

Potencial alelopático de macrófitas aquáticas de um estuário cego¹

Leandro Kenji Takao^{2,3}, Jose Pedro Nepomuceno Ribeiro² e Maria Inês Salgueiro Lima²

Recebido em 7/04/2010. Aceito em 23/03/2011

RESUMO

(Potencial alelopático de macrófitas aquáticas de um estuário cego). Macrófitas aquáticas representam uma das comunidades mais produtivas e através de sua atividade metabólica são capazes de produzir grandes interferências no ambiente. As interações alelopáticas são aparentemente aumentadas sob condições de estresse biótico e abiótico e podem existir em estuários devido à competição, variações de salinidade e outros fatores. O objetivo desse trabalho foi avaliar as propriedades alelopáticas de extratos aquosos foliares de 25 espécies de macrófitas aquáticas de um estuário cego. Testamos os efeitos dos extratos foliares em quatro concentrações sobre a germinação de alface. Ordenamos e comparamos as espécies doadoras de acordo com a dose reposta sobre a variedade de tratamentos a partir de valores únicos de índices alelopáticos. Onze das 25 espécies diminuíram a porcentagem de germinação, todas diminuíram a velocidade de germinação e aumentaram a entropia informacional de germinação das sementes da espécie alvo em pelo menos uma das concentrações testadas. *Crinum americanum* L., *Sagittaria montevidensis* Cham. & Schl. e *Ipomoea cairica* (L.) Sweet apresentaram os maiores valores de índice alelopático. Em geral, as menores porcentagens de germinação coincidiram com as menores velocidades e maiores entropias informacionais de germinação das sementes de alface, mostrando um conjunto de alterações ocorrendo simultaneamente com o aumento da concentração dos extratos.

Palavras-chave: alelopatia, germinação, índice alelopático, *Lactuca sativa*, ranqueamento

ABSTRACT

(Allelopathic potential of aquatic macrophytes from a blind estuary). Aquatic macrophytes represent one of the most productive communities and through metabolic activity are capable of producing great interference in the environment. Allelopathic interactions are apparently increased under biotic and abiotic stress and may exist in estuaries due to competition, salinity variation and other factors. The aim of this study was to evaluate the allelopathic properties of leaf extracts of 25 aquatic macrophyte species from a blind estuary. We tested leaf extract effects in four concentrations on the germination of lettuce. We ranked and compared the donor species according to the dose-response over the variety of treatments through unique values of allelopathic indexes. Eleven of 25 species decreased the germination percentage, all of them decreased the speed of germination and increased the germination informational entropy of the target species seeds in at least one of the tested concentrations. *Crinum americanum* L., *Sagittaria montevidensis* Cham. & Schl. and *Ipomoea cairica* (L.) Sweet presented the highest allelopathic index values. In general, the lowest germination percentages concurred with the lowest germination speed and highest germination informational entropies of lettuce seeds, showing an assemblage of alterations occurring simultaneously with the increase of extract concentrations.

Key words: allelopathic index, allelopathy, germination, *Lactuca sativa*, ranking

Introdução

Alelopatia é definida como a capacidade de uma planta influenciar o desenvolvimento de outra planta ou micro-organismo (Rice 1984). Qualquer órgão vegetal é capaz de produzir substâncias alelopáticas (Putnam & Tang 1986), e a alelopatia é um fator importante na determinação das interações bióticas (Blanco 2007). Ela influencia a sucessão vegetal, a dominância, a formação clímax, a

diversidade de espécies, a estrutura das comunidades e a produtividade, sendo importante em ambientes naturais e agroecossistemas (An 2005). Processos alelopáticos também ocorrem em ambientes aquáticos, e todos os grupos de produtores primários possuem espécies capazes de produzir e liberar compostos alelopaticamente ativos (Gross 2003). Em ambientes aquáticos, o processo alelopático é diferenciado. Na água, os aleloquímicos movimentam-se com uma velocidade maior do que no solo (Ferreira &

¹ Parte da dissertação de Mestrado do primeiro Autor

² Universidade Federal de São Carlos, Programa de Pós-Graduação em Ecologia e Recursos Naturais, Laboratório de Sistemática e Ecologia Química, São Carlos, SP, Brasil

³ Autor para correspondência: lktakao@gmail.com

Aquila 2000). Além disso, a maioria dos fotoautótrofos é cercada por água, e os aleloquímicos liberados pelo organismo doador devem ser suficientemente hidrofílicos e alcançar os organismos receptores em concentrações efetivas apesar da diluição (Gross 2003).

Macrófitas aquáticas representam uma das comunidades mais produtivas dentre todos os ecossistemas, e através do seu metabolismo são capazes de produzir grandes interferências no ambiente (Esteves 1988). Sua atividade alelopática parece ser uma resposta evolutiva eficiente contra fitoplâncton e epífitas (Gross 2003, Erhard & Gross 2006), uma vez que o sombreamento (frequentemente causado por esses) é o principal fator limitante para as macrófitas (Phillips *et al.* 1978). Estuário é o ambiente de mistura entre as águas doce e salgada oriundas de um rio e de um oceano (Wolanski 2007), sendo um ambiente intimamente dependente da maré. Dessa maneira, sua flora está constantemente exposta a ciclos de alagamento e salinidade, que estão entre os principais estresses para a vida vegetal. Existem evidências de que condições de estresse biótico ou abiótico aumentam as interações alelopáticas (Gross 2003). Estuários cegos apresentam conexão intermitente entre o rio e o oceano, sendo ambientes bastante imprevisíveis. A imprevisibilidade das condições ambientais é também um estresse severo para plantas aquáticas (Otte 2001), o que sugere que estuários cegos sejam particularmente estressantes para flora, e conseqüentemente, que possuam um número alto de espécies alelopáticas.

Experimentos em laboratório são amplamente utilizados para detectar a atividade biológica de produtos naturais (e.g. atividade aleloquímica) (Hoagland & Williams 2003). Porém, os bioensaios de germinação de sementes possuem pouca padronização. A maioria das pesquisas foca sobre poucas espécies, principalmente espécies agricultáveis para analisar aspectos bioquímicos e fisiológicos da germinação (Aliotta *et al.* 2006). Os trabalhos sobre alelopatia, por exemplo, empregam metodologias e espécies receptoras variáveis, o que torna difícil a comparação entre as espécies doadoras. Há trabalhos sobre alelopatia para sete das 25 espécies escolhidas para este estudo: *Brachiaria mutica* (Forsk) Stapf (Chou 1989), *Crinum americanum* L. (Ribeiro *et al.* 2009), *Eleocharis interstincta* (Vahl) Roem. & Schult. (Sutton & Portier 1991), *Eleocharis flavescens* (Poir.) Urb., *Eleocharis montana* (Kunth) Roem. & Schult. (Wooten & Elakovich 1991), *Ipomoea cairica* (L.) Sweet (Ma *et al.* 2009), e *Typha domingensis* Pers. (Gallardo *et al.* 1998). Todos esses trabalhos demonstram efeitos inibitórios. Entretanto, como eles empregaram metodologias e espécies alvo distintas, a comparação direta entre eles não é possível. A comparação dos potenciais fitotóxicos das espécies doadoras em bioensaios de germinação se torna uma ferramenta para a seleção de espécies promissoras aos estudos nesta área. A alface é uma espécie sensível a diversas categorias e concentrações de metabólitos secundários, sendo assim uma espécie alvo amplamente utilizada como bioindicadora nesse tipo de

experimento (Ferreira & Aquila 2000). Essas características tornam a alface particularmente útil para o ranqueamento do potencial alelopático das espécies.

Dessa forma, o objetivo desse trabalho foi avaliar as propriedades alelopáticas de extratos foliares aquosos de 25 espécies de macrófitas aquáticas do estuário cego do Rio Massaguaçu sobre a germinação de alface. Sendo este um ambiente abioticamente estressante, tanto do ponto de vista dos ciclos de alagamento quanto da presença de sal, esperamos que exista um número grande espécies com potencial alelopático.

Material e métodos

O local de coleta, o estuário do Rio Massaguaçu (Caraguatatuba-SP, Brasil) (23°37'20"S e 54°21'25"O), é um estuário cego, separado do oceano por uma barra de areia. Em março de 2009, coletamos de forma assistemática folhas adultas, sem sinais de predação ou doenças, de 25 espécies de macrófitas aquáticas em diferentes estágios fenológicos (Tab. 1). Secamos as folhas à 45°C em estufa de circulação forçada até a estabilização das massas. Trituramos em moinho e estocamos a -10°C em bolsas plásticas até o uso. Preparamos extratos aquosos 10% (p/v) com os pulverizados das folhas secas e água destilada. Colocamos por 5 minutos em agitador magnético (22°C) e após acondicionamento à 6°C durante 12 horas, filtramos a vácuo em papel filtro (3 µm). Fizemos diluições de 5, 2,5 e 1,25% em água destilada a partir da solução resultante (10%) e testamos os seus efeitos sobre a germinação de alface (*Lactuca sativa* L., cultivar Grand Rapids). Os vouchers das espécies testadas foram depositados no Herbário do Departamento de Botânica da Universidade Federal de São Carlos.

Bioensaio de germinação

Colocamos trinta sementes de alface (cipselas que neste trabalho serão usadas como sinônimo de sementes; adquiridas em loja especializada) em placa de Petri (9 cm de diâmetro) contendo camada dupla de papel filtro (3 µm) umedecida com 5 mL de solução. Utilizamos água destilada como controle. Lacramos todas as placas de Petri com filme PVC, fechamos e colocamos em estufa DBO (25°C e 12h-12h de luz-escuro). Fizemos leituras a cada 12h considerando germinadas sementes com protrusão radicular igual ou superior a 2 mm (Brasil 1992). Após 10 dias calculamos a porcentagem, velocidade e entropia informacional (E) de germinação (Labouriau 1983). Calculamos a área de inibição entre a resposta do controle e a curva de dose-resposta (resposta da espécie alvo) gerada pela concentração das soluções (An 2005). Obtivemos um único valor de potencial alelopático para cada espécie, o índice alelopático (IA). A partir desses valores, comparamos e ranqueamos as espécies segundo seu potencial alelopático sobre cada um dos parâmetros analisados. Para o cálculo

Tabela 1. Porcentagens de germinação de *Lactuca sativa* L. sob ação de extratos em diferentes concentrações das espécies doadoras e respectivos Índices Alelopáticos (IAs). Letras iguais não diferem entre si pela ANOVA e pós-teste de Tukey. Asterisco: diferença significativa em relação ao controle pelo teste de Mann-Whitney ($p < 0,05$) dentro da mesma linha. n: infértil. s: fértil (florido ou com soros). **0,0**: controle. As espécies foram dispostas do maior para o menor IA.

Espécie	Família	Fértil	Concentração (%)					IA	
			0	1,25	2,5	5	10		
<i>Crinum americanum</i> L.	Amaryllidaceae	n	97,3	95,3	94,0	48,0*	0,0*	435,8	A
<i>Sagittaria montevidensis</i> Cham. & Schl.	Alismataceae	n	97,3	92,7	94,7	81,3*	0,6*	309,5	AB
<i>Ipomoea cairica</i> (L.) Sweet	Convolvulaceae	s	97,3	94,7	91,3	86,6*	28,3*	208,8	BC
<i>Eleocharis flavescens</i> (Poir.) Urb.	Cyperaceae	s	97,3	94,0	96,7	96,0	66,6*	117,5	CD
<i>Ludwigia erecta</i> (L.) H. Hara	Onagraceae	n	97,3	96,0	94,0	95,3	62,0*	102,9	CDE
<i>Acrostichum danaeifolium</i> Langsd & Fisch	Pteridaceae	s	97,3	95,3	94,7	94,7	73,3*	101,2	CDE
<i>Brachiaria mutica</i> (Forsk) Stapf	Poaceae	s	97,3	95,0	93,3	92,7	73,3*	91,1	CDEF
<i>Bacopa monnieri</i> (L.) Wettst.	Scrophulariaceae	s	97,3	98,0	92,7	96,0	55,3*	82,2	CDEF
<i>Ludwigia hyssopifolia</i> (G. Don) Exel	Onagraceae	s	97,3	98,0	98,7	96,0	65,3*	82,0	CDEF
<i>Typha domingensis</i> Pers.	Typhaceae	n	97,3	96,7	97,3	93,3	86,6*	42,0	DEF
<i>Echinochloa polystachya</i> (Kunth) Hitchc	Poaceae	s	97,3	93,3	92,7	93,3	91,3	41,2	DEF
<i>Thelypteris interrupta</i> (Willd.) Iwats.	Thelypteridaceae	n	97,3	98,0	96,0	96,0	88,0*	30,4	DEF
<i>Hymenachne amplexicaulis</i> (Rudge) Ness.	Poaceae	s	97,3	98,0	98,0	94,0	90,7	30,0	DEF
<i>Ludwigia octovalvis</i> (Jacq.) Raven	Onagraceae	s	97,3	94,7	93,3	95,3	90,0	27,1	DEF
<i>Schoenoplectus californicus</i> (C.A. Mey.) Soják	Cyperaceae	s	97,3	96,7	97,3	96,0	88,7	27,0	DEF
<i>Scleria latifolia</i> Sw.	Cyperaceae	n	95,3	98,0	93,3	94,0	92,7	27,0	DEF
<i>Acroceras zizanioides</i> (HBK) Dandy	Poaceae	s	97,3	96,7	98,7	93,3	94,0	21,2	DEF
<i>Eleocharis interstincta</i> (Vahl) Roem. & Schult.	Cyperaceae	s	97,3	98,7	96,7	95,3	94,0	14,5	DEF
<i>Eleocharis minima</i> Kunth	Cyperaceae	n	97,3	96,7	96,7	96,0	94,7	13,3	DEF
								0,0	DEF
<i>Scleria mitis</i> O. Berg	Cyperaceae	s	95,3	98,7	94,0	96,0	96,7	-5,4	DEF
<i>Eleocharis montana</i> (Kunth) Roem. & Schult.	Cyperaceae	s	97,3	98,7	95,3	95,3	99,3	-9,9	DEF
<i>Polygonum ferrugineum</i> Wedd.	Polygonaceae	s	95,3	96,0	98,7	96,0	96,7	-12,5	EF
<i>Calyptrocarya longifolia</i> (Rudge) Kunth	Cyperaceae	s	95,3	92,7	97,3	94,7	97,3	-18,3	EF
<i>Polygonum hydropiperoides</i> Michx.	Polygonaceae	s	95,3	99,3	96,7	97,3	95,3	-20,8	EF
<i>Polygonum meisnerianum</i> Cham. & Schldtl.	Polygonaceae	s	95,3	97,3	96,7	96,7	98,0	-30,4	F

do IA da entropia informacional utilizamos os valores de E^{-1} para que tratamentos com germinabilidade nula não fossem subestimados.

Medimos o pH e os potenciais osmóticos dos extratos e montamos bioensaios de germinação, submetendo as sementes de alface a soluções de Polietilenoglicol 6000, soluto mais utilizado para verificar a influência desse fator por ser quimicamente inerte e não apresentar toxicidade sobre as sementes (Villela *et al.* 1991), com os valores de potenciais osmóticos -0,1; -0,2; -0,3; -0,4; -0,5; -0,6; -0,7; -0,8; -0,9, -1,0.

Aplicamos cinco tratamentos para cada espécie doadora (controle e soluções 1,25, 2,5, 5, 10%) em delineamento experimental de blocos casualizados com cinco réplicas. Fizemos a análise da normalidade dos dados pelo teste

de Kolmogorov-Smirnov. Baseado no resultado do teste de normalidade, analisamos os dados de porcentagem de germinação através do teste de Mann-Whitney ($p < 0,05$) e os dados de velocidade, entropia informacional de germinação e índices alelopáticos pela ANOVA com pós-teste de Tukey, através do programa estatístico GraphPad Prism.

Resultados e discussão

Observamos alterações significativas sobre todas as variáveis da germinação (porcentagem, velocidade e entropia informacional) das sementes de alface submetidas à ação dos extratos foliares. Extratos de onze espécies de

macrófitas apresentaram efeito inibitório significativo sobre a porcentagem de germinação em pelo menos uma concentração, sendo que *Crinum americanum* L., *Sagittaria montevidensis* Cham. & Schl. e *Ipomoea cairica* (L.) Sweet, apresentaram os maiores valores de IA (Tab. 1). Estas diminuíram significativamente a porcentagem de germinação nas concentrações 5 e 10%. *Eleocharis flavescens* (Poir.) Urb., *Ludwigia erecta* (L.) H. Hara, *Acrostichum danaeifolium* Langsd & Fisch, *Brachiaria mutica* (Forsk) Stapf, *Bacopa monnieri* (L.) Wettst., *Ludwigia hyssopifolia* (G. Don) Exel, *Typha dominguensis* Pers. e *Thelypteris interrupta* (Willd.) Iwats. diminuíram a porcentagem de germinação apenas na concentração máxima dos extratos. Muitas vezes a atividade alelopática não ocorre sobre a germinabilidade, mas sobre outras variáveis do processo germinativo (Ferreira &

Aquila 2000). A alface, apesar de ser uma espécie sensível, apresenta um processo de germinação muito rápido. Em 24 horas quase todas as sementes já haviam germinado. Assim, o efeito na germinabilidade final pode ser muito sutil. De fato, a porcentagem de germinação das sementes de alface foi a variável menos sensível em nossos bioensaios. A maioria das espécies testadas (14 de 25) não apresentou efeito estatisticamente significativo sobre este parâmetro (Tab. 1).

A velocidade de germinação foi o parâmetro mais sensível à ação dos extratos aquosos. Todas as espécies afetaram negativamente a velocidade em pelo menos uma das concentrações testadas (Tab. 2). Observamos IAs significativos sobre a velocidade de germinação em relação ao controle em dez espécies, sendo que *C. americanum* e *S. montevidensis* reduziram significativamente a velocidade de

Tabela 2. Velocidades de germinação de *Lactuca sativa* L. sob ação de extratos em diferentes concentrações das espécies doadoras e respectivos Índices Alelopáticos (IAs). Letras minúsculas iguais não diferem entre si dentro da mesma linha e letras maiúsculas iguais não diferem entre si, pela ANOVA e pós-teste de Tukey ($p < 0,05$). **0,00:** controle. As espécies foram dispostas do maior para o menor IA.

Espécie	Família	Concentração (%)										IA	
		0	1,25	2,5	5	10							
<i>Crinum americanum</i> L.	Amaryllidaceae	0,036	a	0,031	b	0,026	b	0,013	c	0,000	d	0,21	A
<i>Sagittaria montevidensis</i> Cham. & Schl.	Alismataceae	0,036	a	0,027	b	0,025	b	0,010	c	0,000	d	0,21	A
<i>Ipomoea cairica</i> (L.) Sweet	Convolvulaceae	0,036	a	0,033	ac	0,028	bc	0,018	d	0,000	e	0,18	AB
<i>Acrostichum danaeifolium</i> Langsd & Fisch	Pteridaceae	0,036	a	0,041	a	0,030	b	0,017	c	0,009	d	0,15	ABC
<i>Ludwigia hyssopifolia</i> (G. Don) Exel	Onagraceae	0,036	ab	0,045	a	0,029	bc	0,020	cd	0,008	d	0,14	ABCD
<i>Ludwigia octovalvis</i> (Jacq.) Raven	Onagraceae	0,036	ab	0,038	a	0,030	b	0,023	c	0,014	c	0,14	ABCD
<i>Hymenachne amplexicaulis</i> (Rudge) Ness.	Poaceae	0,036	a	0,035	ab	0,029	bc	0,023	c	0,012	d	0,13	ABCD
<i>Ludwigia erecta</i> (L.) H. Hara	Onagraceae	0,036	a	0,037	a	0,036	a	0,020	b	0,010	b	0,13	ABCD
<i>Eleocharis flavescens</i> (Poir.) Urb.	Cyperaceae	0,036	a	0,035	a	0,032	ab	0,026	b	0,000	c	0,12	ABCD
<i>Thelypteris interrupta</i> (Willd.) Iwats.	Thelypteridaceae	0,036	a	0,038	a	0,033	a	0,023	b	0,012	c	0,12	ABCD
<i>Acroceras zizanioides</i> (HBK) Dandy	Poaceae	0,036	a	0,036	a	0,030	a	0,023	b	0,014	c	0,12	ABCDE
<i>Eleocharis interstincta</i> (Vahl) Roem. & Schult.	Cyperaceae	0,036	a	0,031	ab	0,029	ab	0,026	b	0,014	c	0,11	ABCDE
<i>Bacopa monnieri</i> (L.) Wettst.	Scrophulariaceae	0,036	a	0,037	a	0,032	a	0,032	a	0,012	b	0,11	ABCDE
<i>Scleria latifolia</i> Sw.	Cyperaceae	0,040	a	0,036	ab	0,035	ab	0,031	bc	0,024	c	0,09	BCDE
<i>Polygonum meisnerianum</i> Cham. & Schltldl.	Polygonaceae	0,040	a	0,039	a	0,039	a	0,030	b	0,020	c	0,09	BCDE
<i>Polygonum hydropiperoides</i> Michx.	Polygonaceae	0,040	a	0,035	a	0,036	a	0,033	a	0,017	b	0,09	BCDE
<i>Brachiaria mutica</i> (Forsk) Stapf	Poaceae	0,036	abcd	0,039	b	0,039	c	0,030	d	0,016	e	0,09	BCDE
<i>Calyptrocarya longifolia</i> (Rudge) Kunth	Cyperaceae	0,040	a	0,037	ab	0,035	ab	0,030	bc	0,027	c	0,08	BCDE
<i>Polygonum ferrugineum</i> Wedd.	Polygonaceae	0,040	a	0,034	ab	0,037	a	0,030	bc	0,027	c	0,08	BCDE
<i>Echinochloa polystachya</i> (Kunth) Hitchc	Poaceae	0,036	a	0,040	a	0,035	a	0,028	b	0,017	c	0,08	BCDE
<i>Typha dominguensis</i> Pers.	Typhaceae	0,036	a	0,038	a	0,034	ab	0,030	b	0,020	c	0,07	BCDE
<i>Eleocharis minima</i> Kunth	Cyperaceae	0,036	a	0,037	a	0,033	ab	0,029	bc	0,024	c	0,06	BCDE
<i>Schoenoplectus californicus</i> (C.A. Mey.) Soják	Cyperaceae	0,036	a	0,041	a	0,039	a	0,035	a	0,011	b	0,06	BCDE
<i>Scleria mitis</i> O. Berg	Cyperaceae	0,040	a	0,040	a	0,038	a	0,036	a	0,025	b	0,06	CDE
<i>Eleocharis montana</i> (Kunth) Roem. & Schult.	Cyperaceae	0,036	a	0,037	a	0,036	a	0,035	a	0,026	b	0,03	D
												0,00	E

germinação em todas as concentrações testadas. O aumento da atividade inibitória com o aumento da concentração do extrato aquoso testado também ocorreu em relação a esse parâmetro em todas as espécies (Tab. 2).

O aumento da entropia informacional revela a perda da sincronia nas reações metabólicas da germinação indicando heterogeneidade fisiológica nas sementes (Maraschin-Silva & Aquila 2006). Isso leva a uma distribuição mais esparsa no tempo de germinação dessas sementes. Atribui-se a esse tipo de distribuição um caráter adaptativo, como uma compensação às condições desfavoráveis do meio (Jeller & Perez 2001). A germinação das sementes de alface foi sincronizada sob condições utilizadas como controle, tendo em geral um pico único de germinação em 24h. Todas as espécies de macrófitas, exceto *Scleria latifolia* Sw., afetaram a sincronia de germinação de alface em alguma concentração (Tab. 3). A entropia informacional no processo de germinação da alface apresentou maiores valores sob ação dos extratos de *I. cairica*, *S. montevidensis* e *C. americanum*, respectivamente. Observamos maiores valores de entropia na concentração máxima dos extratos em 21 das 25 espécies estudadas. Em *A. danaeifolium*, *S. latifolia*, *Calyptrocarya longifolia* (Rudge) Kunth e *Eleocharis minima* Kunth não houve este aumento. Nestas, observamos maiores inibições sobre a sincronia de germinação em concentrações intermediárias.

Um conjunto de alterações negativas ocorreu simultaneamente com o aumento da concentração dos extratos. Em geral, as menores porcentagens coincidiram com as menores velocidades e as maiores entropias informacionais da germinação de alface. Alterações nos padrões de germinação podem resultar de efeitos sobre a permeabilidade de membranas, a transcrição e tradução do DNA, o funcionamento dos mensageiros secundários, a respiração por seqüestro de oxigênio (fenóis), a conformação de enzimas e receptores, ou ainda pela combinação destes fatores (Ferreira & Aquila 2000). Os extratos aquosos são misturas que podem conter substâncias de várias classes como terpenóides, fenólicos, alcalóides, aminoácidos não protéicos, dentre outras. Apresentam assim, efeitos complexos sobre a alface, ainda não elucidados completamente (Maraschin-Silva & Aquila 2006). O efeito fitotóxico do extrato pode ocorrer pela ação de uma substância isolada ou pela ação sinérgica de várias substâncias presentes (Macías *et al.* 1998). Ainda, as substâncias alelopáticas podem atuar em diferentes processos fisiológicos como crescimento e fotossíntese e até mesmo de forma indireta, por intermédio de outros organismos (Ferreira & Aquila 2000).

A alelopatia pode fornecer uma vantagem competitiva na interação com outros produtores primários nos ambientes aquáticos (Gross 2003). *C. americanum* foi a espécie que apresentou o maior potencial alelopático, o que nos faz acreditar que essa característica possa ajudar a explicar a abundância e grandes adensamentos dessa espécie verificados no estuário do Rio Massaguaçu. Também identificamos altos potenciais alelopáticos nos extratos

de *I. cairica* e *S. montevidensis*. No entanto, essas espécies possuem baixas distribuições, sem adensamentos, neste estuário. Os organismos de um mesmo ambiente podem estar adaptados aos aleloquímicos presentes nesse sistema e as interações alelopáticas podem ser mais comuns entre organismos de diferentes ambientes (Reigosa *et al.* 1999). Dessa forma, os potenciais alelopáticos de *I. cairica* e *S. montevidensis* poderiam favorecê-las, por exemplo, em ambientes nos quais elas são invasoras. De fato, a alelopatia é sugerida como um mecanismo para o sucesso de plantas invasoras (Hierro & Callaway 2003), e *I. cairica* é apontada como uma espécie amplamente distribuída pelas regiões tropicais, considerada nociva e invasora extrema (Llamas 2003), e *S. montevidensis* caracteriza-se como uma planta invasora medianamente freqüente, ocorrendo em ambientes alagados e pantanosos (Lorenzi 2000).

Neste trabalho, os extratos de todas as espécies doadoras afetaram o processo germinativo das sementes de alface. Em geral, a interferência alelopática pode variar dependendo do estágio fenológico do indivíduo doador (Souza Filho *et al.* 2002) e das condições ambientais (Blanco 2007). Não foi possível coletar todos os indivíduos no mesmo estágio fenológico, já que diversas espécies estudadas não têm ciclos regulares de florescimento. De qualquer forma, pudemos realizar comparações sobre todos os parâmetros da germinação de alface analisados através de valores únicos de IAs para cada espécie, através da dose resposta de quatro concentrações. O estabelecimento da dose resposta de três ou mais concentrações de material ou lixiviado fitotóxico mostra-se ideal para se obter dados confiáveis sobre a atividade alelopática (Inderjit & Weston 2000). A necessidade da espécie alvo ser do mesmo ambiente do organismo doador é controversa. Plantas terrestres ou partes delas são algumas vezes utilizadas porque podem fornecer o melhor sistema modelo para uma detalhada investigação do modo de ação (Gross 2003).

O potencial osmótico das soluções pode ser um fator negativo adicional aos seus efeitos alelopáticos, reduzindo, atrasando ou impedindo a germinação (Astarita *et al.* 1996). Os valores de potencial osmótico dos extratos foliares testados variaram entre -0,017 e -0,98 MPa. Verificamos que as soluções com concentrações de PEG 6000 a partir de -0,4 MPa aumentaram significativamente a entropia informacional e a velocidade de germinação de alface, enquanto que a porcentagem de germinação foi reduzida a partir do potencial -0,6 MPa. Os efeitos das soluções na concentração 10% de *A. danaeifolium*, *B. monnieri*, *E. flavescens*, *E. montana*, *I. cairica* e *T. dominguenensis*, e da solução 5% de *C. americanum*, sobre a entropia informacional e a velocidade de germinação de alface se devem, em parte, ao efeito de seus potenciais osmóticos. A solução 10% de *C. americanum* apresentou o potencial osmótico mais discrepante (-0,98 MPa) e seus efeitos sobre todos os parâmetros da germinação de alface se devem parcialmente aos efeitos da sua osmolaridade. A

Tabela 3. Entropias informacionais de germinação de *Lactuca sativa* L. sob ação de extratos em diferentes concentrações das espécies doadoras e respectivos Índices Alelopáticos (IAs). Letras minúsculas iguais não diferem entre si dentro da mesma linha e letras maiúsculas iguais não diferem entre si, pela ANOVA e pós-teste de Tukey ($p < 0,05$). x: não calculado. **0,0**: controle. As espécies foram dispostas do maior para o menor IA.

Espécie	Família	Concentração (%)					IA						
		0	1,25	2,5	5	10							
<i>Ipomoea cairica</i> (L.) Sweet	Convolvulaceae	0,5	b	1,0	a	0,7	a	2,1	a	x	10,8	A	
<i>Sagittaria montevidensis</i> Cham. & Schl.	Alismataceae	0,5	d	1,2	bc	0,9	cd	2,7	a	x	10,7	A	
<i>Crinum americanum</i> L.	Amaryllidaceae	0,5	b	1,2	b	1,6	b	1,6	a	x	9,8	AB	
<i>Eleocharis flavescens</i> (Poir.) Urb.	Cyperaceae	0,5	b	0,6	b	1,1	b	1,8	a	x	9,3	AB	
<i>Ludwigia hyssopifolia</i> (G. Don) Exel	Onagraceae	0,5	e	0,7	de	1,5	cd	2,0	bc	2,6	a	9,3	AB
<i>Acroceras zizanioides</i> (HBK) Dandy	Poaceae	0,5	d	0,7	cd	1,3	c	1,7	b	2,7	a	9,1	AB
<i>Thelypteris interrupta</i> (Willd.) Iwats.	Thelypteridaceae	0,5	c	0,9	c	1,1	bc	1,9	b	2,6	a	8,8	AB
<i>Hymenachne amplexicaulis</i> (Rudge) Ness.	Poaceae	0,5	c	0,9	bc	1,4	ab	1,5	a	1,9	a	8,7	AB
<i>Ludwigia octovalvis</i> (Jacq.) Raven	Onagraceae	0,5	c	0,3	c	1,3	b	2,0	a	2,1	a	8,6	AB
<i>Ludwigia erecta</i> (L.) H. Hara	Onagraceae	0,5	b	0,6	b	1,2	b	2,2	a	2,6	a	8,5	AB
<i>Bacopa monnieri</i> (L.) Wettst.	Scrophulariaceae	0,5	c	0,5	c	1,1	b	1,3	b	2,8	a	8,4	AB
<i>Brachiaria mutica</i> (Forsk) Stapf	Poaceae	0,5	c	0,4	c	0,3	c	1,3	b	2,1	a	8,2	AB
<i>Acrostichum danaeifolium</i> Langsd & Fisch	Pteridaceae	0,5	c	0,1	c	1,4	b	2,2	a	1,9	ab	7,9	AB
<i>Eleocharis interstincta</i> (Vahl) Roem. & Schult.	Cyperaceae	0,5	b	1,0	b	1,3	b	1,3	b	2,4	a	7,7	AB
<i>Typha dominguensis</i> Pers.	Typhaceae	0,5	d	0,5	d	1,0	cd	1,4	ab	1,8	a	7,3	AB
<i>Polygonum ferrugineum</i> Wedd.	Polygonaceae	0,7	b	0,9	ab	0,8	b	1,2	a	1,2	a	4,8	AB
<i>Polygonum hydropiperoides</i> Michx.	Polygonaceae	0,7	c	0,6	c	0,5	c	1,2	b	2,4	a	4,3	AB
<i>Polygonum meisnerianum</i> Cham. & Schtdl.	Polygonaceae	0,7	c	0,4	c	0,6	c	1,3	b	1,9	a	4,0	AB
<i>Scleria latifolia</i> Sw.	Cyperaceae	0,7	ab	0,6	b	0,9	ab	1,2	a	1,0	ab	3,7	AB
<i>Calyptrocarya longifolia</i> (Rudge) Kunth	Cyperaceae	0,7	b	0,5	b	0,7	ab	1,2	a	1,0	b	3,3	AB
<i>Echinochloa polystachya</i> (Kunth) Hitchc	Poaceae	0,5	bc	0,3	c	1,0	b	0,8	bc	2,1	a	3,3	AB
<i>Schoenoplectus californicus</i> (C.A. Mey.) Soják	Cyperaceae	0,5	b	0,4	b	0,5	b	0,9	b	2,6	a	3,2	AB
<i>Eleocharis minima</i> Kunth	Cyperaceae	0,5	b	0,8	ab	1,1	a	0,7	ab	0,7	ab	1,9	AB
<i>Scleria mitis</i> O. Berg	Cyperaceae	0,7	b	0,3	b	0,6	b	0,8	ab	1,3	a	0,9	AB
<i>Eleocharis montana</i> (Kunth) Roem. & Schult.	Cyperaceae	0,5	b	0,3	b	0,6	b	0,6	b	1,7	a	0,7	AB
											0,0	B	

germinação de sementes de alface não é afetada sob condições de escuridão/luminosidade dentro dos limites de pH 2,6 a 10,6 (Reynolds 1975). O pH dos extratos foliares variou de 4,4 a 6,9, descartando a possibilidade de efeitos significativos deste fator sobre a germinação.

Com base nos dados obtidos, concluímos que as espécies doadoras mostraram diferentes efeitos sobre o processo de germinação das sementes de alface. Das 25 espécies estudadas, 11 diminuíram a porcentagem de germinação, todas diminuíram a velocidade e aumentaram a entropia informacional de germinação das sementes da espécie alvo. O cálculo do IA para os parâmetros da germinação mostrou-se eficaz para ranquear as espécies doadoras de acordo com a curva dose-reposta. Ensaios

em laboratório são importantes ferramentas para se obter um modelo do processo alelopático e nortear a seleção de espécies doadoras para experimentos com espécies do ambiente natural ou de sistemas agrícolas. Porém, futuros estudos são necessários para comprovar essa interação em campo.

Agradecimentos

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pela concessão da bolsa ao primeiro autor, e ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) pela concessão de bolsa ao segundo autor.

Referências bibliográficas

- Aliotta, G., Cafiero, G. & Otero, A.M. 2006. Weed germination, seedling growth and their lesson for allelopathy in agriculture. Pp. 285-297. In: Reigosa, M.J.; Pedrol, N. and González, L. (Eds.). **Allelopathy: A Physiological Process with Ecological Implications**. Dordrecht, Springer.
- An, M. 2005. Mathematical Modelling of Dose-Response Relationship (Hormesis) in Allelopathy and its Application. **Nonlinearity in Biology, Toxicology, and Medicine Nonlinearity in Biology, Toxicology, and Medicine** 3: 153-172.
- Astarita, L.V., Ferreira, A.G. & Bergonci, J.I. 1996. *Mimosa bimucronata*: Allelopathy and osmotic stress. **Allelopathy Journal Allelopathy Journal** 3(1): 43-50.
- Blanco, J.A. 2007. The representation of allelopathy in ecosystem-level forest models. **Ecological Modelling Ecological Modelling** 209(2-4): 65-77.
- Brasil. 1992. **Regras para análise de sementes**. Brasília, Ministério da Agricultura e Reforma Agrária.
- Chou, C.H. 1989. Allelopathic research of subtropical vegetation in Taiwan. IV. Comparative phytotoxic nature of leachate from four subtropical grasses **Journal of Chemical Ecology Journal of Chemical Ecology** 15(7): 2149-2159.
- Erhard, D. & Gross, E.M. 2006. Allelopathic activity of *Elodea canadensis* and *Elodea nuttalli* against epiphytes and phytoplankton. **Aquatic Botany Aquatic Botany** 85: 203-211.
- Esteves, F.A. 1988. **Fundamentos de Limnologia**. 2. ed. Rio de Janeiro, Editora Interciência.
- Ferreira, A.G. & Aquila, M.E.A. 2000. Alelopatia: Uma área emergente da ecofisiologia. **Revista Brasileira de Fisiologia Vegetal Revista Brasileira de Fisiologia Vegetal** 12: 175-204.
- Gallardo, T.M., Martin, B.B. & Martin, D.F. 1998. Inhibition of water fern *Salvinia minima* by cattail (*Typha domingensis*) extracts and by 2-chlorophenol and salicylaldehyde. **Journal of Chemical Ecology Journal of Chemical Ecology** 24: 1483-1490.
- Gross, E.M. 2003. Allelopathy of Aquatic Autotrophs. **Critical Reviews in Plant Sciences Critical Reviews in Plant Sciences** 22(3-4): 313-339.
- Hierro, J.L. & Callaway, R.M. 2003. Allelopathy and exotic plant invasion. **Plant and Soil Plant and Soil** 256: 29-39.
- Hoagland, R.E. & Williams, R.D. 2003. Bioassays: Useful tools for the study of allelopathy. Pp. 315-351. In: Macias, F.A.; Galindo, J.C.G.; Molinillo, J.M.G. and Cutler, H.G. (Eds.). **Allelopathy: Chemistry and Mode of Action of Allelochemicals**. Boca Raton, FL, CRC Press.
- Inderjit & Weston, L.A. 2000. Are laboratory bioassays for allelopathy suitable for prediction of field responses? **Journal of Chemical Ecology Journal of Chemical Ecology** 26(9): 2111-2118.
- Jeller, H. & Perez, S.C.J.G.A. 2001. Efeito dos estresses hídrico e salino e da ação de giberelina em sementes de *Senna spectabilis*. **Ciência Florestal Ciência Florestal** 11(1): 93-104.
- Labouriau, L.F.G. 1983. **A germinação das sementes**. Washington, Departamento de Assuntos Científicos e Tecnológicos da Secretaria Geral da Organização dos Estados Americanos.
- Llamas, K.A. 2003. **Tropical Flowering Plants: a guide to identification and cultivation** 1. ed. Portland, Timber Press.
- Lorenzi, H. 2000. **Plantas daninhas do Brasil: terrestres, aquáticas, parasitas e tóxicas**. 3. ed. Nova Odessa, Instituto Plantarum.
- Ma, R.J., Wang, N.L., Zhu, H., Guo, S.J. & Chen, D.S. 2009. Isolation and identification of allelochemicals from invasive plant *Ipomoea cairica*. **Allelopathy Journal Allelopathy Journal** 24(1): 77-84.
- Macias, F.A., Oliva, R.M., Simonet, A.M. & Galindo, J.C.G. 1998. What are allelochemicals? Pp. 154. In: Olofsdotter, M. (Ed.). **Allelopathy in rice: Proceedings of the Workshop on Allelopathy in Rice**. Manila (Philippines), International Rice Research Institute.
- Maraschin-Silva, F. & Aquila, M.E.A. 2006. Potencial alelopático de espécies nativas na germinação e crescimento inicial de *Lactuca sativa* L. (Asteraceae). **Acta Botanica Brasílica Acta Botanica Brasílica** 20(1): 61-69.
- Otte, M.L. 2001. What is stress to a wetland plant? **Environmental and Experimental Botany Environmental and Experimental Botany** 46: 195-202.
- Phillips, G.L., Eminson, D.F. & Moss, B. 1978. A mechanism to account for macrophyte decline in progressively eutrophicated freshwater. **Aquatic Botany Aquatic Botany** 4: 103-126.
- Putnam, A.R. & Tang, C.S. 1986. Allelopathy: State of the science. Pp. 1-19. In: Putnam, A.R. and Tang, C.S (Eds.). **The science of allelopathy**. New York, John Wiley & Sons.
- Reigosa, M.J., Sánchez-Moreiras, A. & González, L. 1999. Ecophysiological Approach in Allelopathy **Critical Reviews in Plant Sciences Critical Reviews in Plant Sciences** 14(5): 577-608.
- Reynolds, T. 1975. pH restraints on lettuce fruit germination. **Annals of Botany Annals of Botany** 39: 797-805.
- Ribeiro, J.P.N., Matsumoto, R.S., Takao, L.K., Voltarelli, V.M. & Lima, M.I.S. 2009. Efeitos alelopáticos de extratos aquosos de *Crinum americanum* L. **Revista Brasileira de Botânica Revista Brasileira de Botânica** 32(1): 183-188.
- Rice, E.L. 1984. **Allelopathy**. 2. ed. Orlando, Academic Press.
- Souza Filho, A.P.S., Alves, S.M. & Dutra, S. 2002. Development Stages and Water Stress on the Allelopathic Potential of Marandu Grass. **Planta Daninha Planta Daninha** 20(1): 25-31.
- Sutton, D.L. & Portier, K.M. 1991. Influence of Spikerush Plants on Growth and Nutrient Content of *Hydrilla*. **Journal of Aquatic Plant Manage Journal of Aquatic Plant Manage** 29: 6-11.
- Villela, F.A., Doni Filho, L. & Sequeira, E.L. 1991. Tabela de potencial osmótico em função da concentração de polietileno glicol 6000 e da temperatura. **Pesquisa Agropecuária Brasileira Pesquisa Agropecuária Brasileira** 26(11/12): 1957-1968.
- Wolanski, E. 2007. **Estuarine Ecohydrology**. 1. Amsterdam, Elsevier Science Ltd.
- Wooten, J.W. & Elakovich, S.D. 1991. Comparison of potencial allelopathy of seven freshwater species of spikerushes (*Eleocharis*). **Journal of Aquatic Plant Manage Journal of Aquatic Plant Manage** 29: 12-15.