Cham.) Sandw. **Floresta e Ambiente**, Rio de Janeiro, v.8, n.1, p.130-136, 2001.
- PORRAS, M.F.; LOPEZ-AVILA, A. Effect of extracts from *Sapindus saponaria* on the glasshouse whitefly *Trialeurodes vaporariorum* (Hemiptera: Aleyrodidae). **Revista Colombiana de Entomologia**, v. 35, n. 1, p. 7-11, 2009.
- PUTNAM, A.R., Weed allelopathy. In: DUKE, S. D. **Weed Physiology**. Boca Raton, CRC Press, 1985. p.131-155.
- QASEM, J.R.; FOY, C.L. Weed allelopathy, its ecological impacts and future prospects: a review. **Journal of Crop Production**, v. 4, p. 43-119, 2001.
- RAO, M.R.; NAIR, P.K.R.; ONG, C.K. (1997) Biophysical interactions in tropical agroforestry system. **Agroforestry Systems**, v. 38, p. 3-50, 1997.
- REIGOSA, M.J.; SÁNCHEZ-MOREIRAS, A.; GONZÁLEZ, L. Ecophysiological approach in allelopathy. **Critical Reviews in Plant Sciences**, v. 18, n. 5, p. 577-608, 1999.
- REZENDE, C.P.; PINTO, J.C.; EVANGELISTA, A.R.; SANTOS, I.P.A. Alelopatia e suas interações na formação de pastagens. **Boletim Agropecuário**, v. 54, p. 1-55, 2002.

- RICE, E.L. **Allelopathy**. 2. ed. New York: Academic, 422 p.1984.
- RIZVI, S.J.H.; HAQUE, H.; SINGH, V.K.; RIZVI, V. A discipline called allelopathy. Pp. 1-10. In: S.J.H. Rizvi & V. Rizvi (eds.). **Allelopathy: basic and applied aspects**. London, Chapman & Hall, 1992.
- RIZVI, S.J.H.; TAHIR, M.; RIZVI, V.; KOHLI, R.K.; ANSARI, A. Allelopathic interactions in agroforestry systems. **Critical Reviews in Plant Science**, vol.18, n. 6, p.773-796, 1999.
- ROMERO, T.; SANCHEZ-NIETO, S.; SAN JUAN-BADILLO, A.; ANAYA, A.L.; CRUZ-ORTEGA R. Comparative effects of allelochemical and water stress in roots of *Lycopersicon esculentum* Mill. (Solanaceae). **Plant Science**, v. 168, p. 1059–1066, 2005.
- SÁNCHEZ-MOREIRAS, M. GONZÁLEZ, L.; REIGOSA, M.J. Small-scale distribution of plants in the vicinity of competitors: Possible effects of allelopathy. **Allelopathy Journal**, v. 11, n. 2, p. 185-194, 2003.
- SINGH, H.P.; BATISH, D.R.; KOHLI, R.K. Allelopathy in agroecosystems: an overview. **Journal of Crop Production**, v. 4, n. 2, p. 1-41, 2001.
- SOUZA FILHO, A.P.S.; ALVES, S.M.; DUTRA, S. Estádio de desenvolvimento e estresse hídrico e as potencialidades alelopáticas do capim-marandu. **Planta Daninha**, v.20, n.1, p.25-31, 2002.
- SPARG, S.G.; LIGHT, M.E.; VAN STADEN, J. Biological activities and distribution of plant saponins. **Journal of Ethnopharmacology**, v. 94, p. 219-243, 2004.
- TAIZ, L.; ZEIGER, E. **Fisiologia vegetal**. Porto Alegre: Artmed, 2004, 719 pp.
- VYVYAN, J.R. Allelochemicals as leads for new herbicides and agrochemicals. **Tetrahedron**, v. 58, p. 1631-1646, 2002.
- WALLER, G.R. Introduction. In: MACIAS, F.A.; GALINDO, J.C.G.; MOLINILLO, J.M.G. & CUTLER, H.G. (Eds.) **Recent advances in allelopathy**. Cadiz, Serv. Pub. Univ. Cadiz, 1999. v.1, sem paginação.
- WEIR, T.L.; PARK, S.W.; VIVANCO, J.M. Biochemical and physiological mechanisms mediated by allelochemicals. **Current Opinion in Plant Biology**, v. 7, n. 4, p.472–479, 2004.
- WESTON, L.A., DUKE, S.O. Weed and crop allelopathy. **Critical Reviews Plant Sciences**, v. 22, p. 367-389, 2003.
- WHITTAKER, R.W.; FEENY, P.P. Allelochemicals: chemical interactions between species. **Science**, v. 171, n. 3973, p. 757-769, 1971.
- WINK, M. Evolution of secondary metabolites from an ecological and molecular phylogenetic perspective. **Phytochemistry**, v. 64, p. 3-19, 2003.
- YOUNG, A. **Agroforestry for soil conservation**. 4. ed. Wellingdorf: CAB International. 1994. 276 p.

CAPÍTULO I

**POTENCIAL ALELOPÁTICO DO EXTRATO AQUOSO DE *SAPINDUS SAPONARIA* L.
NA GERMINAÇÃO DE DIÁSPOROS E NA MORFOLOGIA DE PLÂNTULAS DE
LACTUCA SATIVA L. E *ALLIUM CEPA* L.**

RESUMO - A alelopatia tem sido reconhecida como um importante processo ecológico que influencia a dominância e a sucessão das plantas, afetando desta forma a formação das comunidades e a produtividade de culturas. O objetivo deste estudo foi avaliar o potencial alelopático do extrato aquoso de frutos, raízes, folhas jovens e maduras de *Sapindus saponaria* L. (sabão-de-soldado) na germinação de diásporos e na morfologia de plântulas de *Lactuca sativa* L. (alface) e *Allium cepa* L. (cebola). O extrato aquoso foi preparado na proporção de 100 g de material vegetal para 1000 mL de água destilada, produzindo-se o extrato considerado concentrado (10%). A partir deste, foram feitas diluições em água destilada para 7,5; 5,0 e 2,5%. Os extratos aquosos de folhas jovens e raízes foram os que provocaram maior e menor inibição na germinação dos diásporos de alface e cebola, respectivamente. No entanto, os extratos de folhas jovens e do fruto causaram elevado índice de anormalidade e maior inibição no crescimento da parte aérea e da raiz das plântulas receptoras. A plântula de alface se mostrou mais sensível ao efeito dos extratos do que a de cebola.

Palavras-chave: alelopatia, sabão-de-soldado, alface, cebola.

ABSTRACT – (Allelopathic potential of *Sapindus saponaria* L. aqueous extracts on the seed germination and morphology of seedlings of *Lactuca sativa* L. and *Allium cepa* L.). Allelopathy has been recognized as an important ecological process that affects the abundance and succession of plants, thus affecting the formation of communities and productivity of crops. The aim of this study was to evaluate the allelopathic potential of aqueous extract of fruits, roots, young and senesced leaves of *Sapindus saponaria* L. on the germination of seeds and morphology of seedlings of *Lactuca sativa* L. (lettuce) and *Allium cepa* L. (onion). The aqueous extract was prepared in the proportion of 100 g of plant material + 1000 mL of distilled water, resulting in the concentrated extract (10%). The dilutions were made with distilled water to 7,5; 5,0 and 2,5%. The aqueous extracts of young leaves and roots were the ones that caused major and minor inhibition on the germination of the seeds of lettuce and onion, respectively. However, extracts of young leaves and fruit have caused a high rate of abnormalities and inhibited the growth of shoot and root of seedlings receiving. The seedling of lettuce was more sensitive to the effect of extracts of the onion.

Key words: allelopathy, soapberry, lettuce, onion.

1. Introdução

Os vegetais liberam no ambiente diversos metabólitos secundários que podem influenciar no desenvolvimento da vegetação adjacente e este fenômeno de interferência é denominado alelopatia, conforme discutido por Rice (1984). A liberação dessas substâncias químicas para o meio ambiente, denominadas aleloquímicos, pode ocorrer de várias maneiras. Entre as rotas de liberação estão incluídas a volatilização de substâncias pela parte aérea das plantas; a lixiviação das superfícies do vegetal pela chuva, orvalho e neblina; a exsudação pelas raízes; a decomposição de resíduos vegetais e a lixívia da serrapilheira (Whittaker & Feeny, 1971; Chou, 1986; Anaya, 1999). A decomposição de resíduos vegetais destaca-se como a fonte de aleloquímicos mais importante; entretanto, esse processo de liberação não é uniforme, variando conforme o ecossistema (Reigosa et al., 1999).

Os aleloquímicos podem ser liberados no ambiente por uma variedade de processos (Bonanomi et al., 2006), estando presentes em todos os órgãos da planta, incluindo folhas, flores, frutos, raízes, caules e sementes (Putnam & Tang, 1986; Gatti et al., 2004), e diferindo quanto à quantidade e as vias pelas quais são sintetizados, de espécie para espécie (Friedman, 1995). A alelopatia é reconhecida como um processo ecológico importante em ecossistemas naturais e manejados, influenciando na sucessão vegetal primária e secundária, na estrutura, composição e dinâmica de comunidades vegetais nativas ou cultivadas (Chou, 1986; Rizvi et al., 1992; Reigosa et al., 1999; Scrivanti et al., 2003).

Sapindus saponaria L. (sabão-de-soldado) é um representante arbóreo de Sapindaceae, nativa, de distribuição regular nos estados das regiões Norte, Nordeste e Centro-Oeste. Encontra-se habitualmente em locais úmidos, sendo espécie pioneira utilizada em paisagismo e em modelos de recuperação de áreas degradadas (Albiero et al., 2001). A composição fitoquímica da espécie é bem conhecida, por apresentar propriedades farmacêuticas e cosméticas importantes (Albiero et al., 2001); porém, poucos trabalhos referem-se ao seu potencial alelopático. O conhecimento das potencialidades aleloquímicas de uma espécie pode contribuir para questões relacionadas ao manejo em reflorestamentos mistos e na recomposição de matas, onde se procura a diversidade de espécies e rápida cobertura do solo (Roger et al., 2007).

Para a constatação do efeito alelopático das espécies, o procedimento inicial consiste na técnica do bioensaio, que emprega material biológico como indicador da ação da substância em estudo (Inderjit & Dakshini, 1995; Pires et al., 2001). Nessa técnica os fatores competitivos podem ser limitados e as condições experimentais controladas (Khanh, et al., 2006), como temperatura, luz e disponibilidade hídrica.

Esse tipo de bioensaio tem sido muito criticado na literatura (Weidenhamer, 1996); porém, é por meio dele que se torna possível responder perguntas específicas sobre o potencial alelopático das espécies. Por exemplo, essa técnica permite identificar a presença de fitotoxinas em diferentes partes da planta (localização), as concentrações dos compostos tóxicos, as espécies vulneráveis, os efeitos morfológicos sobre as plântulas e os processos fisiológicos que inibem o crescimento (Einhellig, 2002; Inderjit & Nilsen, 2003).

A resistência ou tolerância aos metabólitos secundários é uma característica espécie-específica, existindo aquelas mais sensíveis como *Lactuca sativa* L. (alface) e *Lycopersicon esculentum* Miller (tomate), consideradas plantas indicadoras de atividade alelopática. Para que seja indicada como planta teste, a espécie deve apresentar germinação rápida e uniforme e um grau de sensibilidade que permita expressar os resultados sob baixas concentrações das substâncias alelopáticas (Gabor & Veatch, 1981; Ferreira & Áquila, 2000).

Apesar das cipselas (*sensu* Marzinek et al., 2008) de alface serem amplamente utilizadas em testes de alelopatia (Gatti et al., 2004; Maraschin-Silva & Áquila, 2006; França et al., 2008), as sementes de cebola (*Allium cepa* L.) também têm sido usadas em bioensaios para testar o efeito de aleloquímicos, por serem geneticamente mais homogêneas, germinarem uniformemente e por serem facilmente adquiridas no comércio. Além disso, essas sementes já foram testadas em bioensaios de germinação e crescimento sob efeito de extrato aquoso de folha de espinheira-santa (*Maytenus ilicifolia* MART. EX REISS.), com resultados bastante satisfatórios (Souza et al., 2005).

Desta forma, o presente estudo teve como objetivo avaliar o potencial alelopático do extrato aquoso das raízes, frutos, folhas jovens e maduras de *Sapindus saponaria* (sabão-de-soldado) na germinação de diásporos e na morfologia de plântulas de alface (*Lactuca sativa*) e de cebola (*Allium cepa*).

2. Material e Métodos

Os experimentos foram conduzidos nos laboratórios de Ecofisiologia Vegetal, da Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia (MG) e de Ecofisiologia de Sementes, da Universidade Federal de São Carlos, São Carlos (SP).

2.1. Preparação dos extratos

Para avaliar o potencial alelopático de *Sapindus saponaria*, o material vegetal (raiz, fruto, folha jovem e madura) foi coletado no município de São Carlos, SP (22° 02' S e 47° 52' W). A região é caracterizada pelo tipo climático Aw, segundo o sistema de classificação de Köppen

(1948), considerado tropical de altitude com inverno seco (abril a setembro) e verão chuvoso (outubro a março).

Os frutos (coloração amarelo translúcido), as folhas jovens (coloração verde-clara e textura membranácea) e as folhas maduras (coloração verde-escura e textura coriácea) foram coletadas diretamente de 10 árvores, enquanto as raízes foram coletadas de apenas duas. A coleta das folhas jovens ocorreu em maio, as raízes e os frutos em julho e as folhas maduras em novembro de 2008. A retirada das partes subterrânea (raiz) e aérea (folhas e frutos) ocorreu com o auxílio do enxadão e da tesoura de poda, respectivamente.

As folhas e raízes foram secas a 40 °C durante 72 horas (Ferreira et al., 2007) e trituradas em moinho industrial, para a obtenção do material vegetal seco (pó). Os frutos foram pesados e triturados em um liquidificador industrial durante cinco minutos, resultando no material vegetal fresco.

O extrato aquoso foi preparado na proporção de 100 g de material vegetal seco ou fresco para 1000 mL de água destilada, produzindo-se o extrato 10%, considerado concentrado. O extrato permaneceu por 30 minutos em repouso a 4 °C e em seguida foi filtrado a vácuo, utilizando-se uma bomba elétrica acoplada a um funil de Buchner forrado internamente com papel de filtro (Gatti et al., 2004). O extrato resultante foi recolhido em um béquer e, a partir desse extrato concentrado, foram feitas diluições em água destilada para 7,5; 5,0 e 2,5%.

2.2. Potencial osmótico e pH dos extratos

2.2.1. pH

O pH foi medido com o auxílio do pHmetro Analion, modelo PM608. Essa medição foi realizada com os extratos dos diferentes órgãos de *Sapindus saponaria* em sua maior concentração (10%), sendo mantidos a 25°C.

2.2.2. Potencial osmótico

A medição da concentração molar, expressa em mOsm/Kg, foi realizada com um osmômetro automático (μ Osmotte, modelo 5004), utilizando-se 50 μ L de cada extrato concentrado mantidos à temperatura de 25°C.

Os valores da concentração molar foram convertidos para pressão osmótica (25 °C) pela conversão de mOsm/Kg para MPa, segundo a equação 1.1 citada por Larcher (2000):

$$1\text{Osm/Kg} = 0,00832 \times T_{\text{abs}}, \quad (\text{eq. 1.1})$$

onde:

T_{abs} : temperatura absoluta, expressa em graus Kelvin.

2.3. Teste de germinação de diásporos

As quatro concentrações obtidas a partir dos extratos de raízes, frutos, folhas jovens e maduras foram aplicadas nas cipselas de *Lactuca sativa* (Asteraceae, alface), cultivar Grand rapids e nas sementes de *Allium cepa* (Alliaceae, cebola), cultivar Baia periforme, para avaliação do processo de germinação, em comparação com a aplicação de água destilada (tratamento controle).

Foram utilizadas quatro repetições de 30 diásporos, distribuídos em placas de Petri forradas com duas folhas de papel de filtro umedecidas com 5 mL do extrato ou água, sendo cobertas por uma película plástica e posteriormente tampadas. O experimento foi instalado em câmara de germinação a 25 °C, sob luz fluorescente branca constante e irradiância média de $12,26 \pm 6,49 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$, conforme recomendações de Povh et al. (2007) e Iganci et al. (2006). O delineamento experimental foi inteiramente casualizado. As leituras foram realizadas a cada 12 horas durante os sete primeiros dias e em intervalos de 24 horas, até a estabilização da germinação, adotando-se a protrusão de qualquer parte do embrião como critério de germinação (Labouriau, 1983).

2.3.1. Características avaliadas

Foi avaliado o tempo inicial (t_0) e final (t_f) de germinação dos diásporos, expressos em horas. O tempo final foi determinado após a estabilização dos eventos; por segurança, após a última germinação, o experimento continuou sendo avaliado por tempo igual ao maior intervalo entre dois registros (Ferreira, 2007).

Foram ainda calculadas as medidas de germinabilidade, frequência relativa de germinação, tempo e velocidade média de germinação, velocidade de germinação de Maguire, coeficiente de variação do tempo, incerteza e sincronia (Ranal & Santana, 2006), cujas expressões matemáticas seguem abaixo:

a) germinabilidade ou porcentagem de germinação (G), expressa pela equação 1.2:

$$G = \frac{\sum n_i}{n} 100, \quad (\text{eq. 1.2})$$

onde:

n_i : número de diásporos que germinam no tempo t_i ;

n : número total de diásporos.

b) frequência relativa de germinação (f_i), expressa por:

$$f_i = \frac{n_i}{\sum_{i=1}^k n_i}, \quad (\text{eq. 1.3})$$

em que:

n_i : número de diásporos germinados no dia i ;

k : último dia de observação.

c) tempo médio de germinação (\bar{t}), calculado pela expressão proposta por Labouriau (1983):

$$\bar{t} = \frac{\sum_{i=1}^k n_i t_i}{\sum_{i=1}^k n_i}, \quad (\text{eq. 1.4})$$

em que:

t_i : tempo entre o início do experimento e a i ésima observação (horas);

n_i : número de diásporos que germinam no tempo t_i ;

k : último tempo de germinação dos diásporos.

d) coeficiente de variação do tempo (CV_t), proposto por Ranal & Santana (2006), que mede o grau de dispersão da germinação ao redor do tempo médio, sendo calculado a partir do tempo médio e do desvio padrão do tempo, usando a expressão:

$$CV_t = (s_t / \bar{t}) 100, \quad (\text{eq. 1.5})$$

onde:

s_t : desvio padrão do tempo;

\bar{t} : tempo médio de germinação.

O desvio padrão do tempo foi calculado pela expressão: $s_t = \sqrt{s_t^2}$, onde: s_t^2 : variância do tempo de germinação, calculada pela expressão:

$$s_t^2 = \frac{\sum_{i=1}^k n_i (t_i - \bar{t})^2}{\sum_{i=1}^k n_i - 1}, \quad (\text{eq. 1.6})$$

onde:

\bar{t} : tempo médio de germinação;

t_i : tempo entre o início do experimento e a i -ésima (dia) observação;

n_i : número de diásporos que germinam no tempo t_i ;

k : último tempo de germinação dos diásporos.

e) velocidade média de germinação (\bar{v}) (Labouriau, 1983), calculada como:

$$\bar{v} = \frac{1}{\bar{t}}, \quad (\text{eq. 1.7})$$

onde:

\bar{t} : tempo médio de germinação.

f) velocidade de germinação (VG), proposta por Maguire (1962), é uma ferramenta para avaliar o vigor das sementes, cuja expressão matemática que associa número de diásporos germinados e tempo é dada por:

$$VG = \frac{\text{número de diásporos germinados}}{\text{dias até a primeira contagem}} + \dots + \frac{\text{número de diásporos germinados}}{\text{dias até a última contagem}} \quad (\text{eq. 1.8})$$

g) incerteza (I), proposta por Labouriau & Valadares (1976) para analisar a incerteza associada à distribuição da frequência relativa de germinação como,

$$I = - \sum_{i=1}^K f_i \log_2 f_i, \quad (\text{eq. 1.9})$$

Sendo $f_i = n_i / \sum_{i=1}^k n_i$, onde:

f_i : frequência relativa de germinação;

n_i : número de diásporos germinados no dia i ;

k : último dia de observação.

h) sincronia (Z) do processo de germinação (Ranal & Santana, 2006), calculada pela expressão:

$$Z = \sum C_{n_i,2} / N, \quad (\text{eq. 1.10})$$

Sendo, $C_{n_i,2} = n_i(n_i - 1)/2$ e $N = \sum n_i(\sum n_i - 1)/2$, onde:

$C_{n_i,2}$: combinação de diásporos germinados no tempo i , dois a dois;

n_i : número de diásporos germinados no tempo i .

2.3.2. Experimento com PEG

Para avaliar o efeito osmótico dos extratos obtidos, foi realizado um bioensaio de germinação com diásporos de *Lactuca sativa* e *Allium cepa*, em soluções de polietilenoglicol 6000 (PEG 6000) a -0,2 e -0,3 MPa, além do controle (0 MPa), segundo recomendações de Villela et al. (1991). O experimento foi realizado utilizando-se a mesma metodologia descrita para o bioensaio de germinação.

2.4. Morfologia de plântulas

Na análise da morfologia de plântulas de alface e cebola foram utilizados diásporos pré-germinados, com 3 mm de raiz, transferidos para caixas de plástico transparente (21,0 x 14,3 x 6,0 cm) contendo como substrato papel de filtro umedecido com 15 mL de água, extratos de raízes, frutos, folhas jovens e maduras nas concentrações utilizadas no teste de germinação. As caixas

foram mantidas em câmara de germinação a 25 °C, com fotoperíodo de 12 horas e irradiância média de $13,38 \pm 7,96 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$, sendo utilizadas quatro repetições de 20 plântulas. O delineamento adotado foi inteiramente casualizado. Sete dias após o transplântio foram avaliados o comprimento da parte aérea, da raiz primária, a massa da matéria seca e a presença de anomalias. O comprimento da parte aérea (do colo até o meristema caulinar) e da raiz primária (do colo até o meristema radicular) foi medido a partir de uma amostra aleatória de 10 plântulas por repetição, utilizando-se paquímetro.

As plântulas foram classificadas em normais e anormais, de acordo com as especificações de Brasil (1992), onde foram consideradas anormais aquelas que não mostraram potencial para continuar o seu desenvolvimento, com o sistema radicular ou a parte aérea apodrecidos, necrosados, ausentes ou totalmente atrofiados; também foram incluídas na classificação as plântulas mortas.

Depois de realizadas as classificações e as medidas biométricas, as 20 plântulas foram colocadas em sacos de papel e inseridas em estufa a 70 °C, durante 48 horas. A cada 24 horas o material vegetal foi retirado e mantido em um dessecador para ser avaliado em balança analítica de precisão, até massa constante.

2.5. Análise estatística

Os dados obtidos para cada uma das características avaliadas foram submetidos aos testes de normalidade (Shapiro-Wilk) e homogeneidade (Levene). Quando essas duas pressuposições foram atendidas, foi aplicada a análise de variância (ANOVA), seguida pelo teste de Tukey a 0,05 de significância. A falta de normalidade ou homogeneidade (ou ambas) levou à realização de testes não-paramétricos, Kruskal-Wallis, seguido de Dunn para comparações binárias, a 0,01 de significância.

Procedeu-se à regressão linear, quadrática ou exponencial quando o resultado da ANOVA foi significativo. O ajuste do modelo foi testado a 0,05 de significância e avaliado pelo seu coeficiente de determinação (R^2); porém, em situações onde não foi possível o ajuste dos modelos (R^2 inferior a 70%), os valores foram inseridos em uma tabela, sem representação gráfica. Para as variáveis que não apresentaram diferenças significativas entre os tratamentos os resultados foram representados em figuras, com seus respectivos desvios padrão.

As equações das regressões lineares foram submetidas ao teste do paralelismo (teste F) para verificar a hipótese de nulidade, testando-se se as inclinações das equações são estatisticamente iguais, conforme descrito por Rohlf & Sokal (1969).

Foi realizada a análise conjunta dos dados de germinabilidade e velocidade média de germinação referentes aos quatro órgãos da espécie *Sapindus saponaria*, uma vez que a razão entre o maior e o menor quadrado médio residual não foi superior a sete (Pimentel-Gomes, 1990).

3. Resultados e Discussão

3.1. Teste de germinação e análise morfológica das plântulas

3.1.1. Folhas maduras

O extrato de folhas maduras de *Sapindus saponaria* inibiu significativamente a germinação dos diásporos de alface e cebola, para a maioria das medidas avaliadas. Observou-se decréscimo linear na germinabilidade (2,23 e 4,23% para cada adição de 0,01 mg mL⁻¹ de extrato, para os diásporos de alface e cebola, respectivamente), na velocidade média de germinação (0,00079 horas⁻¹ para alface e 0,00049 horas⁻¹ para cebola para cada 0,01 mg mL⁻¹ de extrato) e na velocidade de germinação de Maguire (0,04738 sementes horas⁻¹ para alface e 0,02784 sementes horas⁻¹ para cebola, para cada 0,01 mg mL⁻¹ de extrato) (Figura 1). Como consequência disto, houve aumento linear no tempo médio de germinação (2,79 e 3,51 horas para cada 0,01 mg mL⁻¹ de extrato, para os diásporos de alface e cebola, respectivamente) e redução linear no coeficiente de variação do tempo para as cipselas de alface (3,75% para cada 0,01 mg mL⁻¹ de extrato), indicando na concentração de 10%, para essa espécie, pequena dispersão ao redor do tempo médio de germinação (Figura 1). O tempo final de germinação das sementes de cebola foi maior na concentração 5% (186 horas); no entanto, seus valores não se ajustaram aos modelos de regressão (Tabela 3). Para as sementes de cebola, a incerteza sofreu aumento linear de 0,066 bits, para cada 0,01 mg mL⁻¹ de extrato, enquanto a sincronia foi reduzida linearmente em 0,0135 para alface e 0,017 para cebola, para cada 0,01 mg mL⁻¹ de extrato, mostrando, assim, na concentração 10%, falta de sobreposição da germinação dos diásporos no tempo (Figura 1). Essa assincronia pode ser confirmada pelo gráfico de frequência relativa de germinação, pois enquanto no tratamento controle cerca de 45% (alface) e 50% (cebola) dos diásporos germinaram em um único intervalo (24 e 48 horas, respectivamente), na concentração de 10% apenas 23% (alface) e 18% (cebola) dos diásporos germinaram (72 e 96 horas, respectivamente) (Figura 2).

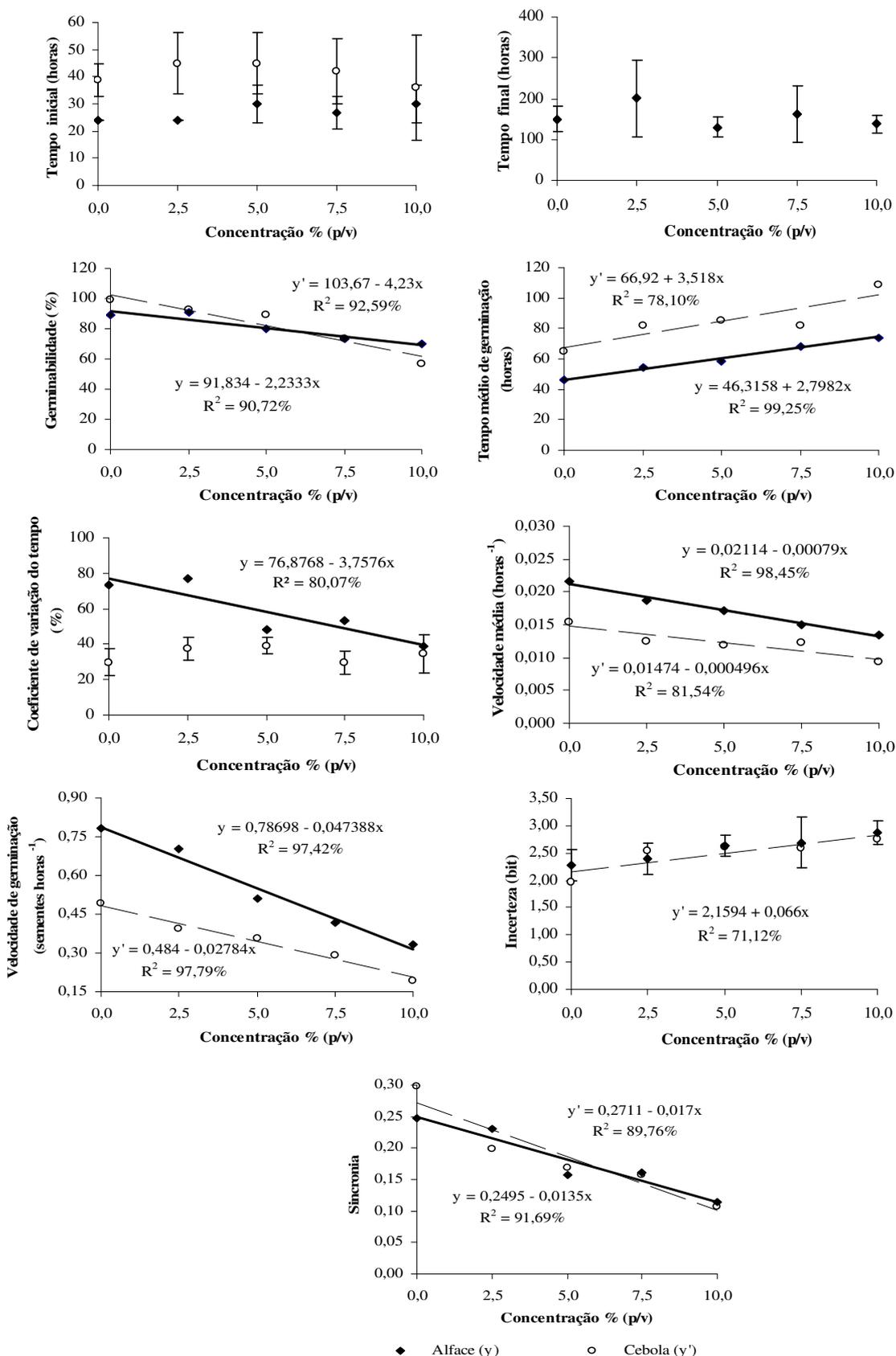


Figura 1. Tempo inicial e final, germinabilidade, tempo médio de germinação, coeficiente de variação do tempo, velocidade média de germinação, velocidade de germinação, incerteza e sincronia do processo de germinação de diásporos de *Lactuca sativa* (alfaca) e *Allium cepa* (cebola) submetidos à ação do extrato de folhas maduras de *Sapindus saponaria* em diferentes concentrações.

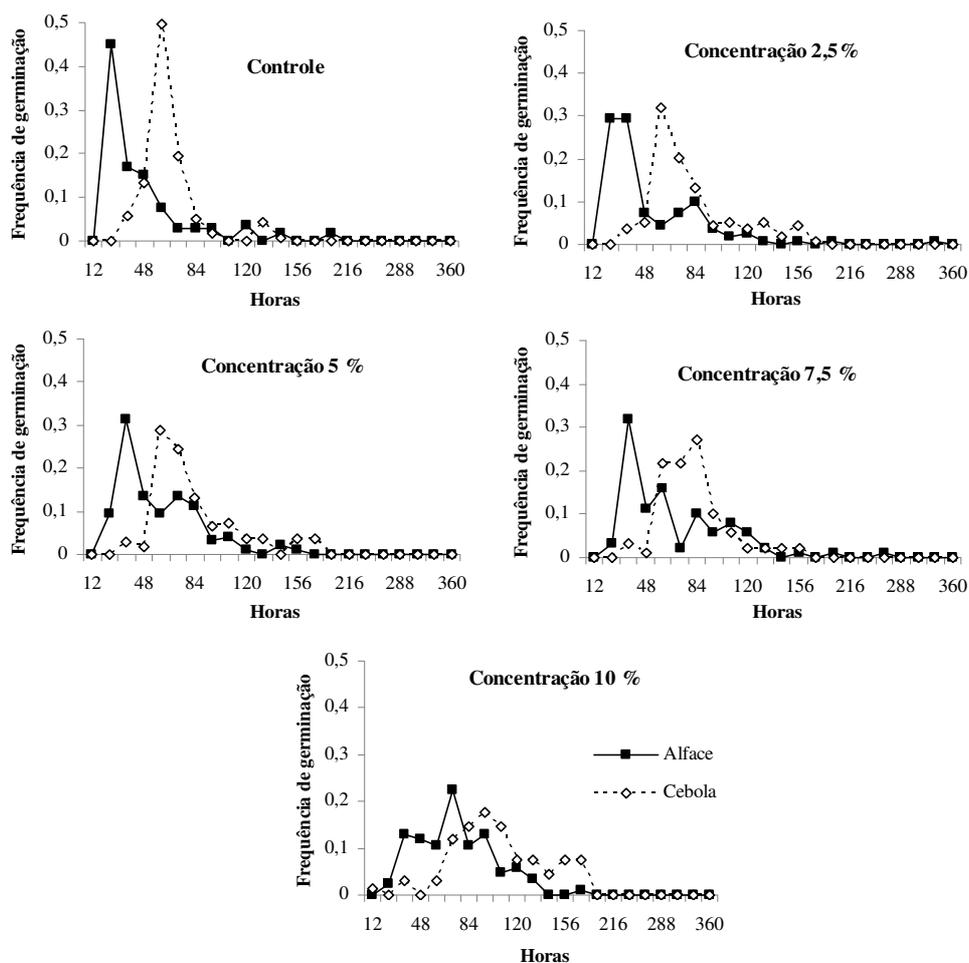


Figura 2. Frequência relativa de germinação de diásporos de *Lactuca sativa* (alface) e *Allium cepa* (cebola) submetidos à ação do extrato de folhas maduras de *Sapindus saponaria* em diferentes concentrações.

Comparando as linhas de tendências das regressões lineares, notou-se que para a porcentagem de germinação, velocidade média e velocidade de germinação de Maguire dos diásporos submetidos ao efeito do extrato de folhas maduras, os maiores decrementos ocorreram para as sementes de cebola. Porém, para o tempo médio de germinação e sincronia, as duas espécies apresentaram comportamentos similares (Figura 1, Tabela 1).

Para as variáveis analisadas no processo de germinação que não apresentaram diferenças significativas entre os tratamentos, sob ação dos extratos de folhas maduras, as regressões não puderam ser aplicadas e os valores encontram-se na figura 1 e tabelas 2 e 3. Dentre estes valores, a análise estatística não detectou diferenças significativas para o tempo inicial e final de germinação dos diásporos de cebola e alface, respectivamente, uma vez que estes apresentaram desvio padrão muito alto (Figuras 1 e Tabelas 2 e 3). Esta informação indica a alta variabilidade presente nesses diásporos e a importância de se realizar outros testes como a análise morfológica das plântulas para detectar o efeito aleloquímico de extratos testados.

Pode-se observar que várias variáveis do processo de germinação foram afetadas pelos compostos do extrato de folhas maduras de *Sapindus saponaria*. Como citado por Ferreira & Borghetti (2004), muitas vezes o efeito alelopático não é apenas sobre a germinabilidade, mas também, sobre a velocidade de germinação ou outras características do processo.

Os extratos aquosos oriundos de folhas de várias espécies arbóreas como *Aristolochia esperanzae* O. Kuntze (papo-de-peru) (Gatti et al., 2004), *Parthenium hysterophorus* L. (losna-branca) (Wakjira, et al., 2006), *Bauhinia candicans* Benth. (pata-de-vaca) e *Luehea divaricata* Mart. et. Zucc. (açoita-cavalo) (Souza et al., 2005), também exerceram efeito inibitório sobre a germinação das cipselas de alface, confirmando o motivo desta espécie ser considerada bioindicadora de atividade alelopática.

As cipselas de alface são amplamente utilizadas em testes de alelopatia e são conhecidas pela sua sensibilidade aos extratos vegetais que, por sua vez, têm o potencial de inibir não só a germinabilidade, mas também de diminuir o tempo médio e o índice de velocidade de germinação (IVG), apresentando inibição dose-dependente (Souza et al., 2005; Povh et al., 2007; Wandscheer & Pastorini, 2008).

Na análise morfológica das plântulas submetidas à ação do extrato de folhas maduras de *Sapindus saponaria* em diferentes concentrações, a porcentagem de plântulas normais de alface e cebola variou de 96,25% (controle) para 0% (concentração 10%) e de 95% (controle) para 1,25% (concentração 10%), respectivamente (Figuras 3 e 4). Para ambas as espécies, a maior quantidade de plântulas mortas foi registrada na concentração 10% (13,75% para alface e 21,25% para cebola). As plântulas de alface e cebola apresentaram menores comprimentos da parte aérea (9,13 mm para alface e 12,11 mm para cebola) nas concentrações 7,66 e 10%, respectivamente. O menor comprimento da raiz (3,57 mm para alface e 2,39 mm para cebola) foi registrado nas concentrações 7,59 e 10% para as plântulas de alface e cebola, respectivamente (Figuras 3 e 4). A massa da matéria seca das plântulas das duas espécies não apresentou diferenças significativas entre os tratamentos (Figura 5).

Os extratos de folhas provenientes de outras plantas doadoras, como a magnólia (*Magnolia grandiflora* L.) e o eucalipto-vermelho (*Eucalyptus camaldulensis* Dehnh.), também influenciaram o crescimento das plântulas de alface e cebola, reduzindo principalmente o comprimento radicular, com efeitos inibitórios concentração-dependente (Moradshahi et al., 2003; Abdelgaleil & Hashinaga, 2007).

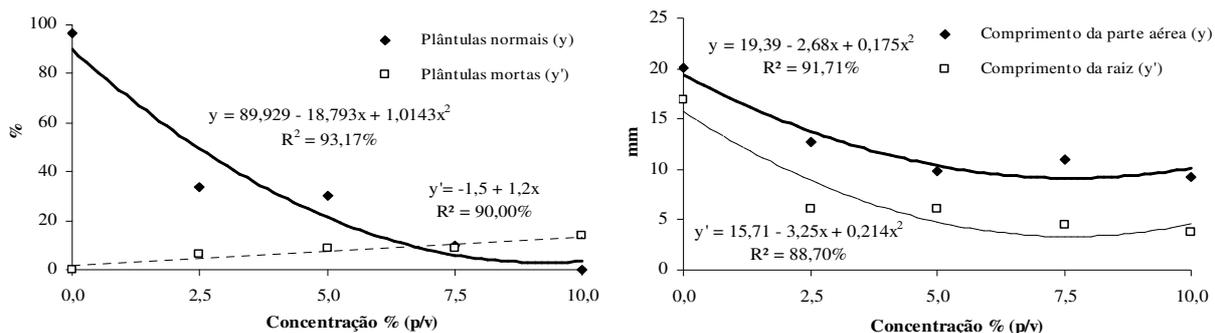


Figura 3. Porcentagem de plântulas normais, plântulas mortas, comprimento da parte aérea e da raiz de *Lactuca sativa* (alface) submetidas à ação do extrato de folhas maduras de *Sapindus saponaria* em diferentes concentrações.

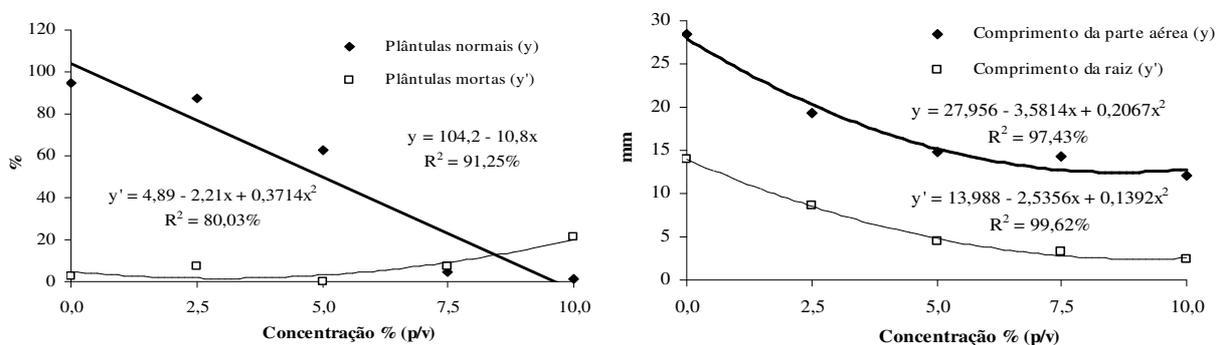


Figura 4. Porcentagem de plântulas normais, plântulas mortas, comprimento da parte aérea e da raiz de *Allium cepa* (cebola) submetidas à ação do extrato de folhas maduras de *Sapindus saponaria* em diferentes concentrações.

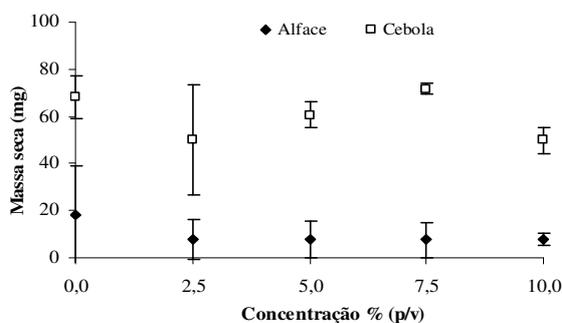


Figura 5. Massa da matéria seca das plântulas de *Lactuca sativa* (alface) e *Allium cepa* (cebola) submetidas à ação do extrato de folhas maduras de *Sapindus saponaria* em diferentes concentrações.

3.1.2. Folhas jovens

O extrato aquoso das folhas jovens de *Sapindus saponaria* exerceu intenso efeito alelopático sobre o processo de germinação dos diásporos de alface e cebola. A inibição desse extrato foi acentuada sobre a alface, sendo que a partir da concentração 7,5% nenhuma cipsela germinou (Figura 6). Essa baixa frequência relativa de germinação das cipselas de alface também pode ser

observada na figura 7. O tempo final de germinação das sementes de cebola apresentou valor máximo estimado de 169 horas na concentração 4,11% e uma redução linear na germinabilidade (8% para cada adição de $0,01 \text{ mg mL}^{-1}$ de extrato). Além disso, o coeficiente de variação do tempo (12,13%), a incerteza (0,73 bits) e a velocidade de germinação das sementes de cebola ($0,02666 \text{ sementes horas}^{-1}$) foram menores na concentração 10%, indicando, assim, germinação tardia e maior homogeneidade das sementes germinadas nesta concentração (Figura 6). Para as variáveis que não foram citadas, não houve diferença significativa entre as concentrações (Figura 6 e Tabelas 2 e 3).

Com relação à frequência relativa de germinação, observou-se em relação ao controle, que o processo de germinação das sementes de cebola submetidas ao efeito do extrato aquoso de folhas jovens foi mais espalhado no tempo, apresentando maior quantidade de picos (Figura 7).

Os extratos de folhas de *Machaerium acutifolium*, na concentração 10%, também inibiram 100% a porcentagem de germinação das sementes de alface em relação ao controle, enquanto nas concentrações 2 e 4%, não houve diferenças significativas entre suas médias (Povh et al., 2007).

A idade e o desenvolvimento da planta, bem como os diferentes órgãos vegetais, são de considerável importância e podem influenciar a quantidade total de metabólitos produzidos (Jenks et al., 1996; Gobbo-Neto & Lopes, 2007). A maior quantidade de antraquinonas nas folhas de *Rheum undulatum* L. foi observada na primavera (abril), seguida por queda contínua durante o verão, com as menores quantidades registradas em setembro (Paneitz & Westendorf, 1999). Tal padrão sazonal pode refletir o *trade-off* entre o desenvolvimento da planta e sua defesa (Waterman & Mole, 1989; Izhaki, 2002).

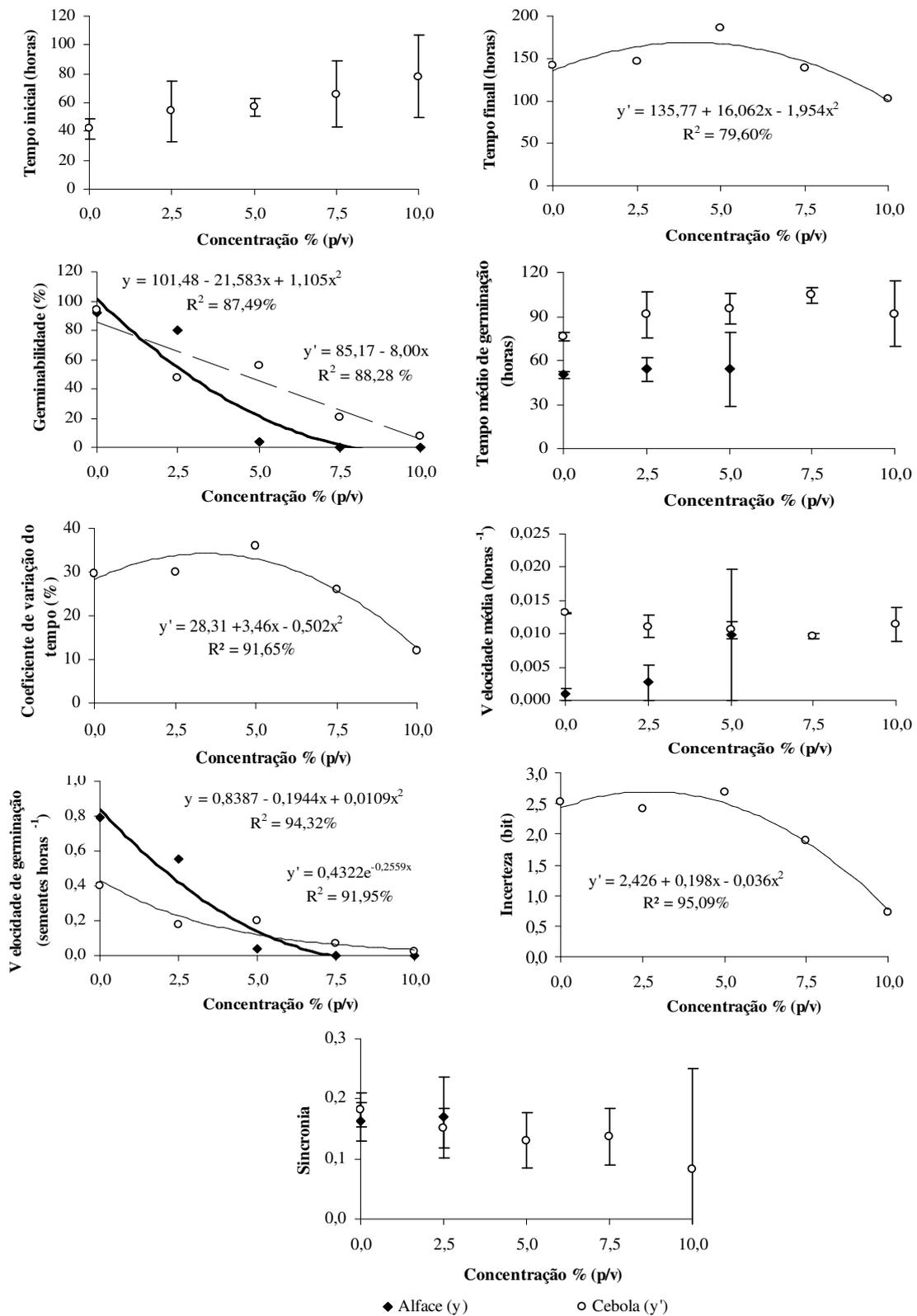


Figura 6. Tempo inicial e final, germinabilidade, tempo médio de germinação, coeficiente de variação do tempo, velocidade média de germinação, velocidade de germinação, incerteza e sincronia do processo de germinação de diásporos de *Lactuca sativa* (alface) e *Allium cepa* (cebola) submetidos à ação do extrato de folhas jovens de *Sapindus saponaria* em diferentes concentrações.

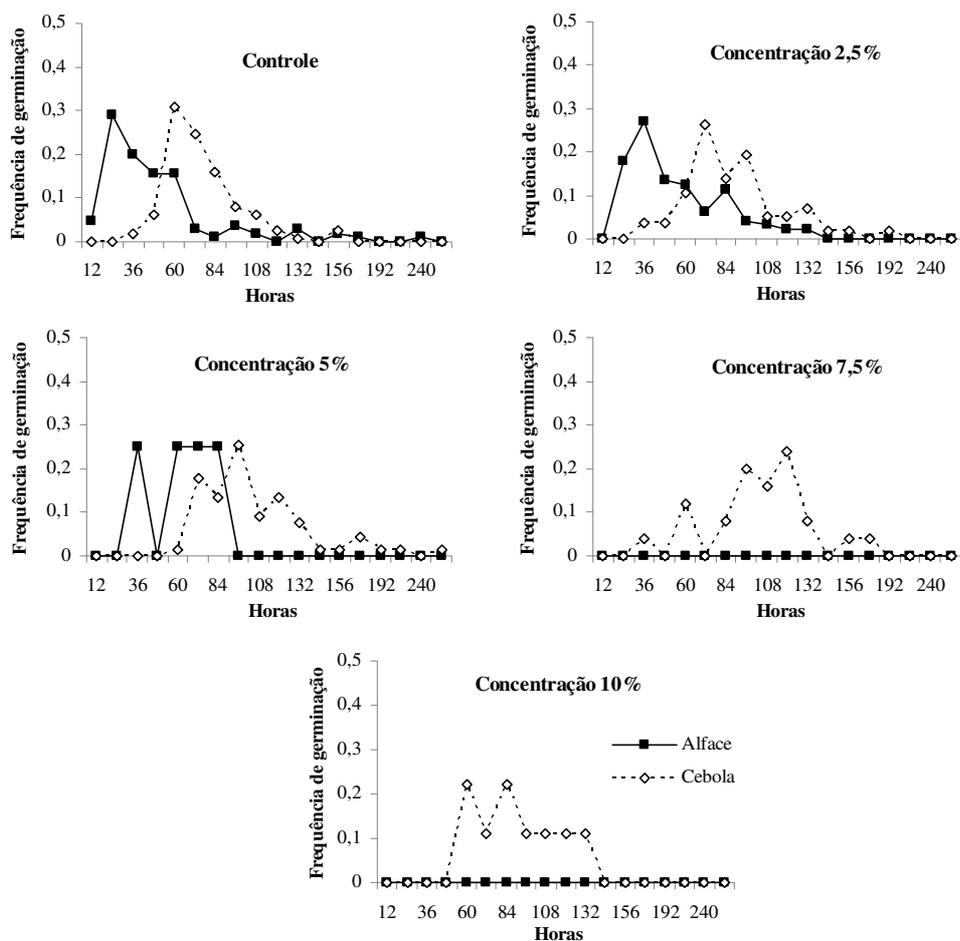


Figura 7. Frequência relativa de germinação de diásporos de *Lactuca sativa* (alface) e *Allium cepa* (cebola) submetidos à ação do extrato de folhas jovens de *Sapindus saponaria* em diferentes concentrações.

A ausência de plântulas normais de alface, submetidas à ação do extrato aquoso de folhas jovens de *Sapindus saponaria*, pode ser notada a partir da concentração 2,5%; enquanto para a cebola, a partir da concentração 5% (Figuras 8 e 9). Além disso, notou-se aumento linear de 6,05% para cada adição de $0,01 \text{ mg mL}^{-1}$ de extrato na porcentagem de plântulas mortas de alface e, na concentração 12,55%, o máximo estimado de plântulas mortas de cebola foi de 91,32% (Figuras 8 e 9). O menor comprimento da parte aérea foi observado para as plântulas de alface (0 mm) e cebola (5,67 mm) nas concentrações 7,30 e 7,59%, respectivamente. O comprimento radicular estimado foi nulo (0 mm) nas concentrações 6,95% (alface) e 7,09% (cebola) (Figuras 8 e 9). A massa da matéria seca das plântulas de alface apresentou média mínima na concentração estimada de 7,06% (28,67 mg), enquanto para a cebola não houve diferença significativa entre as concentrações (Figura 10).

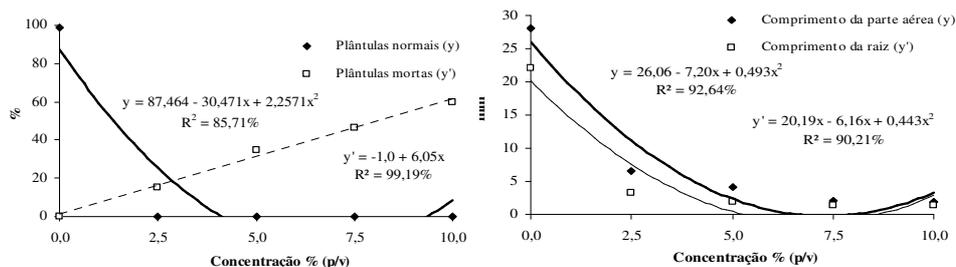


Figura 8. Porcentagem de plântulas normais, plântulas mortas, comprimento da parte aérea e da raiz de *Lactuca sativa* (alface) submetidas à ação do extrato de folhas jovens de *Sapindus saponaria* em diferentes concentrações.

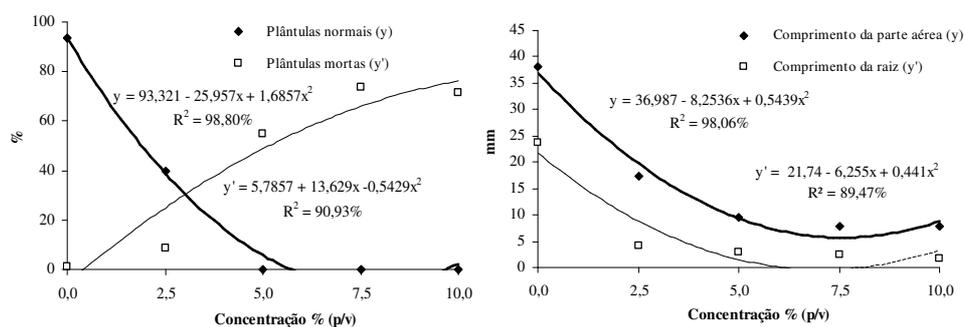


Figura 9. Porcentagem de plântulas normais, plântulas mortas, comprimento da parte aérea e da raiz de *Allium cepa* (cebola) submetidas à ação do extrato de folhas jovens de *Sapindus saponaria* em diferentes concentrações.

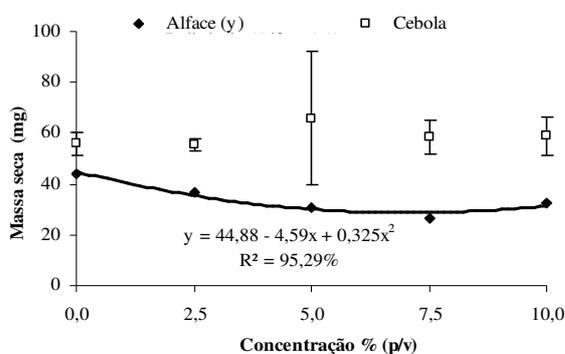


Figura 10. Massa da matéria seca das plântulas de *Lactuca sativa* (alface) e *Allium cepa* (cebola) submetidas à ação do extrato de folhas jovens de *Sapindus saponaria* em diferentes concentrações.

Resultados semelhantes foram observados por Medeiros & Luchesi (1993), em que, na concentração 25% de extrato de ervilha (*Vicia sativa* L.), ocorreu a protrusão radicular; porém, com deformação no hipocótilo e não desenvolvimento dos pêlos absorventes na alface. Com o aumento da concentração, os danos observados foram mais severos, havendo inibição total da protrusão da radícula.

Com relação à morfologia das plântulas de cebola, há registros que os extratos de frondes verdes de *Dicranopteris flexuosa* (Schrad.) Underw. e *Sticherus penniger* (Mart) Copel. não interferiram, significativamente, no comprimento médio da radícula (Müller, et al., 2007), enquanto o extrato de folhas de *Helianthus annuus* L. estimularam este crescimento radicular (Macias et al., 1998).

3.1.3. Frutos

O fruto de *Sapindus saponaria* também exerceu efeito significativo sobre o processo de germinação das hortaliças. O início da germinação das cipselas de alface variou entre 24 e 33 horas, nas diferentes concentrações (Figura 12) e o tempo final de germinação das sementes de cebola foi menor no tratamento controle e nas concentrações 7,5 e 10% (Tabela 3). Para as cipselas de alface, houve decréscimo linear na germinabilidade (1,77% para cada adição de 0,01 mg mL⁻¹ de extrato), na velocidade média de germinação (0,00076 horas⁻¹ para cada 0,01 mg mL⁻¹ de extrato) e na velocidade de germinação de Maguire (0,0364 sementes horas⁻¹ para cada 0,01 mg mL⁻¹ de extrato) e, em contrapartida, ocorreu aumento linear no tempo médio de germinação (2,33 horas para cada 0,01 mg mL⁻¹ de extrato) (Figura 12). As sementes de cebola apresentaram valores mínimos de germinabilidade (53,75 %) na concentração 7,44% e acréscimo linear de 1,69 horas para cada adição de 0,01 mg mL⁻¹ de extrato, no tempo médio de germinação. Em decorrência disso, a menor média estimada para a velocidade média (0,0124 horas⁻¹) e velocidade de germinação de Maguire (0,2195 sementes horas⁻¹) das sementes de cebola, ocorreu nas concentrações 7,14 e 7,60%, respectivamente (Figura 12). De acordo com o teste-*F*, pode-se dizer que as linhas de tendências das regressões lineares do tempo médio de germinação apresentaram as mesmas taxas de incrementos para as duas espécies-alvo (Tabela 1). Os valores referentes ao coeficiente de variação do tempo das sementes de cebola não apresentaram ajuste linear ou quadrático, indicando aumentos e declínios variados, dependendo da concentração, com menores médias no controle e nas concentrações 7,5 e 10% (Tabela 3). A incerteza do processo de germinação das cipselas de alface apresentou maior índice (2,81 bits) na concentração estimada de 7,25% e sincronia mínima (0,13) na concentração estimada de 9%, enquanto para as sementes de cebola houve decréscimo linear na sincronia do processo de germinação de 0,01241 para cada 0,01 mg mL⁻¹ de extrato (Figura 12).

Essa assincronia na germinabilidade pode ser notada pela frequência relativa de germinação dos diásporos de alface e cebola, pois enquanto é observada no controle alta frequência em um único intervalo (37% para alface e 40% para cebola), nas diferentes concentrações essa germinação é espalhada no tempo (Figura 11). As variáveis que não foram citadas acima não apresentaram diferenças significativas entre as concentrações (Figura 12 e Tabelas 2 e 3).

Os frutos da *Sapindus saponaria* apresentam múltiplas atividades biológicas como ação moluscicida, atividade piscicida, antiinflamatória, analgésica, expectorante, antioxidante, antiviral, antibacteriana e antifúngica (Murgu, 2002; Sparg et al., 2004). Além disso, exercem efeito alelopático sobre a germinação de sementes e alterações morfológicas nas plântulas de alface e cebola.

Frutos maduros de *Solanum* freqüentemente contêm glicoalcalóides que possuem múltiplos efeitos ecológicos, tais como inibição da germinação, efeitos laxativos sobre os mamíferos e dissuasão dos herbívoros (Cipollini, 2000). Wink (1999) afirma que as múltiplas funções dos metabólitos secundários são comuns e não contradizem o seu papel principal de defesa química e sinalização. Além disso, ele argumenta que a seleção natural favorecerá aqueles metabólitos que possuem múltiplas funções.

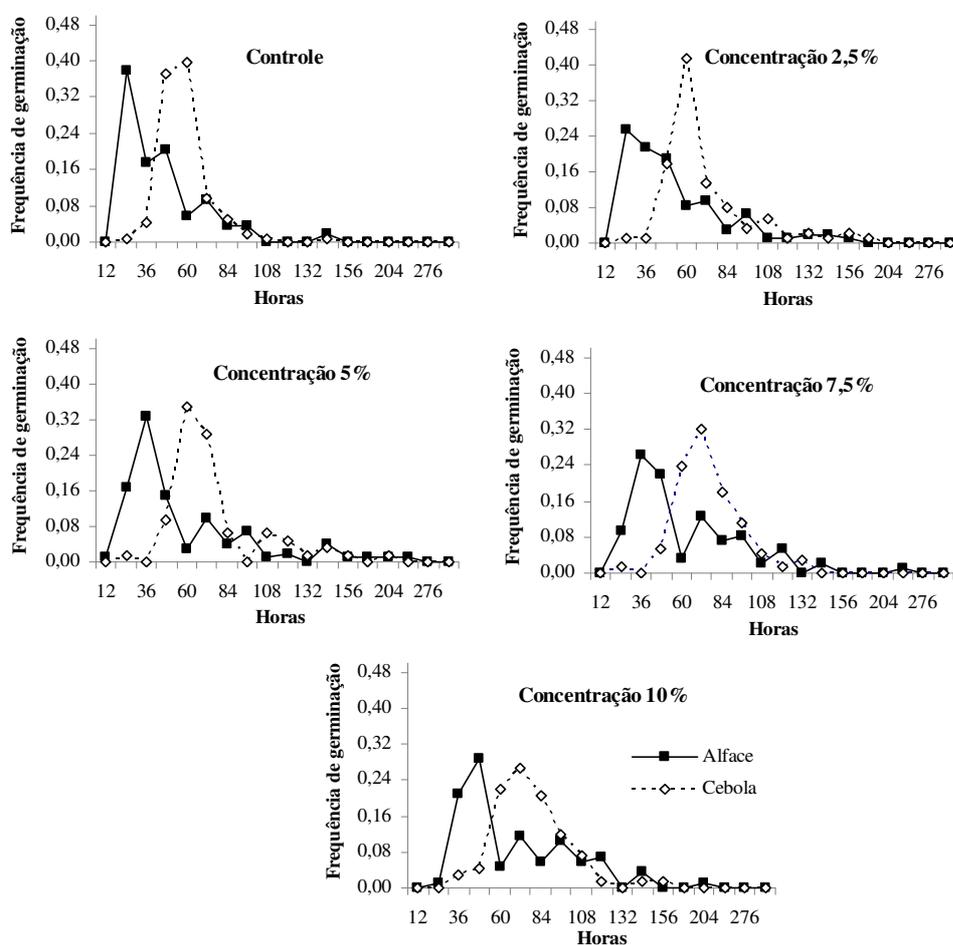


Figura 11. Frequência relativa de germinação de diásporos de *Lactuca sativa* (alface) e *Allium cepa* (cebola) submetidos à ação do extrato de fruto de *Sapindus saponaria* em diferentes concentrações.

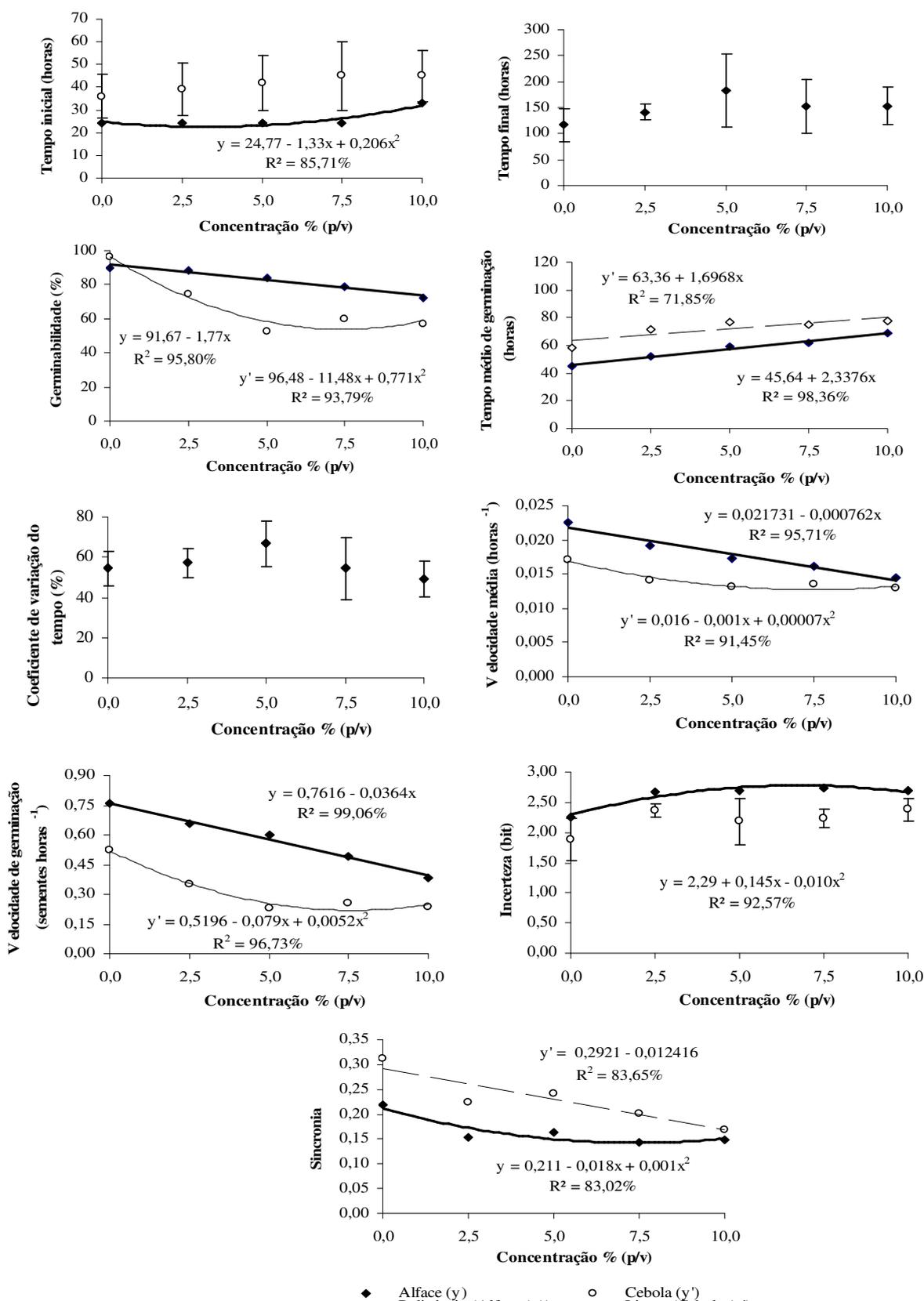


Figura 12. Tempo inicial e final, germinabilidade, tempo médio de germinação, coeficiente de variação do tempo, velocidade média de germinação, velocidade de germinação, incerteza e sincronia do processo de germinação de diásporos de *Lactuca sativa* (alface) e *Allium cepa* (cebola) submetidos à ação do extrato de fruto de *Sapindus saponaria* em diferentes concentrações.

Como no extrato de folhas jovens, a porcentagem de plântulas normais de alface e cebola, submetidas à ação do extrato aquoso de frutos de *Sapindus saponaria*, foi nula a partir da concentração 2,5% e 5%, respectivamente. No entanto, para ambas as espécies, na concentração 10% nenhuma plântula sobreviveu, mostrando, assim, a eficiência desse extrato em alterar a morfologia e inibir o desenvolvimento das plântulas (Figuras 13 e 14). Com isso, o comprimento da parte aérea e da raiz primária das plântulas de alface foi nulo a partir das concentrações estimadas de 7,79 e 7,58%, respectivamente. Para as plântulas de cebola, verificou-se decréscimo linear no comprimento da parte aérea de 3,839 mm para cada adição de 0,01 mg mL⁻¹ de extrato e, no comprimento radicular valores nulos a partir da concentração estimada de 7,09% (Figuras 13 e 14). A massa da matéria seca das plântulas de alface e cebola não apresentou diferença significativa entre as diferentes concentrações (Figura 15).

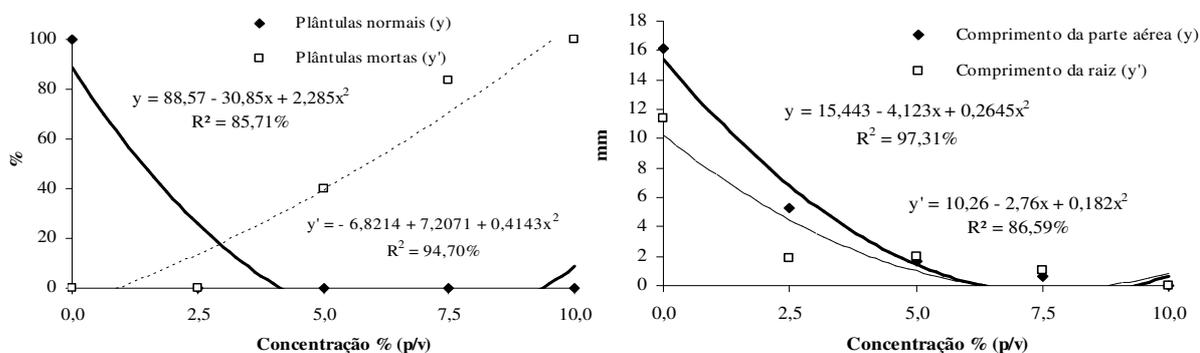


Figura 13. Porcentagem de plântulas normais, plântulas mortas, comprimento da parte aérea e da raiz de *Lactuca sativa* (alface) submetidas à ação do extrato de frutos de *Sapindus saponaria* em diferentes concentrações.

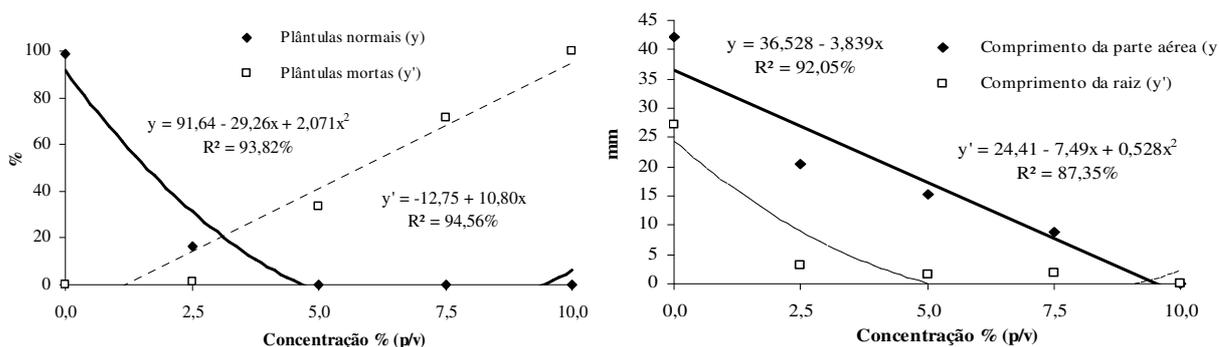


Figura 14. Porcentagem de plântulas normais, plântulas mortas, comprimento da parte aérea e da raiz de *Allium cepa* (cebola) submetidas à ação do extrato de frutos de *Sapindus saponaria* em diferentes concentrações.

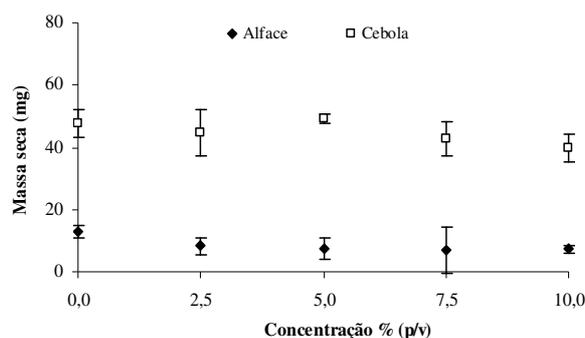


Figura 15. Massa da matéria seca das plântulas de *Lactuca sativa* (alface) e *Allium cepa* (cebola) submetidas à ação do extrato de frutos de *Sapindus saponaria* em diferentes concentrações.

Os extratos de frutos de *Solanum lycocarpum* St.Hil. (lobeira) também reduziram a germinabilidade das sementes e causaram necrose na raiz, ausência de pêlos radiculares e formação de raízes secundárias sobre as plântulas de *Sesamum indicum* L (gergelim) (Oliveira et al., 2004). No entanto, os resultados diferiram de Gatti et al. (2004), uma vez que os extratos aquosos dos frutos de *Aristolochia esperanzae* não influenciaram significativamente o processo germinativo das sementes de alface, em nenhuma das concentrações testadas.

É importante salientar que nos testes realizados com o extrato do fruto de *Sapindus saponaria*, houve alta incidência de fungos, o que pode ter contribuído para a inibição dos diásporos no processo de germinação e pelo não desenvolvimento de suas plântulas. Isto pode estar relacionado com a grande quantidade de açúcares presentes no fruto e por esse extrato ser oriundo do material fresco.

3.1.4. Raízes

As variáveis referentes ao processo de germinação das cipselas de alface submetidas à ação do extrato aquoso da raiz de *Sapindus saponaria* não apresentaram diferenças significativas entre os tratamentos, exceção feita ao coeficiente de variação do tempo, em que houve maior dispersão ao redor do tempo médio de germinação (71%) na concentração 5% (Figura 16 e Tabela 2). Pode-se dizer, então, que o extrato da raiz não exerceu efeito alelopático sobre a germinação das cipselas de alface.

O efeito do extrato da raiz foi significativo para algumas variáveis no processo de germinação das sementes de cebola; porém, seus valores não se ajustaram aos modelos de regressão, sendo apresentados apenas na tabela 3. O maior tempo final (219 horas), tempo médio de germinação (86,49%) e coeficiente de variação do tempo (53,34%) foram registrados na concentração 5%. Em consequência disso, nessa mesma concentração, foi observada a menor velocidade média (0,0117 horas⁻¹) e velocidade de germinação de Maguire (0,3625 sementes horas⁻¹)

¹⁾ (Tabela 3). Isso indica que em altas concentrações desse extrato o efeito inibitório foi atenuado. Da mesma forma, não foi encontrada diferença entre os tratamentos, na distribuição da frequência relativa de germinação dos diásporos das hortaliças (Figura 17).

É importante enfatizar a necessidade de se avaliar diversas variáveis no teste de germinação, pois apesar de não ter ocorrido diferenças na germinabilidade dos diásporos de alface e cebola quando submetidas ao efeito do extrato de raiz, constatou-se que os aleloquímicos atuaram na velocidade, no tempo médio de germinação e no coeficiente de variação do tempo.

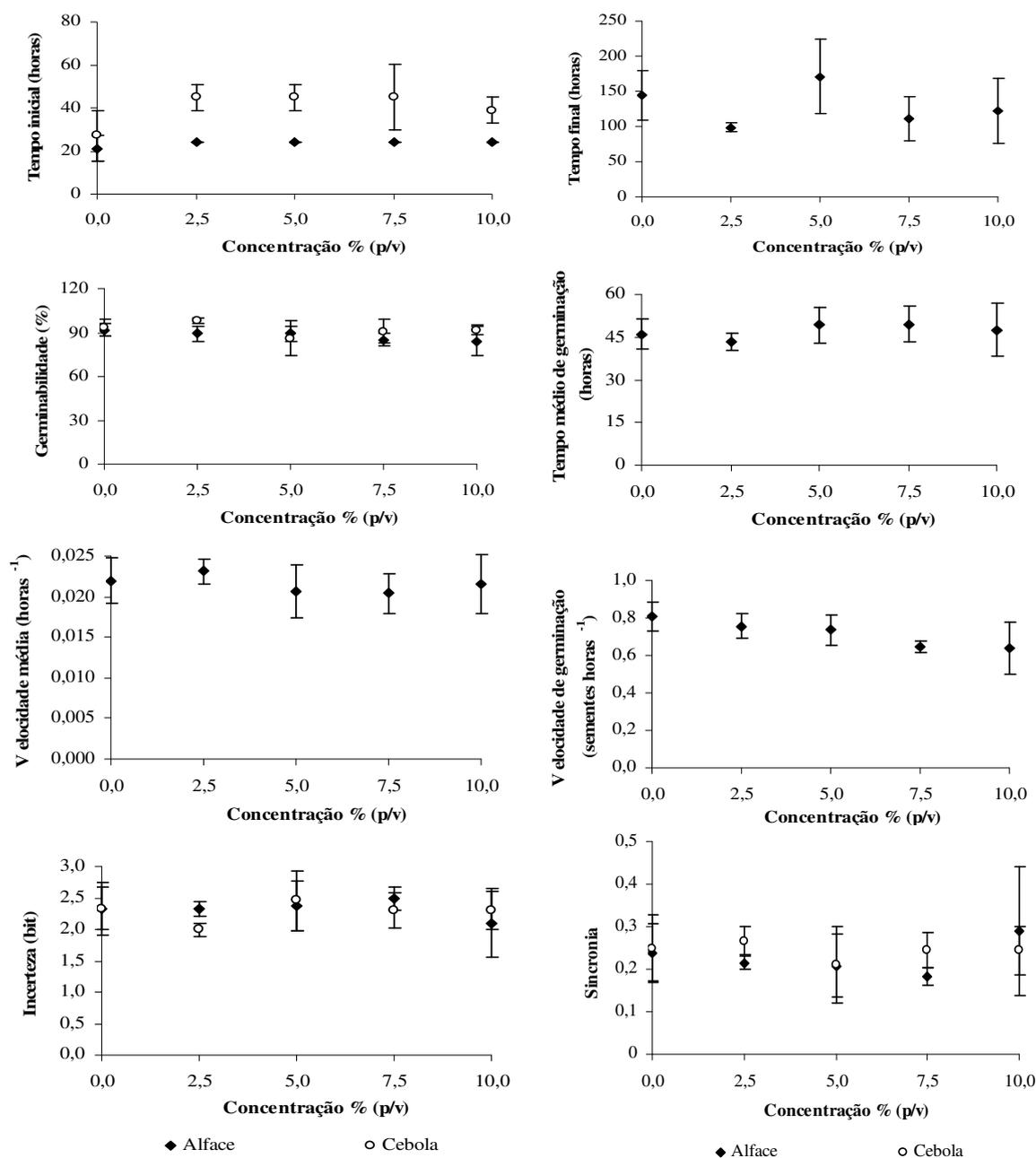


Figura 16. Tempo inicial e final, germinabilidade, tempo médio de germinação, coeficiente de variação do tempo, velocidade média de germinação, velocidade de germinação, incerteza e sincronia do processo de germinação de diásporos de *Lactuca sativa* (alface) e *Allium cepa* (cebola) submetidos à ação do extrato de raiz de *Sapindus saponaria* em diferentes concentrações.

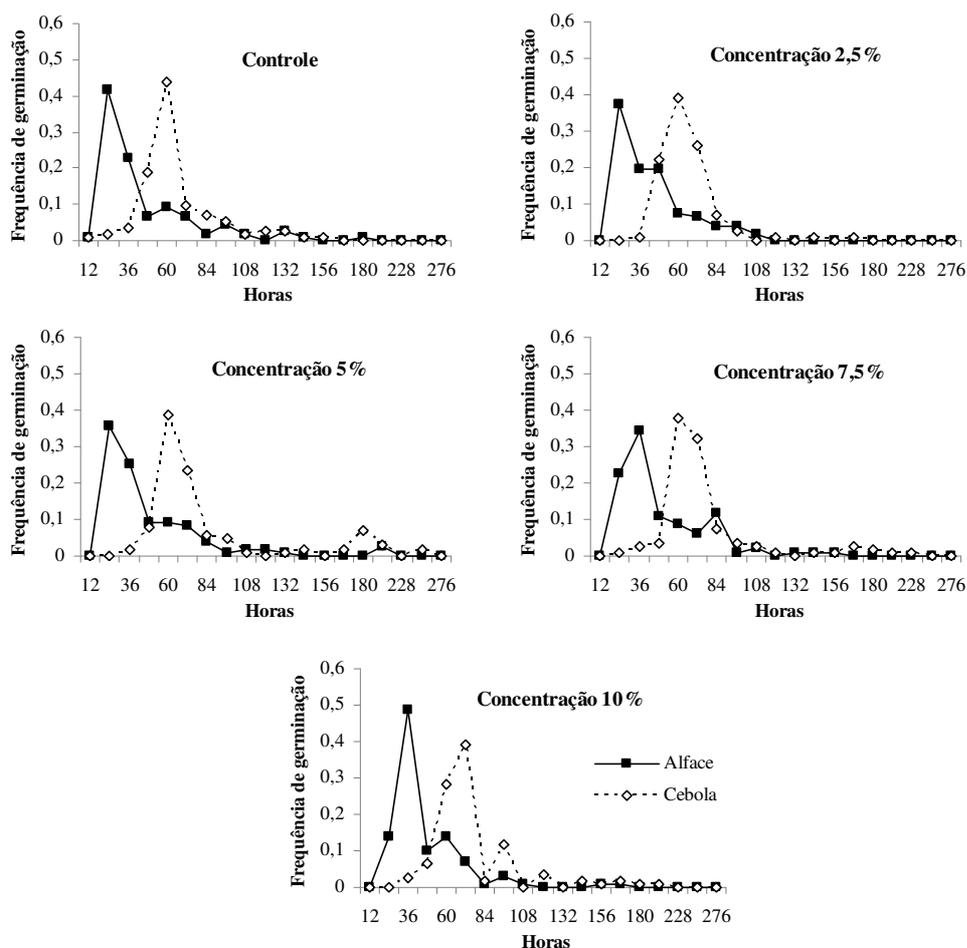


Figura 17. Frequência relativa de germinação de diásporos de *Lactuca sativa* (alface) e *Allium cepa* (cebola) submetidos à ação do extrato de raiz de *Sapindus saponaria* em diferentes concentrações.

A porcentagem de plântulas normais de alface e cebola submetidas à ação do extrato da raiz de *Sapindus saponaria* variou de 97,5% (controle) para 1,25% (concentração 10%) e de 97,5% (controle) para 30% (concentração 10%), respectivamente. As plântulas mortas de cebola sofreram aumento linear de 4,625% para cada 0,01 mg mL⁻¹ de extrato, enquanto para a alface a maior porcentagem foi de 8,75% na concentração 10% (Figuras 18 e 19). O comprimento da parte aérea das plântulas de alface foi mínimo (2,90 mm) na concentração 7,7% e, para a cebola, houve redução linear de 6,613 mm para cada 0,01 mg mL⁻¹ de extrato. O menor comprimento radicular para as plântulas de alface (0,62 mm) e cebola (0,61 mm) foi nas concentrações estimadas de 7,27 e 7,31%, respectivamente (Figuras 18 e 19). A massa da matéria seca da alface não apresentou diferença significativa entre os tratamentos, enquanto para a cebola a massa mínima (51,81 mg) foi na concentração estimada de 3,76% (Figura 20).

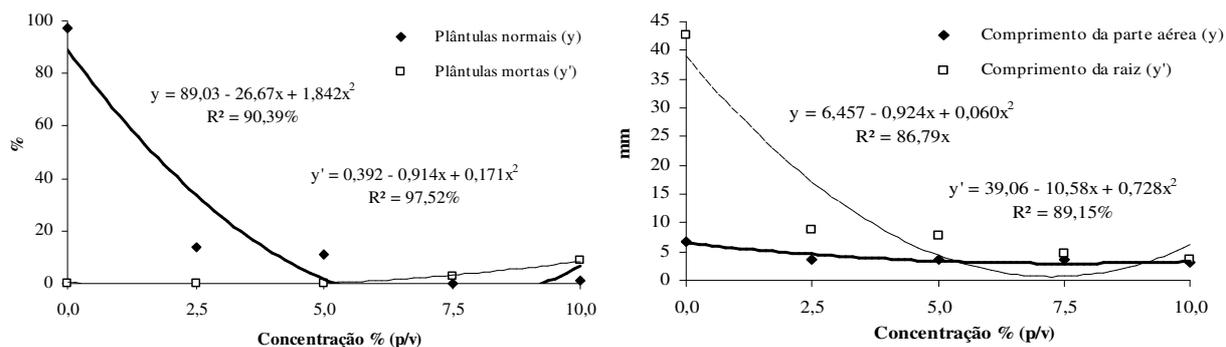


Figura 18. Porcentagem de plântulas normais, plântulas mortas, comprimento da parte aérea e da raiz de *Lactuca sativa* submetidas à ação do extrato de raiz de *Sapindus saponaria* em diferentes concentrações.

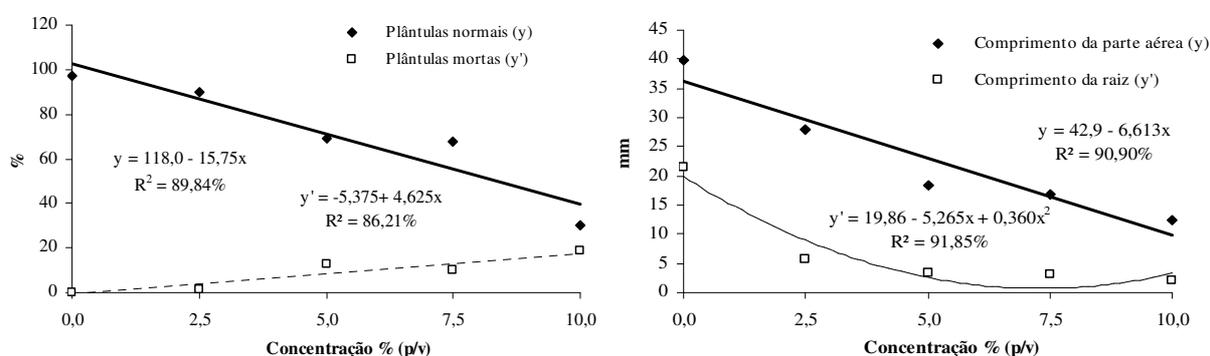


Figura 19. Porcentagem de plântulas normais, plântulas mortas, comprimento da parte aérea e da raiz de *Allium cepa* submetidas à ação do extrato de raiz de *Sapindus saponaria* em diferentes concentrações.

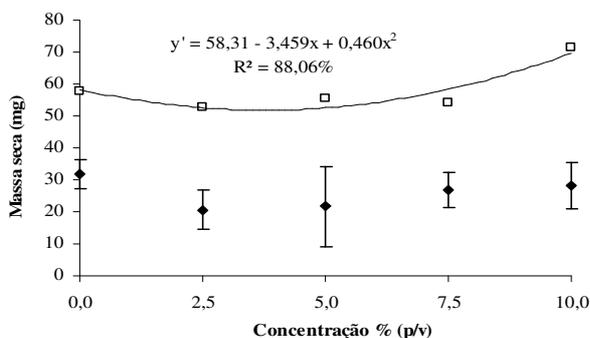


Figura 20. Massa da matéria seca das plântulas de *Lactuca sativa* (alface) e *Allium cepa* (cebola) submetidas à ação do extrato de raiz de *Sapindus saponaria* em diferentes concentrações.

Pode-se dizer, então, que o maior efeito inibitório dos aleloquímicos do extrato da raiz de *Sapindus saponaria* ocorreu sobre o alongamento da raiz e da parte aérea, do que na germinação dos diásporos de alface e cebola.

Alguns trabalhos também registraram que os extratos aquosos oriundos de raízes não exerceram efeitos inibitórios significativos sobre a germinação das sementes de alface e cebola

(Bradow & Connick, 1987; Marchi et al., 2008); porém, inibiram o comprimento radicular das plântulas alvos (Wandscheer & Pastorini, 2008).

Os compostos orgânicos das raízes das plantas são liberados na rizosfera por decomposição, secreção de mucilagem ou exsudação de compostos (Einhellig, 1995; Kuzyakov & Domanski, 2000). Compostos derivados da raiz têm a capacidade de regular a comunidade microbiana, as propriedades químicas e físicas do solo e de afetar o crescimento das espécies de plantas vizinhas (Bertin et al., 2003; Walker et al., 2003; Ens et al., 2009). Além disso, os fatores bióticos e abióticos do solo também têm o potencial de determinar a persistência e a transformação química desses compostos (Cheng, 1995; Inderjit 2001).

As interações entre as plantas são expressas pela competição por água, luz, nutrientes, por interferências químicas e/ou parasitismo. Exsudatos radiculares têm enorme potencial na modulação desses três processos, uma vez que esses podem desempenhar papel-chave na liberação dos aleloquímicos, regulando as interações químicas (Oliveros-Bastidas et al., 2009).

Tabela 1. Teste-*F* para comparar os coeficientes angulares das regressões lineares, oriundas do teste de germinação de diásporos de *Lactuca sativa* (alface) e *Allium cepa* (cebola) submetidos à ação dos extratos de folhas maduras e frutos de *Sapindus saponaria*.

Variáveis (unidades)	Equação	F _{calculado}	Inferência ¹
Folhas maduras			
<i>G</i> (%)	$y = 91,834 - 2,2333x$ $y' = 103,67 - 4,23x$	18,507*	Os coeficientes angulares para as duas espécies diferem entre si.
\bar{t} (h)	$y = 46,3158 + 2,7982x$ $y' = 66,92 + 3,518x$	1,32 ^{ns}	Os coeficientes angulares para as duas espécies não diferem entre si.
\bar{v} (h ⁻¹)	$y = 0,02114 - 0,00079x$ $y' = 0,01474 - 0,000496x$	11,85*	Os coeficientes angulares para as duas espécies diferem entre si.
<i>VG</i> (semente h ⁻¹)	$y = 0,78698 - 0,047388x$ $y' = 0,484 - 0,02784x$	44,66*	Os coeficientes angulares para as duas espécies diferem entre si.
<i>Z</i>	$y = 0,2495 - 0,0135x$ $y' = 0,2711 - 0,017x$	2,22 ^{ns}	Os coeficientes angulares para as duas espécies não diferem entre si.
Frutos			
\bar{t} (h)	$y = 45,54 + 2,3376x$ $y' = 63,36 + 1,6968x$	3,03 ^{ns}	Os coeficientes angulares para as duas espécies não diferem entre si.

G: germinabilidade; \bar{t} : tempo médio de germinação; \bar{v} : velocidade média de germinação; *VG*: velocidade de germinação (Maguire); *Z*: sincronia. ¹H₀: β₁ - β₂ = 0, onde β₁ e β₂ são os parâmetros dos coeficientes angulares das equações. ^{ns}: valores não diferem significativamente. *: valores diferem significativamente (F_{calculado} > F_{tabelado}).

Tabela 2. Germinação das cipselas de *Lactuca sativa* (alface) submetidas à ação dos extratos de folhas maduras, frutos e raízes de *Sapindus saponaria* em diferentes concentrações.

Variáveis (unidades)	Controle	2,5%	5,0%	7,5%	10,0%	Estatística				
						<i>W</i> (<i>P</i>)	¹ <i>F</i> (<i>P</i>)	² <i>F</i> (<i>P</i>)	<i>H</i> (<i>P</i>)	
Folha madura										
<i>Ti</i> (h)	24,00 ± 0,00 a	24,00 ± 0,00 a	30,00 ± 6,93 a	27,00 ± 6,00 a	30,00 ± 6,93 a	0,8883 (0,025)	21,000 (0,0001)			5,067 (0,2805)
<i>Tf</i> (h)	150,00 ± 30,20 a	201,00 ± 94,68 a	129,00 ± 24,74 a	162,00 ± 68,23 a	138,00 ± 20,78 a	0,8755 (0,014)	2,309 (0,1056)	1,011 (0,4327)		
<i>I</i> (bit)	2,2820 ± 0,2934 a	2,4062 ± 0,2883 a	2,6463 ± 0,1910 a	2,6877 ± 0,4658 a	2,8721 ± 0,2185 a	0,9777 (0,8851)	2,441 (0,0921)	2,587 (0,0794)		
Folha jovem										
<i>Ti</i> (h)	15,00 ± 6,00 a	24,00 ± 0,00 a	48,00 ± 16,97 b	---	---	0,8861 (0,1461)	24,967 (0,0007)			7,286 (0,01)
¹ <i>Tf</i> (h)	186,00 ± 60,00 b	111,00 ± 24,74 ab	60,00 ± 33,94 a	---	---	0,8248 (0,0285)	1,746 (0,2426)	6,313 (0,0271)		
\bar{t} (h)	50,18 ± 2,22 a	54,15 ± 8,07 a	54,00 ± 25,45 a	---	---	0,9682 (0,8641)	25,894 (0,0006)			0,151 (0,8628)
CVt (%)	76,22 ± 18,64 b	47,68 ± 8,15 b	16,67 ± 0,00 a	---	---	0,9112 (0,2764)	1,013 (0,4108)	15,79 (0,0025)		
\bar{v} (h ⁻¹)	0,0200 ± 0,0009 a	0,0188 ± 0,0027 a	0,0208 ± 0,0098 a	---	---	0,9608 (0,7828)	36,527 (0,0002)			0,182 (0,8375)
<i>I</i> (bit)	2,6492 ± 0,1650b	2,5817 ± 0,4766 b	1,5850 ± 0,0000 a	---	---	0,9902 (0,9963)	36,348 (0,0002)			4,418 (0,0109)
<i>Z</i>	0,1620 ± 0,0311 a	0,1694 ± 0,0671 a	---	---	---	0,9793 (0,9596)	1,943 (0,2128)	0,039 (0,8492)		
Fruto										
¹ <i>Tf</i> (h)	117,00 ± 31,56 a	141,00 ± 15,10 a	183,00 ± 70,23 a	153,00 ± 51,26 a	153,00 ± 35,83 a	0,8718 (0,0119)	1,916 (0,16)	1,253 (0,3312)		
CVt (%)	54,49 ± 8,50 a	57,11 ± 7,30 a	66,74 ± 11,43 a	54,48 ± 15,55 a	49,32 ± 9,10 a	0,9335 (0,1899)	0,727 (0,5869)	1,419 (0,2754)		
Raiz										
<i>G</i> (%)	91,67 ± 4,30 a	89,17 ± 5,00 a	89,17 ± 5,00 a	85,00 ± 4,30 a	84,17 ± 10,32 a	0,9397 (0,2479)	1,402 (0,2808)	1,026 (0,4255)		
<i>Ti</i> (h)	21,00 ± 6,00 a	24,00 ± 0,00 a	0,5089 (0,0001)	9,000 (0,0006)			4,000 (0,406)			
¹ <i>Tf</i> (h)	144,00 ± 35,33 a	99,00 ± 6,00 a	171,00 ± 52,19 a	111,00 ± 31,56 a	123,00 ± 46,35 a	0,9077 (0,06)	4,421 (0,0147)	2,246 (0,1128)		
\bar{t} (h)	45,96 ± 5,23 a	43,45 ± 3,00 a	49,26 ± 6,35 a	49,49 ± 6,35 a	47,51 ± 9,28 a	0,9374 (0,2248)	1,077 (0,4025)	0,547 (0,7041)		
CVt (%)	67,26 ± 9,68 ab	50,04 ± 20,91 a	71,67 ± 10,43 b	52,11 ± 8,11 ab	47,22 ± 11,95 a	0,9413 (0,2657)	1,815 (0,1784)	5,628 (4,15)		
\bar{v} (h ⁻¹)	0,0220 ± 0,0028 a	0,0231 ± 0,0016 a	0,0207 ± 0,0033 a	0,0204 ± 0,0024 a	0,0216 ± 0,0036 a	0,9797 (0,9144)	0,665 (0,6259)	0,565 (0,692)		
VG (semente h ⁻¹)	0,8084 ± 0,0759 a	0,7565 ± 0,0671 a	0,7370 ± 0,0821 a	0,6464 ± 0,0295 a	0,6370 ± 0,1374 a	0,9367 (0,2188)	2,076 (0,1349)	2,95 (0,0554)		
<i>I</i> (bit)	2,3285 ± 0,3363 a	2,3311 ± 0,1161 a	2,3697 ± 0,4039 a	2,4864 ± 0,1820 a	2,0964 ± 0,5490 a	0,9711 (0,7682)	1,318 (0,3084)	0,643 (0,640)		
<i>Z</i>	0,2375 ± 0,0701 a	0,2155 ± 0,0172 a	0,2082 ± 0,0729 a	0,1832 ± 0,0219 a	0,2889 ± 0,1526 a	0,8989 (0,0403)	2,67 (0,0731)	0,924 (0,4756)		

Médias seguidas por letras iguais na linha não diferem entre si pelos testes de Tukey ou Dunn a 0,05 de probabilidade; *W*: estatística do teste de Shapiro-Wilk; valores em negrito indicam que os resíduos seguem distribuição normal ($P > 0,01$); ¹*F*: estatística do teste de Levene; valores em negrito indicam homogeneidade entre as variâncias ($P > 0,01$); ²*F*: estatística do teste de Snedecor; valores em negrito indicam diferença significativa entre as concentrações (ANOVA; $P < 0,05$); *H*: estatística do teste de Kruskal-Wallis, valores em negrito indicam diferença significativa entre as concentrações ($P < 0,05$); *P*: probabilidade. ¹Dados transformados em raiz (x) para realização das análises estatísticas, dados apresentados representam valores originais.

Tabela 3. Germinação das sementes de *Allium cepa* (cebola) submetidas à ação dos extratos de folhas maduras e jovens, frutos e raízes de *Sapindus saponaria* em diferentes concentrações.

Variáveis (unidades)	Controle	2,5%	5,0%	7,5%	10,0%	Estatística				
						<i>W</i> (<i>P</i>)	¹ <i>F</i> (<i>P</i>)	² <i>F</i> (<i>P</i>)	<i>H</i> (<i>P</i>)	
Folha madura										
<i>Ti</i> (h)	39,00 ± 6,00 a	45,00 ± 11,49 a	45,00 ± 11,49 a	42,00 ± 12,00 a	36,00 ± 19,60 a	0,9373 (0,2246)	0,505 (0,7326)	0,37 (0,8266)		
<i>Tf</i> (h)	135,00 ± 6,00 a	168,00 ± 19,60 ab	186,00 ± 12,00 b	147,00 ± 24,74 ab	171,00 ± 28,35 ab	0,9347 (0,2004)	2,264 (0,1106)	4,155 (0,0184)		
<i>CVt</i> (%)	29,80 ± 7,33 a	37,29 ± 6,40 a	39,11 ± 4,78 a	29,63 ± 6,28 a	34,36 ± 10,73 a	0,9029 (0,0483)	0,591 (0,6741)	1,355 (0,2958)		
Folha jovem										
<i>Ti</i> (h)	42,00 ± 6,93 a	54,00 ± 20,78 a	57,00 ± 6,00 a	66,00 ± 22,98 a	78,00 ± 28,57 a	0,9502 (0,3819)	3,514 (0,0325)	1,955 (0,1535)		
\bar{t} (h)	76,26 ± 2,80 a	91,19 ± 15,93 a	95,10 ± 10,46 a	104,61 ± 5,22 a	91,75 ± 22,28 a	0,9484 (0,3551)	3,808 (0,0249)	2,331 (0,1032)		
\bar{v} (h ⁻¹)	0,0131 ± 0,0001 a	0,0112 ± 0,0017 a	0,0106 ± 0,0013 a	0,0096 ± 0,0004 a	0,0114 ± 0,0026 a	0,9662 (0,6699)	5,025 (0,009)			8,067 (0,0892)
<i>Z</i>	0,1816 ± 0,0278 a	0,1503 ± 0,0332 a	0,1302 ± 0,0460 a	0,1364 ± 0,0475 a	0,0833 ± 0,1667 a	0,8028 (0,0006)	4,433 (0,0145)			5,246 (0,263)
Fruto										
<i>Ti</i> (h)	36,00 ± 9,80 a	39,00 ± 11,49 a	42,00 ± 12,00 a	45,00 ± 15,10 a	45,00 ± 11,49 a	0,9404 (0,2556)	0,254 (0,903)	0,418 (0,7931)		
<i>Tf</i> (h)	102,00 ± 31,75 a	159,00 ± 15,10 ab	150,00 ± 39,80 ab	114,00 ± 15,49 a	132,00 ± 21,91 a	0,9706 (0,7572)	1,015 (0,4311)	3,214 (0,043)		
<i>CVt</i> (%)	25,05 ± 7,76 a	39,29 ± 3,66 ab	36,13 ± 14,67 ab	23,35 ± 2,49 a	27,15 ± 5,33 a	0,9295 (0,1599)	2,251 (0,1122)	3,101 (0,0479)		
<i>I</i> (bit)	1,8808 ± 0,3462 a	2,3567 ± 0,1105 a	2,1847 ± 0,3814 a	2,2318 ± 0,1558 a	2,3766 ± 0,1874 a	0,9632 (0,6096)	1,935 (0,1568)	2,355 (0,1007)		
Raiz										
<i>G</i> (%)	93,33 ± 6,08 a	98,33 ± 1,92 a	85,83 ± 11,98 a	90,83 ± 8,33 a	91,67 ± 3,33 a	0,9577 (0,5063)	2,843 (0,0615)	1,537 (0,242)		
<i>Ti</i> (h)	27,00 ± 11,49 a	45,00 ± 6,00 a	45,00 ± 6,00 a	45,00 ± 15,10 a	39,00 ± 6,00 a	0,9213 (0,1109)	1,295 (0,316)	2,615 (0,0772)		
<i>Tf</i> (h)	132,00 ± 25,92 a	132,00 ± 30,98 a	219,00 ± 40,84 b	195,00 ± 26,61 ab	171,00 ± 24,74 ab	0,9353 (0,206)	0,841 (0,5206)	6,401 (0,0033)		
\bar{t} (h)	66,37 ± 5,81 a	64,98 ± 0,72 a	86,49 ± 11,50 b	77,47 ± 6,22 ab	77,04 ± 5,81 ab	0,9831 (0,9538)	2,025 (0,1424)	6,609 (0,0028)		
<i>CVt</i> (%)	34,42 ± 8,45 ab	27,06 ± 5,29 a	53,34 ± 10,17 b	43,01 ± 10,64 ab	36,32 ± 7,76 ab	0,9542 (0,445)	0,565 (0,6917)	5,215 (0,0078)		
\bar{v} (h ⁻¹)	0,0152 ± 0,0013 a	0,0154 ± 0,0002 a	0,0117 ± 0,0016 b	0,0130 ± 0,0011 ab	0,0130 ± 0,0009 ab	0,9768 (0,8701)	2,43 (0,0932)	7,647 (0,0014)		
<i>VG</i> (semente h ⁻¹)	0,4805 ± 0,0357 a	0,4786 ± 0,0122 a	0,3625 ± 0,0617 b	0,4006 ± 0,0648 ab	0,3946 ± 0,0255 ab	0,9782 (0,8918)	2,001 (0,1461)	5,644 (0,0056)		
<i>I</i> (bit)	2,3302 ± 0,4218 a	1,9905 ± 0,1004 a	2,4572 ± 0,4708 a	2,3009 ± 0,2738 a	2,2950 ± 0,3052 a	0,9386 (0,2364)	1,203 (0,3503)	1,023 (0,4269)		
<i>Z</i>	0,2496 ± 0,0789 a	0,2672 ± 0,0327 a	0,2101 ± 0,0891 a	0,2451 ± 0,0400 a	0,2433 ± 0,0566 a	0,9437 (0,2935)	0,782 (0,5545)	0,428 (0,7863)		

Médias seguidas por letras iguais na linha não diferem entre si pelos testes de Tukey ou Dunn a 0,05 de probabilidade; *W*: estatística do teste de Shapiro-Wilk; valores em negrito indicam que os resíduos seguem distribuição normal ($P > 0,01$); ¹*F*: estatística do teste de Levene; valores em negrito indicam homogeneidade entre as variâncias ($P > 0,01$); ²*F*: estatística do teste de Snedecor; valores em negrito indicam diferença significativa entre as concentrações (ANOVA; $P < 0,05$); *H*: estatística do teste de Kruskal-Wallis, valores em negrito indicam diferença significativa entre concentrações ($P < 0,05$); *P*: probabilidade.

Tabela 4. Massa da matéria seca proveniente do teste de crescimento de plântulas de *Lactuca sativa* (alface) e *Allium cepa* (cebola) submetidas à ação dos extratos de folhas maduras e jovens, frutos e raízes de *Sapindus saponaria* em diferentes concentrações.

Espécie	Controle	2,5%	5,0%	7,5%	10,0%	Estatística			
						<i>W</i> (<i>P</i>)	¹ <i>F</i> (<i>P</i>)	² <i>F</i> (<i>P</i>)	<i>H</i> (<i>P</i>)
Folha madura									
Alface	18,25 ± 20,67 a	7,88 ± 8,63 a	7,82 ± 7,75 a	7,68 ± 7,56 a	7,60 ± 2,64 a	0,8394 (0,0029)	3,077 (0,049)		2,629 (0,6218)
Cebola	68,22 ± 9,29 a	50,00 ± 23,27 a	60,62 ± 5,33 a	71,75 ± 2,10 a	49,82 ± 5,36 a	0,8417 (0,0032)	4,464 (0,0142)		12,014 (0,0172)
Folha jovem									
¹ Cebola	55,90 ± 4,51 a	55,47 ± 2,60 a	65,90 ± 26,25 a	58,47 ± 6,47 a	58,92 ± 7,60 a	0,8014 (0,0006)	4,383 (0,0152)		0,871 (0,9286)
Fruto									
Alface	13,02 ± 1,93 a	8,22 ± 2,87 a	7,37 ± 3,32 a	6,91 ± 7,29 a	7,26 ± 1,30 a	0,9599 (0,5459)	5,956 (0,0045)		6,581 (0,1597)
Cebola	47,76 ± 4,52 a	44,61 ± 7,36 a	49,22 ± 1,56 a	42,84 ± 5,54 a	39,84 ± 4,32 a	0,9583 (0,5172)	0,662 (0,6282)	2,25 (0,1123)	
Raiz									
Alface	31,80 ± 4,66 a	20,50 ± 6,11 a	21,67 ± 12,37 a	26,72 ± 5,58 a	28,15 ± 7,28 a	0,9479 (0,3486)	5,339 (0,0071)		5,865 (0,2094)

Médias seguidas por letras iguais na linha não diferem entre si pelos testes de Tukey ou Dunn a 0,05 de probabilidade; *W*: estatística do teste de Shapiro-Wilk; valores em negrito indicam que os resíduos seguem distribuição normal ($P > 0,01$); ¹*F*: estatística do teste de Levene; valores em negrito indicam homogeneidade entre as variâncias ($P > 0,01$); ²*F*: estatística do teste de Snedecor; valores em negrito indicam diferença significativa entre as concentrações (ANOVA; $P < 0,05$); *H*: estatística do teste de Kruskal-Wallis, valores em negrito indicam diferença significativa entre as concentrações ($P < 0,05$); *P*: probabilidade. ¹Dados transformados em raiz (x) para realização das análises estatísticas, dados apresentados representam valores originais.

3.2. Análise conjunta

3.2.1. Teste de germinação

Por meio da análise conjunta pode-se comparar os resultados obtidos a partir dos diferentes órgãos da espécie *Sapindus saponaria*. O extrato de folhas jovens foi o que provocou maior efeito inibitório na germinabilidade dos diásporos de alface e cebola; enquanto o menor efeito foi observado sob a ação do extrato da raiz (Figura 21). A maior velocidade média de germinação foi registrada no extrato da raiz, para as cipselas de alface, e nos extratos de fruto e raízes, para as sementes de cebola. As espécies obtiveram comportamentos similares entre si, na germinabilidade, quando submetidas à ação dos extratos de folhas maduras e raízes. As cipselas de alface apresentaram, para todos os extratos analisados, maior velocidade média de germinação, mostrando que estas germinam de forma mais rápida e em menor tempo, do que as sementes de cebola (Figura 21).

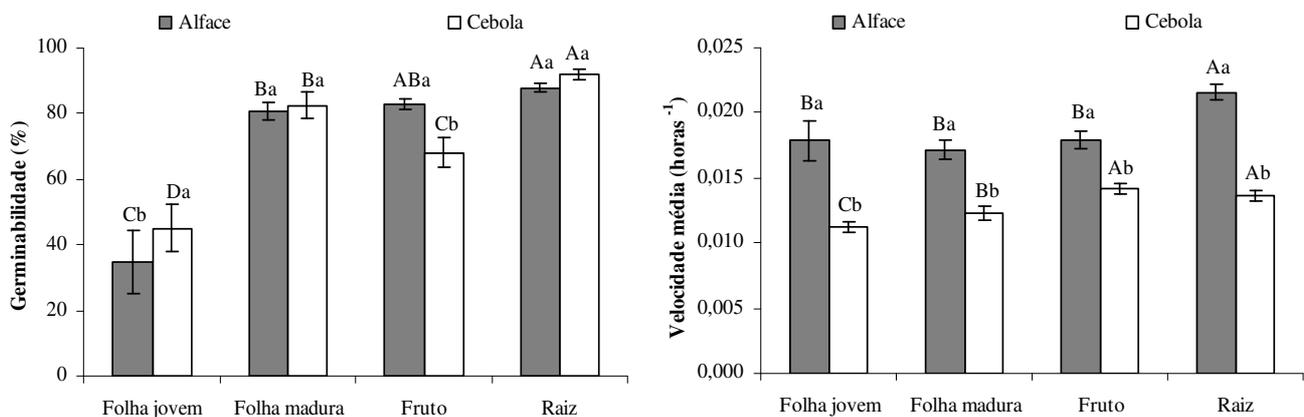


Figura 21. Germinabilidade e velocidade média de germinação dos diásporos de *Lactuca sativa* (alface) e *Allium cepa* (cebola) submetidos à ação dos extratos de folha jovem, folha madura, fruto e raiz de *Sapindus saponaria*. Médias seguidas pelas mesmas letras maiúsculas para os órgãos e minúsculas para as espécies, não diferem entre si, pelo teste de Tukey a 0,05 de probabilidade. As barras verticais representam o erro padrão da média.

Resultados similares foram registrados para o extrato de folhas de *Mikania micrantha* Kunth (guaco) sobre a porcentagem e velocidade de germinação das sementes de *Lagerstroemia indica* L. (flor-de-merenda) e *Robinia pseudoacacia* L. (falsa-acácia), na qual este efeito alelopático foi superior ao extrato da raiz (Wu et al., 2009). O extrato de folhas de *Aristolochia esperanzae* também provocou maior inibição na germinação de cipselas de alface do que os extratos de raízes e frutos (Gatti et al., 2004). O comportamento diferenciado entre as espécies-alvo (alface e cebola) também foi observado por Peres et al. (2004) trabalhando com espécies de Pteridaceae.

A síntese e o acúmulo de metabólitos secundários em plantas são regulados no espaço e no tempo (Wink & Schimmer, 1999). Além disso, são afetados por fatores abióticos, como a

intensidade de luz, minerais do solo, estresse osmótico (seca e salinidade) e sazonalidade (Waterman & Mole, 1989). Assim, os fatores ambientais abióticos que condicionam a produção dos aleloquímicos podem influenciar as interações das plantas com seu meio biótico (Waterman & Mole, 1994).

De acordo com Nascimento et al. (2007), os extratos aquosos de folhas jovens de *Pouteria torta* (Mart.) Radlk. (guapeva) se mostraram mais potentes em inibir a germinação e o crescimento de plântulas de alface do que extratos de folhas maduras. O maior efeito inibitório das folhas jovens com relação às folhas maduras também foram relatados por Marchi et al. (2008). Esses autores concluíram que tecidos mais velhos, por possuírem maior produção de biomassa, nem sempre exercem efeito alelopático sobre as espécies circundantes, apresentando, assim, baixa concentração de aleloquímicos.

Assim, a diferença dos efeitos alelopáticos entre os extratos de folhas, frutos e raízes pode estar relacionada com as diferentes concentrações dos aleloquímicos, composição química variada, ou alcalinidade diferenciada entre os extratos (Dorning & Cipollini 2006; Batish et al., 2007).

3.2.2. Análise morfológica das plântulas

Na análise conjunta referente ao efeito dos diferentes extratos sobre a morfologia das plântulas, notou-se inibição de 100% das plântulas normais de alface quando submetidas ao efeito dos extratos de folhas jovens e do fruto, enquanto para a cebola a maior inibição (96%) foi pelo fruto. A massa da matéria seca das plântulas das hortaliças sofreu maior efeito inibitório pelo extrato de folhas maduras (57% para alface e 15% para cebola), enquanto os extratos do fruto e das folhas jovens foram os que mais inibiram o crescimento da parte aérea e da raiz das plântulas, para ambas as espécies. No geral, neste teste, a plântula de alface se mostrou mais sensível ao efeito dos extratos do que a cebola (Figura 22).

O efeito tóxico causado em raízes de alface submetidas a extratos aquosos de algumas espécies da família *Gleicheniaceae*, visualizado pela redução de tamanho e necrose, é semelhante ao dano provocado por detergentes naturais, tais como as saponinas (Soares & Vieira, 2000). Essas substâncias estão presentes nos extratos de frutos de *Sapindus saponaria*, como relatado por Pelegrini et al. (2008), e atuam reduzindo a taxa respiratória, devido à menor difusão do oxigênio através do tegumento, inibindo a germinação e o crescimento dessa planta (Marchaim et al., 1974; Maraschin-Silva & Áquila, 2005).

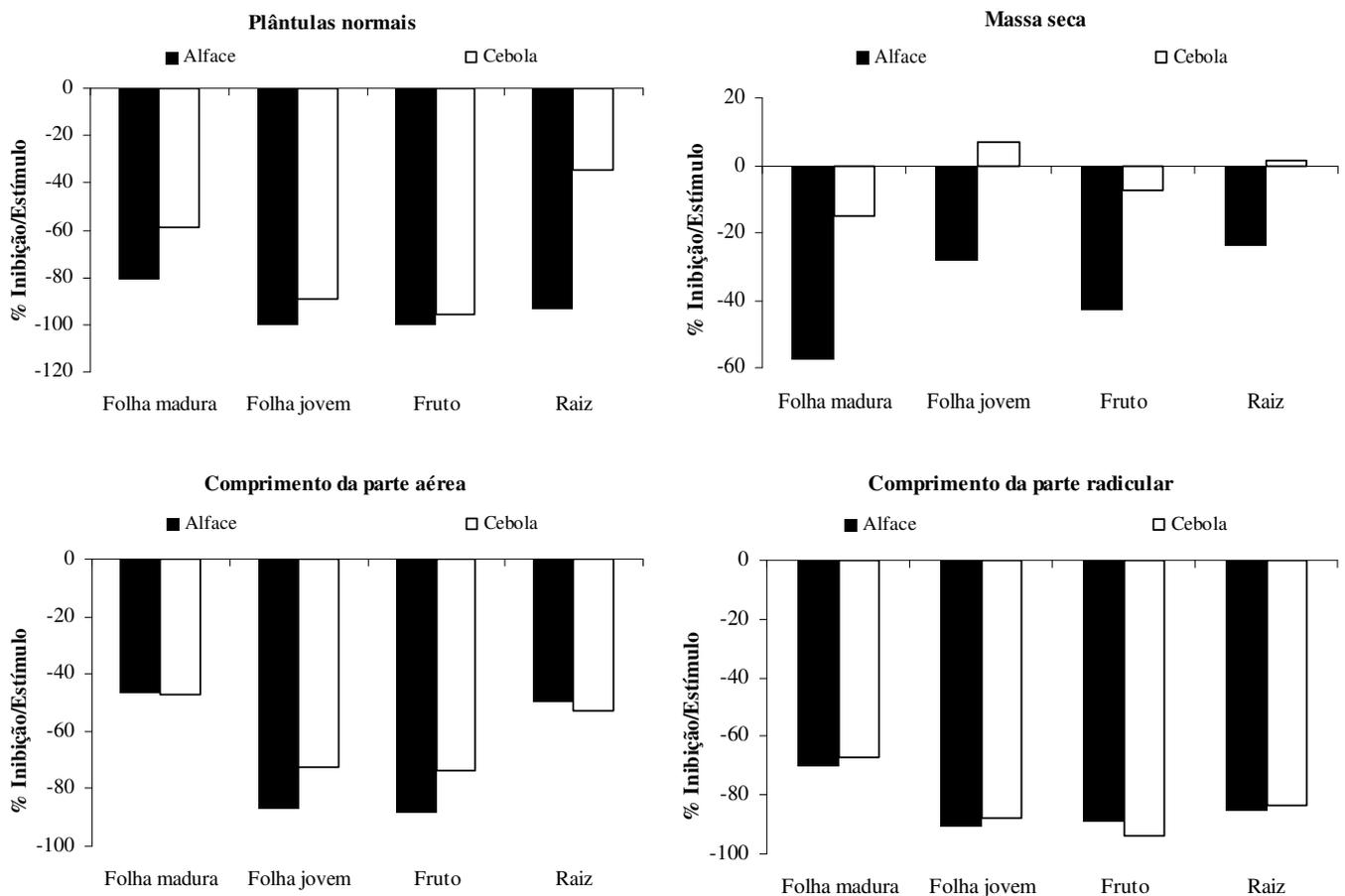


Figura 22. Porcentagem de inibição ou estímulo, em relação ao controle, de plântulas normais, massa da matéria seca, comprimento da parte aérea e da raiz de plântulas de *Lactuca sativa* (alface) e *Allium cepa* (cebola) submetidas à ação dos extratos de folha jovem, folha madura, fruto e raiz de *Sapindus saponaria*.

A capacidade dos extratos de *Sapindus saponaria* de inibir o desenvolvimento do sistema radicular de outras espécies é um aspecto ecológico importante, uma vez que com a redução na pressão competitiva da planta, isto favorecerá o estabelecimento de dominância da espécie (Medeiros & Luchesi, 1993; Peres et al., 1998; Ferreira & Áquila, 2000 e Prates et al., 2000). Segundo Rodrigues et al. (1992), os compostos alelopáticos inibidores da germinação e crescimento influenciam diretamente na emissão da raiz das plantas, pois esses interferem na divisão celular, na permeabilidade das membranas e na ativação de enzimas.

O efeito alelopático dos órgãos reprodutivos (flores e frutos) de *Lantana camara* L. (cambará) sobre a produção de matéria seca, crescimento das plântulas e germinação das sementes de rabanete e alface, foi mais forte do que os extratos dos órgãos vegetativos (folhas). Como a espécie é perene, grandes quantidades de aleloquímicos foram produzidos em suas flores e frutos, tornando a espécie mais competitiva (Zhang et al., 2009).

Wang et al. (2004) constataram que o extrato de folhas de *Mikania micrantha* exerceu maior efeito alelopático sobre o comprimento radicular das espécies-alvo do que o extrato de raiz. Os resultados diferem dos registrados por Wu et al. (2009), na qual verificaram que o extrato da raiz de *Mikania micrantha* teve maior efeito alelopático sobre a morfologia das raízes de *Lagerstroemia indica* e *Robinia pseudoacacia*.

Cada órgão da planta pode contribuir para os efeitos alelopáticos. No entanto, as folhas e raízes são normalmente as principais fontes de compostos (Wu et al., 2009). Porém, as folhas verdes possuem mais metabólitos secundários do que a raiz (Dorning & Cipollini, 2006), por isso os compostos alelopáticos encontrados em folhas exercem maiores efeitos sobre as espécies-alvo (Turk et al., 2005; Wakjira et al., 2005; Sun et al., 2006).

Assim, a atividade alelopática depende da concentração dos extratos, das espécies receptoras e do estágio de maturação dos órgãos e dos tecidos da planta a partir da qual os produtos químicos foram extraídos (Batish et al., 2006). Pode-se dizer, então, que o extrato aquoso de *Sapindus saponaria* pode fornecer uma vantagem competitiva para a espécie na rizosfera, pois as suas substâncias alelopáticas podem acarretar a inibição no crescimento das espécies de plantas vizinhas.

3.3. Potencial osmótico e pH dos extratos

Com relação às características físico-químicas dos extratos de folhas maduras, folhas jovens, frutos e raízes de *Sapindus saponaria*, os valores de pH variaram de 6,21 (folhas jovens) a 6,61 (frutos), verificando-se reduzida variação entre os valores (Tabela 5). Considerando-se que a germinação e o desenvolvimento de plântulas são afetados negativamente em condições de extrema acidez ou extrema alcalinidade (Souza Filho et al., 1996), pode-se dizer que o pH desses extratos não interferiu nesses processos.

O controle do pH e da concentração molar de extratos brutos é fundamental, pois pode haver neles substâncias osmoticamente ativas como açúcares, aminoácidos, entre outros, que influenciam a concentração iônica (Ferreira & Borguetti, 2004), podendo assim interferir nos resultados de germinação e crescimento das plantas.

Os valores de potencial osmótico apresentaram alta variação entre os órgãos de *Sapindus saponaria*, com valores de -0,18; -0,20; -0,26 e -0,32 MPa para os extratos de frutos, raízes, folhas maduras e folhas jovens, respectivamente (Tabela 5). Nota-se que o menor valor obtido foi para o extrato de folhas jovens e o maior para o extrato de fruto.

Quando colocadas para germinar em soluções de PEG-6000, as cipselas de alface germinaram, em média, 89, 86 e 82% nos potenciais de 0, -0,2 e -0,3 MPa, respectivamente, enquanto para a cebola 90, 89 e 86% das sementes germinaram nesses potenciais. Considerando-se que soluções com potencial osmótico de -0,3 MPa não interferiram significativamente na

germinabilidade dos diásporos de alface e cebola, pode-se inferir que a redução na porcentagem de germinação tenha acontecido, principalmente, pela presença de substâncias alelopáticas encontradas em todos os extratos, uma vez que seus potenciais osmóticos não ultrapassaram este valor.

Tabela 5. Potencial osmótico e pH dos extratos aquosos de maior concentração, obtidos de folhas maduras, folhas jovens, frutos e raízes de *Sapindus saponaria*.

Órgão vegetal	pH	Concentração molar (mOsm)	Potencial osmótico (MPa)
Folhas maduras	6,55	103	-0,26
Folhas jovens	6,21	128	-0,32
Frutos	6,61	71	-0,18
Raízes	6,25	81	-0,20

Esses resultados estão de acordo com Gatti et al. (2004), que encontraram valores de potencial osmótico variando de -0,13 (raiz) a -0,35 MPa (folhas) para os extratos de caule, raiz, flor, fruto e folha de *Aristolochia esperanzae*. Os autores consideraram que soluções de até -0,2 MPa não interferem na germinação de diásporos de *Lactuca sativa* e *Raphanus sativus*.

4. Conclusões

- ✓ Os extratos de *Sapindus saponaria* evidenciaram potencialidades alelopáticas que variaram de acordo com a espécie receptora. O efeito inibitório sobre o processo de germinação dos diásporos e morfologia das plântulas de alface e cebola foi concentração-dependente.
- ✓ Os extratos aquosos de folhas jovens e raízes foram os que provocaram maior e menor inibição na germinação dos diásporos de alface e cebola, respectivamente.
- ✓ Os extratos de folhas jovens e do fruto causaram elevado índice de anormalidade e maior inibição no crescimento da parte aérea e da raiz das plântulas de alface e cebola. A plântula de alface se mostrou mais sensível ao efeito dos extratos do que a de cebola.
- ✓ A atividade alelopática depende da concentração dos extratos, das espécies receptoras, do estágio de maturação dos órgãos e dos tecidos da planta a partir da qual os produtos químicos são extraídos.

5. Referências Bibliográficas

ABDELGALEIL, S.A.M.; HASHINAGA, F. Allelopathic potential of two sesquiterpene lactones from *Magnolia grandiflora* L. **Biochemical Systematics and Ecology**, v. 35, p. 737-742, 2007.

ALBIERO, A.L.M.; BACCHI, E.M.; MOURÃO, K.S.M. Caracterização anatômica das folhas, frutos e sementes de *Sapindus saponaria* L. (Sapindaceae). **Acta Scientiarum**, v.23, n.2, p. 49-560, 2001.

ANAYA, A.L. Allelopathy as a Tool in the Management of Biotic Resources in Agroecosystems. **Critical Reviews in Plant Sciences**, v. 18, n. 6, p. 697-739, 1999.

BATISH, D.R.; SINGH, H.P.; RANA, N.; KOHLI, R.K. Assessment of allelopathic interference of *Chenopodium album* through its leachates, debris extracts, rhizosphere and amended soil. **Archives of Agronomy and Soil Science**, v. 52, p. 705–715, 2006.

BATISH, D.; LAVANYA, K.; SINGH, H.; KOHLI, R. Phenolic allelochemicals released by *Chenopodium murale* affect the growth, nodulation and macromolecule content in chickpea and pea. **Plant Growth Regulation**, v. 51, p. 119–128, 2007.

BERTIN, C.; YANG, X.; WESTON, L.A. The role of root exudates and allelochemicals in the rhizosphere. **Plant Soil**, v. 256, p. 67–83, 2003.

BONANOMI, G.; SICUREZZA, M.G.; CAPORASO, S.; ESPOSITO, A.; MAZZOLENI, S. Phytotoxicity dynamics of decaying plant materials. **New Phytologist.**, v. 169, p. 571-578, 2006.

BRADOW, J. M.; CONNICK JR., W. J. Allelochemicals from palmer amaranth, *Amaranthus palmeri* S. Wats. **Journal of Chemical Ecology**, v. 13, p.185-202, 1987.

BRASIL. Ministério da Agricultura e Reforma Agrária. Coordenação de Laboratório Vegetal. **Regras para análise de sementes**. Brasília: 1992, 365 p.

CHENG, H.H. Characterisation of the mechanisms of allelopathy: modelling and experimental approaches. In: INDERJIT; DAKSHINI, K.M.M.; EINHELLIG, F.A. (eds) **Allelopathy: organisms, processes and applications**. American Chemical Society, Washington, 1995.

CHOU, C.H. The role of allelopathy in subtropical agroecosystems in Taiwan. Pp. 57-73. In: A.L. PUTNAM & C.S. TANG (eds.). **The science of allelopathy**. New York, John Wiley & Sons, 1986.

CIPOLLINI, M.L. Secondary metabolites of vertebrate-dispersed fruits: evidence for adaptive functions. **Revista Chilena de Historia Natural**, v. 73, p. 421–440, 2000.

DORNING, M.; CIPOLLINI, D. Leaf and root extracts of the invasive shrub, *Lonicera maackii*, inhibit seed germination of three herbs with no autotoxic effects. **Plant Ecology**, v. 184, p. 287–296, 2006.

EINHELLIG, F.A. Allelopathy: current status and future goals. In: INDERJIT; DAKSHINI, K.M.M.; EINHELLIG, F.A. (eds) **Allelopathy: organisms, processes and applications**. American Chemical Society, Washington, 1995.

EINHELLIG F.A. 2002. The physiology of allelochemical action: clues and views. **In:** REIGOSA M. J., PEDROL N. (eds) Allelopathy: from molecules to ecosystems. Science Publishers Inc., Enfield, USA.

ENS, E.J.; BREMNER, J.B.; FRENCH, K.; KORTH, J. Identification of volatile compounds released by roots of an invasive plant, bitou bush (*Chrysanthemoides monilifera* spp. *rotundata*), and their inhibition of native seedling growth. **Biological Invasions**, v. 11, p. 275-287, 2009.

FERREIRA, A.G.; ÁQUILA, M.E.A. Alelopatia: uma área emergente da ecofisiologia. **Revista Brasileira de Fisiologia Vegetal**, v.12, p.175-204, 2000. Edição especial.

FERREIRA, A.G.; BORGHETTI, F. **Germinação: do básico ao aplicado**. Porto Alegre: Artmed, 2004. 323p.

FERREIRA, M.C.; SOUZA, J.R.P.; FARIA, T.J. FERREIRA, M. C. et al. Potenciação alelopática de extratos vegetais na germinação e no crescimento inicial de picão-preto e alface. **Ciência e Agrotecnologia**, v. 31, n. 4, p. 1054-1060, 2007.

FERREIRA, W.R. 2007. **Variabilidade de cinco espécies arbóreas da região de cerrado do Brasil central para medidas de germinação e emergência**. Dissertação de mestrado. Uberlândia.

FRANÇA, A. C.; SOUZA, I. F.; SANTOS, C C.; OLIVEIRA, E. Q.; MARTINOTTO, C. Atividades alelopáticas de nim sobre o crescimento de sorgo, alface e picão-preto. **Ciência Agrotécnica**, v. 32, n. 5, p. 1374-1379, 2008.

FRIEDMAN, J. Allelopathy, autotoxicity, and germination. In: J. Kegel & G. Galili (eds.). **Seed development and germination**. Marcel Dekker Inc., New York, p. 629-644, 1995.

GABOR, W.E.; VEATCH, C. Isolation of phytotoxin from quackgrass (*Agropyron repens*) rhizomes. **Weed Science**, v.29, p.155-159, 1981.

GATTI, B.A.; PEREZ, S.C.J.G.A.; LIMA, M.I.S. Atividade alelopática de extratos aquosos de *Aristolochia esperanzae* O. Kuntze na germinação e no crescimento de *Lactuca sativa* L. e *Raphanus sativus* L. **Acta Botânica Brasílica**, v. 18, n. 3, p. 459-472, 2004.

GOBBO-NETO, L.; LOPES, N.P. Plantas medicinais: fatores de influência no conteúdo de metabólitos secundários. **Química Nova**, v. 30, n. 2, São Paulo, 2007.

IGANCI, J.R.V.; BOBROWSKI, V.L.; HEIDEN, G.; STEIN, V.C.; ROCHA, B.H.G. Efeito do extrato aquoso de diferentes espécies de boldo sobre a germinação e índice mitótico de *Allium cepa* L. **Arquivo do Instituto Biológico**, São Paulo, v. 73, n. 1, p. 79-82, jan./mar., 2006.

INDERJIT. Soil: environmental effects on allelochemical activity. **Agronomy Journal**, v. 93, p. 79-84, 2001.

INDERJIT; DAKSHINI, K. M. M. On laboratory bioassays in allelopathy. **Botanical Review**, v.61, p.28-44, 1995.

INDERJIT; NILSEN E. Bioassays and field studies for allelopathy in terrestrial plants: progress and problems. **Critical Reviews in Plant Sciences**, v. 22, p. 221-238, 2003.

- IZHAKI, I. Emodin – a secondary metabolite with multiple ecological functions in higher plants. **New Phytologist**, n. 155, p. 205–217, 2002.
- JENKS, M.A.; TUTTLE, H.A.; FELDMANN, K.A. **Phytochemistry**, n. 42, p. 29, 1996
- KHANH, T.D.; CHUNG, I.M.; TAWATA, S.; XUAN, T.D. Weed suppression by *Passiflora edulis* and its potential allelochemicals. **Weed Research Society** v. 46, p. 296–303, 2006.
- KÖPPEN, W. **Climatologia**: com um estudo de los climas de la tierra. Trad. P.R. Hendrichs Pérez. México: Fondo de Cultura Económica, p. 478, 1948.
- KUZYAKOV, Y.; DOMANSKI, G. Carbon input by plants into the soil. **Plant Nutrition Soil Science**, v. 163, p. 421–431, 2000.
- LABOURIAU, L.G. **A germinação das sementes**. Washington, DC: OEA, 1983.
- LABOURIAU, L.G.; VALADARES, M.E.B. On the germination of seeds of *Calotropis procera* (Ait). F. **Anais da Academia Brasileira de Ciências**, Rio de Janeiro, v. 48. p. 263-284, 1976.
- LARCHER, W. **Ecofisiologia vegetal**. Rima Artes e Textos, São Carlos, 2000.
- MACIAS, F.A.; VARELA, R.M.; TORRES, A.; OLIVA, R.M.; MOLINILLO, J.M.G. Bioactive norsesquiterpenes from *Helianthus annuus* with potential allelopathic activity. **Phytochemistry**, v. 48, n. 4, p. 631-636, 1998.
- MAGUIRE, J.D. Speed germination-aid in selection and evaluation for seedling emergence and vigor. **Crop Science**, Madison, v.2, p. 176-177, 1962.
- MARASCHIN-SILVA, F.; AQÜILA, M.E.A. Potencial alelopático de *Dodonaea viscosa* (L.) Jacq. **IHERINGIA**, v. 60, n. 1, p. 91-98, 2005.
- MARASCHIN-SILVA, F.; AQÜILA, M.E.A. Potencial alelopático de espécies nativas na germinação e crescimento inicial de *Lactuca sativa* L. (Asteraceae). **Acta Botanica Brasílica**, v. 20, n.1, p. 61-69, 2006.
- MARCHAIM, U.; WERKER, E.; THOMAS, W.D.E. Changes in the anatomy of cotton seed coats caused by Lucerne saponins. **Botanical Gazette**, Chicago, v. 135, n. 2, p. 139-146, 1974.
- MARCHI, G.; MARCHI, E.C.S.; WANG, G.; MCGIFFEN, M. Effect of age of a Sorghum-sudangrass hybrid on its allelopathic action. **Planta Daninha**, v. 26, n. 4, p. 707-716, 2008.
- MARZINEK, J.; DE-PAULA, O.C.; OLIVEIRA, D.M.T. Cypsela or achene? Refining terminology by considering anatomical and historical factors. **Revista Brasileira de Botânica**, v. 31, n. 3, p. 549-553, jul.-set., 2008.
- MEDEIROS, A.R.M.; LUCHESI, A.A. Efeitos alelopáticos da ervilha (*Vicia sativa* L.) sobre a alface em testes de laboratório. **Pesquisa Agropecuária Brasileira** v. 28, n. 1, p. 9-14, 1993.
- MORADSHAHI, A.; GHADIRI, H.; EBRAHIMIKIA, F. Allelopathic effects of crude volatile oil and aqueous extracts of *Eucalyptus camaldulensis* Dehnh. leaves on crops and weeds. **Allelopathy journal**, v. 12, n. 2, p. 189-195, 2003.

MULLER, C.; CHAGAS, F.F.; PERES, M.T.L.P.; HESS, S.C.; FACCENDA, O.; DALOSO, D.M. Potencial fitotóxico de algumas espécies Gleicheniaceae sobre *Allium cepa*. **Revista Brasileira de Biociências**, Porto Alegre, v. 5, supl. 2, p. 45-47, jul. 2007.

MURGU, M. **Saponinas e glicosídeos de *Sapindus saponaria*: metodologias de análises por espectrometria de massas e relação com fungos endofíticos**. 2002. 133 f. Tese (Doutorado em Química Orgânica) – Departamento de Química da UFSCar, Universidade Federal de São Carlos, São Carlos, SP, 2002.

NASCIMENTO, M. C.; ALCANTARA, S. F.; HADDAD, C. R. B.; MARTINS, F. R. Allelopathic potential of *Pouteria torta* (Mart.) Radlk., a species of the Brazilian cerrado. **Allelopathy Journal**, v.20, n.2, p. 279-286, 2007.

OLIVEROS-BASTIDAS, A.J.; MACÍAS, F.A.; FERNÁNDEZ, C.C.; MARIN, D.; MOLINILLO, J.M.G. Exudados de la raíz y su relevancia actual en las interacciones alelopáticas. **Química Nova**, v. 32, n. 1, p. 198-213, 2009.

OLIVEIRA, S.C.C.; FERREIRA, A.G.; BORGHETTI, F. Effect of *Solanum lycocarpum* fruit extract on sesame seed germination and seedling growth. **Allelopathy journal**, v. 13, n. 2, p. 201-209, 2004.

PANEITZ, A.; WESTENDORF, J. 1999. Anthranoid contents of rhubarb (*Rheum undulatum* L.) and other *Rheum* species and their toxicological relevance. **European Food Research and Technology**, n. 210, p. 97-101, 1999.

PELEGRINI, D.D.; TSUZUKI, J.K.; AMADO, C.A.B.; CORTEZ, D.A.G.; FERREIRA, I.C.P. Biological activity and isolated compounds in *Sapindus saponaria* L. and other plants of the genus *Sapindus*. **Latin American Journal of Pharmacy**, v. 27, n. 6, p. 922-927, 2008.

PERES, M.T.L.P.; PIZZOLATTI, M.G.; QUEIROZ, M.H.; YUNES, R.A. Potencial de atividade alelopática de *Gleichenia pectinata* Willd (Pr.). **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 33, p. 131-137, 1998.

PERES, M.T.L.P.; SILVA, L.B.; FACCENDA, O.; HESS, S.C. Potencial alelopático de espécies de Pteridaceae (Pteridophyta). **Acta Botânica Brasílica**, v. 18, n. 4, p. 723-730, 2004.

PIMENTEL-GOMES, F.P. Curso de estatística experimental. 11 ed. Nobel: Piracicaba, 1987.466p.

PIRES, N.M; PRATES, H.T; PEREIRA FILHO, I.A.P; OLIVEIRA JUNIOR, R.S.O.; FARIA, T.C.L. Atividade alelopática de Leucena sobre espécies de plantas daninhas. **Scientia Agrícola**, Piracicaba, v. 58, n. 1, p. 61-65, 2001.

POVH, J.A.; PINTO, D.D.; CORRÊA, M.O.G.; ONO, E.O. Atividade alelopática de *Machaerium acutifolium* Vog. na germinação de *Lactuca sativa* L. **Revista Brasileira de Biociências**, Porto Alegre, v. 5, supl. 2, p. 447-449, jul. 2007.

PRATES, H.T.; PAES, J.M.V.; PIRES, N.M.; PEREIRA FILHO, I.A.; MAGALHÃES, P.C. Efeito do extrato aquoso de leucena na germinação e no desenvolvimento do milho. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 35, n. 5, p. 909-914, 2000.

PUTNAM, A.R.; TANG, C.S. Allelopathy: state of the science. In: **The Science of allelopathy**. New York. John Wiley & Sons, p. 1-19, 1986.

RANAL, M.A.; SANTANA, D.G. How and why to measure the germination process? **Revista Brasileira de Botânica**, v. 29, p. 1-11, 2006.

REIGOSA, M.J.; SÁNCHEZ-MOREIRAS, A.; GONZÁLEZ, L. Ecophysiological approach in allelopathy. **Critical Reviews in Plant Sciences**, v. 18, n. 5, p. 577-608, 1999.

RICE, E.L. 1984. **Allelopathy**. 2^a ed. New York, Academic Press.

RIZVI, S.J.H.; HAQUE, H.; SINGH, V.K.; RIZVI, V. A discipline called allelopathy. Pp. 1-10. In: S.J.H. RIZVI; V. RIZVI (eds.). **Allelopathy: basic and applied aspects**. London, Chapman & Hall, 1992.

RODRIGUES, L.R.A.; RODRIGUES, T.J.D.; REIS, R.A. **Alelopatia em plantas forrageiras**. Jaboticabal-SP, FCAVJ-UNESP. 1992. 160p.

ROGER, J.A.; ZANOTTI, R.F.; CRISTIANA, M.C. Potencial alelopático de *Acacia mangium* sobre sementes de alface. **Anais do VIII Congresso de Ecologia do Brasil**, 2007.

ROHLF, F.J.; SOKAL, R.R. **Biometry**. The principles and practice of statistics in biological research. Editora W.H. Freeman & Co., S. Francisco, 776 p, 1969.

SCRIVANTI, L.R.; ZUNNINO, M.P.; ZYGADLO, J.A. *Tagetes minuta* and *Schinus areira* essential oils as allelopathic agents. **Biochemical Systematics and Ecology**, v. 31, p. 563-572, 2003.

SOARES, G.L.G.; VIEIRA, T.R. Inibição da germinação e do crescimento radicular de alface (cv. "Grand Rapids") por extratos aquosos de cinco espécies de Gleicheniaceae. **Floresta e Ambiente**, Soropédica, v. 7, n. 1, p. 180-197, 2000.

SOUZA FILHO, A.P.S.; RODRIGUES, L.R.A.; RODRIGUES, T.J.D. Efeitos de extratos aquosos de assa-peixe sobre a germinação de três espécies de braquiária. **Planta Daninha**, v. 14, n.2, p. 93-101, 1996.

SOUZA, S.A.M.; CATTELANI, L. Y.; VARGAS, D.P.; PIANA, C.F.B.; BOBROWSKI, V.L.; ROCHA, B.H.G. Atividade alelopática e citotóxica do extrato aquoso de espinheira-santa (*Maytenus ilicifolia* mart. Ex reiss.). **Ciências Biológicas e da Saúde**, v. 11 (3/4), p. 7-14, 2005.

SPARG, S.G.; LIGHT, M.E.; VAN STADEN, J. Biological activities and distribution of plant saponins. **Journal of Ethnopharmacology**, v. 94, p. 219-243, 2004.

SUN, B.Y.; TAN, J.Z.; WAN, Z.G.; GU, F.G.; ZHU, M.D. Allelopathic effects of extracts from *Solidago canadensis* L. against seed germination and seedling growth of some plants. **Journal of Environmental Science**, v. 18, p. 304-309, 2006.

TURK, M.A.; LEE, K.D.; TAWAHA, A.M. Inhibitory effects of aqueous extracts of black mustard on germination and growth of radish. **Research Journal of Agriculture and Biological Sciences**, v. 1, p. 227-231, 2005.

VILLELA, F. A.; DONI FILHO, L.; SEQUEIRA, E. L. Tabela de potencial osmótico em função da concentração de polietileno glicol 6000 e da temperatura. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 26, p. 1957-1968, 1991.

- WAKJIRA, M.; BERECHA, G.; BULTI, B. Allelopathic effects of *Parthenium hysterophorus* extracts on seed germination and seedling growth of lettuce. **Tropical Science**, v. 45, p. 159–162, 2005.
- WALKER, T.S.; BAIS, H.P.; GROTEWOLD, E.; VIVANCO, J.M. Root exudation and rhizosphere biology. **Plant Physiology**, v. 132, p. 44–51, 2003.
- WANDSCHEER, A.C.D.; PASTORINI, L.H. Interferência alelopática de *Raphanus raphanistrum* L. sobre a germinação de *Lactuca sativa* L. e *Solanum lycopersicon* L. **Ciência Rural**, v. 38, n. 4, p. 949-953, 2008.
- WANG, B.S.; WANG, Y.J.; LIAO, W.B.; ZAN, Q.J.; LI, M.G.; PENG, S.L. The invasion ecology and management of alien weed *Mikania micrantha* H.B.K. **Science Press**, Beijing, pp 76–85, 2004.
- WATERMAN, P.G.; MOLE, S. Extrinsic factors influencing production of secondary metabolites in plants. In: Bernays EA, ed. **Insect–plant interactions**, v. 1. Boca Raton, FL, USA: CRC Press, p. 107–134, 1989.
- WATERMAN, P.G.; MOLE, S. **Analysis of phenolic metabolites**. London, UK: Blackwell Scientific, 1994.
- WEIDENHAMER J.D. Distinguishing resource competition and chemical interference: overcoming the methodological impasse. **Agronomy Journal**, v. 88, p. 866–875, 1996.
- WINK, M. Introduction: biochemistry, role and biotechnology of secondary metabolites. In: Wink, M., ed. **Functions of plant secondary metabolites and their exploitation in biotechnology**. Sheffield, UK: Sheffield Academic Press, p. 1–16, 1999.
- WINK, M.; SCHIMMER, O. Modes of action of defensive secondary metabolites. In: Wink, M., ed. **Functions of plant secondary metabolites and their exploitation in biotechnology**. Sheffield, UK: Sheffield Academic Press, p. 17–133, 1999.
- WHITTAKER, R.W.; FEENY, P.P. Allelochemics: chemical interactions between species. **Science**, v. 171, n. 3973, p. 757-769, 1971.
- WU, A.P.; YU, H.; GAO, S.O.; HUANG, Z.Y.; HE, W.M.; MIAO, S.L.; DONG, M. Differential belowground allelopathic effects of leaf and root of *Mikania micrantha*. **Trees-Structure and Function**, v. 23, n. 1, p. 11-17, 2009.
- ZHANG, Q.Y.; PENG, S.L.; ZHANG, Y.C. Allelopathic potential of reproductive organs of exotic weed *Lantana camara*. **Allelopathy Journal**, v. 23, n. 1, p. 213-220, 2009.

CAPÍTULO II

**POTENCIAL ALELOPÁTICO DO EXTRATO AQUOSO DE *SAPINDUS SAPONARIA* L.
NO CONTROLE DE PLANTAS DANINHAS.**

RESUMO - Espécies arbóreas com atividade alelopática podem desempenhar papel crucial na estabilidade dos sistemas agroflorestais, em especial pela possibilidade de exercer um controle na infestação por plantas daninhas. O objetivo desse estudo foi avaliar o potencial alelopático do extrato aquoso de frutos, raízes, folhas jovens e maduras de *Sapindus saponaria* L. (sabão-de-soldado) na germinação de sementes e na morfologia de plântulas de capim-arroz (*Echinochloa crus-galli* L.) e corda-de-viola (*Ipomoea grandifolia* (Dammer) O'Donell), comparando seu efeito com o herbicida nicosulfuron. O extrato aquoso foi preparado na proporção de 100 g de material vegetal para 1000 mL de água destilada, produzindo-se o extrato considerado concentrado (10%). A partir deste, foram feitas diluições em água destilada para 7,5; 5,0 e 2,5%. O efeito inibitório sobre o processo de germinação das sementes e morfologia das plântulas de capim-arroz e corda-de-viola foi concentração-dependente. O extrato de folhas jovens exerceu maior efeito inibitório na germinabilidade das sementes das duas espécies de plantas daninhas, enquanto os extratos do fruto e das folhas jovens foram os que mais inibiram o desenvolvimento das plântulas, principalmente de corda-de-viola. Essas inibições, decorrentes da aplicação dos extratos sobre a morfologia das plântulas, foram similares ao efeito produzido pelo herbicida, mostrando a eficiência da espécie arbórea, *Sapindus saponaria*, no controle dessas plantas daninhas.

Palavras-chave: alelopatia, capim-arroz, corda-de-viola, sabão-de-soldado.

ABSTRACT (Allelopathic potential of *Sapindus saponaria* L. aqueous extract in the control of weeds) – Tree species with allelopathic activity may play crucial role in the stability of agroforestry systems, in particular the possibility to control the infestation by weeds. The objective of this study was to evaluate the allelopathic potential of aqueous extract of fruits, roots, young and senesced leaves of *Sapindus saponaria* L. on the seed germination and morphology of seedlings of barnyard grass (*Echinochloa crus-galli* L.) and morningglory (*Ipomoea grandifolia* (Dammer) O'Donell), comparing its effect with the herbicide nicosulfuron. The aqueous extract was prepared using 100 g of plant material + 1000 mL of distilled water, resulting in the concentrated extract (10%). The dilutions were made with distilled water to 7,5; 5,0 and 2,5%. The inhibitory effect on the process of seed germination and seedling morphology of barnyardgrass and morningglory was concentration-dependent. The extract of young leaves had greater inhibitory effect on germination of two weed species, while the extracts of the fruit and young leaves were the most inhibited seedling development, especially the morningglory. These inhibitions arising from the application of the extracts on the morphology of the seedlings were similar to the effect produced by the herbicide, showing the efficiency of tree species, *Sapindus saponaria* to control these weeds.

Key words: allelopathy, barnyard grass, morningglory, soapberry.

1. Introdução

Devido à grande expansão agrícola, o Brasil se tornou o maior consumidor de agrotóxicos do mundo e, segundo a ANVISA (Agência Nacional de Vigilância Sanitária, 2009), o país responde pelo uso de 84% dos produtos em toda a América Latina. Do total, os herbicidas representam cerca de 45% das vendas, os inseticidas 29% e os fungicidas 21%, porém, a utilização em larga escala de agrotóxicos tem trazido uma série de problemas ambientais, com impactos significativos na biota e riscos eminentes ao homem (Peres & Moreira, 2007). Em função disso, a busca por herbicidas naturais que não apresentem os inconvenientes dos herbicidas sintéticos é de fundamental importância (Souza Filho et al., 2006).

Dentre os herbicidas utilizados no controle de *Echinochloa crus-galli* (L.) Link (Poaceae, capim-arroz) e de *Ipomoea grandifolia* (Dammer) O'Donnell (Convolvulaceae, corda-de-viola), destaca-se o nicosulfuron. Trata-se de um herbicida pós-emergente seletivo, de ação sistêmica e de baixa toxicidade, recomendado para controle de gramíneas e algumas espécies de dicotiledôneas. Atua na inibição da síntese da enzima acetolactato sintase (ALS) e os sintomas de sua atuação são caracterizados por clorose foliar, necrose e redução do crescimento (Rodrigues & Almeida, 2005).

Na tentativa de diminuir o uso de herbicidas comerciais, muitas técnicas estão sendo aplicadas, dentre elas o manejo de plantas daninhas por meio da rotação de culturas, sistemas adequados de semeadura entre espécies e entre-safras, adubação verde, além de sistemas agroecológicos (Chou et al., 1998; Khan et al., 2002; Kato-Noguchi, 2003). Todos esses modelos de cultivo são afetados, de alguma forma, pelas relações alelopáticas entre as espécies envolvidas.

Os estudos sobre alelopatia têm sido fundamentais para o entendimento dos processos pelos quais as plantas influenciam a sua vizinhança pela liberação de substâncias do metabolismo secundário, bem como na sua aplicação na agricultura, sistemas florestais e manejo de ecossistemas (Romero et al., 2005). O termo alelopatia descreve a influência de um indivíduo sobre o outro, seja prejudicando ou favorecendo o segundo e sugere que o efeito é realizado por biomoléculas denominadas aleloquímicos, produzidas por uma planta e lançadas no ambiente, seja na fase aquosa do solo ou substrato, seja por substâncias gasosas volatilizadas no ar que cerca as plantas vizinhas (Rizvi et al., 1999).

Substâncias alelopáticas podem ser liberadas por uma variedade de processos (Bonanomi et al., 2006) e essas estão presentes em todos os tecidos das plantas, incluindo folhas, flores, frutos, raízes, caules e sementes (Putnam & Tang, 1986; Gatti et al., 2004). Entretanto, a distribuição das substâncias não é uniforme, havendo variações em função da espécie e do órgão da planta (Hedge & Miller, 1990; Rao, 1990). Os principais fatores que podem alterar a taxa de produção de aleloquímicos são a sazonalidade, o ritmo circadiano e o estágio de maturação. Geralmente, os

tecidos mais jovens possuem taxa biossintética de metabólitos secundários mais elevada; porém, nota-se frequentemente uma correlação inversa entre alta atividade metabólica e produção de aleloquímicos, isto é, há decréscimo na produção de metabólitos secundários (notadamente derivados fenólicos) em períodos de crescimento tecidual rápido (Gobbo-Neto & Lopes, 2007).

Por meio dos aleloquímicos, as plantas podem regular a comunidade de microrganismos do solo em suas proximidades, controlar a herbivoria, estimular os benefícios simbióticos, mudar as propriedades físicas e químicas do ambiente circundante e inibir diretamente o crescimento das espécies de plantas competidoras que podem interferir negativamente na cultura, causando prejuízos econômicos à atividade agrícola (Pedrol et al., 2006). Esses compostos têm importante papel na determinação da diversidade, dominância, sucessão da vegetação natural e na produtividade de plantas dos agroecossistemas (Chou, 1999; Young & Bush, 2009).

Em áreas tropicais, onde predominam solos de baixa fertilidade e acidez elevada, há crescente interesse pelos sistemas agrofloretais como alternativa para a exploração agrícola. Esses sistemas têm se mostrado mais equilibrados, do ponto de vista ambiental e da sustentabilidade, que aqueles baseados no monocultivo, tradicionalmente utilizados. Espécies arbóreas com atividade alelopática podem desempenhar papel crucial na estabilidade dos sistemas agrofloretais, em especial pela possibilidade de exercer controle na infestação das plantas daninhas (Souza Filho & Alves, 1998).

Sapindus saponaria (sabão-de-soldado) é um representante arbóreo de Sapindaceae, nativa, de distribuição regular nos estados das regiões Norte, Nordeste e Centro-Oeste. Encontra-se habitualmente em locais úmidos, sendo espécie pioneira utilizada em paisagismo e em modelos de recuperação de áreas degradadas (Albiero et al., 2001). A sua composição fitoquímica é bem conhecida, apresentando grande diversidade de compostos químicos, como saponinas e taninos (Guarim Neto et al., 2000); porém, poucos trabalhos referem-se ao potencial alelopático da espécie.

Neste contexto, o presente estudo teve como objetivo avaliar o potencial alelopático do extrato aquoso de raízes, frutos, folhas jovens e maduras de *Sapindus saponaria* na germinação de sementes e na morfologia de plântulas de *Echinochloa crus-galli* (capim-arroz) e *Ipomoea grandifolia* (corda-de-viola), comparando seu efeito com o herbicida nicosulfuron, utilizado no controle de ambas.

2. Material e Métodos

Os experimentos foram conduzidos nos laboratórios de Ecofisiologia Vegetal, da Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia (MG) e de Ecofisiologia de Sementes, da Universidade Federal de São Carlos, São Carlos (SP).

2.1. Preparação dos extratos

Para avaliar o potencial alelopático de *Sapindus saponaria*, o material vegetal (raiz, fruto, folha jovem e madura) foi coletado no município de São Carlos, SP (22° 02' S e 47° 52' W). A região é caracterizada pelo tipo climático Aw, segundo o sistema de classificação de Köppen (1948), considerado tropical de altitude com inverno seco (abril a setembro) e verão chuvoso (outubro a março).

Os frutos (coloração amarelo translúcido), as folhas jovens (coloração verde-clara e textura membranácea) e as folhas maduras (coloração verde-escura e textura coriácea) foram coletados diretamente de 10 árvores, enquanto as raízes foram coletadas de apenas duas. A coleta das folhas jovens ocorreu em maio, das raízes e frutos em julho e das folhas maduras em novembro de 2008. A retirada das partes subterrânea (raiz) e aérea (folhas e frutos) ocorreu com o auxílio do enxadão e da tesoura de poda, respectivamente.

As folhas e raízes foram secas a 40 °C durante 72 horas (Ferreira et al., 2007) e trituradas em moinho industrial para a obtenção do material vegetal seco (pó). Os frutos foram pesados e triturados em um liquidificador industrial durante cinco minutos, resultando no material vegetal fresco.

O extrato aquoso foi preparado na proporção de 100 g de material vegetal seco ou fresco para 1000 mL de água destilada, produzindo-se o extrato 10%, considerado concentrado. O extrato permaneceu em repouso durante 30 minutos a 4 °C e, em seguida foi filtrado a vácuo, utilizando-se uma bomba elétrica acoplada a um funil de Buchner forrado internamente com papel de filtro (Gatti et al., 2004). O extrato resultante foi recolhido em um béquer e, a partir desse extrato concentrado, foram feitas diluições em água destilada para 7,5; 5,0 e 2,5%.

2.2. Potencial osmótico e pH dos extratos

2.2.1. pH

O pH foi medido com o auxílio do pHmetro Analion, modelo PM608. Essa medição foi realizada com os extratos dos diferentes órgãos de *Sapindus saponaria* em sua maior concentração (10%), sendo mantidos a 25°C.

2.2.2. Potencial osmótico

A medição da concentração molar, expressa em mOsm/Kg, foi realizada com um osmômetro automático (μ Osmotte, modelo 5004), utilizando-se 50 μ L de cada extrato concentrado, mantidos à temperatura de 25°C.

Os valores da concentração molar foram convertidos para pressão osmótica (25 °C) pela conversão de mOsm/Kg para MPa, segundo a equação 1.1 citada por Larcher (2000):

$$1\text{Osm/Kg} = 0,00832 \times T_{\text{abs}}, \quad (\text{eq. 1.1})$$

onde:

T_{abs} : temperatura absoluta, expressa em graus Kelvin.

2.3. Teste de germinação de sementes

As quatro concentrações obtidas a partir dos extratos de raízes, frutos, folhas jovens e maduras foram aplicadas nas sementes de *Echinochloa crus-galli* (capim-arroz) e *Ipomoea grandifolia* (corda-de-viola) para avaliação do processo de germinação, em comparação com a aplicação de água destilada (tratamento controle). As sementes de *Ipomoea grandifolia* foram escarificadas em ácido sulfúrico concentrado durante cinco minutos e, em seguida, lavadas em água corrente (Azania et al., 2003). Essa metodologia foi empregada com objetivo de padronizar os resultados obtidos em testes de germinação.

Foram utilizadas quatro repetições de 30 sementes, distribuídas em placas de Petri forradas com duas folhas de papel de filtro umedecidas com 5 mL do extrato ou água, sendo cobertas por uma película de plástico transparente e posteriormente tampadas. O experimento foi instalado em câmara de germinação a 25 °C, sob fotoperíodo de 12 horas luz/12 horas escuro e irradiância média de $12,26 \pm 6,49 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$, conforme recomendações de Concenço et al. (2008) e Mauli et al. (2009). O delineamento experimental foi inteiramente casualizado. As leituras foram realizadas a cada 12 horas durante os sete primeiros dias e em intervalos de 24 horas, até a estabilização da germinação, adotando-se a protrusão de qualquer parte do embrião como critério de germinação (Labouriau, 1983).

2.3.1. Características avaliadas

Foi avaliado o tempo inicial (t_0) e final (t_f) de germinação das sementes, expressos em horas. O tempo final foi determinado após a estabilização dos eventos; por segurança, após a última germinação, o experimento continuou sendo avaliado por tempo igual ao maior intervalo entre dois registros (Ferreira, 2007).

Foram ainda calculadas as medidas de germinabilidade, frequência relativa de germinação, tempo e velocidade média de germinação, velocidade de germinação de Maguire, coeficiente de

variação do tempo, incerteza e sincronia (Ranal & Santana, 2006), cujas expressões matemáticas seguem abaixo:

a) germinabilidade ou porcentagem de germinação (G), expressa pela equação 1.2:

$$G = \frac{\sum n_i}{n} 100, \quad (\text{eq. 1.2})$$

onde:

n_i : número de sementes que germinam no tempo t_i ;

n : número total de sementes.

b) frequência relativa de germinação (f_i), expressa por:

$$f_i = \frac{n_i}{\sum_{i=1}^k n_i}, \quad (\text{eq. 1.3})$$

em que:

n_i : número de sementes germinadas no dia i ;

k : último dia de observação.

c) tempo médio de germinação (\bar{t}), calculado pela expressão proposta por Labouriau (1983):

$$\bar{t} = \frac{\sum_{i=1}^k n_i t_i}{\sum_{i=1}^k n_i}, \quad (\text{eq. 1.4})$$

em que:

t_i : tempo entre o início do experimento e a i ésima observação (horas);

n_i : número de sementes que germinam no tempo t_i ;

k : último tempo de germinação das sementes.

d) coeficiente de variação do tempo (CV_t), proposto por Ranal & Santana (2006), que mede o grau de dispersão da germinação ao redor do tempo médio, sendo calculado a partir do tempo médio e do desvio padrão do tempo, usando a expressão:

$$CV_t = (s_t / \bar{t}) 100, \quad (\text{eq. 1.5})$$

onde:

s_t : desvio padrão do tempo;

\bar{t} : tempo médio de germinação.

O desvio padrão do tempo foi calculado pela expressão: $s_t = \sqrt{s_t^2}$, onde: s_t^2 : variância do tempo de germinação, calculada pela expressão:

$$s_t^2 = \frac{\sum_{i=1}^k n_i (t_i - \bar{t})^2}{\sum_{i=1}^k n_i - 1}, \quad (\text{eq. 1.6})$$

onde:

\bar{t} : tempo médio de germinação;

t_i : tempo entre o início do experimento e a i -ésima (dia) observação;

n_i : número de sementes que germinam no tempo t_i ;

k : último tempo de germinação das sementes.

e) velocidade média de germinação (\bar{v}) (Labouriau, 1983), calculada como:

$$\bar{v} = \frac{1}{\bar{t}}, \quad (\text{eq. 1.7})$$

onde:

\bar{t} : tempo médio de germinação.

f) velocidade de germinação (VG), proposta por Maguire (1962), é uma ferramenta para avaliar o vigor das sementes, cuja expressão matemática que associa número de sementes germinadas e tempo é dada por:

$$VG = \frac{\text{número de sementes germinadas}}{\text{dias até a primeira contagem}} + \dots + \frac{\text{número de sementes germinadas}}{\text{dias até a última contagem}} \quad (\text{eq. 1.8})$$

g) incerteza (I), proposta por Labouriau & Valadares (1976) para analisar a incerteza associada à distribuição da frequência relativa de germinação como,

$$I = - \sum_{i=1}^K f_i \log_2 f_i, \quad (\text{eq. 1.9})$$

Sendo $f_i = n_i / \sum_{i=1}^k n_i$, onde:

f_i : frequência relativa de germinação;

n_i : número de sementes germinadas no dia i ;

k : último dia de observação.

h) sincronia (Z) do processo de germinação (Ranal & Santana, 2006), calculada pela expressão:

$$Z = \sum C_{n_i,2} / N, \quad (\text{eq. 1.10})$$

Sendo, $C_{n_i,2} = n_i(n_i - 1)/2$ e $N = \sum n_i(\sum n_i - 1)/2$, onde:

$C_{n_i,2}$: combinação de sementes germinadas no tempo i , dois a dois;

n_i : número de sementes germinadas no tempo i .

2.3.2. Experimento com PEG

Para avaliar o efeito osmótico dos extratos obtidos, foi realizado um bioensaio de germinação com sementes de *Echinochloa crus-galli* e *Ipomoea grandifolia* em soluções de polietilenoglicol 6000 (PEG 6000) a -0,2 e -0,3 MPa, além do controle (0 MPa), segundo recomendações de Villela et al.. (1991). O experimento foi realizado utilizando-se a mesma metodologia descrita para o bioensaio de germinação.

2.4. Morfologia de plântulas

Na análise da morfologia de plântulas de capim-arroz e corda-de-viola foram utilizadas sementes pré-germinadas, com 3 mm de raiz, transferidas para caixas de plástico transparente (21,0 x 14,3 x 6,0 cm) contendo como substrato papel de filtro umedecido com 15 mL de água, extratos de raízes, frutos, folhas jovens e maduras ou solução do herbicida nicosulfuron (1,25 L ha⁻¹) nas mesmas concentrações utilizadas no teste de germinação. As caixas foram mantidas em câmara de germinação a 25 °C, com fotoperíodo de 12 horas e irradiância média de $13,38 \pm 7,96 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$, sendo utilizadas quatro repetições de 20 plântulas. O delineamento adotado foi inteiramente casualizado. Sete dias após o transplântio foram avaliados o comprimento da parte aérea, da raiz primária, a massa da matéria seca e a presença de anomalias. O comprimento da parte aérea (do colo até o meristema caulinar) e da raiz primária (do colo até o meristema radicular) foi medido a partir de uma amostra aleatória de 10 plântulas por repetição, utilizando-se paquímetro.

As plântulas foram classificadas em normais e anormais, de acordo com as especificações de Brasil (1992), onde foram consideradas anormais aquelas que não mostraram potencial para continuar o seu desenvolvimento, com o sistema radicular ou a parte aérea apodrecidos, necrosados, ausentes ou totalmente atrofiados; também foram incluídas na classificação as plântulas mortas.

Depois de realizadas as classificações e as medidas biométricas, as 20 plântulas foram colocadas em sacos de papel e inseridas em estufa a 70°C, durante 48 horas. A cada 24 horas o material vegetal foi retirado e mantido em um dessecador para ser avaliado em balança analítica de precisão, até massa constante.

2.5. Análise estatística

Os dados obtidos para cada uma das características avaliadas foram submetidos aos testes de normalidade (Shapiro-Wilk) e homogeneidade (Levene). Quando essas duas pressuposições foram atendidas, foi aplicada a análise de variância (ANOVA), seguida pelo teste de Tukey a 0,05 de significância. A falta de normalidade ou homogeneidade (ou ambas) levou à realização de testes

não-paramétricos, Kruskal-Wallis, seguido de Dunn para comparações binárias, a 0,01 de significância.

Procedeu-se à regressão linear, quadrática ou exponencial quando o resultado da ANOVA foi significativo. O ajuste do modelo foi testado a 0,05 de significância e avaliado pelo seu coeficiente de determinação (R^2); porém, em situações onde não foi possível o ajuste dos modelos (R^2 inferior a 70%), os valores foram inseridos em uma tabela, sem representação gráfica. Para as variáveis que não apresentaram diferenças significativas entre os tratamentos os resultados foram representados em figuras, com seus respectivos desvios padrão.

As equações das regressões lineares foram submetidas ao teste do paralelismo (teste F) para verificar a hipótese de nulidade, testando-se se as inclinações das equações são estatisticamente iguais, conforme descrito por Rohlf & Sokal (1969).

Foi realizada a análise conjunta dos dados de germinabilidade e velocidade média de germinação referentes aos quatro órgãos da espécie *Sapindus saponaria*, uma vez que a razão entre o maior e o menor quadrado médio residual não foi superior a sete (Pimentel-Gomes, 1990).

3. Resultados e Discussão

3.1. Teste de germinação e análise morfológica das plântulas

3.1.1. Folhas maduras e jovens

O extrato de folhas maduras de *Sapindus saponaria* inibiu significativamente a germinação das sementes de capim-arroz e corda-de-viola, efeito este encontrado para a maior parte das medidas avaliadas (Figura 2).

Para o extrato de folhas maduras, observou-se aumento linear no tempo inicial (1,08 horas para cada adição de $0,01 \text{ mg mL}^{-1}$ de extrato, para as sementes de capim-arroz) e no tempo médio de germinação (1,39 e 1,21 horas para cada adição de $0,01 \text{ mg mL}^{-1}$ de extrato, para as sementes de capim-arroz e corda-de-viola, respectivamente) (Figura 2). Como consequência disto, houve decréscimo linear na velocidade média de germinação ($0,0003 \text{ horas}^{-1}$ para o capim-arroz e $0,0023 \text{ horas}^{-1}$ para a corda-de-viola, para cada $0,01 \text{ mg mL}^{-1}$ de extrato) e na velocidade de germinação de Maguire ($0,0216 \text{ sementes hora}^{-1}$ para o capim-arroz e $0,1063 \text{ sementes horas}^{-1}$ para a corda-de-viola, para cada $0,01 \text{ mg mL}^{-1}$ de extrato). Comparando as linhas de tendências das regressões lineares, notou-se que para o tempo médio de germinação as duas espécies apresentaram as mesmas taxas de incrementos, enquanto para a velocidade média e velocidade de germinação os decrementos diferiram entre as espécies, sendo as maiores reduções apresentadas pelas sementes de

corda-de-viola (Tabela 1). O tempo inicial de germinação das sementes de corda-de-viola apresentou acréscimos somente a partir da concentração de 7,5%. A germinabilidade das sementes de capim-arroz foi reduzida linearmente em 2,26%, para cada adição de 0,01 mg mL⁻¹ de extrato, enquanto o coeficiente de variação do tempo, apresentou regressão quadrática, com o valor mínimo estimado de 25,46% na concentração de 10% (Figura 2), indicando que as poucas sementes germinadas nesta concentração tinham características fisiológicas semelhantes.

A frequência relativa de germinação para ambas as espécies foi similar entre as diferentes concentrações do extrato de folhas maduras. Porém, notou-se frequência superior da corda-de-viola (0,66) em relação ao capim-arroz (0,32), indicando que em média 66 e 32% das sementes germinaram, respectivamente, em um único intervalo de tempo (Figura 1). Além disso, o tempo médio de germinação das sementes de corda-de-viola foi menor (24 horas) do que para as sementes de capim-arroz (65 horas) (Figura 1). Esta maior uniformidade e sincronia no processo de germinação das sementes de corda-de-viola pode estar relacionada com a escarificação a que estas foram submetidas.

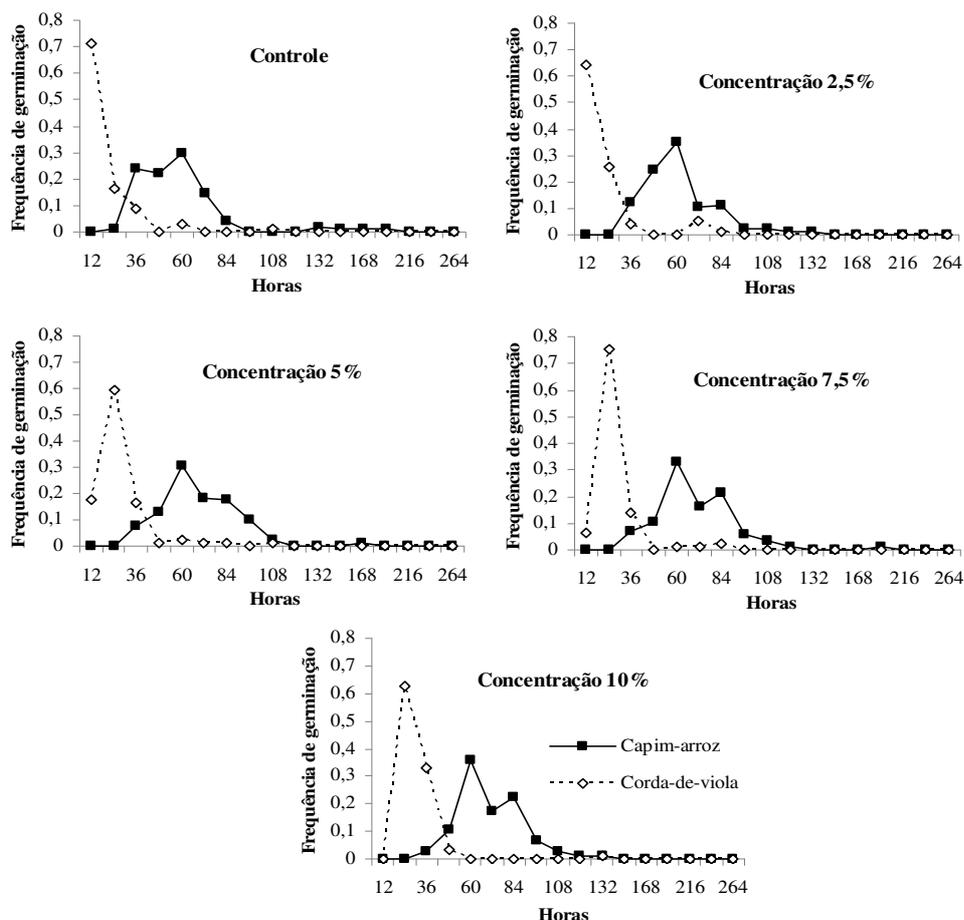


Figura 1. Frequência relativa de germinação de sementes de *Echinochloa crus-galli* (capim-arroz) e *Ipomoea grandifolia* (corda-de-viola) submetidas à ação do extrato de folhas maduras de *Sapindus saponaria* em diferentes concentrações.

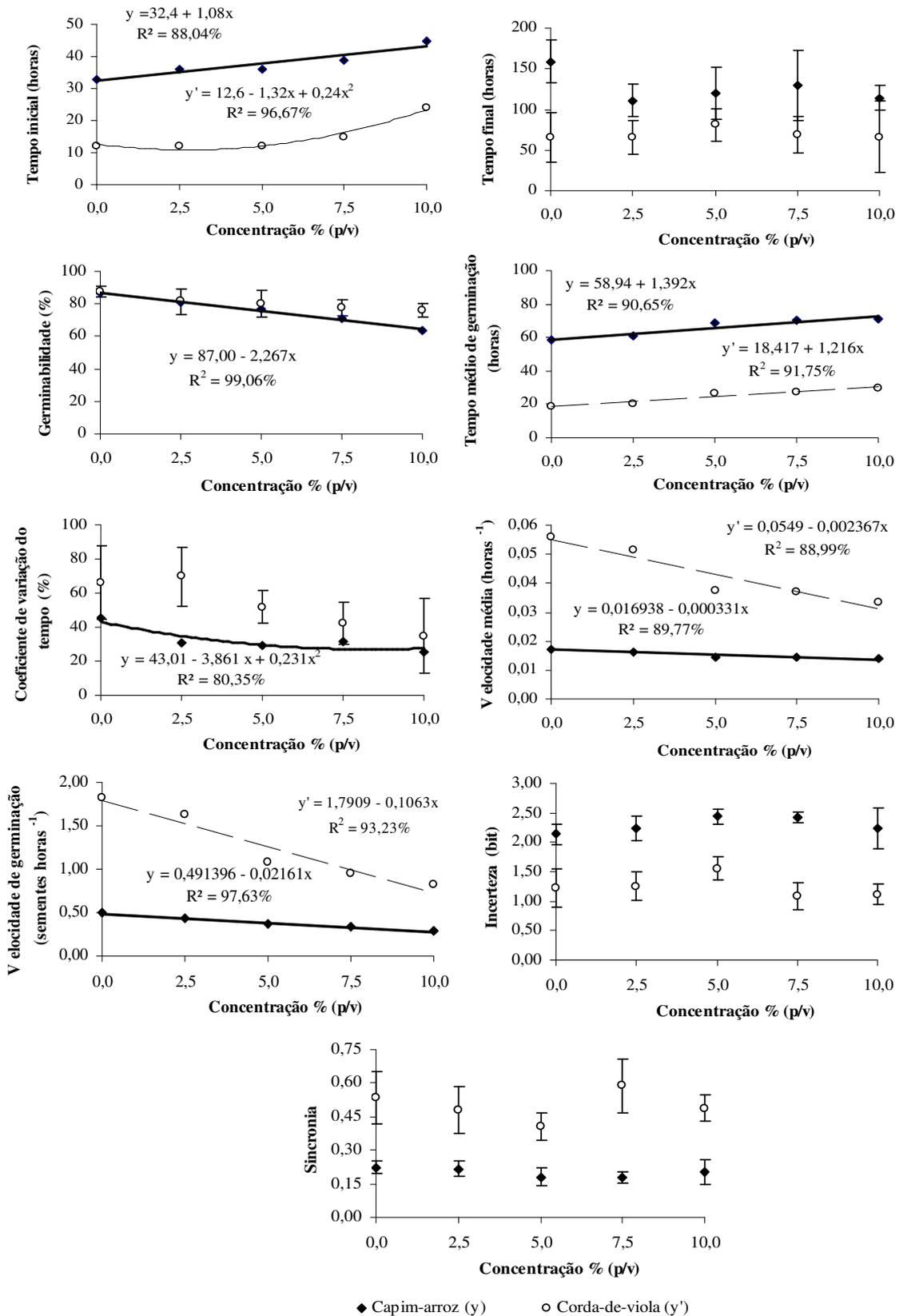


Figura 2. Tempo inicial e final, germinabilidade, tempo médio de germinação, coeficiente de variação do tempo, velocidade média de germinação, velocidade de germinação, incerteza e sincronia do processo de germinação de sementes de *Echinochloa crus-galli* (capim-arroz) e *Ipomoea grandifolia* (corda-de-viola) submetidas à ação do extrato de folhas maduras de *Sapindus saponaria* em diferentes concentrações.

O efeito inibitório do extrato de folhas jovens de *Sapindus saponaria* no processo de germinação foi bem acentuado, principalmente para sementes de corda-de-viola. Verificou-se decréscimo linear na germinabilidade (7,53% para o capim-arroz e 7,94% para a corda-de-viola, para cada 0,01 mg mL⁻¹ de extrato, respectivamente) e no coeficiente de variação do tempo (2,04% para capim-arroz e 5,77% para corda-de-viola para cada 0,01 mg mL⁻¹ de extrato), indicando na concentração de 10%, pequena dispersão ao redor do tempo médio de germinação (Figura 4). Essa homogeneidade das sementes pode ser confirmada pela baixa incerteza apresentada nessa concentração, verificando-se que os aleloquímicos podem atuar na seleção das sementes mais vigorosas. Houve diminuição linear também, para a velocidade média de germinação (0,0039 horas⁻¹ para cada 0,01 mg mL⁻¹ de extrato, para as sementes de corda-de-viola), velocidade de germinação de Maguire (0,0382 sementes horas⁻¹ para o capim-arroz e 0,1739 sementes horas⁻¹ para a corda-de-viola, para cada 0,01 mg mL⁻¹ de extrato), incerteza (0,0540 bits para cada 0,01 mg mL⁻¹ de extrato, para as sementes de capim-arroz) e para a sincronia (0,0360 para cada 0,01 mg mL⁻¹ de extrato para as sementes de corda-de-viola) (Figura 4). Para as sementes de capim-arroz, a sincronia apresentou regressão quadrática, com o valor máximo estimado de 0,2295, na concentração de 3,6% (Figura 4). A incerteza do processo de germinação das sementes de corda-de-viola apresentou maior valor (1,927 bits) na concentração de 5,5% (Figura 4). Para ambas as espécies alvo, a sincronia do processo de germinação apresentou valores baixos e próximos de zero, na concentração 10% do extrato de folhas jovens de *Sapindus saponaria*, indicando falta de sobreposição da germinação das sementes no tempo. As duas espécies de plantas daninhas apresentaram decrementos similares na germinabilidade; porém, para o coeficiente de variação do tempo e para a velocidade de germinação, os maiores decréscimos ocorreram para sementes de corda-de-viola (Tabela 1).

Essa perda de sincronia foi observada na germinação das sementes de corda-de-viola (Figura 3), pois enquanto no tratamento controle cerca de 73% das sementes germinaram em um único intervalo de tempo (12 horas), na concentração de 10% do extrato de folhas jovens apenas 28% das sementes germinaram (108 horas). Essa germinação espalhada no tempo, demonstra heterogeneidade na resposta das sementes dessa espécie ao aleloquímico.

Para as variáveis analisadas no processo de germinação que não apresentaram diferenças significativas entre os tratamentos, sob ação dos extratos de folhas jovens e maduras, as regressões não puderam ser aplicadas e os valores encontram-se nas figuras 2 e 4 e nas tabelas 2 e 3. Dentre estes valores, a análise estatística não detectou diferenças significativas para o tempo final de germinação e coeficiente de variação do tempo das sementes de capim-arroz e corda-de-viola, uma vez que estas apresentaram desvio padrão muito alto. Esta informação indica a alta variabilidade presente nessas sementes e a importância de se realizar outros testes como a análise morfológica das plântulas.

Em geral, os trabalhos que avaliam o processo germinativo baseiam-se principalmente no cálculo da germinabilidade, velocidade e tempo médio de germinação, o que pode dificultar a comparação dos resultados e a detecção dos aleloquímicos atuantes. Por este motivo, torna-se importante a análise de outras variáveis, como o coeficiente de variação do tempo, a incerteza, a sincronia e a frequência relativa de germinação.

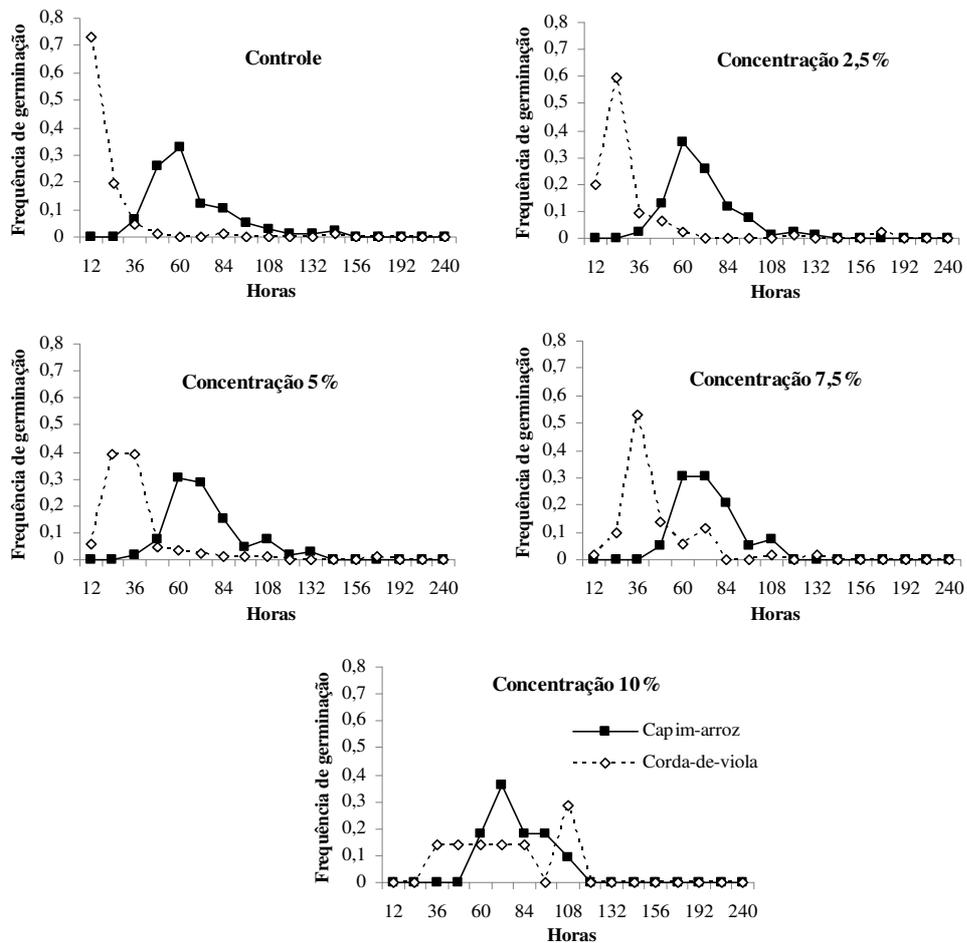


Figura 3. Frequência relativa de germinação de sementes de *Echinochloa crus-galli* (capim-arroz) e *Ipomoea grandifolia* (corda-de-viola) submetidas à ação do extrato de folhas jovens de *Sapindus saponaria* em diferentes concentrações.

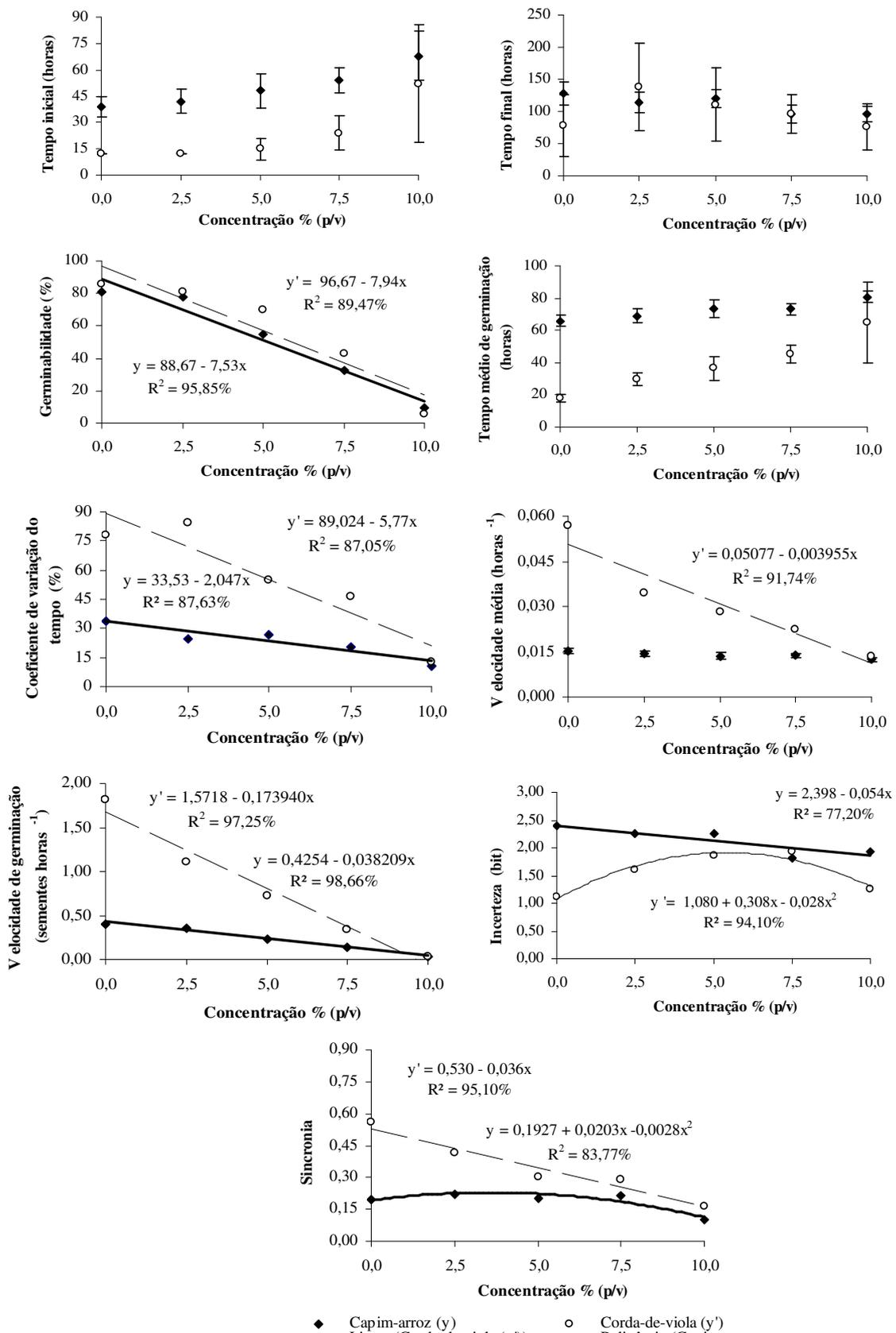


Figura 4. Tempo inicial e final, germinabilidade, tempo médio de germinação, coeficiente de variação do tempo, velocidade média de germinação, velocidade de germinação, incerteza e sincronia do processo de germinação de sementes de *Echinochloa crus-galli* (capim-arroz) e *Ipomoea grandifolia* (corda-de-viola) submetidas à ação do extrato de folhas jovens de *Sapindus saponaria* em diferentes concentrações.

Resultados similares de inibição no processo de germinação para as sementes de capim-arroz foram registrados com a utilização de extratos aquosos de folhas de *Oryza sativa* L. (arroz) (Chung & Ahn, 2000), de *Secale cereale* L. (centeio) (Burgos & Talbert, 2000), de *Dicranopteris linearis* (Burm.f.) Underw (Chong & Ismail, 2006) e de *Amaranthus hypochondriacus* L. (caruru) (Tejeda-Sartorius & Rodriguez-Gonzalez, 2008). Para as sementes de corda-de-viola submetidas aos extratos de losna-brava (*Artemisia vulgaris* L.), também houve diminuição significativa na porcentagem de germinação, indicando que várias fases de desenvolvimento podem sofrer interferência alelopática (Almeida, 1988). Esses dados revelam a alta concentração de aleloquímicos presentes nas folhas das plantas doadoras.

Na avaliação morfológica das plântulas submetidas à ação do extrato de folhas maduras de *Sapindus saponaria* em diferentes concentrações, a porcentagem de plântulas normais de capim-arroz e corda-de-viola variou de 96,25% (controle) a 21,25% (concentração 10%) e de 87,5% (controle) a 0% (concentração 10%), respectivamente (Figuras 5 e 6). Os valores referentes ao comprimento da parte aérea e da raiz primária apresentaram ajuste exponencial e quadrático. As plântulas de capim-arroz e de corda-de-viola apresentaram menores comprimentos da parte aérea (34,29 mm para capim-arroz e 8,64 mm para corda-de-viola) no controle e na concentração de 7,64%, respectivamente, enquanto o comprimento da raiz apresentou valores mínimos (6,88 mm para capim-arroz e 2,82 mm para corda-de-viola) nas concentrações estimadas de 10 e 7,42% para as plântulas de capim-arroz e corda-de-viola, respectivamente (Figuras 5 e 6). A massa da matéria seca das plântulas daninhas não diferiu significativamente entre os tratamentos (Figura 7).

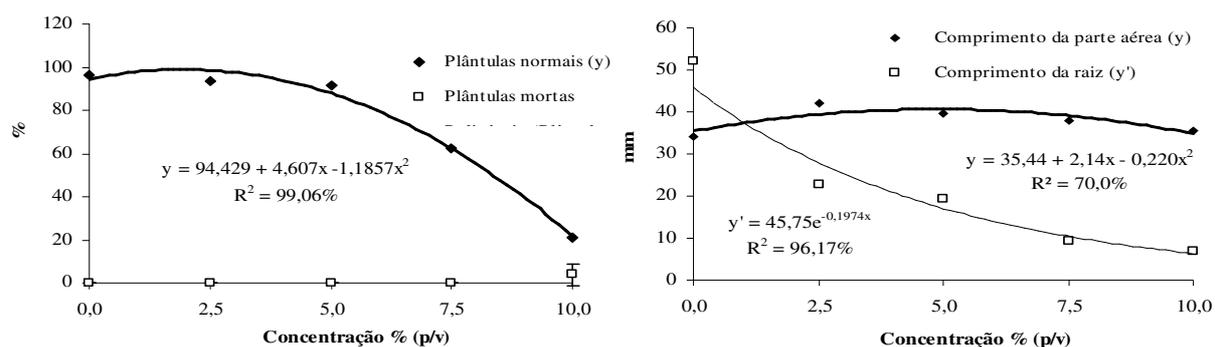


Figura 5. Porcentagem de plântulas normais, plântulas mortas, comprimento da parte aérea e da raiz de *Echinochloa crus-galli* (capim-arroz) submetidas à ação do extrato de folhas maduras de *Sapindus saponaria* em diferentes concentrações.

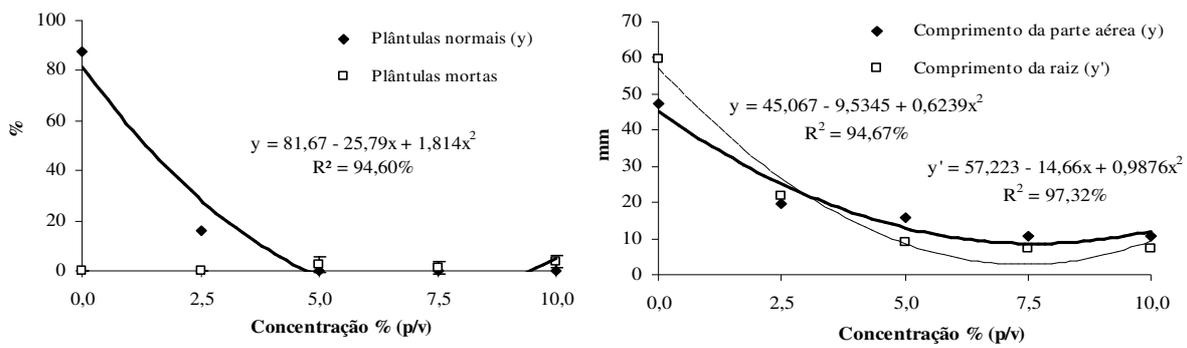


Figura 6. Porcentagem de plântulas normais, plântulas mortas, comprimento da parte aérea e da raiz de *Ipomoea grandifolia* (corda-de-viola) submetidas à ação do extrato de folhas maduras de *Sapindus saponaria* em diferentes concentrações.

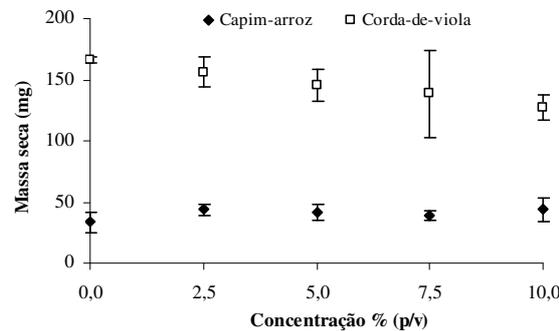


Figura 7. Massa da matéria seca de *Echinochloa crus-galli* (capim-arroz) e *Ipomoea grandifolia* (corda-de-viola) submetidas à ação do extrato de folhas maduras de *Sapindus saponaria* em diferentes concentrações.

O efeito dos extratos das folhas jovens de *Sapindus saponaria* na morfologia das plântulas de espécies daninhas encontra-se nas figuras 8 e 9. A porcentagem de plântulas normais de capim-arroz e de corda-de-viola variou de 100% (controle) a 27,50% (concentração 10%) e de 90% (controle) a 0% (concentração 10%), respectivamente (Figuras 8 e 9). A porcentagem de plântulas mortas de corda-de-viola variou de 0% (controle) para 30% (concentração 10%) (Figura 9). Os valores referentes ao comprimento da parte aérea e da raiz primária apresentaram ajuste quadrático. Foi registrado para as plântulas de capim-arroz, maior comprimento da parte aérea (34 mm) na concentração estimada de 0,21%; enquanto para as plântulas de corda-de-viola o comprimento mínimo (11,49 mm) foi encontrado na concentração de 8,32%. O comprimento da raiz primária das plântulas de capim-arroz e corda-de-viola apresentou menores valores (0,36 mm para capim-arroz e 0 mm para corda-de-viola) nas concentrações estimadas de 7,32% e 7,17%, respectivamente (Figuras 8 e 9).

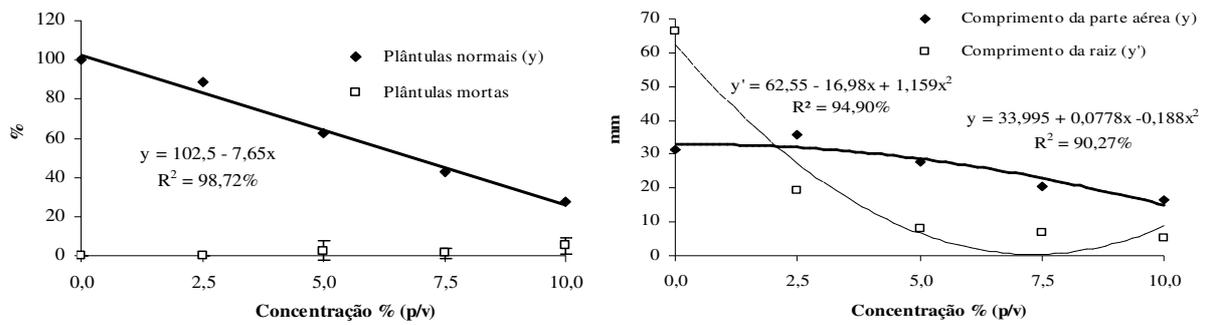


Figura 8. Porcentagem de plântulas normais, plântulas mortas, comprimento da parte aérea e da raiz de *Echinochloa crus-galli* (capim-arroz) submetidas à ação do extrato de folhas jovens de *Sapindus saponaria* em diferentes concentrações.

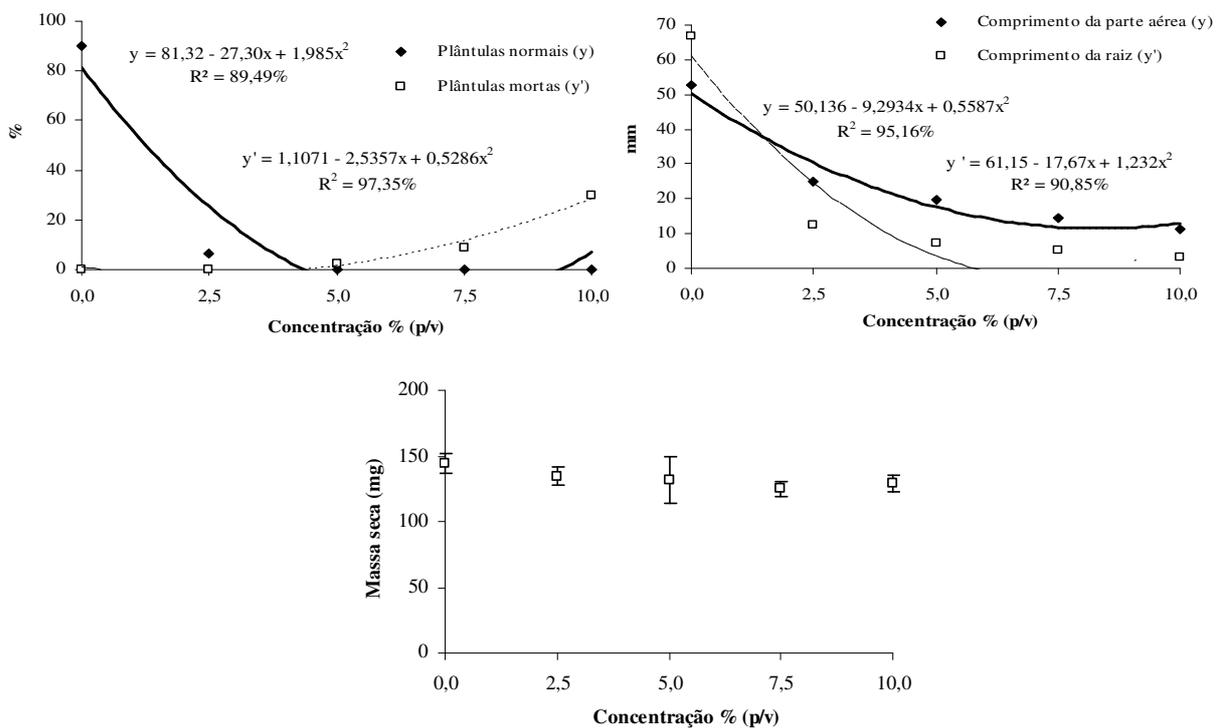


Figura 9. Massa da matéria seca, porcentagem de plântulas normais, plântulas mortas, comprimento da parte aérea e da raiz de *Ipomoea grandifolia* (corda-de-viola) submetidas à ação do extrato de folhas jovens de *Sapindus saponaria* em diferentes concentrações.

As plântulas de capim-arroz, submetidas ao efeito dos extratos de folhas jovens, apresentaram maior massa da matéria seca nas concentrações 2,5 (35,06 mg) e 10% (36,46 mg) (Tabela 4); no entanto, estes valores não se ajustaram aos modelos de regressão. A massa da matéria seca das plântulas de corda-de-viola não diferiram estatisticamente entre as concentrações (Figura 9). Com isso, pode-se dizer que essa avaliação não gera dados precisos, uma vez que essas espécies produzem pouca massa da matéria seca.

Os valores referentes à porcentagem de plântulas mortas, os quais não apresentaram diferenças significativas entre os tratamentos sob ação do extrato de folhas maduras e jovens, encontram-se nas respectivas figuras e na tabela 4.

Poucos trabalhos utilizam a análise de regressão para avaliar o efeito alelopático na germinação das sementes e morfologia das plântulas (Gatti et al., 2004; Macías-Rubalcava et al., 2008). No entanto, devido ao seu caráter preditivo, esta é uma ferramenta útil para tratamentos que são quantitativos.

Os extratos provenientes das folhas de diversas plantas doadoras também inibiram o crescimento da raiz e da parte aérea das plântulas de capim-arroz, sendo que o aumento da concentração dos extratos elevou esta taxa de inibição (Macías-Rubalcava et al., 2008; Kato-Noguchi et al., 2009).

Pode-se dizer que a emergência da plântula e seu crescimento são as fases mais sensíveis na ontogênese do indivíduo (Blum, 1999). Segundo Jacobi & Ferreira (1991), a inibição do crescimento da plântula após a germinação, sob o ponto de vista ecológico, é um processo de seleção mais eficiente no controle da população do que evitar a germinação das sementes da planta daninha porque o banco de sementes é exaurido.

3.1.2. Fruto

O extrato do fruto de *Sapindus saponaria* exerceu efeito alelopático sobre as sementes das plantas daninhas. Verificou-se acréscimo linear no tempo inicial (1,92 horas para cada adição de 0,01 mg mL⁻¹ de extrato, para as sementes de capim-arroz) e no tempo médio de germinação (1,75 horas para o capim-arroz e 1,53 horas para a corda-de-viola, para cada 0,01 mg mL⁻¹ de extrato) (Figura 11). Para as sementes de corda-de-viola, o tempo inicial de germinação foi de 12 horas até na concentração 7,5%, variando para 21 horas na concentração 10%. Em contrapartida, houve redução linear na germinabilidade (1,53 horas para cada 0,01 mg mL⁻¹ de extrato, para as sementes de capim-arroz), na velocidade média (0,0003 horas⁻¹ para o capim-arroz e 0,0024 horas⁻¹ para a corda-de-viola, para cada 0,01 mg mL⁻¹ de extrato) e na velocidade de germinação de Maguire (0,0151 e 0,0951 sementes horas⁻¹ para cada 0,01 mg mL⁻¹ de extrato, para as sementes de capim-arroz e corda-de-viola, respectivamente), indicando redução e atraso na germinação das sementes na concentração 10% (Figura 11). Os valores referentes à germinabilidade das sementes de corda-de-viola não apresentaram ajustes aos modelos de regressão; porém, na concentração 10% foi registrada a menor porcentagem de germinação dessas sementes (47,5%) (Tabela 3). As demais variáveis que não foram relatadas, não apresentaram diferenças significativas entre os tratamentos (Figura 11; Tabelas 2 e 3).

Comparando as linhas de tendências das regressões lineares, observou-se que para o tempo médio de germinação, as duas espécies apresentaram as mesmas taxas de incrementos, enquanto para a velocidade média e velocidade de germinação de Maguire os decrementos foram maiores para as sementes de capim-arroz submetidas à ação dos extratos de frutos de *Sapindus saponaria* (Tabela 1).

As sementes de corda-de-viola apresentaram alta frequência relativa de germinação num mesmo intervalo de tempo em todas as concentrações e, uma superioridade em relação à frequência das sementes de capim-arroz (Figura 10).

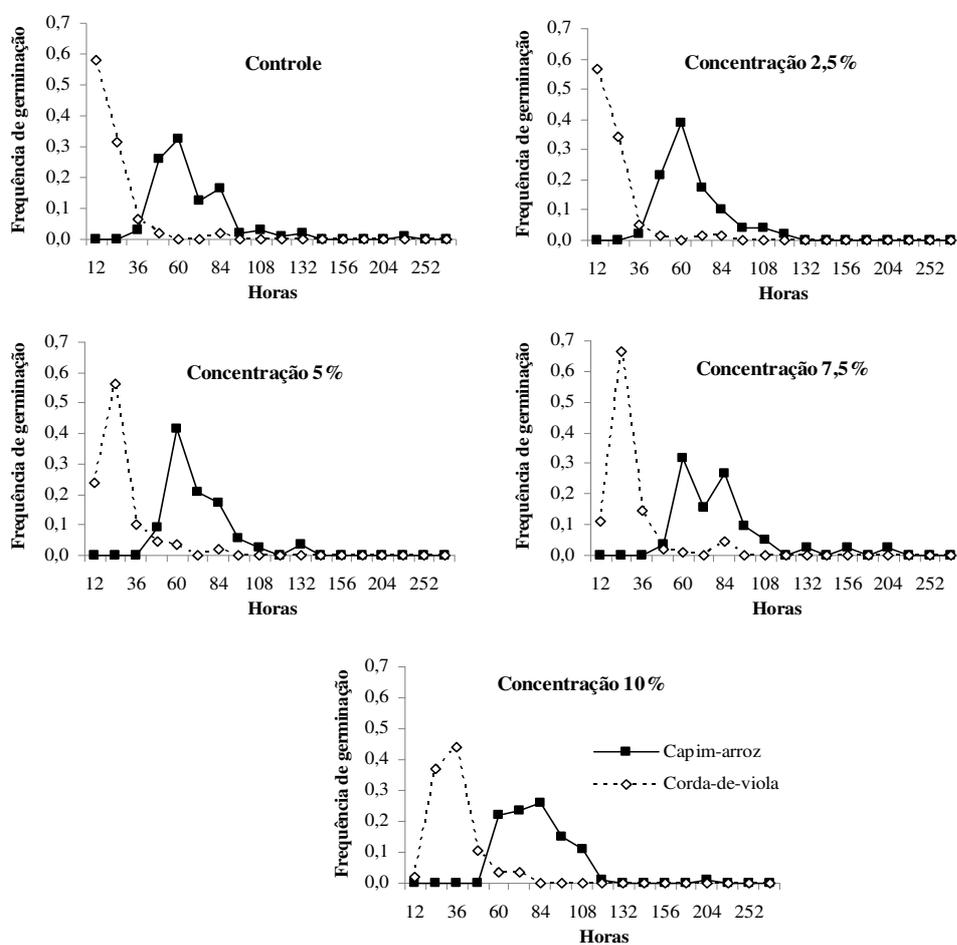


Figura 10. Frequência relativa de germinação de sementes de *Echinochloa crus-galli* (capim-arroz) e *Ipomoea grandifolia* (corda-de-viola) submetidas à ação do extrato de frutos de *Sapindus saponaria* em diferentes concentrações.

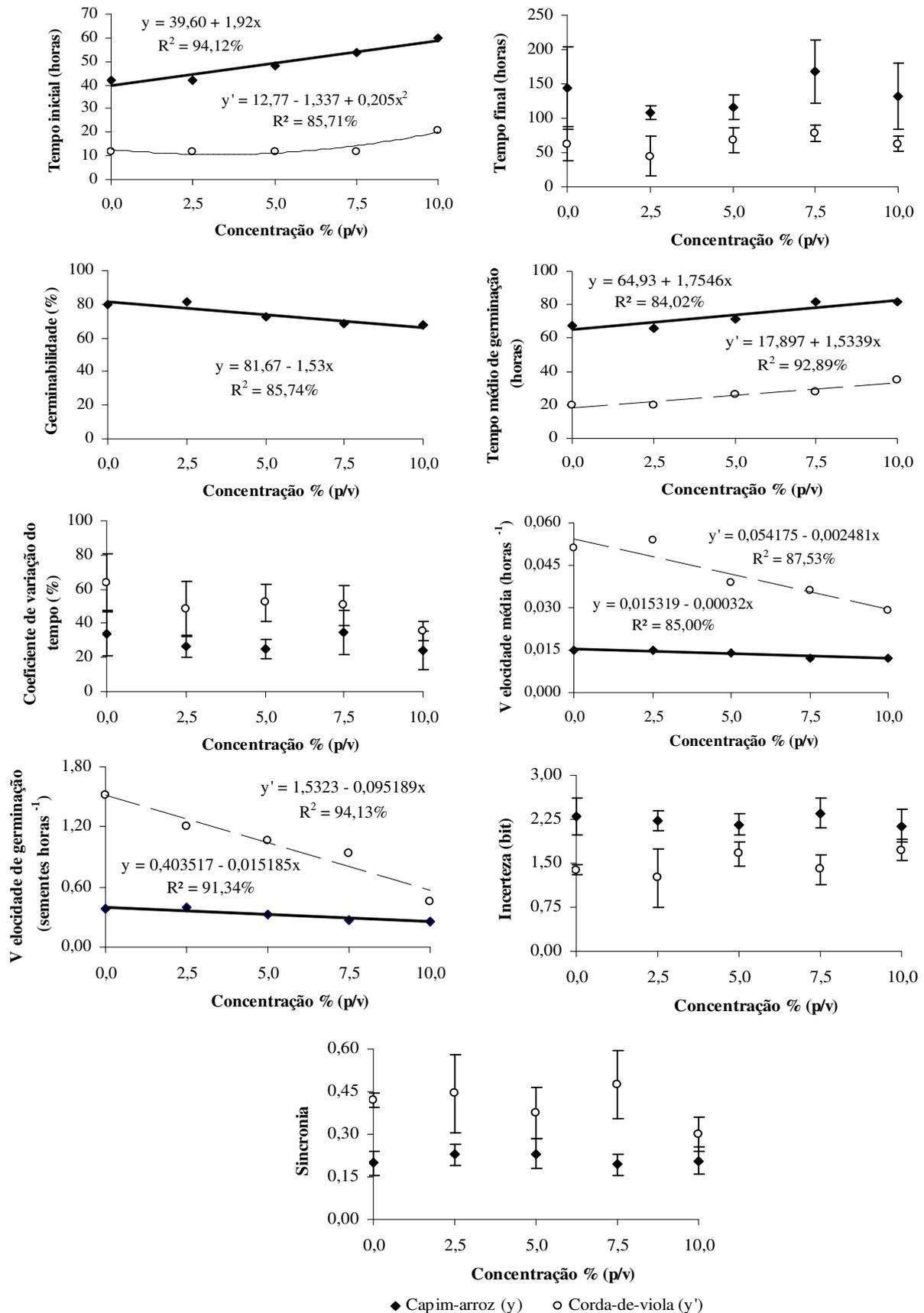


Figura 11. Tempo inicial e final, germinabilidade, tempo médio de germinação, coeficiente de variação do tempo, velocidade média de germinação, velocidade de germinação, incerteza e sincronia do processo de germinação de sementes de *Echinochloa crus-galli* (capim-arroz) e *Ipomoea grandifolia* (corda-de-viola) submetidas à ação do extrato de frutos de *Sapindus saponaria* em diferentes concentrações.

O efeito do extrato dos frutos de *Sapindus saponaria* foi bastante expressivo sobre a morfologia das plântulas das espécies daninhas. As plântulas normais de capim-arroz variaram de 98,75% (controle) a 6,25% (concentração 10%), enquanto para a corda-de-viola essa variação foi de 90% (controle) a 0% (a partir da concentração 5%) (Figuras 12 e 13). Constatou-se aumento, em relação ao controle, de 6,25 e 8,75% (concentração 10%) de plântulas mortas de capim-arroz e corda-de-viola, respectivamente. O comprimento da parte aérea das plântulas de capim-arroz, sofreu decréscimo linear de 2,248 mm, para cada 0,01 mg mL⁻¹ de extrato; enquanto para a corda-de-viola o menor comprimento (14,77 mm) ocorreu na concentração estimada de 8,40%. As plântulas de capim-arroz e corda-de-viola apresentaram valores mínimos (0 mm) no comprimento da raiz, nas concentrações estimadas de 7,12 e 7,19%, respectivamente (Figuras 12 e 13). Não foram registradas diferenças significativas, entre as concentrações, para a massa da matéria seca das plântulas daninhas (Figura 14).

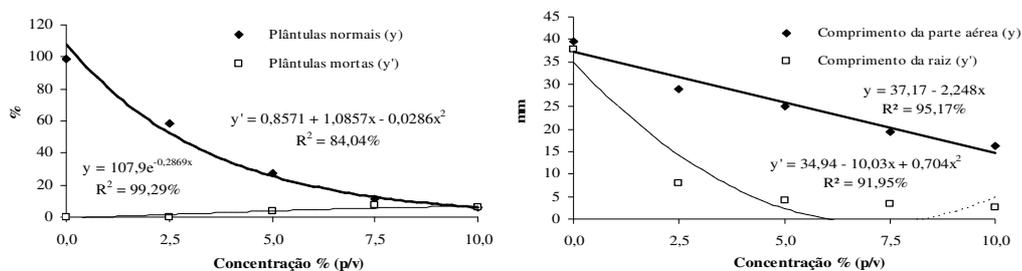


Figura 12. Porcentagem de plântulas normais, plântulas mortas, comprimento da parte aérea e da raiz de *Echinochloa crus-galli* (capim-arroz) submetidas à ação do extrato de frutos de *Sapindus saponaria* em diferentes concentrações.

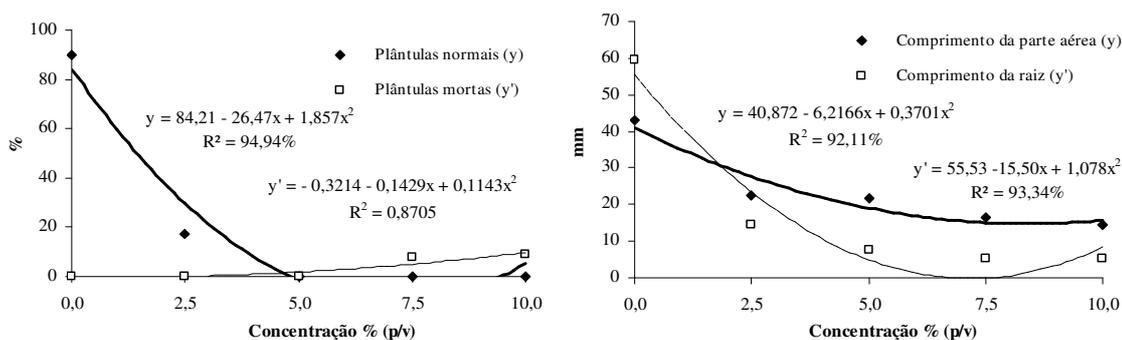


Figura 13. Porcentagem de plântulas normais, plântulas mortas, comprimento da parte aérea e da raiz de *Ipomoea grandifolia* (corda-de-viola) submetidas à ação do extrato de frutos de *Sapindus saponaria* em diferentes concentrações.

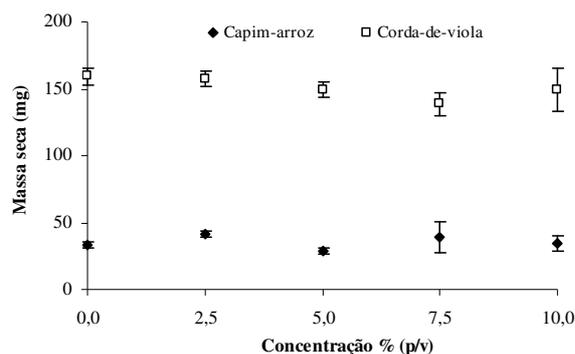


Figura 14. Massa da matéria seca de plântulas de *Echinochloa crus-galli* (capim-arroz) e *Ipomoea grandifolia* (corda-de-viola) submetidas à ação do extrato de frutos de *Sapindus saponaria* em diferentes concentrações.

Estudos de Pelegrini et al. (2008) registraram a presença de vários metabólitos secundários, como saponinas, nos frutos da *Sapindus saponaria*; que podem estar associados aos efeitos alelopáticos da espécie. As saponinas podem apresentar processos de ação indiretos ou diretos. Os efeitos indiretos incluem alterações nas propriedades e status nutricional do solo, bem como nas populações e/ou atividades de microorganismos. Quanto aos efeitos diretos, que são mais estudados, incluem alterações no metabolismo vegetal, podendo afetar as características citológicas, os fitormônios, as membranas, a germinação, a absorção mineral, a respiração, a atividade enzimática, a divisão celular, entre outros (Rice, 1984; Rizvi et al., 1992).

Essa espécie arbórea pode ser considerada como uma importante fonte para obtenção dessas substâncias, já que esta árvore se encontra em grande parte do país e produz quantidade abundante de frutos com alto teor de saponinas. Uma das teorias mais aceitas para explicar a alta concentração de saponinas em muitas espécies de plantas é que estas funcionariam como proteção ao ataque de patógenos, sejam estes fungos, bactérias ou vírus (Murgu, 2002).

Porém, é importante salientar que nos testes realizados com o extrato do fruto de *Sapindus saponaria*, notou-se alta incidência de fungos, o que pode ter contribuído para a inibição das sementes no processo de germinação e pelo não desenvolvimento de suas plântulas. Isto pode estar relacionado com a grande quantidade de açúcares presentes no fruto e por esse extrato ser oriundo do material fresco.

3.1.3. Raiz

O extrato da raiz de *Sapindus saponaria* não interferiu fortemente no processo de germinação das sementes de plantas daninhas. Os valores referentes ao tempo final de germinação das sementes de capim-arroz não se ajustaram aos modelos de regressão, no entanto, nas concentrações 5 e 7,5% foram relatados os maiores tempos (159 horas) (Tabela 2). Para as sementes

de capim-arroz, o extrato interferiu apenas no tempo médio e na velocidade média de germinação, provocando, respectivamente, acréscimo linear de 1,60 horas e decréscimo linear de $0,0002 \text{ horas}^{-1}$, para cada adição de $0,01 \text{ mg mL}^{-1}$ de extrato (Figura 15). Observando-se a frequência relativa de germinação das sementes de capim-arroz, verificou-se que este processo foi mais espalhado no tempo, na concentração 10% (Figura 16).

O efeito do extrato da raiz, para as sementes de corda-de-viola, foi evidente somente para a velocidade de germinação de Maguire com redução linear de $0,0388 \text{ sementes horas}^{-1}$, para cada $0,01 \text{ mg mL}^{-1}$ de extrato (Figura 15). Esta redução na velocidade de germinação das sementes de corda-de-viola pode ser confirmada pela distribuição da frequência relativa de germinação, pois enquanto no controle o maior pico registrado foi nas 12 primeiras horas (0,64), na concentração 10% ocorreu no intervalo de 24 horas (0,50) (Figura 16). As demais variáveis não apresentaram diferenças significativas entre os tratamentos (Figura 15, Tabelas 2 e 3). Desta forma, é importante enfatizar a importância de se analisar o maior número possível de variáveis para detectar a ação dos aleloquímicos.

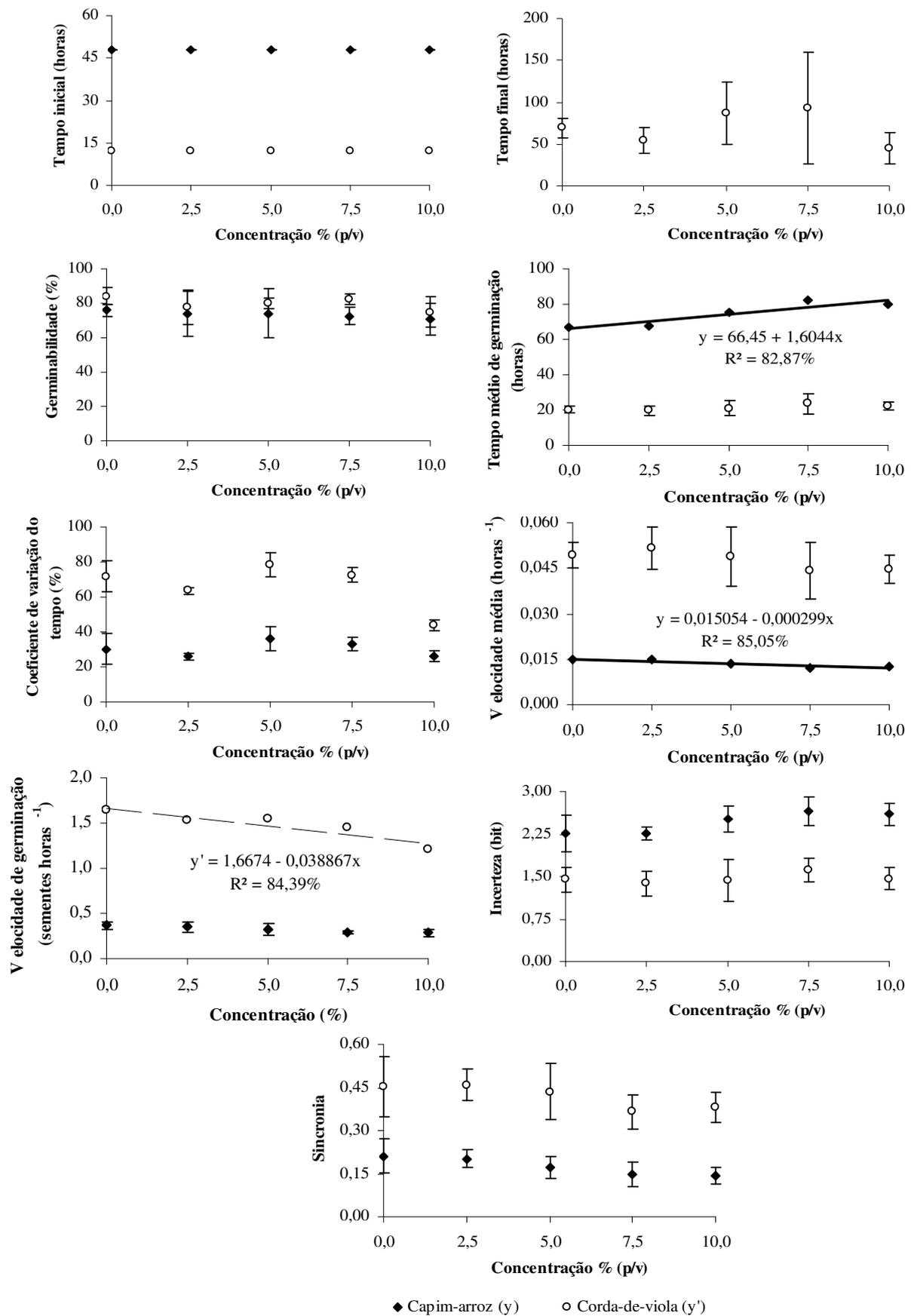


Figura 15. Tempo inicial e final, germinabilidade, tempo médio de germinação, coeficiente de variação do tempo, velocidade média de germinação, velocidade de germinação, incerteza e sincronia do processo de germinação de sementes de *Echinochloa crus-galli* (capim-arroz) e *Ipomoea grandifolia* (corda-de-viola) submetidas à ação do extrato de raízes de *Sapindus saponaria* em diferentes concentrações.

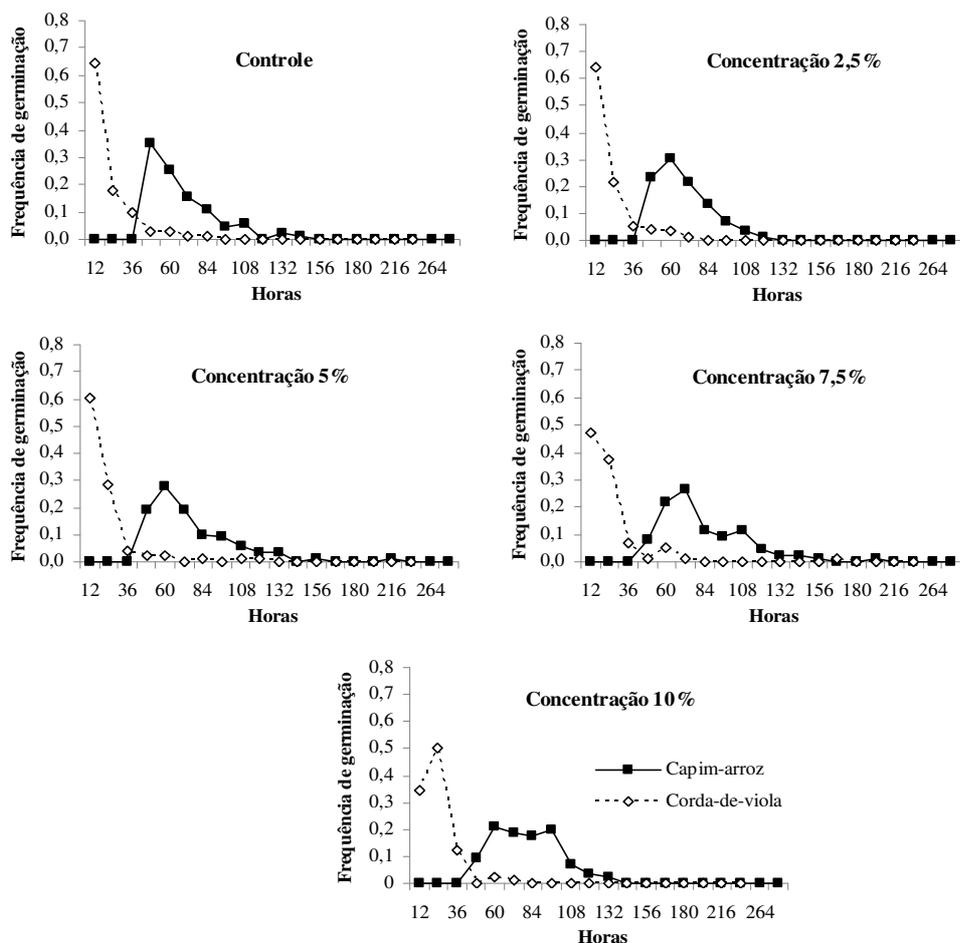


Figura 16. Frequência relativa de germinação de sementes de *Echinochloa crus-galli* (capim-arroz) e *Ipomoea grandifolia* (corda-de-viola) submetidas à ação do extrato de raízes de *Sapindus saponaria* em diferentes concentrações.

O efeito do extrato da raiz de *Sapindus saponaria* foi mais significativo sobre a morfologia das plântulas das espécies daninhas estudadas. As plântulas normais de capim-arroz e de corda-de-viola variaram, respectivamente, de 100% (controle) a 42,5% (concentração 10%) e de 90% (controle) a 0% (concentração 10%). Para ambas as espécies receptoras, a porcentagem de plântulas mortas não diferiu significativamente entre os tratamentos (Figuras 17 e 18; Tabela 4). O comprimento da parte aérea das plântulas de capim-arroz (28,17 mm) e de corda-de-viola (9,88 mm) foi menor na concentração 10 e 6,96%, respectivamente. O comprimento da raiz foi mínimo na concentração 7,44% (3,44 mm) para o capim-arroz e na concentração 7,08% (1,82 mm) para a corda-de-viola (Figura 17 e 18). Não houve diferença estatística da massa da matéria seca das plântulas de capim-arroz, entre as concentrações (Tabela 4); porém, para a corda-de-viola foi estimada menor massa (127,31 mg) na concentração 6,17% (Figura 19).

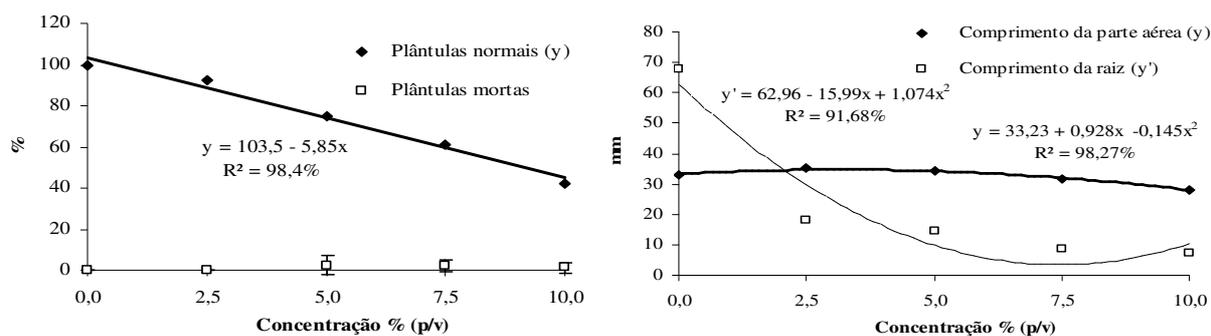


Figura 17. Porcentagem de plântulas normais, plântulas mortas, comprimento da parte aérea e da raiz de *Echinochloa crus-galli* (capim-arroz) submetidas à ação do extrato de raízes de *Sapindus saponaria* em diferentes concentrações.

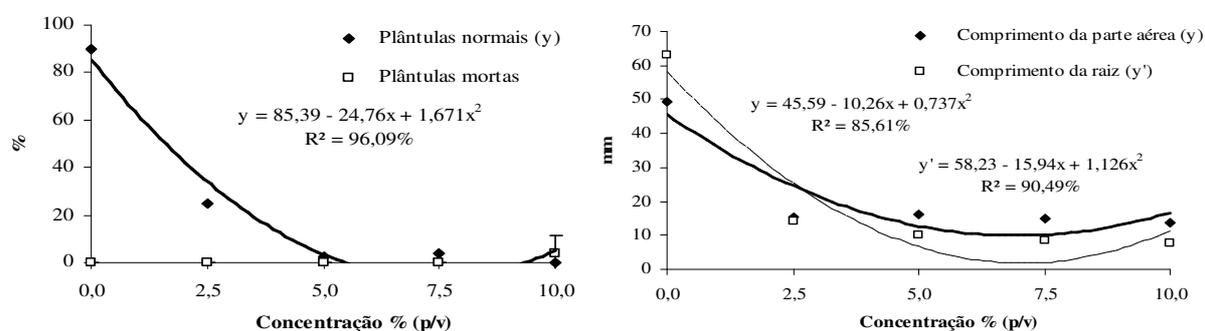


Figura 18. Porcentagem de plântulas normais, plântulas mortas, comprimento da parte aérea e da raiz de *Ipomoea grandifolia* (corda-de-viola) submetidas à ação do extrato de raízes de *Sapindus saponaria* em diferentes concentrações.

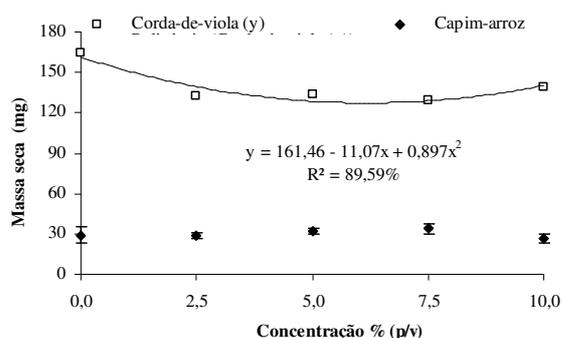


Figura 19. Massa da matéria seca de plântulas de *Ipomoea grandifolia* (corda-de-viola) e *Echinochloa crus-galli* (capim-arroz) submetidas à ação do extrato de raízes de *Sapindus saponaria* em diferentes concentrações.

Desde o final dos anos 90, a caracterização funcional dos exsudatos radiculares tem despertado grande interesse, tanto do ponto de vista fisiológico como químico. O papel biológico dos exsudatos é a chave para compreender a capacidade de adaptação da planta, sob certas condições e, do ponto de vista da alelopatia (Oliveros-Bastidas et al., 2009).

Alguns trabalhos confirmam o baixo efeito alelopático das raízes sobre a germinação das sementes de espécies daninhas (Rosa et al., 2008). No entanto, durante o desenvolvimento das plântulas, o respectivo extrato, provoca alterações morfológicas bastante expressivas (Hernández-Terrones et al., 2007), principalmente no crescimento da raiz (Carmo et al., 2007).

3.1.4. Herbicida

Observou-se no desenvolvimento das plântulas de capim-arroz e de corda-de-viola que o herbicida nicosulfuron produziu decréscimo significativo nas variáveis avaliadas em relação ao controle, com exceção das plântulas mortas. Para as duas espécies, o herbicida reduziu a massa da matéria seca (capim-arroz), a porcentagem de plântulas normais, o comprimento da parte aérea e da raiz primária, independente da concentração de herbicida aplicada (Figura 20).

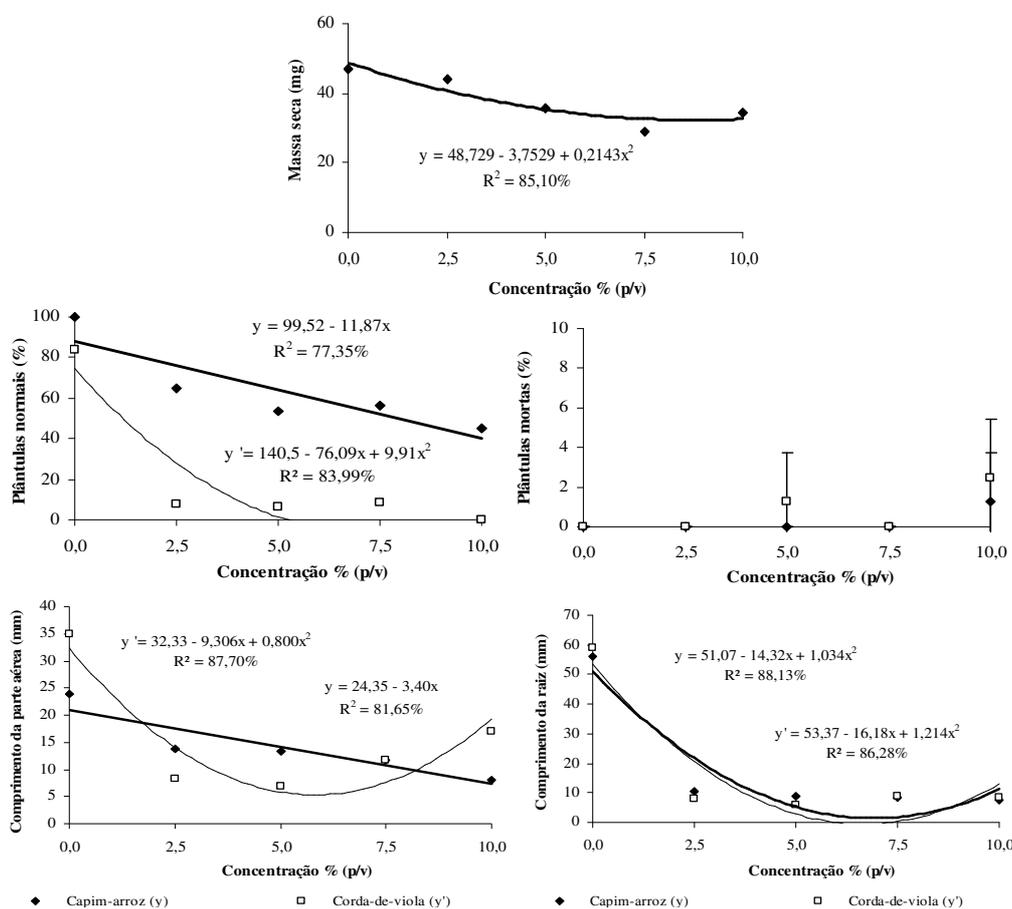


Figura 20. Massa da matéria seca, porcentagem de plântulas normais, plântulas mortas, comprimento da parte aérea e da raiz de *Ipomoea grandifolia* (corda-de-viola) e *Echinochloa crus-galli* (capim-arroz) submetidas à ação do herbicida nicosulfuron em diferentes concentrações.

O herbicida nicosulfuron demonstrou também ser eficiente no controle de arroz-vermelho (*Oryza sativa* L.); no entanto, a eficiência do produto mostrou-se dependente da dose utilizada (Fontana et al., 2007).

As sulfoniluréias atuam sobre a acetolactato sintase (ALS), que catalisa a primeira reação na biossíntese de aminoácidos ramificados, valina, leucina e isoleucina (Anderson, 1998). Seus sintomas, em plantas sensíveis, são caracterizados por clorose foliar, necrose e redução do crescimento. A seletividade das plantas a sulfoniluréias é conferida pelas diferentes taxas de metabolização e pela velocidade de absorção e translocação do produto. Espécies tolerantes metabolizam rapidamente estes herbicidas, transformando-os em formas inativas por meio do sistema citocromo P450 monoxigenase, em reações de hidroxilação e glicosilação (Brow, 1990). Dos herbicidas deste grupo químico, o nicosulfuron é utilizado principalmente em aplicações pós-emergentes, com enfoque no controle de gramíneas e algumas espécies de dicotiledôneas (Rodrigues & Almeida, 2005).

Tabela 1. Teste-*F* para comparar os coeficientes angulares das regressões lineares, oriundas do teste de germinação de sementes de *Echinochloa crus-galli* (capim-arroz) e *Ipomoea grandifolia* (corda-de-viola) submetidas à ação dos extratos de folhas maduras, folhas jovens e frutos de *Sapindus saponaria*.

Variáveis (unidades)	Equação	F _{calculado}	Inferência ¹
Folhas maduras			
\bar{t} (h)	$y = 58,94 + 1,392x$ $y' = 18,417 + 1,216x$	0,8366 ^{ns}	Os coeficientes angulares para as duas espécies não diferem entre si.
\bar{v} (h ⁻¹)	$y = 0,0169 - 0,0003x$ $y' = 0,0549 - 0,0023x$	52,76*	Os coeficientes angulares para as duas espécies diferem entre si.
VG (semente h ⁻¹)	$y = 0,4913 - 0,0216x$ $y' = 1,7909 - 0,1063x$	77,64*	Os coeficientes angulares para as duas espécies diferem entre si.
Folhas jovens			
G (%)	$y = 88,67 - 7,53x$ $y' = 96,67 - 7,94x$	0,1534 ^{ns}	Os coeficientes angulares para as duas espécies não diferem entre si.
CV _t (%)	$y = 33,53 - 2,047x$ $y' = 89,024 - 5,77x$	11,98*	Os coeficientes angulares para as duas espécies diferem entre si.
VG (semente h ⁻¹)	$y = 0,4254 - 0,0382x$ $y' = 1,5718 - 0,1739x$	99,01*	Os coeficientes angulares para as duas espécies diferem entre si.
Frutos			
\bar{t} (h)	$y = 64,93 + 1,7546x$ $y' = 17,897 + 1,5339x$	0,5727 ^{ns}	Os coeficientes angulares para as duas espécies não diferem entre si.
\bar{v} (h ⁻¹)	$y = 0,015319 - 0,00032x$ $y' = 0,054175 - 0,002481x$	46,96*	Os coeficientes angulares para as duas espécies diferem entre si.
VG (semente h ⁻¹)	$y = 0,403517 - 0,015185x$ $y' = 1,5323 - 0,095189x$	93,04*	Os coeficientes angulares para as duas espécies diferem entre si.

\bar{t} : tempo médio de germinação; \bar{v} : velocidade média de germinação; VG: velocidade de germinação (Maguire); G: germinabilidade; CV_t: coeficiente de variação do tempo. ¹H₀: $\beta_1 - \beta_2 = 0$, onde β_1 e β_2 são os parâmetros dos coeficientes angulares das equações. ^{ns}: valores não diferem significativamente. *: valores diferem significativamente (F_{calculado} > F_{tabelado}).

Tabela 2. Germinação de sementes de *Echinochloa crus-galli* (capim-arroz) submetidas à ação dos extratos de folhas maduras e jovens, frutos e raízes de *Sapindus saponaria* em diferentes concentrações.

Variáveis (unidades)	Controle	2,5%	5,0%	7,5%	10,0%	Estatística				
						<i>W</i> (<i>P</i>)	¹ <i>F</i> (<i>P</i>)	² <i>F</i> (<i>P</i>)	<i>H</i> (<i>P</i>)	
Folha madura										
<i>T_f</i> (h)	159,00± 26,61 a	111,00 ± 20,49 a	120,00 ± 32,50 a	129,00 ± 43,13 a	114,00 ± 15,49 a	0,9179 (0,095)	1,059 (0,4104)	1,752 (0,1911)		
<i>I</i> (bit)	2,1415 ± 0,1751 a	2,2424 ± 0,2024 a	2,4397 ± 0,1222 a	2,4172 ± 0,0897 a	2,2320 ± 0,3501 a	0,952 (0,4086)	1,649 (0,2139)	1,523 (0,2457)		
<i>Z</i>	0,2228 ± 0,0286 a	0,2177 ± 0,0319 a	0,1806 ± 0,0388 a	0,1805 ± 0,0240 a	0,2038 ± 0,0572 a	0,93 (0,1635)	0,573 (0,6866)	1,109 (0,3885)		
Folha jovem										
<i>T_i</i> (h)	39,00 ± 6,00 a	42,00 ± 6,93 a	48,00 ± 9,80 a	54,00 ± 6,93 a	68,00 ± 13,86 a	0,8072 (0,0007)	3,351 (0,0378)		6,192 (0,1853)	
<i>T_f</i> (h)	129,00 ± 18,00 a	114,00 ± 15,49 a	120,00 ± 13,86 a	96,00 ± 13,86 a	96,00 ± 12,00 a	0,8604 (0,0072)	2,952 (0,0553)		10,482 (0,0501)	
\bar{t} (h)	65,91 ± 3,56 a	69,04 ± 4,34 a	73,66 ± 5,61 a	73,08 ± 3,52 a	80,80 ± 3,67 a	0,6854 (0,0001)	6,811 (0,0025)		6,957 (0,1382)	
\bar{v} (h ⁻¹)	0,0152 ± 0,0007 a	0,0145 ± 0,0009 a	0,0136 ± 0,0010 a	0,0137 ± 0,0007 a	0,0124 ± 0,0006 a	0,7279 (0,0001)	6,205 (0,0037)		13,243 (0,0798)	
Fruto										
<i>T_f</i> (h)	144,00± 60,40 a	108,00 ± 9,80 a	117,00 ± 18,00 a	168,00 ± 45,96 a	132,00 ± 48,99 a	0,9338 (0,1929)	2,005 (0,1455)	1,297 (0,3156)		
<i>CVt</i> (%)	34,03 ± 13,16 a	26,55 ± 6,04 a	25,14 ± 5,67 a	34,46 ± 12,89 a	23,82 ± 11,27 a	0,9468 (0,3336)	0,976 (0,4495)	0,959 (0,4581)		
<i>I</i> (bit)	2,3044 ± 0,3206 a	2,2275 ± 0,1778 a	2,1633 ± 0,1892 a	2,3529 ± 0,2589 a	2,1408 ± 0,2690 a	0,9644 (0,6336)	0,442 (0,7761)	0,529 (0,7165)		
<i>Z</i>	0,1989 ± 0,0427 a	0,2277 ± 0,0359 a	0,2321 ± 0,0536 a	0,1928 ± 0,0377 a	0,2060 ± 0,0480 a	0,9504 (0,3845)	0,354 (0,8372)	0,632 (0,6472)		
Raiz										
¹ <i>T_i</i> (h)	48,00 ± 0,00 a	0,5439 (0,0001)	0,000 (1,00)		0,000 (0,9999)					
<i>T_f</i> (h)	117,00 ± 20,61 ab	111,00 ± 6,00 ab	159,00 ± 39,65 a	159,00 ± 22,71 a	126,00 ± 6,93 ab	0,9262 (0,1378)	2,667 (0,0732)	3,7 (0,0274)		
<i>G</i> (%)	75,83 ± 3,19 a	74,17 ± 13,44 a	74,17 ± 14,24 a	72,50 ± 5,00 a	70,83 ± 9,18 a	0,9789 (0,9028)	1,809 (0,1796)	0,144 (0,963)		
<i>CVt</i> (%)	30,35 ± 8,81 a	25,81 ± 1,92 a	35,96 ± 6,79 a	33,12 ± 4,09 a	26,00 ± 3,27 a	0,9361 (0,2132)	2,936 (0,0561)	2,517 (0,0853)		
<i>VG</i> (semente h ⁻¹)	0,3684 ± 0,0393 a	0,3482 ± 0,0604 a	0,3256 ± 0,0603 a	0,2877 ± 0,0136 a	0,2851 ± 0,0372 a	0,986 (0,9774)	1,695 (0,2033)	2,589 (0,0793)		
<i>I</i> (bit)	2,2647 ± 0,3275 a	2,2647 ± 0,1138 a	2,5107 ± 0,2330 a	2,6541 ± 0,2490 a	2,5964 ± 0,1955 a	0,9695 (0,7353)	0,796 (0,546)	2,459 (0,0904)		
<i>Z</i>	0,2101 ± 0,0596 a	0,2015 ± 0,0312 a	0,1718 ± 0,0362 a	0,1478 ± 0,0415 a	0,1424 ± 0,0281 a	0,9501 (0,3803)	0,819 (0,5326)	2,242 (0,1133)		

Médias seguidas por letras iguais na linha não diferem entre si pelos testes de Tukey a 0,05 de probabilidade; *t_i*: tempo inicial; *t_f*: tempo final; *G*: germinabilidade; *t*: tempo médio de germinação; *CVt*: coeficiente de variação do tempo de germinação; \bar{v} : velocidade média de germinação; *VG*: velocidade de germinação; *I*: incerteza; *Z*: sincronia; *W*: estatística do teste de Shapiro-Wilk; valores em negrito indicam que os resíduos seguem distribuição normal ($P > 0,01$); ¹*F*: estatística do teste de Levene; valores em negrito indicam homogeneidade entre as variâncias ($P > 0,01$); ²*F*: estatística do teste de Snedecor; valores em negrito indicam diferença significativa entre as concentrações (ANOVA; $P < 0,05$); *H*: estatística do teste de Kruskal-Wallis, valores em negrito indicam diferença significativa entre as concentrações ($P < 0,05$); *P*: probabilidade. ¹Dados transformados em raiz (x) para realização das análises estatísticas, dados apresentados representam valores originais.

Tabela 3. Germinação de sementes de *Ipomoea grandifolia* (corda-de-viola) submetidas à ação dos extratos de folhas maduras e jovens, frutos e raízes de *Sapindus saponaria* em diferentes concentrações.

Variáveis (unidades)	Controle	2,5%	5,0%	7,5%	10,0%	Estatística				
						<i>W</i> (<i>P</i>)	¹ <i>F</i> (<i>P</i>)	² <i>F</i> (<i>P</i>)	<i>H</i> (<i>P</i>)	
Folha madura										
<i>T_f</i> (h)	66,00 ± 30,20 a	66,00 ± 20,78 a	81,00 ± 20,49 a	69,00 ± 22,71 a	66,00 ± 44,36 a	0,9338 (0,1928)	0,933 (0,4715)	0,199 (0,9349)		
<i>G</i> (%)	87,5 ± 3,19 a	81,67 ± 7,93 a	80,00 ± 8,16 a	77,5 ± 5,00 a	75,83 ± 4,19 a	0,9497 (0,3738)	3,791 (0,0253)	2,231 (0,1145)		
<i>CV_t</i> (%)	66,24 ± 21,44 a	69,63 ± 17,10 a	51,79 ± 9,77 a	42,18 ± 12,49 a	34,77 ± 22,03 a	0,9685 (0,7154)	0,51 (0,7292)	3,031 (0,0512)		
<i>I</i> (bit)	1,2326 ± 0,3221 a	1,2567 ± 0,2517 a	1,5518 ± 0,1931 a	1,0865 ± 0,2395 a	1,1181 ± 0,1695 a	0,978 (0,8892)	0,334 (0,851)	2,334 (0,1029)		
<i>Z</i>	0,5346 ± 0,1140 a	0,4786 ± 0,1038 a	0,4048 ± 0,0617 a	0,5875 ± 0,1175 a	0,4870 ± 0,0578 a	0,9537 (0,4372)	1,07 (0,4054)	2,070 (0,1357)		
Folha jovem										
<i>T_i</i> (h)	12,00 ± 0,00 a	12,00 ± 0,00 a	15,00 ± 6,00 a	24,00 ± 9,80 a	52,00 ± 33,33 a	0,7528 (0,0001)	4,049 (0,0202)			5,25 (0,2626)
<i>T_f</i> (h)	78,00 ± 48,50 a	138,00 ± 68,93 a	111,00 ± 57,44 a	96,00 ± 29,39 a	76,00 ± 36,66 a	0,9655 (0,6558)	0,766 (0,5638)	1,409 (0,2787)		
\bar{v} (h)	17,88 ± 2,36 a	29,41 ± 3,83 a	36,50 ± 7,54 a	45,59 ± 5,40 a	65,00 ± 25,16 a	0,8099 (0,0008)	4,767 (0,0111)			10,814 (0,287)
Fruto										
<i>T_f</i> (h)	63,00 ± 24,74 a	45,00 ± 28,35 a	69,00 ± 18,00 a	78,00 ± 12,00 a	63,00 ± 11,49 a	0,9474 (0,3409)	2,222 (0,1156)	1,446 (0,2673)		
<i>G</i> (%)	79,17 ± 3,19 a	63,33 ± 2,72 b	74,17 ± 3,19 ab	74,17 ± 1,67 ab	47,5 ± 12,87 c	0,8045 (0,0007)	4,615 (0,0125)			16,231 (0,0027)
<i>CV_t</i> (%)	63,61 ± 17,19 a	48,49 ± 15,82 a	52,11 ± 11,02 a	50,53 ± 11,73 a	35,48 ± 5,74 a	0,9478 (0,3463)	3,016 (0,052)	2,406 (0,0955)		
<i>I</i> (bit)	1,3902 ± 0,0761 a	1,2472 ± 0,5007 a	1,6600 ± 0,2031 a	1,3992 ± 0,2549 a	1,7217 ± 0,1816 a	0,9161 (0,0879)	2,809 (0,0636)	2,015 (0,1439)		
<i>Z</i>	0,4198 ± 0,0235 a	0,4435 ± 0,1366 a	0,3758 ± 0,0912 a	0,4758 ± 0,1201 a	0,2997 ± 0,0578 a	0,9698 (0,7413)	3,071 (0,0493)	2,055 (0,1379)		
Raiz										
<i>T_i</i> (h)	12,00 ± 0,00 a	0,5439 (0,0001)	0,000 (0,9999)			0,000 (0,9999)				
<i>T_f</i> (h)	69,00 ± 11,49 a	54,00 ± 15,49 a	87,00 ± 37,15 a	93,00 ± 66,72 a	45,00 ± 18,00 a	0,8916 (0,029)	3,214 (0,043)	1,301 (0,3139)		
<i>G</i> (%)	84,17 ± 5,00 a	77,50 ± 9,57 a	80,00 ± 2,72 a	82,50 ± 3,19 a	75,00 ± 8,82 a	0,9704 (0,7535)	1,495 (0,2535)	1,290 (0,3178)		
\bar{v} (h)	20,35 ± 1,69 a	19,64 ± 2,38 a	21,08 ± 4,32 a	23,51 ± 5,81 a	22,56 ± 2,20 a	0,9279 (0,149)	1,800 (0,1815)	0,768 (0,5626)		
<i>CV_t</i> (%)	71,89 ± 3,47 a	63,52 ± 16,57 a	78,29 ± 22,64 a	72,54 ± 31,22 a	44,03 ± 15,68 a	0,9571 (0,4962)	1,601 (0,2254)	1,777 (0,1861)		
\bar{v} (h ⁻¹)	0,0494 ± 0,0043 a	0,0515 ± 0,0070 a	0,0489 ± 0,0098 a	0,0442 ± 0,0092 a	0,0467 ± 0,0046 a	0,9638 (0,6221)	0,934 (0,4707)	0,753 (0,5713)		
<i>I</i> (bit)	1,4463 ± 0,2227 a	1,3780 ± 0,2229 a	1,4264 ± 0,3743 a	1,6112 ± 0,2145 a	1,4572 ± 0,1958 a	0,9675 (0,6953)	0,806 (0,5403)	0,476 (0,7528)		
<i>Z</i>	0,4516 ± 0,1048 a	0,4584 ± 0,0548 a	0,4354 ± 0,0963 a	0,3644 ± 0,0615 a	0,3822 ± 0,0517 a	0,9919 (0,9982)	0,568 (0,6896)	1,214 (0,3458)		

Médias seguidas por letras iguais na linha não diferem entre si pelos testes de Tukey a 0,05 de probabilidade; *t_i*: tempo inicial; *t_f*: tempo final; *G*: germinabilidade; *t*: tempo médio de germinação; *CV_t*: coeficiente de variação do tempo de germinação; *v*: velocidade média de germinação; *I*: incerteza; *Z*: sincronia; *W*: estatística do teste de Shapiro-Wilk; valores em negrito indicam que os resíduos seguem distribuição normal (*P* > 0,01); ¹*F*: estatística do teste de Levene; valores em negrito indicam homogeneidade entre as variâncias (*P* > 0,01); ²*F*: estatística do teste de Snedecor; valores em negrito indicam diferença significativa entre as concentrações (ANOVA; *P* < 0,05); *H*: estatística do teste de Kruskal-Wallis, valores em negrito indicam diferença significativa entre as concentrações (*P* < 0,05); *P*: probabilidade. ¹ Dados transformados em raiz (x) para realização das análises estatísticas, dados apresentados representam valores originais.

Tabela 4. Características das plântulas de *Echinochloa crus-galli* (capim-arroz) e *Ipomoea grandifolia* (corda-de-violão) submetidas à ação do herbicida e dos extratos de folhas maduras e jovens, frutos e raízes de *Sapindus saponaria* em diferentes concentrações.

Variável (unidade)	Espécie	Controle	2,5%	5,0%	7,5%	10,0%	Estatística			
							<i>W</i> (<i>P</i>)	¹ <i>F</i> (<i>P</i>)	² <i>F</i> (<i>P</i>)	<i>H</i> (<i>P</i>)
Folha madura										
Massa seca (mg)	Capim-arroz	33,12 ± 8,50 a	43,62 ± 4,06 a	41,22 ± 6,34 a	39,25 ± 4,25 a	43,65 ± 9,42 a	0,9478 (0,3475)	0,706 (0,6002)	1,605 (0,2244)	
Plântulas mortas (%)	Capim-arroz	0,00 ± 0,00 a	0,00 ± 0,00 a	0,00 ± 0,00 a	0,00 ± 0,00 a	3,75 ± 4,79 a	0,5846 (0,0001)	13,499 (0,0001)		1,977 (0,74)
Massa seca (mg)	Corda-de-violão	165,98 ± 2,70 a	156,40 ± 11,90 a	145,62 ± 13,06 a	138,42 ± 35,61 a	127,7 ± 10,34 a	0,8697 (0,0108)	2,343 (0,1019)	2,643 (0,075)	
Plântulas mortas (%)	Corda-de-violão	0,00 ± 0,00 a	0,00 ± 0,00 a	2,50 ± 2,89 a	1,25 ± 2,50 a	3,75 ± 2,50 a	0,9523 (0,4138)	8,748 (0,0007)		4,825 (0,3057)
Folha jovem										
Massa seca (mg)	Capim-arroz	30,55 ± 3,71 ab	35,06 ± 4,26 a	23,29 ± 6,70 b	20,42 ± 3,39 b	36,46 ± 7,39 a	0,9338 (0,1931)	1,924 (0,1586)	7,018 (0,0022)	
¹ Plântulas mortas (%)	Capim-arroz	0,00 ± 0,00 a	0,00 ± 0,00 a	2,50 ± 5,00 a	1,25 ± 2,50 a	5,00 ± 4,08 a	0,8743 (0,0133)	3,290 (0,040)	2,076 (0,1348)	
Massa seca (mg)	Corda-de-violão	143,86 ± 7,42 a	134,74 ± 70,05 a	131,11 ± 17,79 a	125,04 ± 5,74 a	129,26 ± 6,11 a	0,9828 (0,9513)	5,901 (0,0047)		8,386 (0,0784)
Fruto										
Massa seca (mg)	Capim-arroz	33,32 ± 2,75 a	41,31 ± 2,40 a	28,67 ± 2,38 a	39,17 ± 11,18 a	34,29 ± 5,95 a	0,9016 (0,0456)	2,74 (0,0681)	2,788 (0,0649)	
Massa seca (mg)	Corda-de-violão	159,46 ± 6,50 a	157,01 ± 5,70 a	149,02 ± 5,58 a	138,52 ± 9,16 a	149,45 ± 16,13 a	0,8931 (0,031)	2,393 (0,0968)	2,991 (0,0532)	
Raiz										
Massa seca (mg)	Capim-arroz	28,75 ± 6,09 a	28,90 ± 1,86 a	32,23 ± 2,33 a	33,80 ± 4,13 a	26,15 ± 3,48 a	0,9561 (0,477)	5,207 (0,0078)		7,759 (0,1008)
Plântulas mortas (%)	Capim-arroz	0,00 ± 0,00 a	0,00 ± 0,00 a	2,50 ± 5,00 a	2,50 ± 2,89 a	1,25 ± 2,50 a	0,8203 (0,0013)	6,799 (0,0025)		1,261 (0,8679)
Plântulas mortas (%)	Corda-de-violão	0,00 ± 0,00 a	0,00 ± 0,00 a	0,00 ± 0,00 a	0,00 ± 0,00 a	3,75 ± 7,50 a	0,5089 (0,0001)	8,999 (0,0007)		0,062 (0,9995)
Herbicida										
¹ Plântulas mortas (%)	Capim-arroz	0,00 ± 0,00 a	0,00 ± 0,00 a	0,00 ± 0,00 a	0,00 ± 0,00 a	1,25 ± 2,50 a	0,5033 (0,0001)	11,309 (0,0001)		1,065 (0,2345)
Massa seca (mg)	Corda-de-violão	160,25 ± 7,99ab	149,64 ± 9,64 ab	143,27 ± 7,42 b	165,19 ± 3,13 a	142,57 ± 11,25 b	0,931 (0,1703)	2,931 (0,0564)	5,923 (0,0046)	
¹ Plântulas mortas (%)	Corda-de-violão	0,00 ± 0,00 a	0,00 ± 0,00 a	1,25 ± 2,50 a	0,00 ± 0,00 a	2,50 ± 2,89 a	0,9321 (0,3877)	10,811 (0,0002)		3,254 (0,4052)

Médias seguidas por letras iguais na linha não diferem entre si pelos testes de Tukey a 0,05 de probabilidade; *W*: estatística do teste de Shapiro-Wilk; valores em negrito indicam que os resíduos seguem distribuição normal ($P > 0,01$); ¹*F*: estatística do teste de Levene; valores em negrito indicam homogeneidade entre as variâncias ($P > 0,01$); ²*F*: estatística do teste de Snedecor; valores em negrito indicam diferença significativa entre as concentrações (ANOVA; $P < 0,05$); *H*: estatística do teste de Kruskal-Wallis, valores em negrito indicam diferença significativa entre as concentrações ($P < 0,05$); *P*: probabilidade. ¹ Dados transformados em raiz (*x*) para realização das análises estatísticas, dados apresentados representam valores originais.

3.2. Análise conjunta

3.2.1. Teste de germinação

Na análise conjunta referente ao efeito dos diferentes extratos sobre a germinação das sementes, verificou-se que o extrato de folhas jovens exerceu maior efeito inibitório na germinabilidade das duas espécies (Figura 21). A velocidade média de germinação das sementes de capim-arroz e corda-de-viola foi maior sob ação do extrato de folhas maduras e da raiz, respectivamente. Quando observado diferença significativa entre as espécies, para cada órgão, notou-se que as sementes de corda-de-viola apresentaram maior germinabilidade e velocidade média de germinação, do que as sementes de capim-arroz, isto pode estar relacionado com a escarificação que estas sementes foram submetidas (Figura 21).

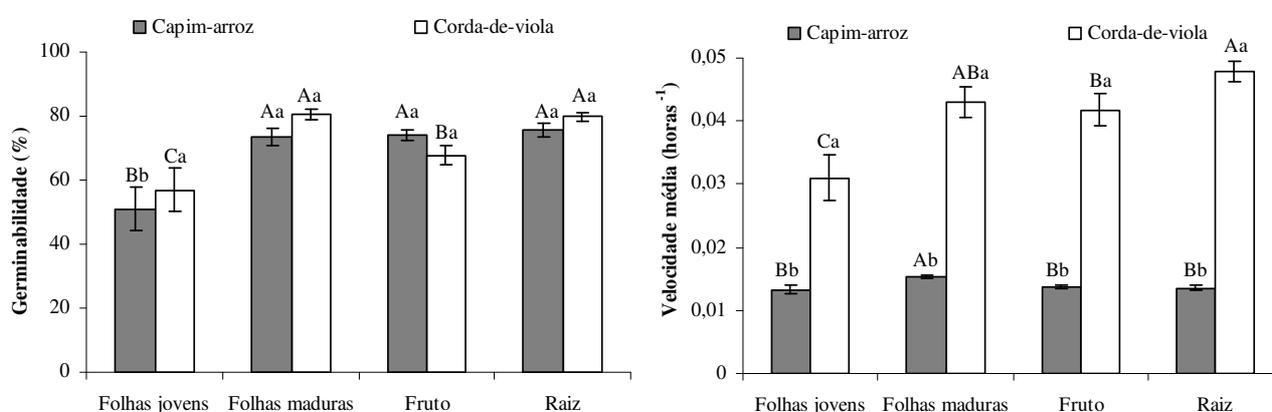


Figura 21. Germinabilidade e velocidade média de germinação das sementes de *Echinochloa crus-galli* (capim-arroz) e *Ipomoea grandifolia* (corda-de-viola) submetidas à ação dos extratos de folha jovem, folha madura, fruto e raiz de *Sapindus saponaria*. Médias seguidas pelas mesmas letras maiúsculas para os órgãos e minúsculas para as espécies, não diferem entre si, pelo teste de Tukey a 0,05% de probabilidade. As barras verticais representam o erro padrão.

As saponinas, registradas em frutos de *Sapindus saponaria* (Pelegri et al., 2008) são substâncias derivadas do metabolismo secundário das plantas, relacionadas com o sistema de defesa. São encontradas nos tecidos que são mais vulneráveis ao ataque fúngico, bacteriano ou predatório dos insetos (Wina et al., 2005).

Assim, o maior efeito alelopático das folhas jovens, sobre a germinabilidade das sementes de plantas daninhas, pode estar relacionado com a alta concentração de aleloquímicos presente neste órgão. Para as espécies de *Brachiaria* foi relatado que as folhas novas contêm mais saponinas do que as folhas maduras, pois neste período de crescimento a gramínea está mais vulnerável à predação dos herbívoros (Barbosa-Ferreira et al., 2009).

Essas alterações no padrão de germinação podem ser resultantes de efeitos dos aleloquímicos sobre a permeabilidade de membranas; na transcrição e tradução do DNA; no

funcionamento dos mensageiros secundários; na respiração, por seqüestro de oxigênio (fenóis); na conformação de enzimas e de receptores, ou ainda pela combinação destes fatores (Ferreira & Áquila, 2000).

3.2.2. Análise morfológica das plântulas

Dentre as duas espécies alvo estudadas, as plântulas de corda-de-viola foram as que sofreram maior efeito inibitório (Figura 22).

O extrato do fruto de *Sapindus saponaria* foi o que mais inibiu o desenvolvimento das plântulas normais, o comprimento da parte aérea e da raiz das plântulas de capim-arroz; porém, a massa da matéria seca destas plântulas sofreu estímulo, em relação ao controle, em todos os extratos analisados, exceção feita para o extrato de folhas jovens (Figura 22).

O efeito inibitório sobre o comprimento da raiz e na porcentagem de plântulas normais de corda-de-viola foi acentuado quando submetidas ao extrato de folhas jovens, enquanto o extrato da raiz e das folhas maduras foram os que mais inibiram, respectivamente, a massa da matéria seca e o comprimento da parte aérea destas plântulas (Figura 22).

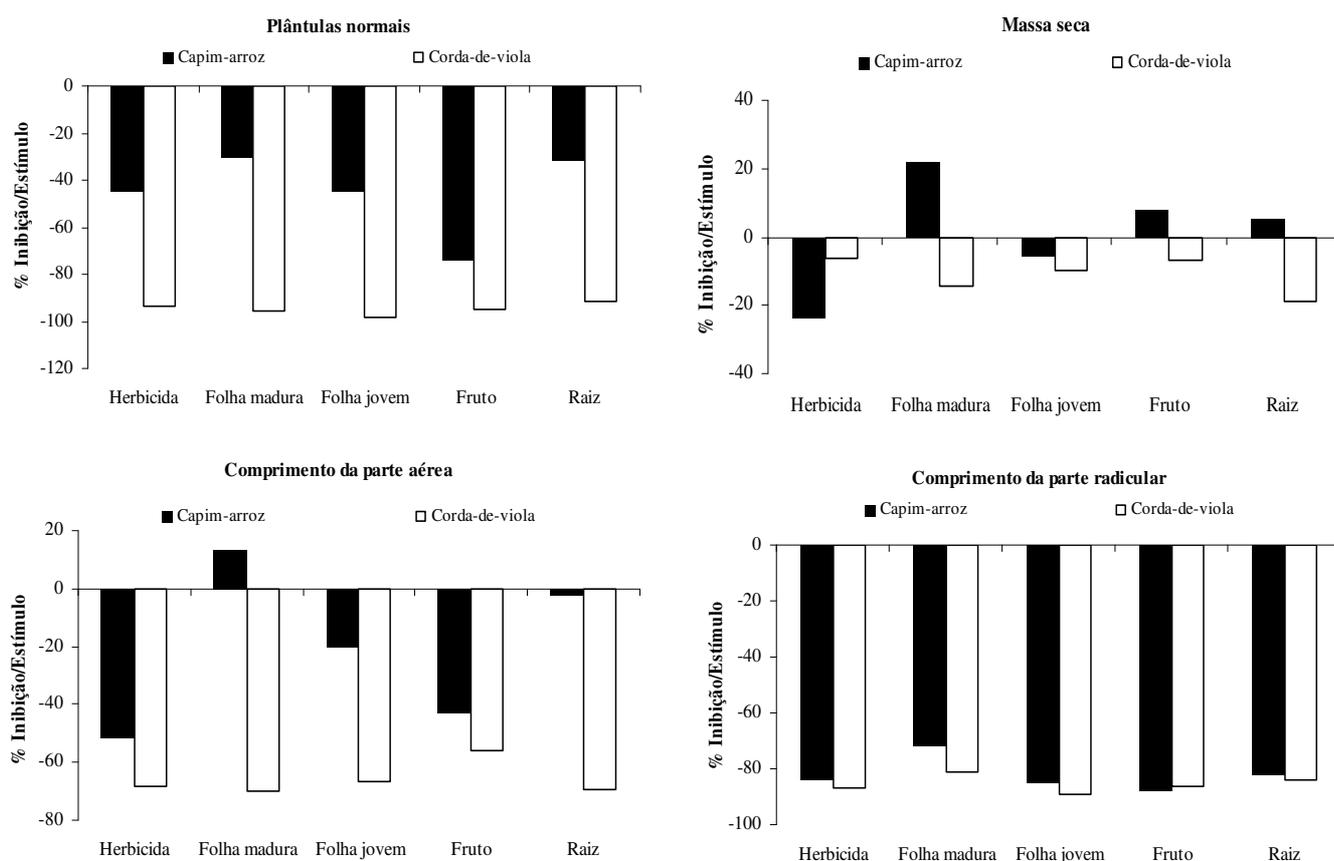


Figura 22. Porcentagem de inibição ou estímulo, em relação ao controle, de plântulas normais, massa da matéria seca, comprimento da parte aérea e da raiz de plântulas *Echinochloa crus-galli* (capim-arroz) e *Ipomoea grandifolia* (corda-de-viola) submetidas à ação do herbicida e dos extratos de folha jovem, folha madura, fruto e raiz de *Sapindus saponaria*.

Pode-se dizer que essas inibições decorrentes da aplicação dos extratos, citadas anteriormente, foram similares ao efeito produzido pelo herbicida, mostrando a eficiência da espécie arbórea no controle das plantas daninhas das espécies estudadas.

A raiz foi o órgão mais sensível aos agentes alelopáticos, sendo a necrose o sintoma mais comum (Figura 22). Esta redução no crescimento da raiz é um dos primeiros efeitos dos aleloquímicos e está associada à prematura lignificação das paredes celulares (Böhm et al., 2006; Susuki et al., 2008). Alguns autores sugerem que o efeito mais acentuado sobre as raízes é devido ao contato mais íntimo destas com a solução de aleloquímicos (Chung et al., 2001). Muitas fitotoxinas são capazes de afetar a morfologia e a anatomia de plântulas, o que pode ser evidenciado por esse endurecimento e escurecimento de ápices radiculares, fragilidade e aumento de ramificações (Inderjit, 1996).

Os efeitos alelopáticos podem variar conforme o órgão da planta e quanto à sua intensidade, visto que a ação dos aleloquímicos é condicionada por diversos fatores, tais como concentração, temperatura e outras condições ambientais. Geralmente, os efeitos causados tendem a ser dependentes da concentração dos aleloquímicos, ou seja, mais acentuados em concentrações mais altas (Maraschin-Silva & Aquila, 2005).

Carmo et al. (2007) observaram que tanto o sistema radicular quanto a parte aérea das plântulas de sorgo apresentaram redução de massa da matéria seca sob os tratamentos com os extratos de folhas e cascas de raízes de canela-sassafrás, quando comparados com as plântulas do tratamento controle.

O menor efeito inibitório do extrato de raiz em relação ao extrato de folhas, também foi constatado por Rosa et al. (2008), em que o extrato proveniente da folha de gergelim (1,9380 cm) reduziu mais acentuadamente o comprimento das plântulas de capim-braquiária do que o extrato da raiz (4,3340 cm). Assim como o extrato aquoso do fruto da leucena apresentou potencial alelopático superior ao extrato das folhas, tanto sobre a germinação quanto no crescimento da raiz de canafístula (*Peltophorum dubium* Spreng) (Scherer et al., 2005).

Em estudo realizado com folhas jovens e/ou próximas aos órgãos reprodutivos de *Palouwnia tomentosa* (kiri), verificou-se que a densidade de tricomas contendo flavonóides é maior do que em folhas maduras (Kobayashi et al., 2008). Pode-se dizer, então, que durante a senescência, nutrientes presentes nas folhas são realocados para desenvolver órgãos ou tecidos de reserva (Gan & Amasino, 1997), podendo levar à baixa concentração de compostos alelopáticos nas folhas maduras, o que explica a baixa inibição causada pelos extratos dessas folhas.

Folhas jovens são ricas em nutrientes, apresentando um grande reservatório de fotoassimilados e hormônios vegetais; no entanto, esses recursos podem torná-las atrativas à herbivoria e ataques patogênicos. Com base na constatação de que muitas espécies defendem seus

estágios de desenvolvimento juvenis metabolicamente (Bryant & Julkunen-Tiitto, 1995), pode-se dizer que há uma concentração maior de aleloquímicos em folhas jovens do que em folhas maduras. Esta estratégia programada de defesa evoluiu para que as folhas jovens fossem protegidas pelos produtos químicos para impedir os ataques por herbívoros, microorganismos ou ambos, durante o seu desenvolvimento ontogênico, independentemente dos efeitos bióticos e abióticos (Liu et al., 1998).

Desta forma, os resultados mostram que o estágio de maturação da folha de *Sapindus saponaria* interfere nas suas propriedades alelopáticas e sugerem que a busca de novas substâncias para o controle de plantas daninhas pode ser mais promissora se forem realizadas em tecidos mais jovens, ou melhor, em tecidos cujo metabolismo secundário seja mais intenso.

Carvalho et al. (1996) ressaltam a importância de estudos e da identificação de plantas com propriedades alelopáticas, tanto na utilização de cultivares agrícolas capazes de inibir plantas daninhas, quanto na determinação de práticas culturais e de manejos mais adequados.

Adicionalmente, resultados positivos para alelopatia, obtidos em laboratório, podem não se repetir em condições naturais, devido à ocorrência simultânea de diversos fatores bióticos e abióticos que podem mascarar este fenômeno. A conclusão definitiva de que estas espécies sejam alelopáticas em condições naturais está associada a uma investigação mais ampla, que inclui outras abordagens experimentais, principalmente testes em campo.

3.3. Potencial osmótico e pH dos extratos

Com relação às características físico-químicas dos extratos de folhas maduras, folhas jovens, frutos e raízes de *Sapindus saponaria*, os valores de pH variaram de 6,21 (folhas jovens) a 6,61 (frutos), verificando-se reduzida variação entre os valores (Tabela 5). Considerando-se que a germinação e o desenvolvimento de plântulas são afetados negativamente em condições de extrema acidez ou extrema alcalinidade (Souza Filho et al., 1996), pode-se dizer que o pH desses extratos não interferiu nesses processos.

A avaliação do pH e do potencial osmótico dos extratos vegetais é fundamental quando se desconhece sua constituição em açúcares, aminoácidos, ácidos orgânicos, íons e outras moléculas, pois valores extremos tanto de pH quanto de potencial osmótico dos extratos podem atuar sobre as sementes e/ou plântulas e mascarar o efeito alelopático (Ferreira & Aquila, 2000).

Os valores de potencial osmótico apresentaram alta variação entre os órgãos de *Sapindus saponaria*, com valores de -0,18; -0,20; -0,26 e -0,32 MPa para os extratos de frutos, raízes, folhas maduras e folhas jovens, respectivamente (Tabela 5). Nota-se que o menor valor obtido foi para o extrato de folhas jovens e o maior para o extrato de frutos.

Quando colocadas para germinar em soluções de PEG-6000, as sementes de capim-arroz germinaram, em média, 80% nos potenciais de 0 e -0,2 MPa e 63% nas soluções de -0,3 MPa. Este resultado sugere uma possível interferência do potencial osmótico do extrato de folhas jovens nos resultados de germinação das sementes de capim-arroz. No entanto, para a corda-de-viola 82, 80 e 79% das sementes germinaram nos potenciais de 0, -0,2 e -0,3 MPa, respectivamente. Considerando-se que soluções com potenciais osmóticos de -0,2, para sementes de capim-arroz, e de -0,3 MPa, para sementes de corda-de-viola, não interferiram significativamente na germinabilidade, pode-se inferir que a redução na percentagem de germinação dessas sementes tenha acontecido, principalmente, pela presença de substâncias com atividade alelopática nesses extratos.

Tabela 5. Potencial osmótico e pH dos extratos aquosos de maior concentração, obtidos de folhas maduras, folhas jovens, frutos e raízes de *Sapindus saponaria*.

Órgão vegetal	pH	Concentração molar (mOsm)	Potencial osmótico (MPa)
Folhas maduras	6,55	103	-0,26
Folhas jovens	6,21	128	-0,32
Frutos	6,61	71	-0,18
Raízes	6,25	81	-0,20

4. Conclusões

- ✓ Os extratos de *Sapindus saponaria* evidenciaram potencialidades alelopáticas que variaram de acordo com a espécie receptora. O efeito inibitório sobre o processo de germinação das sementes e morfologia das plântulas de capim-arroz e corda-de-viola foi concentração-dependente.
- ✓ O extrato de folhas jovens exerceu maior efeito inibitório na germinabilidade das duas espécies de plantas daninhas.
- ✓ No desenvolvimento das plântulas de capim-arroz e corda-de-viola, o herbicida nicosulfuron reduziu a porcentagem de plântulas normais, o comprimento da parte aérea e da raiz primária, independente da concentração do herbicida.
- ✓ Os extratos do fruto e das folhas jovens de *Sapindus saponaria* foram os que mais inibiram o desenvolvimento das plântulas, principalmente da espécie de corda-de-viola. A raiz foi o órgão mais sensível aos agentes alelopáticos, sendo a necrose o sintoma mais comum.

- ✓ As inibições ocasionadas pelos extratos, sobre a morfologia das plântulas daninhas, foram similares ao efeito produzido pelo herbicida, mostrando a eficiência da espécie arbórea no controle destas espécies.
- ✓ O estágio de maturação das folhas de *Sapindus saponaria* interferiu nas suas propriedades alelopáticas, uma vez que o extrato oriundo das folhas jovens apresentou maior efeito inibitório sobre o processo de germinação das sementes e desenvolvimento das plântulas daninhas do que o de folhas maduras.

5. Referências Bibliográficas

ALBIERO, A. L. M.; BACCHI, E. M.; MOURÃO, K. S. M. Caracterização anatômica das folhas, frutos e sementes de *Sapindus saponaria* L. (Sapindaceae). **Acta Scientiarum**, v.23, n.2, p. 49-560, 2001.

ALMEIDA, F. S. **Alelopatia e as plantas**. Londrina: IAPAR, 1988. 60 p.

ANDERSON, D. D. Mechanism of primisulfuron resistance in sathercane (*Sorghum bicolor*) biotype. **Weed Science**, v. 46, n. 1, p. 158-162, 1998.

AZANIA, A. A. P. M.; AZANIA, C. A. M.; PAVANI, M. C. M. D.; CUNHA, M. C. S. Métodos de superação de dormência em sementes de *Ipomoea* e *Merremia*. **Planta Daninha**, v.21, n.2, p. 203-209, 2003.

BARBOSA-FERREIRA, M.; BRUM, K. B.; FERNANDES, C. E.; MARTINS, C. F.; PINTO, G. S.; CASTRO, V. S.; REZENDE, K. G.; RIET-CORREA, F.; HARAGUCHI, M.; JUNIOR, H. L. W.; LEMOS, R. A. A. Variations of saponin level X maturation in *Brachiaria brizantha* leaves: Preliminary data. In: INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON POISONOUS PLANTS, 8., 2009, João Pessoa. **Anais...** João Pessoa: ISOPP, 2009. p.13.

BLUM, U. Designing laboratory plant debris-soil bioassays: some reflections. In: INDERJIT; DAKSHINI, K. M. M.; FOY, C. L. (Eds.). **Principles and practices in plant ecology**. Boca Raton: CRC, 1999. p. 17-23.

BÖHM, P. A.; FERRARESE, M. L. L.; ZANARDO, F. M. L.; FERRARESE-FILHO, O. Peroxidase activity and lignification in soybean root growth-inhibition by juglone. **Biologia Plantarum**, v. 50, p. 315-317, 2006.

BONANOMI, G.; SICUREZZA, M. G.; CAPORASO, S.; ESPOSITO, A.; MAZZOLENI, S. Phytotoxicity dynamics of decaying plant materials. **New Phytologist**, v. 169, p. 571-578, 2006.

BRASIL. Ministério da Agricultura e Reforma Agrária. Coordenação de Laboratório Vegetal. **Regras para análise de sementes**. Brasília: 1992, 365 p.

BROW, H. M. Mode of action, crop selectivity, and soil relations of the sulfonyleurea herbicides. **Pesticide Science**, v. 29, p. 263-281, 1990.

- BRYANT, J.P.; R. JULKUNEN-TIITTO. Ontogenic development of chemical defense by seedling resin birch: energy cost of defense production. **Journal of Chemical Ecology**, v. 21, p. 883-895, 1995.
- BURGOS, N. R.; TALBERT, R. E. Differential activity of allelochemicals from *Secale cereale* in seedling bioassays. **Weed Science**, 48:302–310. 2000.
- CARMO, F.M.S.; BORGES, E.E.L.; TAKAKI, M. Alelopatia de extratos aquosos de canela-sassafrás (*Ocotea odorifera* (Vell.) Rohwer). **Acta Botânica Brasileira**, v. 21, n. 3, p. 697-705, 2007.
- CARVALHO, G.J.; ANDRADE, L.A.B.; GOMIDE, M.; FIGUEIREDO, P.A.M. Potencialidades alelopáticas de folhas verdes de cana-de-açúcar em diferentes concentrações de matéria seca na germinação de sementes de alface. **Ciências**, v.5, n.2, p.19-24, 1996.
- CHONG, T. V.; ISMAIL, B. S. Field evidence of the allelopathic properties of *Dicranopteris linearis*. **Weed Biology and Management**, v. 6, n. 2, p. 59-67, 2006.
- CHOU, C. H.; FU, C. Y.; LI, S. Y.; WANG, Y. F. Allelopathic potential of *Acacia confusa* and related species in Taiwan. **Journal of Chemical Ecology**, v. 21, n. 12, p. 2131-2150, 1998.
- CHOU, C. H. Roles of allelopathy in plant biodiversity and sustainable agriculture. **Critical Reviews in Plant Sciences**, v. 18, n. 5, p. 609-636, 1999.
- CHUNG, M.; AHN, K. J. Allelopathic potencial of rice hulls on germination and seedling growth of barnyardgrass. **Agronomy Journal**, v. 92, p. 1162-1167, 2000.
- CHUNG, I.M.; AHN, J.K.; YUN, S.J. Assesment of allelopathic potential of barnyard grass (*Echinochloa crus-gall*) on rice (*Oriza sativa* L.) cultivars. **Crop Protection**, v. 20, p. 921-928, 2001.
- CONCENÇO, G.; MELO, P. T. B. S.; ANDRES, A.; FERREIRA, E. A.; GALON, L.; FERREIRA, F. A.; SILVA, A. A.. Método rápido para detecção de resistência de capim-arroz (*Echinochloa* spp.) ao quinclorac. **Planta Daninha**, v. 26, n.2, p. 429-437, 2008.
- FERREIRA, A.G.; AQUÍLA, M.E.A. Alelopatia: uma área emergente da ecofisiologia. **Revista Brasileira de Fisiologia Vegetal**, v.12, p.175-204, 2000. Edição especial.
- FERREIRA, M.C.; SOUZA, J.R.P.; FARIA, T.J. FERREIRA, M. C. et al. Potenciação alelopática de extratos vegetais na germinação e no crescimento inicial de picão-preto e alface. **Ciência e Agrotecnologia**, v. 31, n. 4, p. 1054-1060, 2007.
- FERREIRA, W.R. 2007. **Variabilidade de cinco espécies arbóreas da região de cerrado do Brasil central para medidas de germinação e emergência**. Dissertação de mestrado. Uberlândia.
- FONTANA, L.C.; AGOSTINETTO, D.; PINTO, J.J.O.; ROSENTHAL, M.D.; RIGOLI, R.P.; FIGUEREDO, S.S. Controle de arroz-vermelho (*Oryza* sp.) com o herbicida nicosulfuron ou a mistura formulada de imazethapyr + imazapic. **Planta Daninha**, v. 25, n. 4, p. 783-790, 2007.
- GAN, S. S.; AMASINO, R. M. Making sense of senescence – Molecular genetic regulation and manipulation of leaf senescence. **Plant Physiology**, v. 113, p. 313-319, 1997.

- GATTI, B. A.; PEREZ, S. C. J. G. A.; LIMA, M. I. S. Atividade alelopática de extratos aquosos de *Aristolochia esperanzae* O. Kuntze na germinação e no crescimento de *Lactuca sativa* L. e *Raphanus sativus* L. **Acta Botânica Brasílica**, v. 18, n. 3, p. 459-472, 2004.
- GOBBO-NETO, L.; LOPES, N. P. Plantas medicinais: fatores de influência no conteúdo de metabólitos secundários. **Química Nova**, v. 30, n. 2, São Paulo, 2007.
- GUARIM NETO, G.; SANTANA, S. R.; SILVA, J. V. B. Notas etnobotânicas de espécies de Sapindaceae Jussieu. **Acta Botânica Brasílica**, v. 14, n. 3, p. 327-334, 2000.
- HEDGE, R. S.; MILLER, D. A. Allelopathy and autotoxicity in alfafa characterization and effects of preceding crops and residue. **Crop Science**, v. 30, p. 1255-1259, 1990.
- HERNÁNDEZ-TERRONES, M.G.; MORAIS, S.A.L.; LONDE, G.B.; NASCIMENTO, E.A.; CHANG, R. Ação alelopática de extratos de embaúba (*Cecropia pachystachya*) no crescimento de capim-colonião (*Panicum maximum*). **Planta Daninha**, v. 25, n. 4, p. 763-769, 2007.
- INDERJIT. Plant phenolics in allelopathy. **The Botanical Review**, v. 62, n. 2, p. 186-202, 1996.
- JACOBI, U. S.; FERREIRA, A. G. Efeitos alelopáticos de *Mimosa bimucronata* (DC) OK. sobre espécies cultivadas. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 26, p. 935-943, 1991.
- KATO-NOGUCHI, H. Assessment of allelopathic potential of shoot powder of lemon balm. **Scientia Horticulturae**, v. 97, p. 419-423, 2003.
- KATO-NOGUCHI, H.; FUSHIMI, Y.; SHIGEMORI, H. An allelopathic substance in red pine needles (*Pinus densiflora*). **Journal of Plant Physiology**, v. 166, p. 442-446, 2009.
- KHAN, Z. R.; HASSANALI, A.; OVERHOLT, W.; KHAMIS, T.; HOOPER, A. M.; PICKETT, J. A.; WADHAMS, L. J.; WOODCOCK, C. M. Control of witchweed *Striga hermonthica* by intercropping with *Desmodium* spp., and the mechanism defined as allelopathic. **Journal of Chemical Ecology**, v. 28, n. 9, p. 1871-1885, 2002.
- KOBAYASHI, S.; ASAI, T.; FUJIMOTO, Y.; KOHSHIMA, S. Anti-herbivore structures of *Palouwnia tomentosa*: Morphology, distribution, chemical constituents and changes during shoot and leaf development. **Annals Botany**, v. 101, p. 1035-1047, 2008.
- KÖPPEN, W. **Climatologia**: com um estúdio de los climas de la tierra. Trad. P.R. Hendrichs Pérez. México: Fondo de Cultura Econômica, p. 478, 1948.
- LABOURIAU, L. G. **A germinação das sementes**. Washington, DC: OEA, 1983.
- LABOURIAU, L.G.; VALADARES, M.E.B. On the germination of seeds of *Calotropis procera* (Ait). F. **Anais da Academia Brasileira de Ciências**, Rio de Janeiro, v. 48. p. 263-284, 1976.
- LARCHER, W. **Ecofisiologia vegetal**. Rima Artes e Textos, São Carlos, 2000.
- LIU, Z.; CARPENTER, S.B.; BOURGEOIS, W.J.; YU, Y.; CONSTANTIN, R.J.; FALCON, M.J.; ADAMS, J.C. Variations in the secondary metabolite camptothecin in relation to tissue age and season in *Camptotheca acuminata*. **Tree Physiology**, v. 18, p. 265-270, 1998.

MACIAS-RUBALCAVA, M. L.; HERNANDEZ-BAUTISTA, B. E.; ANAYA, A. L. Production of allelopathic glycosidic resins in seeds and early development stages of *Ipomoea tricolor* L. (Convolvulaceae). **Allelopathy Journal**, v. 21, n. 1, p. 107-117, 2008.

MAGUIRE, J.D. Speed germination-aid in selection and evaluation for seedling emergence and vigor. **Crop Science**, Madison, v.2, p. 176-177, 1962.

MARASCHIN-SILVA, F.; AQUILA, M.E.A. Potencial alelopático de *Dodonaea viscosa* (L.) Jacq. **IHERINGIA**, v. 60, n. 1, p. 91-98, 2005.

MAULI, M. M.; FORTES, A. M. T.; ROSA, D. M.; PICCOLO, G.; MARQUES, D. S.; CORSATO, J. M.; LESZCZYNSKI, R. Leucaena allelopathy on weeds and soybean seed germination. **Semina-Ciências Agrárias**, Londrina, v. 30, n. 1, p. 55-62, 2009.

MURGU, M. **Saponinas e glicosídeos de *Sapindus saponaria*: metodologias de análises por espectrometria de massas e relação com fungos endofíticos**. 2002. 133 f. Tese (Doutorado em Química Orgânica) – Departamento de Química da UFSCar, Universidade Federal de São Carlos, São Carlos, SP, 2002.

OLIVEROS-BASTIDAS, A.J.; MACÍAS, F.A.; FERNÁNDEZ, C.C.; MARIN, D.; MOLINILLO, J.M.G. Exudados de la raíz y su relevancia actual en las interacciones alelopáticas. **Química Nova**, v. 32, n. 1, p. 198-213, 2009.

PEDROL, N.; GONZALEZ, L.; REIGOSA, M. J. Allelopathy and abiotic stress, pp. 171–209, in M. J. Reigosa, N. Pedrol, and L. Gonzalez (eds.). *Allelopathy: A Physiological Process with Ecological Implications*. Springer, Netherlands, 2006.

PELEGRINI, D.D.; TSUZUKI, J.K.; AMADO, C.A.B.; CORTEZ, D.A.G.; FERREIRA, I.C.P. Biological activity and isolated compounds in *Sapindus saponaria* L. and other plants of the genus *Sapindus*. **Latin American Journal of Pharmacy**, v. 27, n. 6, p. 922-927, 2008.

PERES, F.; MOREIRA, J. C. Saúde e Ambiente e Sua Relação Com o Consumo de Agrotóxicos em um Pólo Agrícola do Estado do Rio de Janeiro, Brasil; **Caderno de Saúde Pública**, Rio de Janeiro, 2007.

PIMENTEL-GOMES, F.P. **Curso de estatística experimental**. 11 ed. Nobel: Piracicaba, 1987.466p.

PUTNAM, A. R.; TANG, C. S. Allelopathy: state of the science. In: **The Science of allelopathy**. New York. John Wiley & Sons, p. 1-19, 1986.

RANAL, M. A.; SANTANA, D. G. How and why to measure the germination process? **Revista Brasileira de Botânica**, v. 29, p. 1-11, 2006.

RAO, A. S. Roots flavonoids. **Botanicals Review**, v. 56, n. 1, p. 1-55, 1990.

RICE, E.L. 1984. **Allelopathy**. 2^a ed. New York, Academic Press.

RIZVI, S.J.H.; HAQUE, H.; SINGH, V.K.; RIZVI, V. A discipline called allelopathy. Pp. 1-10. In: S.J.H. RIZVI; V. RIZVI (eds.). **Allelopathy: basic and applied aspects**. London, Chapman & Hall, 1992.

- RIZVI, S.J.H.; TAHIR, M.; RIZVI, V.; KOHLI, R. K.; ANSARI, A. Allelopathic interactions in agroforestry systems. **Critical Reviews in Plant Science**, vol. 18, n. 6, p. 773-796, 1999.
- RODRIGUES, B. N.; ALMEIDA, F. S. **Guia de herbicidas**. 5.ed. Londrina: Edição dos Autores, 2005.
- ROHLF, F. J.; R. R. SOKAL. **Biometry**. The principles and practice of statistics in biological research. Editora W.H. Freeman & Co., S. Francisco, 776 p, 1969.
- ROMERO, T.; SANCHEZ-NIETO, S.; SAN JUAN-BADILLO, A.; ANAYA, A.L.; CRUZ-ORTEGA R. Comparative effects of allelochemical and water stress in roots of *Lycopersicon esculentum* Mill. (Solanaceae). **Plant Science** 168, p. 1059–1066, 2005.
- ROSA, G.M.; MORAIS, J.A.; MAPELI, N.C. Potencial alelopático de gergelim (*Sesamum indicum* L.) na germinação e desenvolvimento de plântulas de fedegoso (*Senna occidentalis* L.) e de capim-braquiária (*Brachiaria brizantha*). **IV Congresso Interno de Iniciação Científica**, 2008, Cárceres.
- SCHERER, L.M.; ZUCARELI, V.; ZUCARELI, C.A.; FORTES, A.M.T. Efeito alelopático do extrato aquoso de folha e de fruto de leucena (*Leucaena leucocephala* Wit) sobre a germinação e crescimento de raiz da canafístula (*Peltophorum dubium* Spreng). **Semina: Ciências Biológicas e da Saúde**, v. 26, n. 2, p. 161-166, 2005.
- SOUZA FILHO, A. P. S.; RODRIGUES, L. R. A.; RODRIGUES, T. J. D. Efeitos de extratos aquosos de assa-peixe sobre a germinação de três espécies de braquiária. **Planta Daninha**, v. 14, n.2, p. 93-101, 1996.
- SOUZA FILHO, A. P. S.; ALVES, S. M. **Alelopatia em ecossistema de pastagem cultivada**. Belém: Embrapa – Cpatu, 1998. 72 p. (Embrapa – Cpatu. Documentos, 109).
- SOUZA FILHO, A. P. S.; SANTOS, R. A.; SANTOS, L. S.; GUILHOM, G. M. P.; SANTOS, A. S.; ARRUDA, M. S. P.; MULLER, A. H.; ARRUDA, A. C. Potencial alelopático de *Myrcia guianensis*. **Planta Daninha**, Viçosa-MG, v. 24, n. 4, p. 649-656, 2006.
- SUZUKI, L. S.; ZONETTI, P. C.; FERRARESE, M. L. L.; FERRAREZE-FILHO, O. Effects of ferulic acid on growth and lignification of conventional and glyphosate-resistant soybean. **Allelopathy Journal**, v.21, n.1, p.155-164, 2008.
- TEJEDA-SARTORIUS, O.; RODRIGUES-GONZALES, M.T . Weed and vegetable germination and growth inhibitors in amaranth (*Amaranthus hypochondriacus* L.) residues. **Agrociencia**, v. 42, p. 415-423, 2008.
- VILLELA, F. A.; DONI FILHO, L.; SEQUEIRA, E. L. Tabela de potencial osmótico em função da concentração de polietileno glicol 6000 e da temperatura. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 26, p. 1957-1968, 1991.
- WINA, E.; MUETZEL, S.; BECKER, K. The Impact of saponins or saponin-containing plant materials on ruminant productions: A review. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, Washington, v.53, p.8093-8105, 2005.
- YOUNG, G. P.; BUSH, J. K. Assessment of the allelopathic potential of *Juniperus ashei* on germination and growth of *Bouteloua curtipendula*. **Journal of Chemical Ecology**, v. 35, p. 74–80, 2009.

CAPÍTULO III

ESTUDO FITOQUÍMICO E ALELOPÁTICO DAS FOLHAS JOVENS DE *SAPINDUS* *SAPONARIA* L. (SAPINDACEAE)

RESUMO - Para avanços em termos tecnológicos e possibilidade de aplicação dos resultados, é necessário identificar as frações e/ou aleloquímicos responsáveis pelo efeito alelopático. Em função disso, o objetivo do trabalho consistiu em avaliar, por meio do fracionamento biodirigido, a atividade alelopática de diferentes frações dos extratos de folhas jovens de *Sapindus saponaria* L. no crescimento de coleótilos de trigo (*Triticum aestivum* L.). As frações foram obtidas a partir da extração direta do pó das folhas jovens, utilizando-se solventes com polaridade crescente; em seguida, realizou-se o bioensaio com coleótilo de trigo para avaliar o potencial alelopático das frações em análise. A fração com maior atividade foi submetida a um fracionamento cromatográfico em coluna e a cromatografia de camada delgada analítica. Obteve-se 129 sub-frações, nas quais foram reunidas em 10 sub-frações e submetidas, novamente, ao teste biológico. A análise química das folhas jovens de *Sapindus saponaria*, permitiu concluir que a fração de acetato de etila apresentou maior atividade alelopática sobre os coleótilos de trigo e que na sua sub-fração 6. (57-70) podem ser encontrados os compostos orgânicos responsáveis por essa inibição.

Palavras-chave: fracionamento, sabão-de-soldado, *Triticum aestivum* L.

ABSTRACT – (Phytochemistry and allelopathic study of young leaves of *Sapindus saponaria* L. (Sapindaceae)). To advances in technology and the applicability of the results is required to identify the fractions and / or allelochemicals responsible for the allelopathic effect. The aim of this study was to evaluate, through the fractioning biodirigido, the allelopathic activity of different fractions extracts of young leaves of *Sapindus saponaria* L. the growth of wheat coleoptile (*Triticum aestivum* L.). The fractions were obtained from the direct extraction of the powder of young leaves, using solvents with increasing polarity, and then the coleoptiles of wheat bioassay to evaluate the allelopathic potential of the fractions analyzed. The fraction with highest activity was subjected to a fractioning column and chromatographic analysis. Obtained 129 sub-fractions, in which were collected in 10 sub-fractions and subjected again to the test biological. Chemical analysis of young leaves of *Sapindus saponaria*, showed that the fraction of ethyl acetate presented higher allelopathic activity on the wheat coleoptile and in the sub-fraction 6. (57-70) can be found the compounds responsible for this inhibition.

Key words: fractioning, soapberry, *Triticum aestivum* L.

1. Introdução

Sapindus saponaria L., pertencente à família Sapindaceae e conhecida vulgarmente por saboneteira, sabão-de-macaco, sabão-de-soldado, é uma espécie arbórea nativa, perenifólia ou semidecídua, heliófita, de pequeno porte (até 8 m), utilizada em paisagismo e em modelos de recuperação de áreas degradadas. No Brasil, ocorre desde o Pará até o Rio Grande do Sul, nas florestas pluvial e semidecídua (Tonin, 2005). A espécie é conhecida não apenas pela utilização da madeira, mas também pela presença de saponinas, um surfactante natural encontrado nas sementes e nos frutos. A madeira é moderadamente pesada, dura, compacta, de baixa durabilidade natural, sendo empregada na construção civil. Os seus frutos são utilizados pela população como sabão, no banho e no combate a úlceras, feridas na pele e inflamações (Albiero et al., 2001; Pelegrini, et al., 2008).

Estudos usando cromatografia a líquido de alta eficiência, com detecção ultravioleta e espectrometria de massa, mostraram que os principais glicosídeos presentes nesses frutos são saponinas (SAP) derivadas dos triterpenos hederagenina e ácido oleanólico, e oligoglicosídeos de sesquiterpenos acíclicos (ASOGs). Usando esses métodos de análise, foram detectados até trinta SAPs e sessenta e três ASOGs (Murgu & Rodrigues-Filho, 2006; Pelegrini et al., 2008).

As saponinas possuem atividades diversas como ação moluscicida, atividade piscicida, antiinflamatória, analgésica, expectorante, antioxidante, antiviral, antibacteriana e antifúngica. Uma das teorias mais aceitas para explicar a alta concentração de saponinas em muitas espécies de plantas é que estas funcionariam como proteção ao ataque de patógenos, sejam estes fungos, bactérias ou vírus (Murgu, 2002; Sparg et al., 2004).

As plantas produzem diversos compostos orgânicos, muitos dos quais não participam diretamente de seu desenvolvimento. Essas substâncias referidas como metabólitos secundários ou aleloquímicos desempenham um papel fundamental nas suas interações de defesa contra predadores, patógenos e competidores (Croteau et al., 2000). Muitos desses metabólitos secundários apresentam atividades biológicas e têm sido utilizados na indústria farmacêutica e agroquímica (Hamburger & Hostetmann, 1991). Dentre as diversas atividades biológicas encontradas, há um grande estímulo para a procura de substâncias que atuam como herbicidas, tendo em vista os sérios problemas que a incidência de plantas daninhas em culturas agrônomicas representa para a produtividade agrícola.

Os efeitos alelopáticos são mediados através de substâncias químicas pertencentes a diferentes categorias de compostos, tais como fenóis, terpenos, alcalóides, poliacetilenos, ácidos graxos, peptídeos, entre outros. Essas substâncias podem ser produzidas em qualquer órgão vegetal;

porém, em concentrações muito baixas e com características intrínsecas à planta, como por exemplo, espécie e idade (Rivzi & Rivzi 1992).

O processo de ação das substâncias alelopáticas sobre outras plantas não é totalmente conhecido (Rice, 1984). Alguns autores afirmam que os aleloquímicos interferem no metabolismo, reduzindo a oferta de energia e, conseqüentemente, impedindo o desenvolvimento normal desses organismos. Pesquisas têm demonstrado que a interferência dos aleloquímicos ocorre com freqüência na assimilação de nutrientes, na inibição da fotossíntese (Einhellig et al., 1993; Tawaha et al., 2003; Anaya et al., 2005), na respiração (Neave & Dawson, 1989), na síntese de proteínas, na permeabilidade da membrana celular e em atividades enzimáticas, afetando, como conseqüência, o desenvolvimento da planta (Caldiz & Fernández, 1999).

Para avanços em termos tecnológicos e possibilidade de aplicação dos resultados, é necessário identificar as frações e/ou aleloquímicos responsáveis pela atividade alelopática, bem como identificar quais desses compostos possuem potencial de uso como reguladores de crescimento e herbicidas (Dayan & Ducke, 2006; Macías et al., 2006). Os avanços em biologia vegetal têm permitido fornecer explicações, em termos biológicos e ecológicos, sobre a incidência de invasoras e seu ponto domínio sobre espécies de comunidades naturais, bem como a comunicação planta – planta na rizosfera (Romero et al., 2005).

A composição fitoquímica do fruto de *Sapindus saponaria* é conhecida por apresentar propriedades farmacêuticas importantes (Guarim Neto et al., 2000); porém, poucos trabalhos referem-se à análise fitoquímica das folhas e ao potencial alelopático da espécie. Além disso, baseado nos resultados obtidos dos capítulos anteriores, o extrato de folhas jovens foi o que apresentou maior efeito alelopático sobre a germinação de diásporos e morfologia das plântulas de hortaliças e plantas daninhas.

Com isso, o objetivo do trabalho consistiu em avaliar, por meio do fracionamento biodirigido, a atividade alelopática de diferentes frações dos extratos de folhas jovens de *Sapindus saponaria* no crescimento de coleóptilos de trigo (*Triticum aestivum* L.).

2. Material e Métodos

Os experimentos foram conduzidos no laboratório de Ecofisiologia de Sementes, da Universidade Federal de São Carlos, São Carlos (SP).

2.1. Obtenção do material vegetal seco

O material vegetal (folha jovem) foi coletado no município de São Carlos, SP (22° 02' S e 47° 52' W), com temperaturas médias entre 15 e 27 °C. A região é caracterizada pelo tipo climático Aw, segundo o sistema de classificação de Köppen (1948), considerado tropical de altitude com inverno seco (abril a setembro) e verão chuvoso (outubro a março). As folhas jovens de *Sapindus saponaria* foram coletadas de 10 árvores, em novembro de 2008. O critério utilizado para identificação das folhas jovens foi a coloração verde-clara e a textura do tipo membranácea.

Após a coleta, as folhas foram secas a 40 °C, durante 72 horas, e trituradas em moinho industrial para obtenção do material vegetal seco (pó).

2.2. Extração química

Para a identificação das substâncias químicas com atividade alelopática, presentes na espécie selecionada, foi realizada a extração direta (ED), com uso do ultra-som. Os extratos foram obtidos a partir do pó das folhas jovens, utilizando-se diretamente solventes com polaridade crescente.

O extrato bruto foi preparado na proporção de 600 g de folhas jovens secas e trituradas para 6000 mL de hexano, mantido em banho de ultra-som durante 30 minutos. Em seguida, esse extrato foi submetido à filtração a vácuo, utilizando-se uma bomba elétrica acoplada a um funil de Buckner forrado internamente com papel de filtro e depois evaporado no rotavapor sob temperatura inferior a 40 °C. Esse pó de folhas jovens, retido no papel de filtro, foi submetido novamente à extração com solvente hexano (6000 mL de hexano).

Após a extração com o solvente hexano, o pó das folhas jovens passou pelo mesmo processo com solventes de maiores polaridades como diclorometano, acetato de etila, acetona e metanol.

Assim, as frações obtidas após a filtração e secagem foram a fração hexano, diclorometano, acetato de etila, acetona e metanol.

2.3. Bioensaio

As frações obtidas da extração com solvente (hexano, diclorometano, acetato de etila, acetona e metanol) foram submetidas ao teste biológico com coleóptilo de trigo para avaliar seu potencial alelopático.

Cariopses de trigo (*Triticum aestivum* L., cultivar BRS Camboatá) foram distribuídas em caixas tipo gerbox forradas com duas folhas de papel de filtro, umedecidas com 10 mL água, sendo tampadas e cobertas por papel alumínio. As caixas foram mantidas em câmara climatizada (estufa B.O.D) a 25 °C no escuro, durante 72 horas. Decorrido esse tempo, as caixas foram conduzidas até uma sala com luz verde para que os coleóptilos das plântulas de trigo fossem selecionados e cortados utilizando-se uma guilhotina de Van der Weij. Os ápices dos coleóptilos foram cortados (2

mm) e descartados, enquanto o restante foi cortado em 4 mm e utilizado para o bioensaio (Nitsch & Nitsch, 1956; Macías et al., 2005).

Nesse teste foram utilizados 10 mg de cada fração obtida nas extrações realizadas anteriormente. A esta quantidade foram adicionados 60 µl de dimetil sulfoxido (DMSO) para melhor solubilização das frações, sendo depois acrescentada solução tampão (pH de 5,6) de fosfato de potássio (250 mL de água destilada, 5 g de sacarose, 0,2625 g de ácido cítrico e 0,725 g de fosfato de potássio di-básico), de forma a obter diluições de 800, 400 e 200 ppm (Nitsch & Nitsch, 1956). Em tubos de ensaio foram adicionados 2 mL das respectivas soluções, contendo cinco coleóptilos de trigo, sendo tampados por uma película de plástico. Além dos tubos contendo as frações, foram feitos dois controles, um positivo com solução tampão e DMSO e, outro negativo com o herbicida nicosulfuron (ingrediente ativo = 40 g L⁻¹), nas diluições de 800, 400 e 200 ppm (Macías et al., 2006; García, 2009).

Esses tubos foram mantidos a 25 °C no escuro e sob constante rotação (0,25 rpm), sendo utilizadas três repetições por tratamento (García, 2009). Após 24 horas, os coleóptilos foram retirados dos tubos e medidos com auxílio do programa de digitalização de imagens (IMAGE-PRO).

Os dados foram avaliados pela porcentagem de inibição ou estímulo em relação ao controle (Macías et al., 2006), segundo a expressão abaixo:

$$\% \text{ inibição/estímulo} = \left(\frac{((C_r - \bar{C}_t) - (C_r - \bar{C}_c))}{(C_r - \bar{C}_c)} \right) 100,$$

onde:

C_r : comprimento referência do coleóptilo usado no bioensaio (4 mm);

\bar{C}_t : comprimento médio dos coleóptilos, referente aos tratamentos;

\bar{C}_c : comprimento médio dos coleóptilos, referente ao controle.

Os resultados foram apresentados em um gráfico de colunas, onde o “0” representa a longitude do controle, enquanto os valores positivos implicam no estímulo da característica analisada, e os negativos na inibição. Os resultados obtidos foram submetidos ao teste de análise de variância (ANOVA), seguido pelo teste de Tukey a 0,05 de significância. As barras verticais apresentadas nas colunas das figuras representam os seus respectivos desvios padrão.

2.4. Fracionamento

2.4.1. Cromatografia em coluna (CC)

Foi realizado um teste preliminar para selecionar a mescla a ser utilizada na cromatografia em coluna. As mesclas testadas em porcentagem foram Hexano/Diclorometano (50 : 50 e 30 : 70); Hexano/Acetato de etila (90 : 10, 80 : 20, 70 : 30 e 50 : 50); Hexano/Acetona (95 : 5, 90 : 10, 80 : 20, 70 : 30 e 50 : 50) e Hexano/Metanol (80 : 20 e 70 : 30). Assim, a mescla escolhida como fase móvel foi: Hexano/Acetona (80 : 20).

A fração com maior atividade foi submetida ao fracionamento cromatográfico em coluna, para a separação dos compostos, por polaridade, sob pressão atmosférica. Foi utilizada sílica comum como fase estacionária e uma série de eluentes (fase móvel) em ordem crescente de polaridade: hexano (100%); hexano + acetona (95% : 5%, 90% : 10%, 80% : 20%, 70% : 30%, 60% : 40%, 40% : 60, 20% : 80%); acetona (100%) e metanol (100%). A quantidade de solventes adicionados na coluna encontra-se na tabela abaixo (Tabela 1).

Tabela 1. Solventes e suas respectivas quantidades utilizadas no fracionamento cromatográfico em coluna.

Solventes	Quantidade (mL)
1- Hexano (100%)	250
2- Hexano / Acetona (95% : 5%)	1400
3- Hexano / Acetona (90% : 10%)	1100
4- Hexano / Acetona (80% : 20%)	1500
5- Hexano / Acetona (70% : 30%)	1000
6- Hexano / Acetona (60% : 40%)	1000
7- Hexano / Acetona (40% : 60%)	1000
8- Hexano / Acetona (20% : 80%)	900
9- Acetona (100%)	500
10- Metanol (100%)	500

Em uma coluna de vidro (altura = 60 cm e diâmetro = 12 cm) inseriu-se um pequeno pedaço de algodão ao fundo, uma camada de areia e sílica, que foi umedecida com o solvente de menor polaridade da fração (hexano). Em seguida, adicionou-se a fração selecionada que foi adsorvida à forma estacionária, em uma camada, denominada de “cabeça” (Figura 1).

Após o preparo da coluna, iniciou-se a eluição com fases móveis com polaridade crescente, aumentando-se a proporção do solvente. Conforme ocorria a adição dos solventes, as sub-frações eram recolhidas em béquers de 5 mL. Ao final da cromatografia, com o intuito de limpar a coluna, foi utilizado o metanol, sendo recolhido em frasco único.

Esse procedimento rendeu 129 sub-frações que foram concentradas em rotavapor, sob temperatura inferior a 40 °C, e reunidas de acordo com observação em cromatografia de camada delgada analítica.

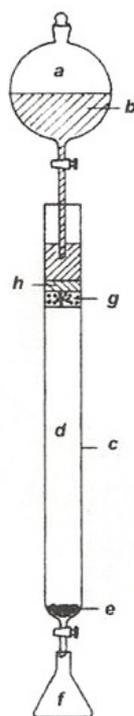


Figura 1. Esquema da coluna de adsorção. a: reservatório; b: fase móvel; c: coluna de vidro; d: sílica comum; e: chumaço de algodão; f: frasco coletor; g: amostra (“cabeça”); h: camada de areia colocada após a aplicação da amostra (Fonte: Collins et al., 1990).

2.4.1. Cromatografia em camada delgada analítica (CCDA)

A cromatografia em camada é uma técnica cromatográfica utilizada para separar os componentes puros que fazem parte de uma mescla. A separação é realizada mediante a diferença entre as forças de adesão das moléculas de um dos componentes, a uma fase móvel (solvente) e, a uma fase estacionária (placa). Essa diferença se traduz em maior ou menor deslocamento (mobilidade) de cada componente individual, o qual permite sua separação e posterior identificação.

Assim, a cromatografia de camada delgada analítica serviu para monitorar os fracionamentos e para dar suporte à reunião das frações. O desenvolvimento cromatográfico procedeu-se, sempre que realizado de forma ascendente e unidimensional, com placas simples de sílica (4,0 x 5,0 cm), 0,25 mm de espessura, com indicadores fluorescentes da marca Alugram Sil G/UV₂₅₄ e com solventes orgânicos.

Cada cromatoplaça (placa de sílica com as substâncias separadas) foi observada sob luz ultravioleta (UV) nos comprimentos de onda de 254 e 365 nm e revelada com *Oleum* (solução de 10 mL de ácido sulfúrico e 200 mL de ácido acético dissolvidos em 40 mL de água destilada), sendo posteriormente aquecida a 150 °C.

Após análise do perfil cromatográfico, as 129 sub-frações foram reunidas em 10 sub-frações e submetidas ao teste biológico com coleóptilo de trigo, conforme descrito anteriormente. O esquema abaixo resume a metodologia aplicada e apresenta os rendimentos resultantes (Figura 2).

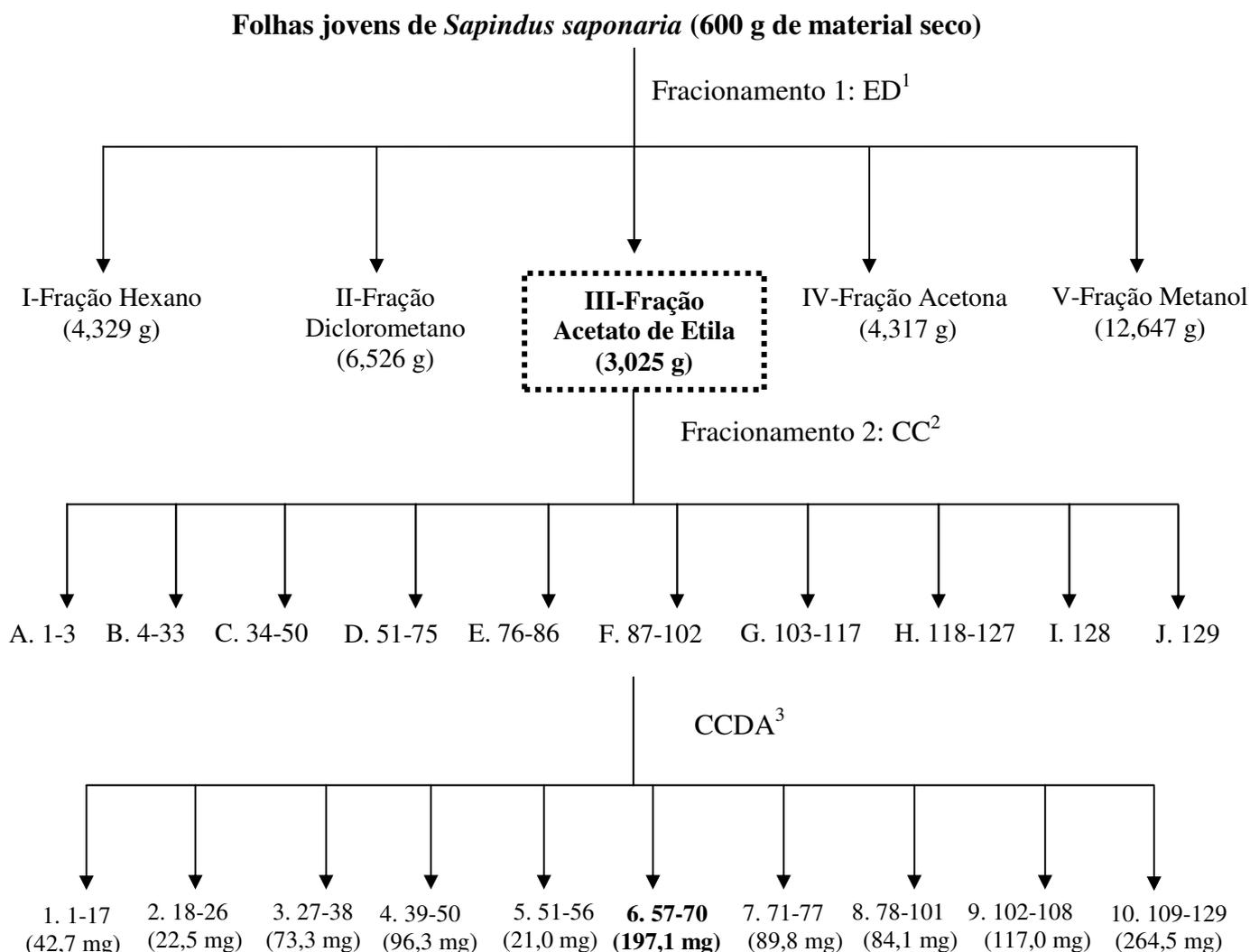


Figura 2. Esquema sintetizando os fracionamentos e respectivos rendimentos a partir do pó das folhas jovens de *Sapindus saponaria*. ¹ Extração direta. ² Cromatografia em coluna, utilizando-se sílica comum como fase estacionária e eluentes em ordem crescente de polaridade: (A) Hexano (100%); (B) Hexano / Acetona (95%:5%); (C) Hexano / Acetona (90%:10%); (D) Hexano / Acetona (80%:20%); (E) Hexano / Acetona (70%:30%); (F) Hexano / Acetona (60%:40%); (G) Hexano / Acetona (40%:60%); (H) Hexano / Acetona (20%:80%); (I) Acetona (100%); (J) Metanol (100%). ³ Cromatografia de camada delgada analítica. As frações e sub-frações em negrito foram as que apresentaram atividade alelopática nos bioensaios.

3. Resultados e Discussão

As diferentes frações obtidas do pó das folhas jovens de *Sapindus saponaria* apresentaram rendimentos variados, conforme mostrado na figura 2. A fração com maior polaridade, como o metanol (12,647 g), apresentou maior rendimento dentre os demais. Isso pode ser decorrente da presença de açúcares livres, produtos glicosilados e proteínas hidrossolúveis (Chaves-Filho & Stacciarini-Seraphin, 2001) presentes nas folhas jovens de *Sapindus saponaria*.

As frações que apresentaram efeito inibitório significativo em relação ao controle foram o acetato de etila e a acetona, juntamente com o herbicida (Figura 3 e Tabela 2). Considerando que a maior inibição registrada do acetato de etila foi de 72% (800 ppm) e da acetona de 54% (400 ppm), selecionou-se para realizar o fracionamento cromatográfico em coluna o extrato de acetato de etila. Este valor, da fração selecionada, foi similar ao efeito do herbicida sobre a elongação dos coleótilos de trigo, que apresentaram na diluição de 800 ppm, 72% de inibição em relação ao controle.

Na maioria dos tratamentos, não foi observada relação dose-dependente, o que pode ser explicado pela dificuldade de solubilidade em meio aquoso ou pela maior atividade alelopática em menores diluições.

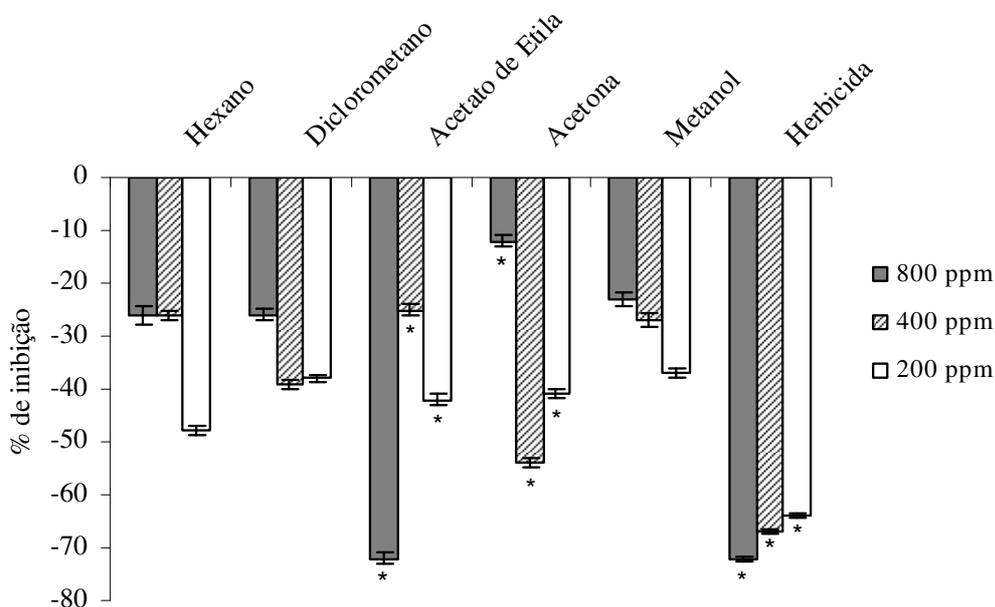


Figura 3. Porcentagem de inibição dos extratos de folhas jovens de *Sapindus saponaria* sobre a elongação dos coleótilos de *Triticum aestivum* (trigo). As barras verticais representam o desvio padrão. (*) Diferença significativa em relação ao controle.

Tabela 2. Comprimento médio dos coleóptilos de *Triticum aestivum* (trigo) submetidos à ação do herbicida e das frações do extrato de folhas jovens de *Sapindus saponaria* em diferentes diluições.

Tratamento	Comprimento (mm)			
	800 ppm	400 ppm	200 ppm	Controle
Hexano	5,86 ± 1,86 a	5,86 ± 0,99 a	5,32 ± 0,87 a	6,52 ± 0,46 a
Diclorometano	5,87 ± 1,13 a	5,55 ± 0,89 a	5,56 ± 0,68 a	6,52 ± 0,46 a
Acetato de etila	4,71 ± 0,99 b	5,90 ± 1,06 ab	5,46 ± 1,11 ab	6,52 ± 0,46 a
Acetona	6,21 ± 1,11 ab	5,16 ± 0,76 b	5,49 ± 0,79 ab	6,52 ± 0,46 a
Metanol	5,95 ± 1,27 a	5,84 ± 1,35 a	5,58 ± 0,83 a	6,52 ± 0,46 a
Herbicida	4,71 ± 0,46 b	4,82 ± 0,57 b	4,91 ± 0,49 b	6,52 ± 0,46 a

Médias seguidas por letras iguais na linha não diferem entre si pelo teste de Tukey a 0,05 de probabilidade.

Assim, os compostos removidos do pó das folhas jovens de *Sapindus saponaria* foram distribuídos entre as frações do solvente; porém, a maior atividade biológica foi encontrada na fração acetato de etila. Os resultados de Weston et al. (1989) e An et al. (2000) mostram que o acetato de etila tem sido muitas vezes utilizado para extrair fitotoxinas a partir de resíduos vegetais.

As frações extraídas com o solvente diclorometano e acetato de etila do extrato do caule da sucupira-branca (*Pterodon emarginatus* Vog.) apresentaram maior porcentagem de inibição sobre a germinação de sementes e no desenvolvimento da parte aérea e raiz da planta do capim-colômbio (*Panicum maximum* L.) (Hernández-Terrones et al., 2007).

Verificou-se também a influência inibitória da fração acetato de etila dos caules e folhas de *Aster lanceolatus* Willd sobre a germinação e crescimento de *Lactuca sativa* L. (alface), independente da concentração utilizada (Dias, 2005) e do extrato acetato de etila das folhas de *Myrcia guianensis* Aubl. (pedra-ume-caá) sobre a germinação das sementes da espécie *Mimosa pudica* L. (malícia) (Souza Filho et al., 2006).

A fração de acetato de etila, que apresentou maior atividade alelopática, foi submetida a um segundo fracionamento (cromatografia em coluna), para a separação dos compostos, por polaridade, sob pressão atmosférica. Este procedimento rendeu 129 sub-frações que foram monitoradas pela cromatografia de camada delgada analítica e, a partir de suas similaridades, foram reunidas obtendo-se 10 sub-frações [1 (1-17), 2 (18-26), 3 (27-38), 4 (39-50), 5 (51-56), 6 (57-70), 7 (71-77), 8 (78-101), 9 (102-108) e 10 (109-129)] (Figura 4).

Na figura 4, observa-se que a constituição fitoquímica das 10 sub-frações avaliadas é distinta. Além disso, é evidente, pela intensidade da cor das manchas na cromatoplaça, a diferença nas concentrações dos componentes químicos das amostras.

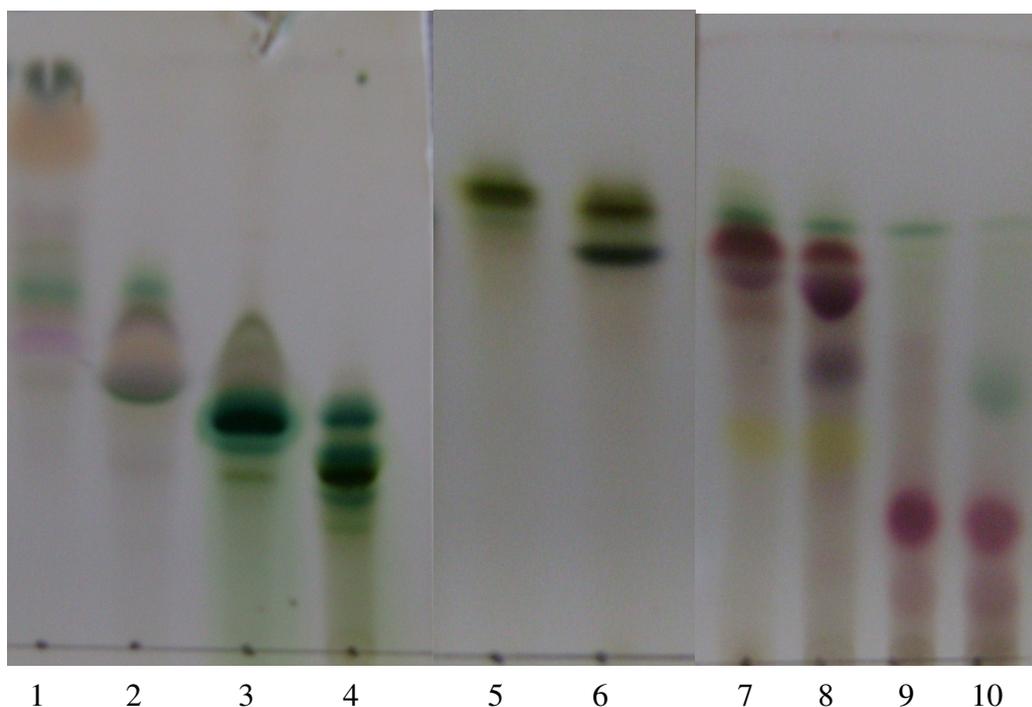


Figura 4. Cromatografia de camada delgada analítica da fração acetato de etila das folhas jovens de *Sapindus saponaria*, resultando em 10 sub-frações: 1 (1-17), 2 (18-26), 3 (27-38), 4 (39-50), 5 (51-56), 6 (57-70), 7 (71-77), 8 (78-101), 9 (102-108) e 10 (109-129). A fase móvel utilizada foi hexano: acetona (60%:40%).

As 10 sub-frações foram submetidas ao teste biológico com coleóptilo de trigo e, dentre elas, houve inibição significativa em relação ao controle nas sub-frações 4 (800 ppm), 6 (200, 400 e 800 ppm), 7 (200, 400 e 800 ppm), 8 (200 ppm), 9 (200, 400 e 800 ppm) e 10 (200, 400 e 800 ppm). Considerando-se a menor média de comprimento dos coleóptilos de trigo, entre as diluições, a sub-fração 6 (5,83 mm) foi a que apresentou maior atividade inibitória. Além disso, essa inibição foi similar ao efeito do herbicida (5,50 mm), indicando possivelmente, a presença de compostos orgânicos com atividade alelopática nessa sub-fração (Figura 5 e Tabela 3).

A sub-fração 6, em que se observou maior inibição no crescimento do coleóptilo de trigo foi extraída com a mistura de solvente hexano/acetona (80% : 20%).

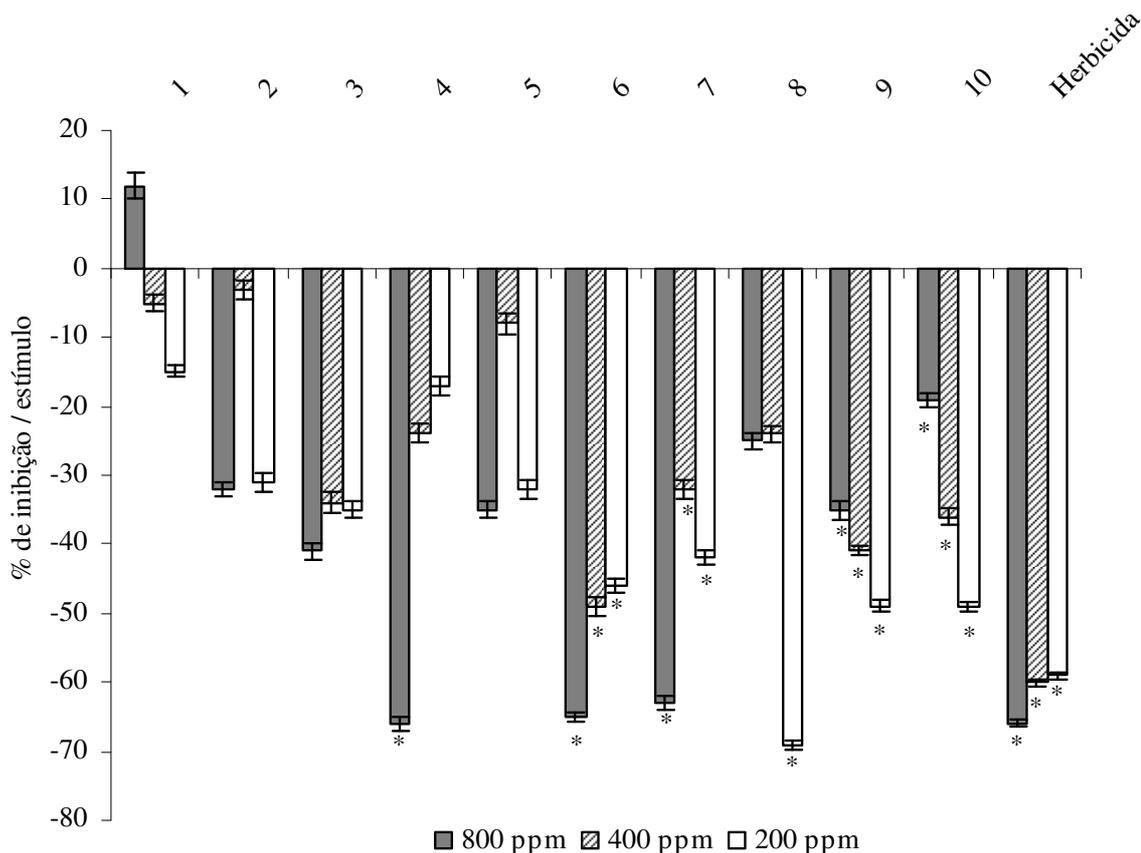


Figura 5. Porcentagem de inibição/estímulo do herbicida e das sub-frações obtidas da cromatografia em coluna e em camada delgada analítica sobre a elongação dos coleótilos de *Triticum aestivum* (trigo). As barras verticais representam o desvio padrão. (*) Diferença significativa em relação ao controle.

Nas sub-frações 8 (5,20 mm), 9 (5,99 mm) e 10 (6,01 mm) notou-se que os menores comprimentos de coleótilos de trigo foram registrados na diluição 200 ppm (Tabela 3). Isto pode indicar maior atividade alelopática em menores diluições, nas sub-frações indicadas.

Carvalho et al. (1996) observaram que o potencial alelopático de folhas verdes da cana-de-açúcar (*Sacharum officinalis*) variava em função da concentração das soluções testadas. Alguns autores afirmam que a ação das substâncias aleloquímicas não é muito específica, podendo uma mesma substância desempenhar várias funções, dependendo de sua concentração e forma de translocação (Almeida, 1993).

As folhas jovens, por carecerem de proteção física, como espinhos e tricomas, dependem muitas vezes da proteção química, pela produção de metabólitos secundários, para se defenderem contra as agressões do meio, como por exemplo, dos herbívoros. Marchi et al. (2008), estudando o efeito alelopático do extrato do caule de diferentes idades de sorgo, concluíram que o efeito inibitório diminuía com o aumento da idade, sendo maior no início do estágio de desenvolvimento das plantas. Porém, em estudos sobre a dinâmica dos aleloquímicos produzidos por *Parthenium*

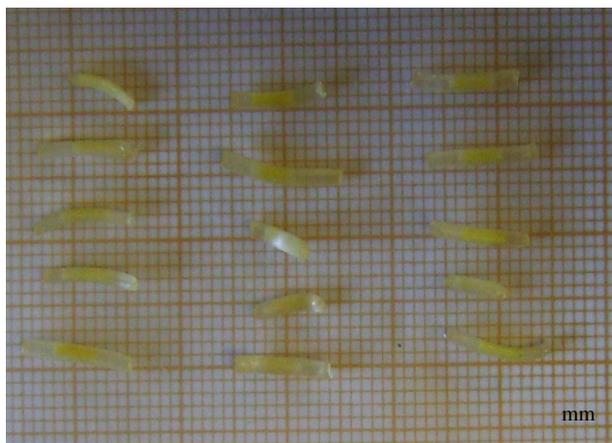
hysterophorus L., observou-se que o conteúdo de partenina na folha aumentava com a idade, tendo o maior pico de produção antes do início da floração (Reinhardt et al., 2006). Até na publicação clássica da alelopatia como o livro do Rice (1984) discute-se sobre a influência da idade do órgão da planta e a produção de aleloquímicos, mostrando que para o tabaco (*Nicotiana tabacum* L.), a quantidade de ácido clorogênico diminuiu com a idade da folha.

Tabela 3. Comprimento médio dos coleóptilos de *Triticum aestivum* (trigo) submetidos à ação do herbicida e das sub-frações provenientes do extrato de folhas jovens de *Sapindus saponaria* em diferentes diluições.

Tratamento	Comprimento (mm)			
	800 ppm	400 ppm	200 ppm	Controle
1	8,43 ± 1,87 a	7,74 ± 1,12 a	7,34 ± 0,86 a	7,93 ± 0,61 a
2	6,69 ± 1,01 a	7,81 ± 1,34 a	6,71 ± 1,32 a	7,93 ± 0,61 a
3	6,31 ± 1,27 a	6,59 ± 1,51 a	6,54 ± 1,20 a	7,93 ± 0,61 a
4	5,32 ± 1,05 b	7,00 ± 1,32 a	7,27 ± 1,32 a	7,93 ± 0,61 a
5	6,56 ± 1,21 a	7,62 ± 1,45 a	6,67 ± 1,34 a	7,93 ± 0,61 a
6	5,36 ± 0,80 b	6,00 ± 1,39 b	6,13 ± 0,95 ab	7,93 ± 0,61 a
7	5,46 ± 1,09 b	6,69 ± 1,39 ab	6,26 ± 0,97 ab	7,93 ± 0,61 a
8	6,96 ± 1,24 a	6,97 ± 1,20 a	5,20 ± 0,66 b	7,93 ± 0,61 a
9	6,57 ± 1,34 ab	6,31 ± 0,69 ab	5,99 ± 0,84 b	7,93 ± 0,61 a
10	7,17 ± 0,99 ab	6,52 ± 1,21 ab	6,01 ± 0,68 b	7,93 ± 0,61 a
Herbicida	5,32 ± 0,86 b	5,57 ± 0,77 b	5,61 ± 0,69 b	7,93 ± 0,61 a

Médias seguidas por letras iguais na linha não diferem entre si pelos testes de Tukey a 0,05 de probabilidade.

Na figura 6, observa-se o efeito alelopático da fração acetato de etila e da sub-fração 6 (57-70) sobre os coleóptilos de *Triticum aestivum* (trigo), quando comparados à ação do controle e do herbicida.



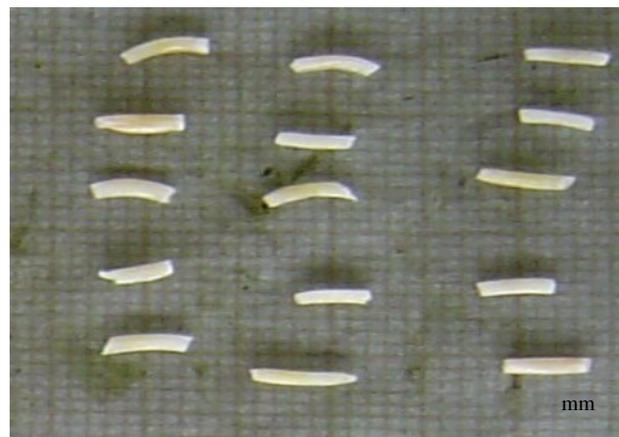
Controle



Sub-fração 6 (800 ppm)



Acetato de etila (800 ppm)



Herbicida (800 ppm)

Figura 6. Comprimento dos coleótilos de *Triticum aestivum* (trigo) submetidos à ação do herbicida, da fração acetato de etila e da sub-fração 6 (57-70), juntamente com o tratamento controle.

Desta forma, como continuação deste trabalho, sugere-se novos fracionamentos a partir da sub-fração 6 (57-70), tanto com a cromatografia em coluna, como a purificação com a cromatografia líquida de alta performance e a realização da ressonância magnética nuclear de hidrogênio (RMN ^1H) para a identificação da classe dos compostos responsáveis por esta inibição. Porém, é importante ressaltar que o fracionamento biodirigido é uma ferramenta útil e fundamental para a realização do isolamento dos compostos ativos.

Esses resultados parecem ser importantes, considerando-se o possível uso do extrato, proveniente das folhas jovens de *Sapindus saponaria*, como um herbicida a ser utilizado em práticas de agricultura sustentável, permitindo que os agricultores utilizem pesticidas naturais contra as plantas daninhas (Rice, 1984; Narwal, 1994). Além disso, espera-se que a nova substância a ser descoberta possua um potencial para a produção de um novo herbicida capaz de proporcionar uma aplicação agroquímica.

4. Conclusões

A análise química das folhas jovens de *Sapindus saponaria*, permitiu concluir que a fração de acetato de etila apresentou maior atividade alelopática sobre os coleóptilos de trigo e que na sua sub-fração 6. (57-70) podem ser encontrados os compostos orgânicos responsáveis por essa inibição.

5. Referências Bibliográficas

ALBIERO, A. L. M.; BACCHI, E. M.; MOURÃO, K. S. M. Caracterização anatômica das folhas, frutos e sementes de *Sapindus saponaria* L. (Sapindaceae). **Acta Scientiarum**, v.23, n.2, p. 49-560, 2001.

ALMEIDA, A.R.P. **Efeito alelopático de espécies de brachiárias Griseb, sobre algumas leguminosas forrageiras tropicais.** (Dissertação), Piracicaba, ESALQ, 1993. 73 p.

AN, M.; HAIG, T.; PRATLEY, J.E. Phytotoxicity of vulpia residues: ii. separation, identification, and quantitation of allelochemicals from *Vulpia myuros*. **Journal of Chemical Ecology**, v. 26, n. 6, 2000.

ANAYA, A.L.; MACÍAS-RUBALCAVA, M.; CRUZ-ORTEGA, O.; GARCÍA-SANTANA, C.; Sánchez-Monterrubio, P.N.; Hernández-Bautista, B.E.; Mata, R. Allelochemicals from *Stauranthus perforatus*, a Rutaceous tree of the Yucatan Peninsula. **Phytochemistry**, v. 66, p. 487-494, 2005.

CALDIZ, D.O.; FERNÁNDEZ, L. Allelopathy as possible strategy for weed control in agriculture and forestry systems. In: MACIAS, F. A. et al. **Recent advances in allelopathy.** Cádiz: Universidad de Cádiz, 1999. p. 451- 462.

CARVALHO, G.J; ANDRADE, L.A.B.; GOMIDE, M.; FIGUEIREDO, P.A.M. Potencialidades alelopáticas de folhas verdes + ponteiro de cana-de açúcar em diferentes concentrações de matéria seca, na germinação de sementes de alface. Marília, UNIMAR, **Ciências**, v.5, n.2, p.19-24, 1996.

CHAVES FILHO, J.T.; STACCIARINI-SERAPHIN, E. Alteração no potencial osmótico e teor de carboidratos solúveis em plantas jovens de lobeira (*Solanum lycocarpum* St.-Hil.) em resposta ao estresse hídrico. **Revista Brasileira de Botânica**, v. 24, p. 199-204, 2001.

CROTEAU, R.; KUTCHAN, T.M.; LEWIS, N.G. Natural products (secondary metabolites). In: BUCHANAN, B.; GRUISSEM, W.; JONES, R. **Biochemistry & molecular biology of plants.** Rockville: American Society of Plant Physiologists, 2000.

COLLINS, C.H. Princípios básicos de cromatografia. In. COLLINS, C.H.; BRAGA, G.L.; BONATO, P.S. **Introdução a métodos cromatográficos.** Campinas, editora da UNICAMP, 1990. p.11-28.

DAYAN, F.E.; DUKE, S.O. Clues in the search for new herbicides. IN: REIGOSA, M.E.; PEDROL, N.; GONZALÉZ, L. **Allelopathy – a physiological process with ecological implications.** Spring Verlag, Netheralnds, p. 473, 2006.

DIAS, J.F.G. **Estudo alelopático aplicado de *Aster lanceolatus*, Willd.** 2005. 134 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Farmacêuticas) – Setor de Ciências da Saúde, Universidade Federal do Paraná. Curitiba, PR, 2005.

EINHELLIG, F. A. et al. Effects of root exudate sorgoleone on photosynthesis. **Journal of Chemical Ecology**, v. 19, p. 369-375, 1993.

GARCIA, J.L.L.G **Aislamiento y síntesis de compuestos bioactivos de girasol variedades cultivadas de Perodovick y Atilla.** Tesis de doctorado. Unoversidade de Cádiz, Puerto Real, 2009, 571 p.

GUARIM NETO, G.; SANTANA, S.R.; SILVA, J.V.B. Notas etnobotânicas de espécies de Sapindaceae Jussieu. **Acta Botânica Brasílica**, v.14, n.3, p. 327-334, 2000.

HAMBURGER, M.; HOSTETTMANN, K. Bioactivity in plants: The link between phytochemistry and medicine. **Phytochemistry**, v. 30, p. 3864-3874, 1991.

HERNÁNDEZ-TERRONES, M.G.; MORAIS, S.A.L.; FERREIRA, S.; SANTOS, D.Q.; NASCIMENTO, E.A.; CHANG, R. Estudo fitoquímico e alelopático do extrato de caule de sucupira-branca (*Pterodon emarginatus*). **Planta Daninha**, v. 25, n. 4, p. 755-762, 2007.

KÖPPEN, W. **Climatologia:** com um estúdio de los climas de la tierra. Trad. P.R. Hendrichs Pérez. México: Fondo de Cultura Econômica, p. 478, 1948.

MACÍAS, F.A.; OLIVEROS-BASTIDAS, A.; MARÍN, D.; CASTELLANO, D.; SIMONET, A.M.; MOLINILLO, J.M.G. Degradation studies on benzoxazinoids. soil degradation dynamics of (2r)-2-o-â-d-glucopyranosyl-4-hydroxy-(2h)-1,4-benzoxazin-3(4h)-one (diboa-glc) and its degradation products, phytotoxic allelochemicals from gramineae. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v. 53, p. 554-561, 2005.

MACÍAS, F.A.; CHINCHILLA, N.; VARELA, R.M.; MOLINILLO, J.M.G. Bioactive steroids from *Oryza sativa* L. **Steroids**, v. 7, n. 1, p. 603-608, 2006.

MACÍAS, F.A.; GARCÍA-DÍAZ, M.D.; JORRÍ N, J.; GALINDO, J.C.G. Playing with chemistry: studies on Orobanche spp. germinationstimulants. p. 495 (cap 22). IN: REIGOSA, M. E.; PEDROL, N.; GONZALÉZ, L. **Allelopathy – a physiological process with ecological implications**. Spring Verlag., the Netheralnds, p. 473, 2006.

MARCHI, G.; MARCHI, E.; WANG, G.; MCGIFFEN, M. Effect of age of a sorgum-sudangrass hibrid on its allelopathic action. **Planta Daninha**, v. 26, n. 4, p. 707-716, 2008.

MURGU, M. **Saponinas e glicosídeos de *Sapindus saponaria*: metodologias de análises por espectrometria de massas e relação com fungos endofíticos.** 2002. 133 f. Tese (Doutorado em Química Orgânica) – Departamento de Química da UFSCar, Universidade Federal de São Carlos, São Carlos, SP, 2002.

MURGU, M.; RODRIGUES-FILHO, E. Dereplication of Glycosides from *Sapindus saponaria* using Liquid Chromatography-Mass Spectrometry. **Journal of Brazilian Chemical Society**, v. 17, n. 7, p. 1281-1290, 2006.

Narwal, S.S. **Allelopathy in Crop Production**; Scientific Publishers: Jodhpur, India, 1994.

NEAVE, I.A.; DAWSON, J.O. Juglone reduces growth nitrogenase activity, and root respiration of actinorhizal black alder seedlings. **Journal of Chemical Ecology**, v. 15, n. 6, p. 1823-1826, 1989.

NINTSCH, J. P.; NITSCH, C. Studies on the growth of coleoptiles and first internode sections. A new, sensitive, straight-growth test for auxins. **Plant Physiology**, p. 94-111, 1956.

PELEGRINI, D.D.; TSUZUKI, J.K.; AMADO, C.A.B.; CORTEZ, D.A.G.; FERREIRA, I.C.P. Biological activity and isolated compounds in *Sapindus saponaria* L. and other plants of the genus *Sapindus*. **Latin American Journal of Pharmacy**, v. 27, n. 6, p. 922-927, 2008.

REINHARDT, C.; VAN DER LAAN, R.; BELZ, R.; HURLE, K.; FOXCROFT, L. Production dynamics of the allelochemical parthenin in leaves of *Parthenium hysterophorus* L. **Journal of Plant Diseases and Protection**, v. XX, p. 427-433, 2006.

RICE, E. L. **Allelopathy**. 2.ed. New York: Academic Press, 1984. 422 p.

RIZVI, S.J.H.; RIZVI, V. Exploration of allelochemicals in improving crop productivity. In: RIZVI, S.J.H.; RIZVI, V. (Ed.). **Allelopathy: basic and applied aspects**. London: Chapman and Hall, p. 443-472, 1992.

ROMERO, T.; SANCHEZ-NIETO, S.; SAN JUAN-BADILLO, A.; ANAYA, A.L.; CRUZ-ORTEGA R. Comparative effects of allelochemical and water stress in roots of *Lycopersicon esculentum* Mill. (Solanaceae). **Plant Science**, n. 168, p. 1059-1066, 2005.

SOUZA FILHO, A. P. S.; SANTOS, R. A.; SANTOS, L. S.; GUILHOM, G. M. P.; SANTOS, A. S.; ARRUDA, M. S. P.; MULLER, A. H.; ARRUDA, A. C. Potencial alelopático de *Myrcia guianensis*. **Planta Daninha**, Viçosa-MG, v. 24, n. 4, p. 649-656, 2006.

SPARG, S.G.; LIGHT, M.E.; VAN STADEN, J. Biological activities and distribution of plant saponins. **Journal of Ethnopharmacology**, v. 94, p. 219-243, 2004.

TAWAHA, A.M.; TURK, M.A. Allelopathic effects of black mustard (*Brassica nigra*) on germination and growth of wild barley (*Hordeum spontaneum*). **Journal of Agronomy and Crop Science**, v. 189, n. 5, p. 298-303, 2003.

TONIN, G.A. **Efeito da época de coleta, condições de armazenamento, substratos e sombreamento na emergência de plântulas e produção de mudas de *Ocotea porosa* (Ness et Martius ex. Nees) (Lauraceae) e de *Sapindus saponaria* L. (Sapindaceae)**. 2005. 175 p. Tese (Doutorado em Ecologia e Recursos Naturais), Universidade Federal de São Carlos, São Carlos, 2005.

WESTON, L.A.; HARMON, R.; MUELLER, S. Allelopathic potential of sorghum-sudangrass hybrid (sudex). **Journal of Chemical Ecology**, v. 15, p. 1855-1865, 1989.

CONCLUSÕES GERAIS

- ✓ Os extratos de *Sapindus saponaria* evidenciaram potencialidades alelopáticas que variaram de acordo com a espécie receptora. O efeito inibitório sobre o processo de germinação dos

diásporos e morfologia das plântulas de alface, cebola, capim-arroz e corda-de-viola foi concentração-dependente.

- ✓ Os extratos aquosos de folhas jovens e raízes foram os que provocaram maior e menor inibição na germinação dos diásporos de alface e cebola, respectivamente. O extrato de folhas jovens, também exerceu maior efeito inibitório na germinabilidade das duas espécies de plantas daninhas.
- ✓ Os extratos de folhas jovens e do fruto causaram elevado índice de anormalidade e maior inibição no crescimento da parte aérea e da raiz das plântulas de alface, cebola, capim-arroz e corda-de-viola. A raiz foi o órgão mais sensível aos agentes alelopáticos, sendo a necrose o sintoma mais comum.
- ✓ As inibições ocasionadas pelos extratos sobre a morfologia das plântulas daninhas foram similares ao efeito produzido pelo herbicida, mostrando a eficiência da espécie arbórea no controle destas espécies.
- ✓ O estágio de maturação das folhas de *Sapindus saponaria* interferiu nas suas propriedades alelopáticas, uma vez que o extrato oriundo das folhas jovens apresentou maior efeito inibitório sobre o processo de germinação dos diásporos e desenvolvimento das plântulas daninhas e das hortaliças do que o de folhas maduras.
- ✓ A partir dos resultados obtidos na análise química das folhas jovens de *Sapindus saponaria*, pode-se concluir que a fração de acetato de etila apresentou maior atividade alelopática sobre os coleóptilos de trigo e que na sua sub-fração 6. (57-70) podem ser encontrados os compostos orgânicos responsáveis por essa inibição.