



Efeito de agentes fumigantes sobre o bolor azul e o mofo cinzento em frutos de maçã

Guilherme Telésforo Osório, Bruno Salvador Oliveira & Robson Marcelo Di Piero

Departamento de Fitotecnia, Universidade Federal de Santa Catarina, Cx. Postal 476, 88040-900, Florianópolis, SC, Brasil

Autor para correspondência: Robson M. Di Piero, e-mail: robson@cca.ufsc.br

RESUMO

O bolor azul (*Penicillium expansum*) e o mofo cinzento (*Botrytis cinerea*) causam perdas significativas em pós-colheita de frutos de maçã. Como alternativa de controle, avaliou-se o efeito da fumigação de ácido acético, acetaldeído, benzaldeído, d-limoneno, timol, metil jasmonato e álcool etílico nas concentrações de 8 e 15 µL/L de ar sobre a germinação de esporos e sobre a incidência e a severidade dessas podridões em maçãs 'Fuji'. A germinação de esporos foi avaliada em lâminas escavadas, dispostas no interior de caixas plásticas, onde um agente fumigante atuou durante 60 min. Com microscópio ótico, observou-se, 24 h depois, que o ácido acético a 8 µL/L de ar inibiu totalmente a germinação de esporos de *P. expansum*, enquanto limoneno, timol, benzaldeído e metil jasmonato reduziram-na parcialmente. Apenas ácido acético e benzaldeído apresentaram efeito inibitório sobre *B. cinerea*. Nos testes *in vivo*, a fumigação ocorreu em caixas plásticas contendo quatro frutos previamente inoculados por parcela. Ácido acético reduziu a incidência de bolor azul e de mofo cinzento em 44% e 100%, respectivamente, a 8 µL/L de ar, porém causou fitotoxidez nos frutos, mostrando potencial uso para a redução de inóculo de *Penicillium* e *Botrytis*, principalmente na desinfestação das câmaras.

Palavras-chave: *Botrytis cinerea*, *Penicillium expansum*, ácido acético, compostos voláteis, fumigação.

ABSTRACT

Effect of fumigants on blue and gray molds of apple fruit

Blue mold (*Penicillium expansum*) and gray mold (*Botrytis cinerea*) cause significant post-harvest losses of apple fruit. As a control alternative, the effects of fumigation with acetic acid, acetaldehyde, benzaldehyde, d-limonene, thymol and methyl jasmonate, at 8 and 15 µL/L of air, on the germination of spores and the incidence and severity of blue and gray mold in 'Fuji' apples were evaluated. The germination of spores was evaluated in excavated slides arranged onto plastic boxes, where the fumigant agent acted for 60 min. With optical microscopy, it was observed after 24 h that acetic acid at 8 µL/L completely inhibited spore germination of *P. expansum*, while limonene, thymol, benzaldehyde and methyl jasmonate partially reduced it. Only acetic acid and benzaldehyde showed an inhibitory effect on *B. cinerea*. In *in vivo* tests, fumigation was conducted in plastic boxes containing four previously inoculated fruits per plot. Acetic acid reduced the incidence of blue mold and gray mold by 44% and 100%, respectively, at 8 µL/L of air. However, it caused phytotoxicity on fruits, indicating a potential use for reduction of inoculum of *Botrytis* and *Penicillium* in the disinfestation of chambers.

Key words: *Botrytis cinerea*, *Penicillium expansum*, acetic acid, fumigation, volatile compounds.

A macieira (*Malus domestica* Borkh.) é uma das mais importantes culturas agrícolas no sul do Brasil, um dos 10 maiores produtores mundiais em 2010 (FAOSTAT, 2011), com 1,27 milhões de toneladas de maçãs colhidas em 38,6 mil hectares. Devido ao curto período de colheita, longos períodos de armazenamento são essenciais para a regulação do mercado, sendo elevados os investimentos em câmaras frias e atmosferas controladas visando minimizar deteriorações fúngicas nos frutos (Pereira et al., 2010).

Perdas significativas em pós-colheita são causadas por *Penicillium expansum* (Link) Thom. e *Botrytis cinerea* Persoon ex Fries, agentes causais do bolor azul e do mofo cinzento, aquele pela extrema agressividade e este por sobreviver na forma de escleródios e ser ativo a baixas temperaturas, ocorrendo contaminações principalmente nas câmaras frias (Amiri & Bompeix, 2005). Devido às crescentes preocupações com a ecologia, saúde do consumidor e a

seleção de isolados resistentes aos fungicidas, métodos alternativos de controle têm sido estudados (Jacometti et al., 2010).

A fumigação é empregada no controle fitossanitário em diferentes frutos, sementes, grãos, madeiras, além da desinfestação de galpões e equipamentos. Entre as substâncias mais utilizadas, estão o dióxido de enxofre (Austin et al., 1997) e a fosfina (Rajendran & Muralidharan, 2001). Por fazerem parte da composição de diversos vegetais e da dieta humana, sugerindo baixa toxidez, substâncias voláteis como ácido acético, acetaldeído, benzaldeído, d-limoneno, timol, metil jasmonato e etanol são candidatas à utilização comercial com a finalidade de proteção de culturas.

Ácido acético, principal constituinte dos vinagres, vem sendo estudado no controle de podridões através da fumigação de frutos, como damascos e ameixas (Liu

et al., 2002), assim como etanol e acetaldeído (Pesis, 2005). Limoneno faz parte dos óleos essenciais de frutas cítricas, exibindo efeito anti-inflamatório, antioxidante e antifúngico (Singh et al., 2010), enquanto timol, encontrado em tomilho e manjeriço, possui atividade antioxidante e antimicrobiana (Bagamboula et al., 2004). A síntese de ácido abscísico, envolvido nas respostas de defesa a fitopatógenos em plantas, depende de substratos como benzaldeído e acetaldeído (Omarov et al., 1999), sugerindo indução de resistência. Metil jasmonato elicit defesas em plantas saudáveis quando é liberado no ambiente por aquelas atacadas por patógenos e herbívoros (Karban et al., 2000).

Dessa forma, o objetivo do presente trabalho foi avaliar a atividade antifúngica de compostos voláteis sobre *P. expansum* e *B. cinerea*, em experimentos *in vitro* e *in vivo*.

As substâncias timol, acetaldeído, benzaldeído e d-limoneno foram obtidas da empresa VETEC Química Fina Ltda.; metil jasmonato, da Sigma-Aldrich Ltda.; álcool etílico absoluto, da Synth Produtos para Laboratório Ltda.; ácido acético glacial, da CAQ - Casa da Química Indústria e Comércio Ltda.

Os fungos utilizados foram isolados de frutos infectados de maçã e mantidos em meio batata-dextrose-água (BDA), a $25 \pm 1^\circ\text{C}$ e fotoperíodo de 12 h. Periodicamente, os fitopatógenos foram reisolados de frutos inoculados e sintomáticos para manter a patogenicidade. Esporos de *P. expansum* foram raspados de colônias de 12 dias com alça de platina e depositados em água destilada ou suco de maçã a 4% para obter suspensões destinadas aos testes *in vivo* ou *in vitro*, respectivamente. Para a coleta de esporos de *B. cinerea*, discos com estruturas fúngicas obtidos de culturas de 30 dias em BDA, com esporulação abundante, foram agitados em água destilada. Após filtração em gaze, as suspensões de esporos tiveram suas concentrações ajustadas com hemacitômetro.

Inicialmente, foram avaliados ácido acético glacial, acetaldeído, benzaldeído, limoneno, metil jasmonato e água destilada, a $8 \mu\text{L/L}$ de ar, sobre a germinação de esporos e o crescimento do tubo germinativo de *P. expansum* e *B. cinerea*. Posteriormente, foram testados ácido acético glacial, acetaldeído, benzaldeído, timol, etanol e água destilada, a $15 \mu\text{L/L}$ de ar, sobre os dois fitopatógenos. Para tanto, $60 \mu\text{L/L}$ de suspensão de esporos (1×10^5 esporos/mL) foram depositados em lâminas escavadas de microscopia, colocadas no interior de caixas plásticas de 10 L ($400 \times 270 \times 133$ mm), em uma das suas extremidades. Na outra extremidade, foram colocadas placas de Petri contendo 80 ou $150 \mu\text{L}$ de uma das substâncias avaliadas. As caixas foram fechadas, vedadas com filme plástico e incubadas por uma hora à temperatura ambiente. Logo após, as lâminas foram retiradas, mantidas em capela de exaustão por 15 min e incubadas em placas de Petri sob alta umidade, a $25 \pm 1^\circ\text{C}$ e fotoperíodo de 12 h. Avaliou-se a germinação de 100 esporos e o comprimento de 30 tubos germinativos por repetição, 24 h após, utilizando ocular

micrométrica em aumento de 100 vezes. Cada escavação da lâmina contendo uma gota da suspensão de esporos representou uma repetição, sendo quatro por tratamento.

Para os testes *in vivo*, frutos de maçã da cultivar Fuji, categoria 1, classe 120, cedidos pela cooperativa COOPERSERRA de São Joaquim (SC), foram desinfestados em hipoclorito de sódio a 0,5% por 3 min, lavados em água corrente e secos à temperatura ambiente antes de serem utilizados. Foram feitos dois círculos de 3 mm de diâmetro com caneta esferográfica na região equatorial dos frutos, onde foram depositadas gotas de $15 \mu\text{L}$ de suspensão de esporos (1×10^6 esporos/mL). Após a secagem das gotas, quatro frutos inoculados foram colocados no interior de caixas plásticas de 10 L ($400 \times 270 \times 133$ mm), constituindo uma unidade experimental. No centro das caixas, foram dispostas placas de Petri contendo 80 ou $150 \mu\text{L}$ de um composto volátil a ser avaliado. As caixas foram fechadas e vedadas com filme plástico, realizando-se a fumigação do composto por uma hora à temperatura ambiente. Posteriormente, foram feitos ferimentos nos locais marcados nos frutos com agulha de 1 mm de diâmetro e 5 mm de profundidade. As caixas foram fechadas e incubadas a $25 \pm 1^\circ\text{C}$ no escuro, sob alta umidade relativa. A câmara úmida foi obtida pela deposição de duas folhas de papel toalha, umedecidas com 10 mL de água destilada, no fundo de cada caixa.

Em experimentos independentes, foram avaliadas as severidades do bolor azul e do mofo cinzento em frutos submetidos à fumigação de ácido acético glacial, acetaldeído, benzaldeído, timol, etanol, limoneno, metil jasmonato e água destilada, todos na concentração de $8 \mu\text{L/L}$ de ar. Posteriormente, em experimentos adicionais, foram avaliados ácido acético glacial, acetaldeído, benzaldeído, timol, etanol e água destilada a $15 \mu\text{L/L}$ de ar. Finalmente, avaliou-se o efeito do ácido acético a 0, 1, 2, 4, 8 e $16 \mu\text{L/L}$ de ar para o controle das doenças.

A avaliação das podridões em cada experimento foi feita através da mensuração do diâmetro das lesões a cada quatro dias, durante um período de 12 dias, utilizando-se um paquímetro. A severidade final foi calculada através da área abaixo da curva de progresso da doença descrita por Shanner & Finney (1977), pela equação $\text{AACPD} = \sum [(y_i + y_{i+1})/2 \times (t_{i+1} - t_i)]$, em que y_i é o diâmetro médio da lesão no tempo t_i , e y_{i+1} o diâmetro médio no tempo t_{i+1} . A incidência das podridões foi avaliada na última mensuração das lesões, sendo calculada a partir do número de ferimentos exibindo podridão em relação ao número total de ferimentos inoculados.

Todos os experimentos foram conduzidos em delineamento completamente casualizado, com quatro repetições. As análises de variância e o teste de separação de médias (Tukey, $\alpha \leq 0,05$) foram realizados com auxílio do software Statistica 6.0 (STATSOFT).

Nos testes *in vitro*, a $8 \mu\text{L/L}$ de ácido acético inibiu completamente a germinação de esporos de *P. expansum*, enquanto metil jasmonato, benzaldeído, timol e limoneno inibiram-na em 24, 25, 33 e 34%, respectivamente.

Aumentando a concentração dos voláteis para 15 µL/L, não houve aumento no nível de inibição. Por outro lado, acetaldeído e etanol não exibiram efeito significativo sobre a germinação do fungo nem na maior concentração testada (Tabela 1). Nas medições de tubos germinativos, a 8 µL/L de ar, acetaldeído, benzaldeído, timol, limoneno e metil jasmonato diminuíram significativamente o crescimento dos tubos em 34, 16, 18, 50 e 28% enquanto a 15 µL/L de ar, acetaldeído, benzaldeído, timol e etanol reduziram o crescimento em 19, 24, 39 e 34%, respectivamente (Tabela 1).

Botrytis cinerea também não germinou na presença de ácido acético, porém foi menos sensível que *P. expansum* à maioria dos demais compostos voláteis. Apenas acetaldeído e benzaldeído, na concentração de 15 µL/L, reduziram significativamente a germinação do fungo em 15 e 32% (Tabela 1). O crescimento de tubos germinativos desse fitopatógeno foi diminuído significativamente a 8 µL/L de ar por acetaldeído em 35%, benzaldeído em 26% e limoneno em 38%. A 15 µL/L de ar, acetaldeído mostrou inibição significativa de 15% e benzaldeído de 42% (Tabela 1).

Nos testes em frutos, benzaldeído, timol, etanol, limoneno e metil jasmonato não diminuíram significativamente a severidade das podridões, nas

concentrações testadas, enquanto acetaldeído diminuiu em 44% a severidade do mofo cinzento a 8 µL/L de ar, mas não exerceu controle sobre o bolor azul de *Penicillium* (Tabela 2). O maior nível de controle das podridões foi obtido com o ácido acético, que diminuiu em 74% e 95% a severidade do bolor azul e em 100% e 90% a severidade de mofo cinzento, quando utilizado a 8 e 15 µL/L de ar, respectivamente (Tabela 2).

Avaliando-se diferentes concentrações do ácido acético, observou-se que o controle significativo do bolor azul ocorreu a partir de 8 µL/L, quando houve 44 e 70% de redução na incidência e severidade dessa podridão. No caso do mofo cinzento, a fumigação de ácido acético a 1 µL/L propiciou redução de 72 e 84% na incidência e severidade da doença, com níveis crescentes de inibição à medida que a dose do volátil foi aumentada, chegando-se a 100% de controle com o emprego de ácido acético a 8 µL/L (Tabela 3).

A baixa eficiência da maioria das substâncias testadas para controlar as podridões pode estar relacionada às baixas doses utilizadas (8 e 15 µL/L), que exibiram pequena atividade inibitória sobre a germinação de esporos dos fitopatógenos (Tabela 1). Testando fumigantes em concentrações próximas a 30 µL/L de ar para o controle de

TABELA 1 - Efeito da fumigação com compostos voláteis a 8 e 15 µL/L sobre a germinação de esporos e sobre o comprimento do tubo germinativo de *Penicillium expansum* e *Botrytis cinerea*

Agentes fumigantes	Germinação (%)				Tubo germinativo (µm)			
	<i>P. expansum</i>		<i>B. cinerea</i>		<i>P. expansum</i>		<i>B. cinerea</i>	
	8 µL/L	15 µL/L	8 µL/L	15 µL/L	8 µL/L	15 µL/L	8 µL/L	15 µL/L
Controle (água destilada)	92,8 a	91,8 a	95,0 a	93,5 a	140,3 a	134,2 a	143,6 a	172,2 a
Ácido acético	0 d	0 c	0 b	0 d	0 f	0 e	0 d	0 d
Acetaldeído	81,5 b	85,8 ab	92,3 a	85,5 b	92,7 d	108,3 b	93,1 cd	145,7 b
Benzaldeído	69,8 c	74,8 b	94,5 a	68,0 c	117,6 bc	101,6 bc	105,9 b	89,7 c
Timol	62,5 c	75,5 b	n/t	90,0 ab	115,0 bc	82,5 d	n/t	148,4 ab
Etanol	85,8 ab	78,5 ab	n/t	89,5 ab	129,0 ab	88,8 cd	n/t	152,4 ab
Limoneno	61,0 c	n/t	94,8 a	n/t	70,5 e	n/t	88,9 c	n/t
Metil jasmonato	70,8 c	n/t	93,8 a	n/t	101,6 cd	n/t	131,8 a	n/t

Médias com letras iguais na mesma coluna não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. n/t = não testado.

TABELA 2 - Efeito de agentes fumigantes sobre as severidades do bolor azul (*Penicillium expansum*) e mofo cinzento (*Botrytis cinerea*) em frutos de maçã cv. Fuji, em experimentos independentes

Agentes fumigantes	Severidade do bolor azul (%)*		Severidade do mofo cinzento (%)*	
	8 µL/L	15 µL/L	8 µL/L	15 µL/L
Água destilada	100 a	100 ab	100 a	100 a
Ácido acético	25,8 b	5,1 c	0,0 c	10,5 b
Acetaldeído	86,4 a	93,7 b	55,8 b	86,5 a
Benzaldeído	104,7 a	96,0 ab	80,0 ab	86,8 a
Timol	90,7 a	104,6 a	71,6 ab	56,8 ab
Etanol	88,6 a	98,0 ab	73,7 ab	57,2 ab
Limoneno	100 a	n/t	88,4 ab	n/t
Metil jasmonato	96,2 a	n/t	88,4 ab	n/t

*Severidade foi calculada a partir da área abaixo da curva de progresso da doença e expressa em valores percentuais relativos à testemunha. Médias com letras iguais na mesma coluna não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

TABELA 3 - Efeito da fumigação com diferentes concentrações de ácido acético sobre a severidade e a incidência de bolor azul (*Penicillium expansum*) e mofo cinzento (*Botrytis cinerea*) em frutos de maçã cv. Fuji, em experimentos independentes

Ácido acético	Bolor azul		Mofo cinzento	
	Incidência (%)	Severidade (%)*	Incidência (%)	Severidade (%)*
0 µL/L	100 a	100 a	100 a	100 a
1 µL/L	100 a	89,8 ab	28,1 b	16,5 b
2 µL/L	100 a	86,6 ab	5,6 bd	3,8 bc
4 µL/L	96,8 a	81,6 b	9,3 cd	1,9 bc
8 µL/L	56,2 b	30,5 c	0 d	0 c
16 µL/L	18,7 c	5,6 d	0 d	0 c

*Severidade foi calculada a partir da área abaixo da curva de progresso da doença e expressa em valores percentuais relativos à testemunha. Médias com letras iguais na mesma coluna não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

B. cinerea em frutos de maçã, Chu et al. (1999) observaram que o etanol não exerceu controle, porém o timol reduziu a incidência do mofo cinzento de 36% para 0,5%. Liu et al. (2002) obtiveram redução na incidência de podridões por *Monilinia fructicola* em frutos de damasco (*Prunus armeniaca* L.) e ameixas (*Prunus salicina* L.) tratados com timol a 5 mg/L. No caso do limoneno, Sharma & Tripathi (2006) definiram a necessidade de pelo menos 400 µL/L para a completa inibição da germinação de esporos de *P. expansum*, enquanto Bicas & Pastore (2007) demonstraram que muitos microrganismos são resistentes a concentrações acima de 2% de limoneno, inclusive fungos e leveduras, podendo utilizá-lo como única fonte de carbono. Segundo (Alla et al., 2008), a diminuição na incidência de *Rhizopus stolonifer* em damascos, utilizando-se acetaldeído e benzaldeído, é possível apenas com 2 mL/L.

Metil jasmonato, que poderia controlar doenças por efeito antifúngico e/ou pela indução de resistência, apenas diminuiu em 24% a germinação de *P. expansum* em relação à testemunha na concentração de 8 µL/L de ar (Tabela 1), não mostrando resultados expressivos *in vivo* (Tabela 2). Segundo Yao & Tian (2005), essa substância elicitou defesas em pêssegos (*Prunus persica* L.) e diminuiu o crescimento micelial de *P. expansum*, porém, de forma semelhante ao presente trabalho, não reduziu a podridão em frutos.

O acetaldeído exibiu algum nível de controle do mofo cinzento em um dos experimentos, mas não foi eficiente para o bolor azul de *Penicillium* (Tabela 2). O seu modo de ação pode estar relacionado à sua oxidação a ácido acético em meio aquoso (Bawn & Williamson, 1951), considerando a umidade natural dos frutos. Essa hipótese foi levantada em função de *B. cinerea* ter se mostrado mais sensível que *P. expansum* a ácido acético nos testes *in vivo* (Tabela 3) e a reação de oxidação do acetaldeído, nesse caso, geraria baixas concentrações de ácido acético, suficientes apenas para controlar o mofo cinzento.

Ficou evidenciado que, para exercer um controle significativo das podridões em frutos, um composto volátil necessita apresentar elevada atividade antifúngica *in vitro*. O ácido acético inibiu totalmente a germinação de esporos

de *P. expansum* e de *B. cinerea* e reduziu significativamente as podridões em frutos de maçã, sugerindo a antibiose como o seu principal mecanismo de ação. A capacidade desse ácido em controlar doenças já havia sido demonstrada em damascos e ameixas contra *Monilinia fructicola*, com redução de 95% e 73% nas podridões pela fumigação de ácido acético a 5 e 8 µL/L de ar, respectivamente (Liu et al., 1999). Chu et al. (1999) relataram diminuição de seis vezes na incidência de mofo cinzento em cerejas (*Prunus cerasus* L.) com 30 µL/L após aplicação durante 25 min a 2°C.

A fumigação por uma hora de ácido acético a 8 µL/L de ar a 25°C, no presente trabalho, controlou completamente o mofo cinzento em frutos de maçã e diminuiu em 44% a incidência de bolor azul (Tabela 3), mas os frutos apresentaram lenticelose (dados não apresentados). Por outro lado, Sholberg et al. (2001) observaram que frutos de maçã armazenados a 1°C exibiram 50% menos bolor azul quando fumigados com ácido acético a 2,7 µL/L de ar, sem danos à qualidade, enquanto Sholberg & Gaunce (1996) relataram fitotoxidez em pêssego com 2,6 µL/L de ar na mesma temperatura.

Provavelmente, as baixas temperaturas associadas a baixas concentrações dos voláteis diminuem a suscetibilidade dos frutos a anomalias fisiológicas através da redução na taxa respiratória. Outros frutos são menos sensíveis, como laranjas (*Citrus sinensis* Pers.) e tangerinas (*Citrus reticulata* Blanco), nos quais o ácido acético a 50 e 75 µL/L de ar controlou a podridão de *Penicillium digitatum*, e problemas com fitotoxidez ocorreram apenas em frutos fumigados a 100 µL/L de ar, mesmo a 20°C (Venditti et al., 2009).

Segundo Sholberg et al. (2003), o único meio confiável para a medição da concentração desse volátil em ambientes fechados é a cromatografia a gás, pois os equipamentos mecânicos comuns, que poderiam monitorar automaticamente o processo, perdem a calibração facilmente. Como as podridões causadas por *P. expansum* são um dos maiores problemas de maçã na região Sul do país, a fumigação com ácido acético seria plausível apenas para desinfestação de câmaras frias, sem a presença de

frutos, pois um erro na aplicação poderia levar à perda de várias toneladas de maçãs. Portanto, dentre os compostos voláteis testados, o ácido acético apresenta potencial de uso no controle de *P. expansum* e *B. cinerea* através da fumigação.

AGRADECIMENTOS

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico - CNPq, pelas bolsas dos dois primeiros autores, e à Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Santa Catarina - FAPESC, pelos recursos financeiros.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Alla MAA, El-Sayed HZ, Riad SE (2008) Control of *Rhizopus* rot disease of apricot fruits (*Prunus armeniaca* L.) by some plant volatiles aldehydes. *Research Journal of Agriculture and Biological Sciences* 4:424-433.
- Amiri A, Bompeix G (2005) Diversity and population dynamics of *Penicillium* spp. on apples in pre- and postharvest environments: consequences for decay development. *Plant Pathology* 54:74-81.
- Austin RK, Clay W, Phimphivong S, Smilanick J, Henson DJ (1997) Patterns of sulfite residues in grapes during three months of repeated sulfur dioxide fumigations. *American Journal of Enology and Viticulture* 48:121-124.
- Bagamboula CF, Uyttendaele M, Debevere J (2004) Inhibitory effect of thyme and basil essential oils, carvacrol, thymol, estragol, linalool and p-cymene towards *Shigella sonnei* and *S. flexneri*. *Food Microbiology* 21:33-42.
- Bawn CEH, Williamson JB (1951) The oxidation of acetaldehyde in solution. Part I. The chemistry of the intermediate stages. *Transactions of the Faraday Society* 47:721-734.
- Bicas JL, Pastore GM (2007) Isolation and screening of d-limonene-resistant microorganisms. *Brazilian Journal of Microbiology* 38:563-567.
- Chu CL, Liu WT, Zhou T, Tsao W (1999) Control of postharvest gray mold rot of modified atmosphere packaged sweet cherries by fumigation with thymol and acetic acid. *Canadian Journal of Plant Sciences* 79:685-689.
- FAOSTAT. Food and Agriculture Organization of the United Nations. Disponível em: <http://faostat.fao.org/site/567/DesktopDefault.aspx?PageID=567>. Acesso em 20 de dezembro de 2011.
- Jacometti MA, Wratten SD, Walter M (2010) Review: Alternatives to synthetic fungicides for *Botrytis cinerea* management in vineyards. *Australian Journal of Grape and Wine Research* 16:154-172.
- Karban R, Baldwin IT, Baxter KJ, Laue G (2000) Communication between plants: Induced resistance in wild tobacco plants following clipping of neighboring sagebrush. *Oecologia* 125:66-71.
- Liu WT, Chu CL, Zhou T (2002) Thymol and acetic acid vapors reduce postharvest brown rot of apricots and plums. *HortScience* 37:151-156.
- Omarov RT, Akaba S, Koshiba T, Lips SH (1999) Aldehyde oxidase in roots, leaves and seeds of barley (*Hordeum vulgare* L.). *Journal of Experimental Botany* 50:63-69.
- Pereira LB, Simioni SJ, Cario SAF (2010) Evolução da produção de maçã em Santa Catarina: novas estratégias em busca de maior competitividade. *Ensaio FEE* 31:209-234.
- Pesis E (2005) The role of the anaerobic metabolites, acetaldehyde and ethanol, in fruit ripening, enhancement of fruit quality and fruit deterioration. *Postharvest Biology and Technology* 37:1-19.
- Rajendran S, Muralidharan N (2001) Performance of phosphine in fumigation of bagged paddy rice in indoor and outdoor stores. *Journal of Stored Products Research* 37:351-358.
- Shanner G, Finney RE (1977) The effect of nitrogen fertilization on the expression of slow mildewing resistance in know wheat. *Phytopathology* 67:1051-1056.
- Sharma N, Tripathi A (2006) Fungitoxicity of the essential oil of *Citrus sinensis* on post-harvest pathogens. *World Journal of Microbiology & Biotechnology* 22:587-593.
- Sholberg PL, Gaunce AP (1996) Fumigation of stonefruit with acetic acid to control postharvest decay. *Crop Protection* 15:681-686.
- Sholberg PL, Cliff M, Moys AL (2001) Fumigation with acetic acid vapor to control decay of stored apples. *Fruits* 56:355-366.
- Sholberg PL, Cliff M, Moys AL (2003) Monitoring acetic acid vapour concentrations during fumigation of fruit for control of postharvest decay. *Canadian Biosystems Engineering* 45:3.13-3.17.
- Singh P, Shukla R, Prakash B, Kumar A, Singh S, Mishra PK, Dubey NK (2010) Chemical profile, antifungal, anti-aflatoxicogenic and antioxidant activity of *Citrus maxima* Burm. and *Citrus sinensis* (L.) Osbeck essential oils and their cyclic monoterpene, DL-limonene. *Food and Chemical Toxicology* 48:1734-1740.
- Venditti T, Dore A, Molinu MG, Agabbio M, D'hallewin G (2009) Combined effect of curing followed by acetic acid vapour treatments improves postharvest control of *Penicillium digitatum* on mandarins. *Postharvest Biology and Technology* 54:111-114.
- Yao HJ, Tian SP (2005) Effects of a biocontrol agent and methyl jasmonate on postharvest diseases of peach fruit and the possible mechanisms involved. *Journal of Applied Microbiology* 98:941-950.