



**UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL
DE PERNAMBUCO**
PRÓ-REITORIA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO



**PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO
EM FITOPATOLOGIA**

Tese de Doutorado

Potencial de fontes de silício no manejo da mancha aquosa em meloeiro

Hailson Alves Ferreira Preston

**Recife – PE
2013**

HAILSON ALVES FERREIRA PRESTON

**Potencial de fontes de silício no manejo da
mancha aquosa em meloeiro**

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação
em Fitopatologia da Universidade Federal Rural de
Pernambuco, como parte dos requisitos para
obtenção do grau de Doutor em Fitopatologia.

**Recife – PE
2013**

Potencial de fontes de silício no manejo da mancha aquosa em meloeiro

HAILSON ALVES FERREIRA PRESTON

COMITÊ DE ORIENTAÇÃO

Professor Dr. Clístenes Williams Araújo do Nascimento – Orientador

Professora Dr^a. Rosa de Lima Ramos Mariano – Co-orientadora

Professor Dr. Glauber Henrique de Sousa Nunes – Co-orientador

Professor Dr. Zhy-Yuan Chen – Co-orientador

Manejo da mancha-aquosa do meloeiro utilizando fontes alternativas de silício

HAILSON ALVES FERREIRA PRESTON

Tese _____ e _____ pela Banca Examinadora em __/__/__

ORIENTADOR:

Prof.º Dr. Clístenes Williams Araújo do Nascimento

EXAMINADORES:

RECIFE – PE

Fevereiro, 2013

“Não fui eu que ordenei a você? Seja forte e corajoso! Não se apavore, nem desanime, pois o Senhor, o seu Deus, estará com você por onde você andar”.

Josué 1:9

A Deus por seu amor, compaixão, força e coragem concedida ao longo da vida. Aos meus amados pais, Samuel e Maria José Alves Ferreira e irmã Hailma Maria Alves Ferreira pelo carinho, amor, esforço, cumplicidade, dedicação, apoio financeiro e paciência ao longo de todas nossas jornadas e desafios vividos.

OFEREÇO

Aos meus pais, irmã e esposa Welka Preston, por todo companheirismo, compreensão, enorme paciência, ajuda, esforço, amor, felicidade e dedicação dispensados a minha pessoa. E ao professor Clístenes Williams pela imensa colaboração, orientação e amizade durante esses anos de companheirismo.

DEDICO

AGRADECIMENTOS

A Deus por seu imenso amor, pela saúde, força e paciência concedidos durante o decorrer do curso.

À Universidade Federal Rural de Pernambuco (UFRPE) pelo acolhimento, serviços prestados e estrutura cedida para estudos, pesquisas e demais atividades. Ao CNPq (Conselho Nacional de Pesquisa) pelo apoio financeiro fornecido durante o curso e a CAPES (Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior) pela Bolsa sanduíche concedida.

Ao meu orientador Clístenes Williams Araújo Nascimento pela paciência, ensinamentos e amizade, destacando-se como o maior incentivador e colaborador no nosso projeto sanduíche na Universidade Estadual da Louisiana-LSU. Às professoras Rosa de Lima Ramos Mariano e Elineide Barbosa de Souza pela parceria, valiosos ensinamentos, conselhos, paciência e dedicação.

Aos meus co-orientadores internacionais Dr. Zhi-Yuan Chen e Lawrence E. Datnoff, pela receptividade, orientação, preocupação, conhecimentos repassados e amizades dispensadas durante os seis meses de pesquisa na LSU, como também a todos os meus amigos conquistados nesta instituição.

Aos professores da UFERSA Doutores Glauber Nunes, Rui Sales e Stefeson Melo, e aos estudantes e amigos Elaíne Welk, Izabel Guimarães, Isaias Porfírio e José Maria, como também aos funcionários de campo na ajuda com o planejamento e execução do trabalho em campo.

À Professora Erika Valente e estudante Krystal Notaro pela excepcional ajuda com a realização das análises enzimáticas;

Aos meus amados pais e irmã, pessoas especiais e fundamentais em minha vida, sem as quais não teria obtido o êxito dessa vitória. Vocês são os maiores responsáveis por esse feito e os meus maiores amores;

SUMÁRIO

	Página
AGRADECIMENTOS.....	vi
SUMÁRIO.....	vii
RESUMO GERAL.....	ix
GENERAL ABSTRACT.....	xi
CAPÍTULO I – INTRODUÇÃO GERAL.....	12
1. A CULTURA DO MELOEIRO E A MANCHA AQUOSA (<i>Acidovorax citrulli</i>).....	13
1.1 A cultura do meloeiro.....	13
1.2 Mancha aquosa do meloeiro (<i>Acidovorax citrulli</i>).....	16
2. SILÍCIO NO CONTROLE DE DOENÇAS DE PLANTAS.....	22
2.1 Silício no solo.....	22
2.2 Silício na planta.....	24
2.3 Silício como mediador de mecanismos de resistência de plantas à patógenos.....	26
REFERÊNCIAS.....	31
CAPÍTULO II – FONTES E FORMAS DE APLICAÇÃO DE SILÍCIO NA POTENCIALIZAÇÃO DE COMPONENTES DE RESISTÊNCIA À MANCHA AQUOSA EM MELOEIRO	40
RESUMO.....	41
Summary.....	42
Introdução.....	43
Material e métodos.....	46
Resultados.....	51
Discussão.....	53
Referências.....	61
Tabelas e figuras.....	68
CAPÍTULO III – ESCÓRIA DE SIDERURGIA E SEUS EFEITOS NA RESISTÊNCIA À MANCHA AQUOSA E NO CRESCIMENTO DE MELOEIRO.....	74

RESUMO.....	75
Abstract.....	76
Introdução.....	76
Material e Métodos.....	79
Resultados.....	82
Discussão.....	85
Referências.....	89
Tabelas e figuras.....	97
CAPÍTULO IV – ESCÓRIA DE SIDERURGIA APLICADA AO MANEJO INTEGRADO DA MANCHA AQUOSA DO MELOEIRO.....	105
RESUMO.....	106
Summary.....	107
Introdução.....	108
Material e Métodos.....	111
Resultados.....	115
Discussão.....	117
Referências.....	124
Tabelas e figuras.....	133
CONCLUSÕES GERAIS.....	138

RESUMO GERAL

A mancha aquosa do meloeiro, causada pela bactéria *Acidovorax citrulli* (Ac) ocasiona consideráveis perdas a produção. Este trabalho objetivou avaliar os efeitos de diferentes fontes de (Si) aplicadas ao solo, via irrigação e nas folhas no controle da mancha aquosa do meloeiro, analisando os componentes epidemiológicos da doença, a nutrição e o desenvolvimento de plantas; avaliar a atividade enzimática e monitorar as mudanças fotossintéticas ocasionadas em plantas de meloeiro híbridas AF 4945 e Medellín, suplementadas ou não com Si e inoculadas com Ac. No primeiro experimento fontes de Si foram fornecidas via solo, irrigação e pulverizadas foliarmente. Plantas pulverizadas com acibenzolar-S-metil serviram como testemunha, sendo todos os tratamentos comparados entre si e às plantas controles não tratadas com Si e inoculadas com Ac. Em um segundo experimento, avaliou-se o efeito de doses crescentes de escória de siderurgia, que aplicada via solo foi a fonte que mais se destacou em reduzir a severidade da mancha aquosa no experimento anterior. A escória de siderurgia foi incorporada ao solo nas doses de 0,00; 0,12; 0,24; 0,47; 0,71 e 1,41 g kg⁻¹ Si. Após 20 dias de incubação, realizou-se o transplântio de mudas de meloeiro híbrido amarelo AF 4945 e Medellín e análises químicas do solo. Foram avaliados período de incubação (PI), índice de doença (IDO), área abaixo da curva de progresso da doença (AACPD) e incidência aos 20 dias após inoculação. Avaliações de crescimento, desenvolvimento e acúmulo de nutrientes na planta foram realizadas após 45 dias de cultivo. A dose 0,71 g kg⁻¹ Si foi responsável pelas significativas maiores reduções do IDO em (38,69 e 36,69%) e da AACPD em (38,38 e 37,54%) em plantas híbridas AF 4945 e Medellín, respectivamente, comparadas aos seus controles. Esta dose foi, ainda, a mais adequada à fertilização do solo e nutrição e desenvolvimento das plantas, e por isso utilizada em um terceiro experimento em campo experimental para averiguação de sua eficiência nestas condições. Além de indicar a fonte, forma de aplicação e dose mais apropriada para o uso em campo, os experimentos em casa de vegetação mostraram que as proteínas solúveis, compostos fenólicos totais e as enzimas peroxidase (POX), polifenoxidase (POF) e ascorbato peroxidase (APX) foram potencializadas pela aplicação de Si. O conteúdo de lignina em massa seca, e as concentrações de clorofila *a*, *b* e total foram elevadas em plantas tratadas com Si comparadas às não tratadas. A técnica da fluorescência de clorofila (FC) foi sensível às alterações fotossintéticas provocadas por *A. citrulli*, detectando um menor estresse em plantas tratadas com Si. Em campo,

aplicação de escória foi responsável por reduções da AACPD e IDO em folhas de meloeiro em 10 e 14%, e da incidência em frutos em 12%. Além disso, o tratamento com escória elevou em 8 e 7% a espessura da polpa e o conteúdo de sólidos solúveis em frutos. Os resultados deste estudo claramente sugerem que aplicação de Si via escória ao solo tem potencial para o controle da mancha aquosa em meloeiro podendo ser utilizado como uma alternativa no manejo integrado desta bacteriose.

Palavras-chave: Indução de resistência, componentes epidemiológicos, escória de siderurgia, *Acidovorax citrulli*, fluorescência da clorofila, silício.

GENERAL ABSTRACT

Melon bacterial blotch (BFP) caused by *Acidovorax citrulli* (Ac) is responsible for substantial yield losses in Northeastern Brazil. The research had the followings objectives: 1) evaluating the effects of different silicon sources supplied to the roots and the leaves on the melon bacterial blotch control as a function of disease epidemiological components, and plant nutrition and development 2) evaluating the enzyme activity and monitoring the photosynthetic damage in melons supplied with silicon and inoculated by the pathogen. In the first experiment sources silicon were applied to the roots and spreaded to the leaves. Plants spreaded with Acybenzolar-S-Methyl were a standard control. At the second experiment the effect of slag doses applied to the roots were evaluated on the BFP. The slag was the most effective silicon source to reduce the severity of BFP in the first experiment. Slag was added to soil at the rates 0.00; 0.12; 0.24; 0.47 e 1.41 g kg⁻¹ Si. After a 20-day incubation period soil samples were taken and yellow melon hybrid seedlings AF 4945 and “pele-de-sapo “Medellín were transferred to soil. The following characteristics were evaluated: incubation period, disease index, area below the progress curve of the disease, and incidence at 20 days after inoculation. Analysis of plant growth and development as well as nutrients accumulation were done in 45 days-old plants. The results demonstrated that the 0.71 g kg⁻¹Si rate promoted the higher significant reductions to the IDO (38.69 and 36.69%) and AACPD (38.38 and 37.54) to the AF 4945 and Medellin hybrids, respectively, as compared to the control plants (0.00 g kg⁻¹ Si). This rate also was the most appropriate to the soil fertility and plant growth as well nutrition. Thus, the slag at the 0.71 g kg⁻¹ Si rate was used in a field experiment objecting to evaluate its effectiveness in this field conditions. Beside to indicate the appropriate source, way and rate silicon, the greenhouse trials showed that the level of total soluble phenolics and soluble proteins as well the activity of the enzymes ascorbate peroxidase (APX), peroxidases (POXs) and polyphenoxidasas (PPOS). The lignin content in the shoot dry plants and the pigments (chlorophyll a, chlorophyll b and total chlorophyll) on leaves significantly increased for plants supplied with Si compared with –Si treatment. The fluorescence analyses was sensitive to changes caused by *A. citrulli* infection detecting high stress level on plants control as compares with plants supplied with Si. In the field, slag promoted reductions to the AACPD (10%), IDO (14%) and to the BFP incidence on fruits (12%). Furthermore, the slag fertilization significantly elevated the level of soluble solids by

8% end the pulp thickness by 7%, regardless the hybrid. Results of this study indicate that root application of slag has great potential for reducing melon bacterial blotch what suggest its use as an alternative in the integrated management of this disease.

Key words: resistance induction, epidemiological components, *Acidovorax citrulli*, chlorophyll fluorescence, silicon.

CAPÍTULO I

INTRODUÇÃO GERAL

POTENCIAL DE FONTES DE SILÍCIO NO MANEJO DA MANCHA AQUOSA EM MELOEIRO

INTRODUÇÃO GERAL

1. A CULTURA DO MELOEIRO E A MANCHA AQUOSA (*Acidovorax citrulli*)

1.1 A cultura do meloeiro

O meloeiro (*Cucumis melo* L.) é uma espécie dicotiledônea pertencente a família Cucurbitaceae, perene na natureza, sendo explorada como planta anual. O sistema radicular é superficial e praticamente sem raízes adventícias; o caule é herbáceo, de crescimento rasteiro ou prostrado; as folhas são pecioladas, grandes, divididas em três a cinco lobos e com pilosidade de textura aveludada; as flores são amarelas constituídas por cinco pétalas e estão presentes como imperfeitas, perfeitas ou hermafroditas em pontos diferentes da planta. Os frutos são geralmente amarelos, amarelados ou verdes; e as sementes ovaladas e comprimidas. O sabor e aroma peculiares dos frutos fazem com que essa hortaliça seja muito apreciada no Brasil e no mundo, sendo consumida em larga escala em países da Europa, nos Estados Unidos e no Japão (FONTES; PUIATTI, 2005).

É uma planta muito exigente quanto ao solo, preferindo os de textura média: franco-arenoso ou areno-argiloso, profundos, de fácil drenagem, com níveis adequados de nutrientes e com pH na faixa de 6,0 a 7,5. O meloeiro é uma das cucurbitáceas mais exigentes em relação à adubação, sendo necessário para esse fim que se tenha um conhecimento do solo, das exigências nutricionais da planta e dos nutrientes que devem ser aplicados na cultura, principalmente no que se refere à época, o modo, a quantidade e a fonte usada na aplicação de cada nutriente (GRANGEIRO et al., 2002).

O cultivo é feito em clima quente e seco, com temperatura ideal variando de acordo com o estágio fenológico da cultura. É propagado por sementes e a colheita ocorre entre 60 a 75 dias após o plantio, dependendo da cultivar utilizada (COSTA et al., 2001). O fruto é consumido “in natura”, com expressivo valor nutritivo na forma de

hidratos de carbono e vitaminas, além de fósforo e cálcio (COSTA et al., 2001), e tem propriedades estimulantes, diuréticas e laxativas (COSTA; GRANGEIRO, 2003).

As variedades botânicas foram agrupadas e os principais melões produzidos comercialmente pertencem hoje a dois grupos: *Cucumis melo* var. *inodorus* Naud. e *C. melo* var. *cantaloupe* Naud., correspondendo respectivamente, aos melões inodoros e aos melões aromáticos. Os frutos pertencentes ao grupo *C. melo* var. *inodorus* são denominados melões de inverno, que apresentam casca lisa ou levemente enrugada, coloração amarela, branca ou verde escura. A polpa é geralmente espessa (20 a 30 mm), de coloração que varia de branco a verde-claro, com elevado teor de açúcares. Possuem longo período de conservação pós-colheita, são mais resistentes ao transporte à longa distância e ao armazenamento em temperatura ambiente e, geralmente, têm frutos maiores e mais tardios que os aromáticos (FERNANDES, 1996; FREITAS, 2003).

Frutos pertencentes ao grupo *C. melo* var. *cantaloupe* são muito aromáticos, sendo mais doces que os *inodorus*. Apresentam superfície reticulada, verrugosa ou escamosa, podendo apresentar gomos, e possuem polpa de coloração alaranjada, salmão ou às vezes, verde (FERNANDES, 1996). Necessitam de maiores cuidados no manejo cultural e na pós-colheita, principalmente em relação à cadeia de frio (FREITAS, 2003).

Do ponto de vista comercial, a classificação é feita em tipos, que correspondem a grupos de cultivares ou híbridos que apresentam características semelhantes (MENEZES et al., 2000). Os melões mundialmente cultivados, e de maior expressão econômica, são os tipos Amarelo ou Valenciano (*C. melo* var. *inodorus*), Cantaloupe (*C. melo* var. *cantaloupe*), Honeydew (*C. melo* var. *inodorus*), Pele-de-Sapo (*C. melo* var. *inodorus*), Gália (*C. melo* var. *cantaloupe*) e Charentais (*C. melo* var. *cantaloupe*) (CRISÓSTOMO et al., 2002). No Nordeste brasileiro é produzido principalmente o melão tipo Amarelo mais conhecido no mercado mundial como melão espanhol, destacando-se pela resistência ao transporte e maior conservação pós-colheita (MENEZES et al., 2000)

O melão é a principal fruta fresca exportada pelo Brasil em volume. A produção brasileira de melão cresceu 18,7% entre 2009 e 2010, passando de 402.959 mil para 478.431 mil toneladas. Nesse período, houve um aumento de 7,5% da área cultivada com melão, passando de 17.559 ha para aproximadamente 18.870 ha. O Nordeste é a principal região produtora, sendo responsável por 16.308 ha dessa área com um rendimento médio de 28 toneladas/ha. O aumento na área cultivada, verificada principalmente na Região Nordeste, que atualmente responde por cerca de 95% da

produção nacional, deve-se principalmente às condições climáticas da região que permitem o cultivo do meloeiro em praticamente o ano todo. O estado do Rio Grande do Norte destaca-se como o maior produtor dessa região, seguido do Ceará, Bahia e Pernambuco (IBGE, 2009; IBGE, 2010). O Brasil em 2010 exportou 759 mil toneladas de frutas frescas, sendo o melão responsável por 23,41 % desse montante, liderando o ranking com 178 mil toneladas (IBRAF, 2010). Este aumento na produção elevou o Brasil a um dos principais produtores mundiais, saltando da vigésima posição para a décima segunda posição.

O aumento da área cultivada, a elevação da produtividade de frutos e o desenvolvimento de novos materiais genéticos, têm resultado em melhorias no manejo da cultura do meloeiro (CRISÓSTOMO et al., 2002). Na região Nordeste, as grandes empresas adotam um alto nível tecnológico no desenvolvimento da cultura, como uso de irrigação localizada por gotejamento, da cobertura plástica de polietileno (mulch) e da manta térmica tecido-não-tecido (TNT) (SANTOS et al., 2001).

Nos estados do Rio Grande do Norte, Ceará, Bahia e Pernambuco, as regiões produtoras caracterizam-se pela presença de empresas de médio e grande porte que lideram este agronegócio, mas também de muitos pequenos produtores que escoam a produção via grandes empresas (BUAINAIN; BATALHA, 2007). Nesta atividade, ao longo de toda sua cadeia produtiva são gerados cerca de 60.000 empregos diretos e indiretos. (TAVARES, 2002).

Além das pragas, o melão é suscetível a diversas doenças que podem causar prejuízos econômicos pela redução da quantidade e/ou qualidade de frutos comercializados (ALVES, 2000). Dentre os patógenos que ocorrem nessa cultura, as bactérias vêm assumindo uma importância crescente, destacando-se no Brasil *Acidovorax citrulli* (Schaad et al.) Schaad et al. [(Sin: *A. avenae* subsp. *citrulli* (Schaad et al.) Willems et al. *Pseudomonas pseudoalcaligenes* subsp. *citrulli* Schaad et al.; *Pseudomonas avenae* subsp. *citrulli* (Schaad et al.) Hu et al.)], como a mais importante, além de *Pectobacterium carotovorum* subsp. *carotovorum* (Jones) Hauben et al.; *Pseudomonas syringae* (Van Hall); *Pseudomonas syringae* pv. *lachrymans* (Smith; Bryan) Young et al.; *Pseudomonas cichorri* (Swingle) Stapp; *Pseudomonas* sp. (Migula); *Xanthomonas campestris* pv. *cucurbitae* (Bryan) Dye; e em outros países produtores, *Erwinia ananas* (Serrano) e *Erwinia tracheiphila* (Smith) (SALES JUNIOR; MENEZES, 2001; TAVARES, 2002). As razões para essa crescente importância são diversas, com destaque para o desequilíbrio progressivo do

agrossistema, o emprego de variedades com alto potencial produtivo, porém suscetíveis, e a própria agressividade das fitobactérias, capazes de sobreviver de forma variada e de se disseminar eficazmente com particular rapidez, se estabelecendo com sucesso quando introduzidas em determinadas regiões agrícolas.

Acidovorax citrulli é o agente causal da mancha aquosa, que embora ocorra esporadicamente em muitas partes do mundo, por causa de seu alto potencial destrutivo representa a principal ameaça para as indústrias globais de produção de melancia (*Citrullus lanatus* (Thunb.) Matsum & Nakai) e melão (BURDMAN; WALCOTT, 2012). No Nordeste brasileiro, a mancha aquosa é a principal doença bacteriana que acomete o meloeiro, principalmente na estação chuvosa, ocasionando grandes perdas na produção e depreciação no valor comercial do fruto (SALES JÚNIOR; MENEZES, 2001).

1.2 Mancha aquosa do meloeiro (*Acidovorax citrulli*)

Acidovorax citrulli é uma bactéria Gram negativa, em forma de bastonete, aeróbica e móvel por um flagelo polar. Apresenta bom crescimento no meio de cultura Ágar nutritivo – extrato de levedura – dextrose (NYDA) (PUSEY; WILSON, 1984), onde forma colônias pequenas com 0,7 a 1,0 mm, brancas ou cremes, e não é fluorescente em meio de King B. Cresce a temperatura de 41°C, mas não a 4°C. Não hidrolisa a arginina e apresenta reação positiva para os testes de catalase, oxidase, urease e lipase (SCHAAD et al., 1978). Conforme a descrição do isolado tipo (*P. pseudoalcaligenes* subsp. *citrulli*), a espécie não induz reação de hipersensibilidade em fumo (*Nicotiana tabacum* L.), contudo, essa reação já foi observada em diversos isolados dessa bactéria (SOMODI et al., 1991; RANE; LATIN, 1992; SILVEIRA et al., 2003).

A mancha aquosa foi relatada pela primeira vez em melancia nos Estados Unidos em 1965, causando manchas encharcadas em plântulas (WEBB; GOTH, 1965) e tem sido relatada em várias regiões produtoras deste país e em diversos outros países do mundo.

Em melão, o primeiro relato da doença nos Estados Unidos foi em 1996, especificamente na Flórida, Carolina do Sul e Indiana e, posteriormente no Texas, em melão Cantaloupe com incidência de frutos doentes superior a 50% (ISAKEIT et al., 1997). No Brasil, foi registrada em meloeiro nas regiões Nordeste, Sudeste e Centro-

Oeste por Robbs et al. (1991), sendo hoje um problema nas áreas produtoras do Nordeste. Em 1997, a mancha aquosa foi detectada pela primeira vez no Rio Grande do Norte (ASSIS et al., 1999). Em seguida foi assinalada no Ceará (SANTOS; VIANA, 2000), Rio Grande do Sul (UENO et al., 2003), Minas Gerais (MACAGNAN et al., 2003), Pernambuco (MARIANO; SILVEIRA, 2004) e Bahia (MARIANO et al., 2004). As perdas de produção giram em torno de 40 a 50%, todavia, chegou a dizimar totalmente algumas lavouras nos municípios de Quixeré (Ceará) e Mossoró (Rio Grande do Norte) nos períodos chuvosos (SANTOS; VIANA, 2000).

Não existe cultivar resistente, de forma que todos os tipos de melão apresentam suscetibilidade à bactéria, incluindo Amarelo, Orange Flesh, Pele-de-Sapo, Charentais e Gália (LATIN, 1997; MARIANO et al., 2001).

A mancha aquosa pode expressar-se através de sintomas em qualquer fase de desenvolvimento da planta, ocorrendo em plântulas, folhas e frutos, sendo mais comuns e facilmente visualizados nos frutos. Em plântulas oriundas de sementes infectadas, as lesões encharcadas são observadas nos hipocótilos e cotilédones, progredindo para verde-escuras (SANTOS; VIANA, 2000) e marrons nos cotilédones e às vezes necrose do hipocótilo, podendo levar ao colapso total ou tombamento e morte das mudas, após alguns dias (HOPKINS et al., 1996).

As lesões nas folhas de plantas adultas são inicialmente pequenas, com aspecto oleoso e coloração verde-clara, assumindo posteriormente uma coloração marrom-escura (SANTOS; VIANA, 2000), com ou sem halo (HOPKINS et al., 1996). Lesões são freqüentemente observadas ao longo das nervuras ou nas margens da folha (O'BRIEN; MARTIN, 1999). Dependendo das condições climáticas e da cultivar, as manchas podem crescer e coalescer, e a necrose estender-se por quase toda a área foliar (SALES JÚNIOR; MENEZES, 2001).

Nos frutos maduros antes da colheita, onde os sintomas são mais visíveis, a casca apresenta manchas verde-oliva, oleosas, variando de 1 a 5 mm de diâmetro, com ou sem halo, as quais progridem rapidamente, coalescem, tornando-se aquosas, marrom-claras ou marrom-escuras, podendo atingir grandes áreas da casca. No centro das lesões podem ocorrer rachaduras as quais permitem a entrada de outros microrganismos que aceleram o apodrecimento do fruto (SANTOS; VIANA, 2000; COSTA et al., 2001).

Internamente, os sintomas variam com a idade do fruto e com seu estágio de desenvolvimento no momento da infecção. A bactéria, em geral, coloniza a polpa do fruto, onde causa podridão seca, contaminando a semente externa e internamente

através da região do hilo, o que dificulta a erradicação (ISAKEIT, 1999). A necrose ou simples lesão na casca não reflete o dano que ocorre na polpa imediatamente abaixo, assim, a parte interna já pode estar bastante comprometida, mesmo quando a lesão externa tem apenas 0,5 cm a 2,0 cm de diâmetro (O'BRIEN; MARTIN, 1999).

A disseminação de *A. citrulli* a longa distância é feita principalmente por sementes contaminadas (O'BRIEN; MARTIN, 1999; OLIVEIRA et al., 2001) e transplantio de mudas de cucurbitáceas infectadas (HOPKINS et al., 1996). *A. citrulli* é uma habitante de sementes e por elas transmitidas, sendo as sementes contaminadas a mais importante fonte de inóculo primário para epidemias da mancha aquosa (BURDRMAN; WALCOT, 2012). Transmissão semente-plântula tem sido relatada para uma ampla gama de cucurbitáceas, incluindo melancia, melão, abóbora, abobrinha e pepino, embora sintomas em frutos não ocorram para todas as hospedeiras (HOPKINS; THOMPSON, 2000) Após a germinação da semente contaminada, a bactéria é facilmente disseminada para plântulas ou plantas vizinhas através de respingos de água de chuva e irrigação, solos infestados, insetos, implementos agrícolas, operários de campo (SANTOS; VIANA, 2000) e aerossóis (HOPKINS et al., 1992). Lesões foliares e populações epifíticas servem como reservatórios de *A. citrulli* e contribuem para o desenvolvimento da mancha aquosa em frutos (BURDRMAN; WALCOT, 2012) e as sementes oriundas de frutos infectados abandonados no solo podem resultar em plantas voluntárias infectadas, servindo de inóculo primário para o próximo plantio. A bactéria pode disseminar-se rapidamente em condições favoráveis de temperatura e umidade, e poucos sítios de infecção primária no campo podem ocasionar 100% de infecção de frutos na época da colheita (HOPKINS et al., 1992). A disseminação de *A. citrulli* na pós-colheita pode ocorrer de forma limitada através do contato entre frutos saudáveis e doentes (RUSHING et al., 1997).

Sementes infectadas ou infestadas originam plântulas doentes; a bactéria se dissemina entre as plântulas (HOPKINS, 1993), sendo responsável por significativa proporção de mudas infectadas (HOPKINS, 1994); à medida que as plantas vão crescendo no campo, o patógeno dissemina-se para novas folhas e plantas vizinhas; lesões nas folhas são a principal fonte de inóculo para frutos imaturos (HOPKINS, 1995); frutos maduros infectados deixados no campo servem como fonte de infecção para plantas saudáveis (LATIN, 1996) e os colhidos, como fonte de infecção limitada, por contato, na pós-colheita em melancia (RUSHING et al., 1997).

A bactéria penetra nas folhas de meloeiro através dos estômatos e nos frutos via estômatos e lenticelas, sendo os frutos verdes mais susceptíveis à invasão por *A. citrulli* do que os maduros. Após o período inicial de maturação, depósitos de cera na superfície dos frutos bloqueiam os estômatos e previnem a invasão (SILVA NETO et al., 2006). *A. citrulli* penetra nas sementes pelo sistema vascular da planta, muito embora a abertura na região do hilo tenha a capacidade de servir como acesso durante o processo de extração das sementes (HOPKINS et al., 1996). Flores também são consideradas um potencial local de penetração de *A. citrulli*, a qual foi detectada no estigma e estilete de flores de melancia (WALCOTT et al., 2003; LESSL et al., 2007).

A sobrevivência de *A. citrulli* dar-se de forma eficiente em sementes, existindo relatos da manutenção do nível de transmissão da mancha aquosa durante seis meses em sementes de melão tipo Amarelo armazenadas em condições de laboratório procedentes de frutos infectados de áreas produtoras de Mossoró (OLIVEIRA et al., 2001), e, por 12 meses em sementes de melancia (HOPKINS et al., 1996).

Em condições de campo, *A. citrulli* sobrevive em plântulas voluntárias, isto é, em plântulas de meloeiro provenientes de sementes de frutos infectados deixados no campo, de um cultivo para outro, como também em hospedeiras alternativas como as cucurbitáceas nativas melão-de-são-caetano (*Momordica charantia*), bucha (*Luffa cylindrica*) (SANTOS; VIANA, 2000) e melão-pepino (*Cucumis melo* var. *cantalupensis*) (OLIVEIRA et al., 2003) presentes em áreas de cultivo de meloeiro. Aparentemente a bactéria não sobrevive no solo mais do que algumas semanas na ausência de uma planta hospedeira (ISAKEIT, 1999). Oliveira (2008) relatou a sobrevivência da bactéria por apenas três dias nos sete tipos de solos de cultivo de meloeiro estudados.

Além da melancieira e meloeiro, a abóbora (*Cucumis maxima* L.) (LANGSTON et al., 1999) é hospedeira de *A. citrulli*. Hopkins e Thompson (2000) observaram a transmissão do patógeno em sementes obtidas de frutos inoculados, mas sem sintomas, de abóbora, pepino (*Cucumis sativus* L.) e abobrinha (*Cucumis pepo* L.). Em estação de quarentena em Israel, a bactéria foi detectada em plântulas de tomate (*Solanum lycopersicon* L.) e berinjela (*Solanum melongena* L.) provenientes de sementes importadas dos Estados Unidos da América (ASSOULINE et al., 1997), porém não são conhecidas infecções naturais dessas culturas (O'BRIEN; MARTIN, 1999). No Brasil, Robbs et al. (1991) obtiveram sintomas da doença, inoculando o patógeno em pepino, abóbora e chuchu (*Sechium edule* L.). Inoculações artificiais de *A. citrulli* em pepino,

melancia, maxixe (*Cucumis anguria* L.), abóbora moranga (*Cucurbita maxima* Duchesne), tomate, berinjela e pimentão (*Capsicum annuum* L.) resultaram em sintomas (NASCIMENTO et al., 2004). Também são citadas como hospedeiras alternativas de *A. citrulli* as cucurbitáceas melão-de-são-caetano (*Momordica charantia* L.), bucha (*Luffa cylindrica* M. Roem.) (SANTOS; VIANA, 2000) e melão-pepino (*Cucumis melo* var. *cantalupensis* Naud.) (OLIVEIRA et al., 2001). Na Austrália e no Texas, respectivamente, as plantas invasoras *Cucumis myriocarpus* L. e *Citrullus lanatus* (Thunb.) Mansf. var. *citroides* (Bailey) Mansf foram assinaladas como hospedeiras da bactéria (ISAKEIT, 1999; O'BRIEN; MARTIN, 1999).

Não se dispõem atualmente de resultados concretos para o controle da mancha aquosa em meloeiro no Nordeste, sendo indicadas medidas preliminares, baseadas em experiências de outras regiões e resultados obtidos com outras culturas hospedeiras do mesmo patógeno (VIANA et al., 2000). Sabe-se, contudo, que uma vez introduzida em uma área, a erradicação é muito difícil (SALES JÚNIOR; MENEZES, 2001).

Atualmente, não há cultivares comerciais de cucurbitáceas com resistência à mancha aquosa. Assim, o efetivo manejo desta bacteriose requer a integração de medidas que foquem as sementes, o transplântio de mudas e a produção dos frutos. Como as sementes são as mais importantes fontes primárias de inóculo, esforços em prevenir a infecção são críticos. Uma ampla gama de medidas têm sido sugeridas para descontaminação de sementes, entretanto nenhuma medida é 100% efetiva. Os fatores que influenciam a efetividade dos tratamentos de sementes incluem: a) a habilidade do tratamento em penetrar a casca da semente, e b) a localização da bactéria externa e/ou internamente à semente (BURDMAN; WALCOTT, 2012).

O controle químico, tratando-se as sementes com sulfato de estreptomicina e hipoclorito de sódio a 0,5% por 20 minutos, ácido clorídrico a 1,8% por 5 minutos (RANE; LATIN, 1992), ácido láctico a 2% por 20 minutos (Santos; Viana, 2000) ou com sulfato de estreptomicina por 16 horas (1 mg mL^{-1}) (SOWELL; SCHAAD, 1979), têm reduzido consideravelmente a transmissão no campo, mas, geralmente não têm êxito em erradicar a bactéria internamente às sementes. Hopkins et al. (2003) também mostraram que o tratamento de sementes com ácido peróxiacético ($1600 \mu \text{ mL}^{-1}$) por 30 minutos eliminou *A. citulli* de sementes de melancia e melão. Entretanto, independentemente do uso rotineiro desse ácido na produção comercial de sementes, epidemias da mancha aquosa continuam a ocorrer, o que sugere que estes tratamentos não são 100% efetivos. O controle físico, tratando as sementes com água quente a 52°C por 10 minutos, é uma

medida recomendada, desde que não interfira na fisiologia da semente e consiga diminuir a transmissão no campo (SANTOS; VIANA, 2000).

Para evitar a doença em cultivos estabelecidos, deve ser realizada a proteção da planta através de aplicações quinzenais ou semanais com fungicidas cúpricos, iniciando-se na floração, ou antes, e prolongando-se até a maturação dos frutos (WALCOTT et al., 2001). Sales Júnior et al. (2005) obtiveram resultados positivos na redução da incidência da mancha aquosa em frutos de meloeiro em campo com o uso de oxiclreto de cobre (1250 ppm), Kasugamicina (70 ppm), Kasugamicina+oxiclreto de cobre (40+1250 ppm) e sal de oxitetraciclina (82 ppm). Apesar da grande disponibilidade de compostos antimicrobianos que são efetivos contra *A. citrulli*, os tratamentos foliares mais amplamente utilizados são à base de cobre, os quais são aplicados preventivamente de forma protetora.

O meloeiro apresenta algumas peculiaridades que dificultam o controle fitossanitário, dentre as quais se destacam o ciclo curto desta cultura, cerca de 60 dias em média, e o plantio de forma escalonada, favorecendo a migração das pragas e patógenos de uma cultura mais velha para uma recém-plantada (BLEICHER; MELO, 1998; FERNANDES et al., 2000). Esse fato faz com que sejam utilizadas grandes quantidades de defensivos agrícolas para o controle das pragas e doenças. E, esta prática, ao longo do cultivo, empobrece a biodiversidade benéfica à cultura do melão, gera espécies resistentes às substâncias químicas utilizadas, contribui para a contaminação do solo, pela acumulação dos metais pesados, para a contaminação das águas, pela lixiviação e carreamento desses compostos e para a contaminação dos seres vivos, devido à bioacumulação ao longo do tempo. Outra grave consequência, é que os frutos, geralmente consumidos “in natura”, podem apresentar altos índices de resíduos de agrotóxicos, colocando em risco a saúde do consumidor e dificultando ou até mesmo impedindo a exportação destes produtos, devido às restrições impostas pelos mercados importadores (MENEZES et al., 2000).

Ainda, segundo Burdman e Walcott (2012), tratamentos de desinfestação de sementes, avaliações de sanidade de sementes e controle químico no campo, são medidas limitadas em suas habilidades em reduzir as perdas associadas à mancha aquosa do meloeiro, o que somado a inexistência de fontes comerciais de resistência torna difícil o controle desta doença. Portanto, há uma demanda crescente por compostos e estratégias alternativas ambientalmente corretas no controle das doenças do meloeiro.

Desta forma, uma linha de controle que vem ganhando espaço entre os produtores de melão, em aplicações conjuntas com produtos bactericidas ou em aplicação isolada, é o uso de elicitores ou indutores de resistência. A utilização deste grupo de compostos é uma estratégia promissora e ecologicamente correta, já que a presença desses na planta estimula a ativação das defesas naturais das mesmas (PEREIRA, 2005).

Outras medidas de controle, principalmente após a entrada de *A. citrulli* no campo são: rotação de culturas por pelo menos três anos; evitar plantio em áreas úmidas ou em períodos de muitas chuvas; efetuar adubação equilibrada, evitando excesso de nitrogênio (VIANA et al., 2000); erradicar plântulas/plantas com sintomas e plantas voluntárias; destruir restos culturais, principalmente em campos infectados; evitar movimentação de pessoas ou implementos no campo quando as plantas estiverem molhadas (orvalho, irrigação, chuva); evitar plantio direto (O'BRIEN; MARTIN, 1999); e eliminar cucurbitáceas silvestres, como a bucha e o melão-de-são-caetano (VIANA et al., 2000).

O uso de agentes potencializadores e/ou indutores das defesas da planta é uma alternativa que atende aos requisitos de eficiência de controle e menor impacto ambiental. Apesar de não evitar a doença, a maioria dos agentes reduz sua intensidade entre 20 e 85%, além de possuir amplo espectro e longa duração (WALTERS; FOUNTAINE, 2009; DALLAGNOL, 2010). Dentre os inúmeros agentes utilizados para o controle de doenças em plantas, o silício (Si) se destaca pelos seus benefícios, não somente no controle de pragas e doenças, mas também pelo aumento da produtividade e qualidade das culturas (MITANI et al., 2005; DALLAGNOL, 2010). No caso de controle de doenças, Datnoff et al. (2007) reportam inúmeros relatos de redução na intensidade de doenças em mono e dicotiledôneas causadas por patógenos necrotróficos, hemibiotróficos e biotróficos.

2. SILÍCIO NO CONTROLE DE DOENÇAS DE PLANTAS

2.1 Silício no solo

O silício (Si), depois do oxigênio, é o segundo elemento mais abundante do solo, constituindo aproximadamente 28% da crosta terrestre (EPSTEIN, 1991; WEDEPOHL, 1995). É encontrado somente em formas combinadas, como a sílica e minerais

silicatados. Os silicatos são minerais nos quais a sílica é combinada com oxigênio ou outros elementos como Al, Mg, Ca, Na, Fe e K e outros, em mais de 95% das rochas terrestres, meteoritos, em todas as águas e na atmosfera (SAVANT et al., 1997). Os minerais silicatados mais comuns são o quartzo, os feldspatos alcalinos e os plagioclásios (EXLEY, 1998).

O Si encontra-se presente na solução do solo como ácido monossilícico $[\text{Si}(\text{OH})_4]$, a maior parte em forma não dissociada, a qual é prontamente disponível às plantas. Devido à dessilicatização causada pelo intenso intemperismo e lixiviação dos solos tropicais, as formas de Si mais encontradas nesses solos são quartzo, opala ($\text{SiO}_2 \cdot n\text{H}_2\text{O}$) e outras formas não disponíveis às plantas. As formas de Si quimicamente ativas no solo são representadas pelo ácido monossilícico solúvel e fracamente adsorvido, ácido polissilícico, e compostos organo-silícicos (MATICHENKOV; CALVERT, 2002).

As principais fontes de ácido monossilícico para a solução do solo são: decomposição de resíduos culturais; dissociação de ácidos polissilícicos; dessorção de Si dos óxidos e hidróxidos de Fe e Al; dissolução de minerais cristalinos e não cristalinos; adição de fertilizantes silicatados; e água de irrigação. Os principais drenos incluem a precipitação do Si em solução; a polimerização de ácidos monossilícicos formando ácido polissilícico; lixiviação; adsorção em óxidos e hidróxidos de Fe e Al, além da absorção pelas plantas (SAVANT et al., 1997)

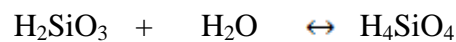
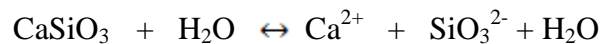
Solos tropicais e subtropicais sujeitos ao intemperismo e a lixiviação, com cultivos sucessivos tendem a apresentar baixos níveis de Si trocável, devido à dessilicificação. Assim, muitas culturas de relevante importância nacional agrícola têm se beneficiado com a fertilização silicatada, com consideráveis aumentos de produtividade (BARBOSA-FILHO et al., 2000; KORNDÖRFER et al., 1999; KORNDÖRFER et al., 2002).

Estes solos, normalmente apresentam baixo pH, alto teor de alumínio, baixa saturação por bases e alta capacidade de fixação de fósforo, além de reduzida atividade microbiológica (LIMA FILHO et al., 1999). Particularmente nesses solos, os fertilizantes silicatados podem influenciar as culturas de duas formas: (1) melhorando as propriedades químicas e fertilidade do solo e (2) agindo diretamente sobre o crescimento e desenvolvimento vegetal (MATCHENKOV; CALVERT, 2002).

Os silicatos têm no solo, comportamento similar ao dos carbonatos de cálcio e magnésio, sendo capazes de elevar o pH, neutralizar o Al trocável e estão associados

ainda ao aumento da disponibilidade de Si solúvel e dos teores de Ca e Mg trocáveis, o que promove maior saturação por bases e menor saturação por Al (EPSTEIN,1999; SAVANT et al., 1999).

Os fertilizantes silicatados são normalmente neutros a ligeiramente alcalinos (LINDSAY, 1979). Segundo Savant et al. (1999), o efeito corretivo da acidez do solo promovida pelos silicatos acontece pelas reações dos ânions SiO_3^{2-} com os prótons H^+ na solução do solo, como mostrado no esquema abaixo:



As fontes de Si normalmente utilizadas em pesquisas são os metassilicatos de sódio e potássio, além do ácido silícico, com efeitos semelhantes (BÉLANGER et al., 1995). Existe grande diversidade de fontes de silício usadas na agricultura. Além dos produtos especialmente desenvolvidos para aplicações foliares, termofosfatos e diferentes escórias industriais são aplicadas ao solo e adicionam significativas quantidades de silício, juntamente com outros nutrientes (LIMA FILHO et al., 1999). A forma presente na maioria dos produtos para aplicação via solo disponíveis no Brasil é o silicato de cálcio (CaSiO_3), sendo o teor de SiO_2 da fonte variável conforme a origem do material.

Por meio do Decreto n° 4954, aprovado pela Presidência da República em 14 de janeiro de 2004, o silício foi incluído na lista de micronutrientes, podendo ser comercializado legalmente como fertilizante. Pela instrução normativa n° 05 de 27 de fevereiro de 2007, as escórias de siderurgia, bem como os silicatos de cálcio e/ou magnésio, devem apresentar teores de cádmio e chumbo menores que 20 e 1.000 mg kg^{-1} para que possam serem utilizadas como fertilizantes e/ou corretivos de solo na agricultura.

2.2 Silício na planta

O Si não é considerado essencial para vegetais superiores, porque não atende aos critérios diretos e indiretos de essencialidade. Porém, sua absorção pode ocasionar efeitos benéficos para algumas culturas, como: resistência a doenças e pragas, tolerância à toxicidade por metais pesados a estresses hídricos e salinos, menor evapotranspiração,

promoção de crescimento e nodulação em leguminosas, efeito na atividade de enzimas e na composição mineral, melhoria da arquitetura da planta, redução no acamamento e conseqüente aumento da taxa fotossintética (EPSTEIN, 1999; CUNHA et al., 2008).

As plantas absorvem Si como ácido monossilícico $[\text{Si}(\text{OH})_4]$, forma não dissociada presente na solução do solo em concentrações de 0,1 a 0,6 mmol L^{-1} e, em menor quantidade, como $\text{Si}(\text{OH})_3\text{O}^-$, forma iônica predominante em $\text{pH} > 9$ (EPSTEIN, 1994). A acumulação de Si nos tecidos vegetais varia entre 0,1 e 10% da matéria seca (MA; TAKAHASHI, 2002; CURRIE; PERRY, 2007). Essa ampla variação na concentração de Si nos tecidos é atribuída, principalmente, a características de absorção e transporte de Si pelas plantas (EPSTEIN, 1994; MA; YAMAJI, 2006). A maioria das espécies absorve Si por difusão passiva, de modo que o Si chega ao xilema e alcança a parte aérea acompanhando o fluxo de transpiração. Entretanto, espécies das famílias *Poaceae*, *Equisetaceae* e *Cyperaceae*, que apresentam alta acumulação de Si (> 4% de Si em peso seco), absorvem Si de forma ativa (CURRIE; PERRY, 2007). Nesse caso, o Si é absorvido via proteínas específicas de membranas, o que garante o acúmulo de Si pela planta, independentemente do gradiente de concentração (OLIVEIRA et al., 2007).

O Si absorvido pelas raízes é transportado para parte aérea e depositado intra ou extracelularmente nos tecidos vegetais como sílica amorfa hidratada ($\text{SiO}_2 \cdot n\text{H}_2\text{O}$). Em gramíneas, como milho (*Zea mays* L.), arroz (*Oryza sativa* L.) e sorgo (*Sorghum bicolor* (L.) Moench.), a sílica é depositada na forma de corpos silicosos, principalmente nas células epidérmicas, silicosas e buliformes, e nos estômatos e tricomas foliares (CURRIE; PERRY, 2007). Em muitas espécies pode ser encontrada abaixo da cutícula uma densa camada formada pela deposição de sílica. A formação dessa camada tem sido fundamental em condições de estresse biótico e abiótico, contribuindo para reduzir a perda de água por transpiração e aumentar a sua eficiência (NWUGO; HUERTA, 2008), servindo como uma barreira mecânica à penetração de patógenos e mastigação de herbívoros (EPSTEIN, 1999; SAVANT et al., 1999).

São classificadas como plantas acumuladoras de Si aquelas cujos teores de SiO_2 variam de 1 a 3% na matéria seca e não acumuladoras plantas com menos de 0,5% de SiO_2 (MARSCHNER, 1995). Ma et al. (2001) definiram como acumuladoras as plantas com teor de Si superior a 1% e com relação molar Si/Ca maior que 1, sendo as gramíneas como arroz e trigo (*Triticum vulgare* Vill.) exemplos deste grupo; plantas como soja (*Glycine max* L.) e as cucurbitáceas, com 0,5 a 1% de Si na matéria seca, porém com relação molar Si/Ca inferior a 1 são classificadas como intermediárias, já

plantas não acumuladoras apresentam concentração de Si na matéria seca inferior a 0,5%. Korndorfer et al. (2004) citam teores de Si na matéria seca de folhas jovens de melão variando entre 0,06 a 1,09%.

2.3 Silício como mediador de mecanismos de resistência de plantas à patógenos

O silício (Si) é um elemento mineral de interesse do ponto vista do controle de doenças de plantas, visto que seu acúmulo nos tecidos vegetais está relacionado à reduções na intensidade de diversas doenças causadas por patógenos necrotróficos, hemibiotróficos e biotróficos em inúmeros patossistemas que envolvem tanto plantas mono quanto dicotiledôneas. Os estudos de Si no controle de doenças tiveram início com monocotiledôneas, pois estas absorvem grandes quantidades deste elemento. As doenças do arroz, por exemplo, são as mais eficientemente controladas pelo suprimento de Si às plantas, porém, o interesse pelo estudo em patossistemas envolvendo dicotiledôneas surgiu na segunda metade do século passado, centralizando-se principalmente nos estudos com oídios (DATNOFF et al., 2007).

Os mecanismos de ação mediados pelo Si dependem da forma como esse elemento é fornecido às plantas. No caso de aplicações foliares o mecanismo proposto é a formação de uma barreira físico-química formada pela deposição do Si sobre a superfície foliar (LIANG et al., 2005; RODRIGUES et al., 2010). Quando fornecido às raízes, o controle está associado à ação conjunta da formação tanto de uma barreira física como de uma bioquímica. A barreira física resulta tanto do aumento da rigidez da cutícula, devido à polimerização do Si abaixo da mesma, como pelo reforço da parede celular (HAYASAKA et al., 2008). Em adição a isto, o elemento quando aplicado desta forma desempenha um papel ativo na modulação da expressão do sistema de defesa da planta, induzindo um estado de potencialização e antecipação (*priming*) na atividade de suas enzimas e no aumento das concentrações de compostos fenólicos e fitoalexinas nos sítios de infecção, como já relatado em arábido (*Arabidopsis thaliana* L.), trigo, pepino, tomateiro, meloeiro e morangueiro (*Fragaria xananassa* Duch.) (BÉLANGER et al., 2003; FAWÉ et al., 1998; LIANG et al., 2005; GHAREEB et al., 2011; DALLAGNOL et al., 2012).

As propriedades dos ativadores de resistência sistêmica adquirida e da resistência estimulada pelo Si foram comparadas por Fawé et al. (2001), ficando evidente a semelhança entre os efeitos da aplicação do Si e do uso de indutores de

resistência no surgimento de reações de defesa em plantas. Fawe et al. (1998) relatam que o papel protetor do Si pode ser semelhante em mono e dicotiledôneas, sendo que nestas últimas o modo de ação do Si na resistência ainda não foi bem esclarecido, embora sugira classificar o Si como mediador de resposta de defesa similar ao da resistência sistêmica adquirida.

Há evidências de que o envolvimento dos silicatos na indução de resistência pode ocorrer pela participação do próprio silício, fortificando estruturas da parede celular, com aumento da lignificação, ativação de mecanismos específicos como a produção de fitoalexinas (MENZIES et al., 1991; FAWÉ et al., 2001) e a síntese de proteínas relacionadas à patogênese (CHÉRIF et al., 1994).

Barreiras mecânicas incluem mudanças na anatomia, como células epidérmicas mais grossas e um grau maior de lignificação e ou silicificação. A sílica amorfa ou “opala”, localizada na parede celular, tem efeitos notáveis sobre as propriedades físicas desta. O acúmulo e a deposição de Si nas células da camada epidérmica podem ser barreiras físicas efetivas na penetração da hifa (EPSTEIN, 1994; MARSCHNER, 1995). Deste modo, o papel do Si incorporado à parede celular é análogo ao da lignina, que é um componente estrutural resistente à compressão.

Observações ultra-estruturais sugerem que a silicificação das paredes celulares reduz a troca de material entre patógeno e hospedeiro, reduzindo a senescência prematura, além de agir como barreira física, caso o fungo alcance a parede celular (HEATH; STUMPF, 1986). Assim, o Si agiria de modo semelhante à lignina ou à suberina de algumas plantas, que são depositadas em paredes primárias, ligando-se aos polissacarídeos, para bloquear o avanço do patógeno (FOSKET, 1994).

A barreira física proporcionada pelo Si nas células epidérmicas não é o único mecanismo de combate à penetração das hifas de fungos ou ao ataque de outros patógenos e insetos. Pesquisas têm demonstrado que, em plantas de pepino, o Si age no tecido hospedeiro afetando os sinais entre o hospedeiro e o patógeno, resultando em uma ativação mais rápida e extensiva dos mecanismos de defesa da planta (SAMUELS et al., 1991; CHÉRIF et al., 1992a; CHÉRIF et al. 1992b; CHÉRIF et al., 1994).

Em arroz a deposição e polimerização do ácido monossilícico abaixo da cutícula formando uma camada dupla cutícula-sílica tem sido uma hipótese aceita por alguns pesquisadores para explicar o aumento da resistência hospedeira à penetração por *Pyricularia grisea* (Cooke) Sacc. Kim et al. (2002), estudando os eventos citológicos envolvidos na resistência do arroz à brusone mediada pelo Si, concluíram que a

fortificação da parede celular das células da epiderme do arroz foi a responsável pela redução do número de lesões nas folhas. Porém, os autores não apresentaram nenhuma evidência de que a hifa do fungo não penetrou a parede celular fortificada pela deposição de Si. Rodrigues et al. (2003) investigaram a nível ultra-estrutural e citot químico os eventos da patogênese de *P. grisea* em arroz com aplicação de Si, onde apresentaram as primeiras evidências citológicas de que o aumento na resistência do arroz à brusone mediada pelo Si foi devido ao acúmulo de compostos fenólicos.

Compostos fenólicos e Si acumulam-se nos sítios de infecção. O Si pode formar complexos com os compostos fenólicos e elevar a síntese e a mobilidade destes no apoplasto. Uma rápida deposição de compostos fenólicos ou lignina nos sítios de infecção é um mecanismo de defesa contra o ataque de patógenos e, a presença de Si solúvel facilita este mecanismo de resistência (MENZIES et al., 1991). Pepineiros suplementados com 100 mg kg^{-1} de Si na solução nutritiva apresentaram uma acentuada acumulação de material eletrodense antimicrobiano no tecido hospedeiro infectado por *Pythium ultimum* Trow, com um aumento significativo de células preenchidas com este material. O fungo colonizador foi bastante danificado, freqüentemente, fenóis, também formaram camadas ao longo das paredes primárias e secundárias das células e vasos do xilema (CHÉRIF et al., 1992a).

A fertilização com Si parece induzir o mecanismo de defesa somente em resposta ao ataque do patógeno. Esta indução é expressa através de uma reação em cadeia de várias mudanças bioquímicas associadas, caracterizando uma resposta de defesa rápida e prolongada. Esta característica explica a não especificidade da resistência induzida pelo Si, contra vários patógenos não relacionados entre si (CHÉRIF et al., 1994). A descoberta de que uma nova classe de fitoalexina induzida em pepineiro suplementado com Si após infecção por *Podosphaera xanthii* (Castagne) U. Braun e Shishkoff (FAWE et al., 1998) leva a crer que esse elemento potencializa uma cascata de eventos bioquímicos relacionados com a defesa do pepineiro a patógenos foliares e também no sistema radicular.

Em plantas não acumuladoras de Si, como o tomateiro e o meloeiro, o efeito da barreira mecânica contra a colonização por patógenos não é aplicável para justificar o aumento da resistência hospedeira, visto estas espécies não serem capazes de absorver Si em grandes quantidades. De acordo com Ghareeb et al. (2011) e Dallagnol et al. (2011) para estas espécies de plantas, o Si induz um efeito *priming*, com mudanças na expressão de genes marcadores de defesa sendo principalmente observadas após

desafiar a planta tratada com o Si com o patógeno. Ainda segundo Ghareeb et al. (2011) o estado *priming* observado para o patossistema tomateiro-*Ralstonia solanacearum* (Smith) Yabuuchi et al. pode ser mediado via etileno, ácido jasmônico e/ou rotas sinalizadoras de espécies reativas de oxigênio. Os autores sugeriram ainda que a função protetora do Si não se restringe somente a suas propriedades mecânicas.

O efeito do Si em doenças de etiologia bacteriana não está esclarecido. Nesse contexto, Dannon e Wydra (2004) verificaram que a incidência de plantas de tomateiro com murcha causada por *R. solanacearum* tanto de genótipos suscetíveis ou moderadamente resistentes, foi significativamente reduzida com adição de Si na solução nutritiva. Correlações negativas entre o conteúdo de Si na raiz e o número de bactérias na parte mediana do caule sugeriram uma indução de resistência. Este foi o primeiro relato do efeito de Si em uma doença bacteriana e em uma planta não-acumuladora. A murcha-bacteriana do tomateiro foi ainda estudada por Diogo e Wydra (2007) que relataram redução da incidência da doença em plantas tratadas com Si. Análises imunohistoquímicas sugeriram uma indução de resistência basal em nível de parede celular após tratamento com Si envolvendo mudanças na estrutura de polissacarídeos pécticos. Oliveira et al. (2012) reportaram redução na severidade da mancha angular do algodoeiro (*Gossypium hirsutum* L.) causada pela bactéria *Xanthomonas citri* subsp. *malvacearum* (ex Smith) Schaad et al. com a aplicação de $1,5 \text{ g kg}^{-1}$ de SiO_2 ao solo. Os autores relataram aumento na atividade das proteínas solúveis e das enzimas superóxido dismutase (SOD), ascorbado peroxidase (APX), peroxidase-guaiacol (POX), fenilalanina-amônia-liase (FAL) e glucanases, o que permitiu sugerirem que o Si desempenhou um importante papel na indução de resistência para esse patossistema. Silva et al. (2010) avaliaram o efeito de Si no desenvolvimento e mecanismos bioquímicos envolvidos na resistência potencializada por este elemento no patossistema trigo-*Xanthomonas translucens* pv. *ondulosa*, verificando reduções na área foliar clorótica em 50,2% em plantas tratadas com Si quando comparadas às não tratadas. Os autores sugeriram que o suprimento de Si às plantas de trigo pode aumentar a resistência contra a estria bacteriana possivelmente por um aumento na lignificação dos tecidos e a participação de peroxidases.

Martinati et al. (2007) constataram efeito positivo da aplicação ao solo de soluções de metassilicato de sódio na redução de sintomas da bacteriose causada pela *Xylella fastidiosa* subsp. *pauca* Schaad et al. em plantas de fumo (*Nicotiana tabacum* L.). Já Cazorla et al. (2006) não verificaram efeito isolado da aplicação do Si no

controle da necrose apical bacteriana da mangueira (*Mangifera indica* L.) causada por *Pseudomonas syringae* pv. *syringae* van Hall. Em campo, Ayana et al. (2011) verificaram que a fertilização silicatada (Agrosil 15 kg/100 m²) reduziu a população de *R. solanacearum* em 29,2 e 17,6%, em genótipos de tomateiro aos cinco e doze dias após a inoculação, respectivamente. Os mesmos autores relataram reduções na incidência e índice de severidade da murcha bacteriana em plantas de 51,6 e 57,8%; essas reduções foram consequência de uma elevação significativa no conteúdo de Si acumulado pelas plantas de tomateiro em 63,3% e resultaram na produção de frutos comercializáveis. Com relação ao patossistema meloeiro-*Acidovorax citrulli*, Ferreira (2009) obteve reduções da AACPD em 88,54%, IDO em 85,34% e da incidência da doença em folhas em 50% com a aplicação de 1,4 g kg⁻¹ Si ao solo. Associadas a essas reduções houve um incremento em conteúdo de Si, Ca e Mg em 39,4; 124,5 e 59,35%, o que conferiu um efeito nutricional significativo que contribuiu para a resistência à infecção causada por *A. citrulli*.

Neste contexto, os objetivos deste trabalho foram (1) avaliar a eficiência de fontes e doses de Si e a forma mais apropriada de aplicação desse elemento às plantas de meloeiro, (2) investigar alguns possíveis mecanismos bioquímicos envolvidos na mediação da resistência do meloeiro à infecção por *A. citrulli*, (3) Monitorar por meio da análise de fluorescência da clorofila o estresse causado por *A. citrulli* ao processo fotossintético em folhas de meloeiro e verificar se o Si desempenha alguma função na amenização desse fenômeno e (4) Avaliar em campo a eficiência de uma fonte e uma dose definida de Si no manejo da mancha aquosa do meloeiro, analisando as alterações mediadas por Si nos atributos químicos do solo, nos componentes epidemiológicos da doença, na nutrição e desenvolvimento da planta e na qualidade de frutos produzidos.

REFERÊNCIAS

- ALVES, R. E. **Melão, pós-colheita**. Fortaleza: Embrapa Agroindústria Tropical, 2000. 43 p. (Frutas do Brasil, 10).
- ASSIS, S. M. P. et al. Mancha-aquosa do melão causada por *Acidovorax avenae* subsp. *citrulli*, no Estado do Rio Grande do Norte. **Fitopatologia Brasileira**, Brasília, DF, v. 24, n. 2, p.191, 1999.
- ASSOULINE, et al. *Acidovorax avenae* subsp. *citrulli* transmitted by solanaceous seeds. **Phytoparasitica**, Bet Dagan, v. 25, n. 2, p. 117, 1997.
- AYANA, G. et al. Effect of soil amendment on bacterial wilt caused by *Ralstonia solanacearum* and tomato yields in Ethiopia. **Journal of Plant Protection Research**, v. 51, p. 72-76, 2011.
- BARBOSA FILHO, M. P. et al. Importância do silício para a cultura do arroz: uma revisão de literatura. *Informações Agronômicas* 89. Piracicaba, 2000. 11 p. (**Encarte técnico**).
- BÉLANGER, R. R.; BENHAMOU, N.; MENZIES, J. G. Cytological evidence of an active role of silicon in wheat resistance to powdery mildew (*Blumeria graminis* f.sp. *tritici*). **Phytopathology**, Sant Paul, v. 93, p. 402-412, 2003.
- BÉLANGER, R. R. et al. Soluble silicon – its role in crop and disease management of greenhouse crops. **Plant Disease**, St. Paul, v. 79, n. 4, p. 329-335, 1995.
- BÉLANGER, R. R.; MENZIES, J. G. Use of silicon to control diseases in vegetable crops. In: Congresso Brasileiro de Fitopatologia, 36, Uberlândia-MG, **Fitopatologia Brasileira**, Brasília, DF, v. 28, p. 42-45, 2003.
- BLEICHER, E; MELO, Q. M. S. **Manejo da mosca-branca *Bemisia argentifolii***. Fortaleza: Embrapa Agroindústria Tropical, 1998. 15p. (Circular técnica, 3).
- BUAINAIM, A. M.; BATALHA, M. O. (Coord.). **Cadeia produtiva de frutas**. Brasília, DF: IICA: MAPA/SPA, 2007. 102 p. (Agronegócios, v. 7).
- BURDMAN, S.; Walcott, R. *Acidovorax citrulli*: generating basic and applied knowledge to tackle a global threat to the cucurbit industry. **Molecular Plant Pathology**, v. 13, p. 805-815, 2012.
- CAZORLA, M. F. et al. Field evaluation of treatments for the control of the bacterial apical necrosis of mango (*Mangifera indica*) caused by *Pseudomonas syringae* pv. *syringae*. **European Journal of Plant Pathology**, Dordrecht, v.116, p. 279-288, 2006.
- CHÉRIF, M.; ASSELIN, A.; BÉLANGER, R. R. Defense responses induced by soluble silicon in cucumber roots infected by *Pythium* spp. **Phytopathology**, St. Paul, v. 84, n. 3, p. 236-242, 1994.

CHÉRIF, M. et al. Silicon induced resistance in cucumber plants against *Pythium ultimum*. **Physiological and Molecular Plant Pathology**, London, v. 41 p.411-425, 1992a.

CHÉRIF, M. et al. Studies of silicon distribution in wounded and *Pythium ultimum* infected cucumber plants. **Physiological and Molecular Plant Pathology**, London, v. 41, p.371-385, 1992b.

COSTA, N. D. et al. **A cultura do melão**. Brasília: EMBRAPA – SPI, 2001. 117p. (Coleção Plantar – série vermelha – fruteiras).

COSTA, N. D.; GRANGEIRO, L.C. Composição química do fruto e usos. In: SILVA, H.R. da; COSTA, N.D. (Ed). **Melão: produção aspectos técnicos**. Brasília, DF: Embrapa Comunicação para Transferência de Tecnologia, 2003. cap.4, p. 22.

CRISÓSTOMO, L. A. et al. **Adubação, irrigação, híbridos e práticas culturais para o meloeiro no Nordeste**. Fortaleza: Embrapa Agroindústria Tropical, 2002. 21 p. (Embrapa Agroindústria Tropical. Circular Técnica, 14).

CUNHA, K.P.V. et al. Disponibilidade, acúmulo e toxicidade de Cádmio e Zinco em Milho (*Zea mays* L.) cultivado em solo contaminado. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 32, p. 1319-1328, 2008.

CURRIE, H.A.; PERRY, C. Silica in plants: biological, biochemical and chemical studies. **Annals of Botany**, London, v. 1, n. 7, p. 7, 2007.

DALLAGNOL, L.J. **Epidemiologia e Bioquímica do Controle do Oídio do Meloeiro por Silício**. 2010. 66 f. Tese (Doutorado em Fitopatologia) - Universidade de São Paulo, Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Piracicaba, SP.

DALLAGNOL, L.J. et al. Effect of potassium silicate on epidemic components of powdery mildew on melon. **Plant Pathology**, Oxford, v. 61, p. 323-330, 2012.

DANNON, E.; WYDRA, K. Interaction between silicon amendment, bacterial wilt development and phenotype of *Ralstonia solanacearum* in tomato genotypes. **Physiological and Molecular Plant Pathology**, London, v.64, p.233-243, 2004.

DATNOFF, L.E.; DEREN, C.W.; SNYDER, G.H. Silicon fertilization for disease management of rice in Florida. **Crop Protection**, Guildford, v.16, p.525-531, 1997.

DATNOFF L.E.; RODRIGUES F.A.; SEEBOLD K.W. Silicon and plant disease. In: DATNOFF, L.E.; ELMER, W.H.; HUBER, D.M. (Ed). **Mineral nutrition and plant disease**. St Paul: The American Phytopathological Society Press, 2007. p. 233-246.

DIOGO, R.V.C.; WYDRA, K. Silicon-induced basal resistance in tomato against *Ralstonia solanacearum* is related to modification of pectic cell wall polysaccharide structure. **Physiological and Molecular Plant Pathology**, London, v. 70, p. 120-129, 2007.

- EPSTEIN, E. Silicon. **Annual Review in Plant Physiology and Plant Molecular Biology**, Palo Alto, v.50, p. 641-664, 1999.
- EPSTEIN, E. The anomaly of silicon in plant biology. **Proceedings Natural Academy Science**, [S.l.], v.91, p.11-17, 1994.
- EXLEY, C. Silicon in life: a bioinorganic solution to bioorganic essentiality. **Journal Inorganic Biochemistry**, v.69, n.3, p. 139-144, 1998.
- FAWE, A. et al. Silicon and disease resistance in dicotyledons. In: DATNOFF, L. E. et al. (Ed.). **Silicon in Agriculture**. Studies in plants in plant science, 8. Amsterdam: Elsevier, 2001. p. 159-169.
- FAWE, A. et al. Silicon-mediated accumulation of flavonoid phytoalexins in cucumber. **Phytopathology**, Saint Paul, v.88, p.396-401, 1998.
- FERNANDES, O. A.; FERREIRA, C. C.; MONTAGNA, M. A. **Manejo integrado de pragas do meloeiro**: manual de reconhecimento das pragas e táticas de controle. Jaboticabal: Funep-CNPq, 2000. 28 p.
- FERNANDES, P. M. G. C. **Armazenamento ambiente e refrigerado de melão, híbrido Orange Flesh, submetido à aplicação pós-colheita de cloreto de cálcio**. 1996. 68 f. Dissertação (Mestrado em Fitotecnia) – Universidade Federal de Lavras, Lavras, MG.
- FERREIRA, H. A. **Silício no controle da mancha-aquosa em meloeiro (*Cucumis melo L.*)**. 2009. 84 f. Dissertação (Mestrado em Fitopatologia) – Universidade Federal Rural de Pernambuco, Recife.
- FONTES, P. C. R.; PUIATTI, M. Cultura do melão. In: FONTES, P.C.R. (Ed.). **Olericultura**: teoria e prática. Viçosa, MG: UFV, 2005. cap.26, p. 407-428.
- FREITAS, J. A. D. **Normas técnicas e documentos de acompanhamento da produção integrada de melão**. Fortaleza: Embrapa Agroindústria Tropical, 2003. 89 p. (Embrapa agroindústria tropical. documentos, 68).
- GHAREEB, H. et al. Silicon and *Ralstonia solanacearum* modulate expression stability of housekeeping genes in tomato. **Physiological and Molecular Plant Pathology**, London, v. 75, p. 176-179, 2011.
- GRANGEIRO, L. C. et al. **Cultivo de melão amarelo**. Jaboticabal: Universidade Estadual Paulista, 2002. 30 p. (Boletim Técnico).
- HAYASAKA, T.; FUJII, H.; ISHIGURO, K. The role of silicone in reventing appressorial penetration by the rice blast fungus. **Phytopathology**, St Paul, v. 98, n. 9, p. 108-1044, 2008.
- HEATH, M. C.; STUMPF, M. A. Ultrastructural observations of penetration sites of the cowpea rust fungus in untreated and silicon-depleted French bean cells. **Physiological and Molecular Plant Pathology**, London, v. 29, p. 27-39, 1986.

- HOPKINS, D. L.; THOMPSON, C. M. **Seed transmission of *Acidovorax avenae* subsp. *citrulli* in cucurbits.** Gainesville, Flórida. 2000. Disponível em: <<http://apsnet.org/meetings/div./so00abs.asp>>. Acesso em: 9 jan. 2012.
- HOPKINS, D. L. Field spread of bacterial fruit blotch of watermelon. **Phytopathology**, St. Paul, v. 83, n. 4, p. 466, 1993.
- HOPKINS, D. L. Spread of bacterial fruit blotch of watermelon in the greenhouse. **Phytopathology**, St. Paul, v. 84, n. 7, p. 755, 1994.
- HOPKINS, D. L. Bacterial fruit blotch of watermelon: the hypothetical exam question becomes reality. **Plant Disease**, St. Paul, v. 79, n. 8, p. 761-765, 1995.
- HOPKINS, D. L.; CUCUZZA, J. D.; WATERWON, J. C. Wet seed treatments for the control of bacterial fruit blotch of watermelon. **Plant Disease**, St. Paul, v. 80, n. 5, p. 529-532, 1996.
- HOPKINS, D. L. et al. Bacterial fruit blotch of watermelon. Florida: American Sunmelon, 1992. 2 p. (**Bulletin**).
- HOPKINS, D. L. et al. Wet seed treatment with peroxyacetic acid for the control of bacterial fruit blotch and other seedborne diseases of watermelon. **Plant Disease**, St. Paul, v. 87, p. 1495-1499, 2003.
- IBGE. Produção Agrícola Municipal: Culturas temporárias e permanentes. Rio de Janeiro. 2009. Disponível em <<http://www.ibge.gov.br/home/estatistica/economia/pam/2009/default.shtm>>. Acesso em: 15 jan. 2013.
- IBGE. Produção Agrícola Municipal: Culturas temporárias e permanentes. Rio de Janeiro. 2010. Disponível em <<http://www.ibge.gov.br/home/estatistica/economia/pam/2010/default.shtm>>. Acesso em: 10 jan. 2013.
- IBRAF. Comparativo das Importações Brasileiras de Frutas Frescas - 2010/2009. Disponível em <http://www.ibraf.org.br/estatisticas/est_frutas.asp>. Acesso em: 10 jan. 2013.
- ISAKEIT, T. **Bacterial fruit blotch in watermelon.** Texas: The Agricultural Extension Service-USA, 1999. Disponível em: <http://www.cygnus.tamu.edu/extlabn/vegetables/wmelon.htm>. Acesso em: 10 fev. 20012.
- ISAKEIT, T. et al. First report of infection of honeydew with *Acidovorax avenae* subsp. *citrulli*. **Plant Disease**, St. Paul, v. 81, n. 6, p. 694, 1997.
- ISAKEIT, T. Bacterial fruit blotch in watermelon. **The Agricultural Extension Service-USA**, Texas, 1999.

- KIM, S.G. et al. Silicon-induced cell wall fortification of rice leaves: a possible cellular mechanism of enhanced host resistance to blast. **Phytopathology**, Saint Paul, v. 92, p. 1095-1103, 2002.
- KORNDÖRFER, G. H. et al. Avaliação de métodos de extração de silício para solos cultivados com arroz de sequeiro. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 23, n. 1, p. 101-106, jan./mar. 1999.
- KORNDÖRFER, G.H.; PEREIRA, H.S.; CAMARGO, M.S. **Silicatos de cálcio e magnésio**. 2. ed. Uberlândia: Universidade Federal de Uberlândia, 2002. 23 p. (Boletim técnico, 1).
- KORNDÖRFER, G.H.; PEREIRA, H.S.; CAMARGO, M.S. **Silicatos de cálcio e magnésio na agricultura**. 3. ed. Uberlândia: UFU/ICIAG, 2004. (Boletim Técnico, 01).
- LANGSTON, D. B. et al. First report of a fruit rot of pumpkin caused by *Acidovorax avenae* subsp. *citrulli* in Georgia. **Plant Disease**, St. Paul, v. 83, n. 2, p. 199, 1999.
- LATIN, R. X. Survival and spread of *Acidovorax avenae* subsp. *citrulli* in watermelon transplant production facilities. In: HOPKINS, D. et al. **Bacterial fruit blotch of watermelon**. Tampa: Citrus & Vegetable Magazine, p. 3-4, 1997.
- LATIN, R. X. **Bacterial fruit blotch of cucurbits**. St Paul: Plant Health Progress-USA, 1996. Disponível em:
<<http://www.plantmanagementnetwork.org/pub/php/management/bacterialblotch/>
>Acesso em: 9 jan. 2013.
- LESSL, J. T.; FESSEHAIE, A.; WALCOTT, R. R. Colonization of female watermelon blossoms by *Acidovorax avenae* subsp. *citrulli* and the relationship between blossom inoculum dosage and seed infestation. **Journal of Phytopathology**, Berlin, v. 155, p. 114-121, 2007.
- LIANG, Y.C. et al. Effects of foliar-and root applied silicon on the enhancement of induced resistance to powdery mildew in *Cucumis sativus*. **Plant Pathology**, Oxford, v. 54, n. 5, p. 678-685, 2005.
- LIMA FILHO, O. F.; LIMA, M. T. G.; TSAI, S. M. O silício na agricultura. **Informações Agronômicas**, Piracicaba, n. 87, p. 1-7, set. 1999.
- LINDSAY, W.L. **Chemical equilibria in soils**. New York : Wiley-Interscience, 1979. 449 p.
- MACAGNAN, D. et al. Mancha bacteriana da melancia: uma nova doença no estado de Minas Gerais. **Summa Phytopathologica**, Jaguariúna, v. 29, n. 3, p. 286-287, 2003.
- MA, J.F., MYAKEY, Y., TAKAHASHI, E. Silicon as a beneficial element for crop plants. In: DATINOFF, L. E. et al. **Silicon on Agriculture**. 2001. cap. 2, p. 17-39.

- MA, J. F.; TAKAHASHI, E. **Soil, fertilizer, and plant silicon research in Japan**. Kioto: Elsevier Science, 2002. 281 p.
- MA, J.F.; YAMAJ, I. N. Silicon uptake and accumulation in higher plants. **Trends Plant Science**, Oxford, v. 11, p. 392-397, 2006.
- MARIANO, R. L. R. et al. Ocorrência da mancha-aquosa do melão na Bahia. **Fitopatologia Brasileira**, Brasília, DF, v. 29, p. 147-148, 2004. Suplemento.
- MARIANO, R. L. R.; SILVEIRA, E. B. Mancha-aquosa: importante bacteriose do meloeiro no Brasil. **Anais da Academia Pernambucana de Ciência Agrônômica**, Recife, v. 1, p. 79-88, 2004.
- MARIANO, R. L. R. et al. Diagnose e manejo de fitobacterioses de importância no Nordeste brasileiro. In: MICHEREFF, S. J.; BARROS, R. (Ed.). **Proteção de plantas na agricultura sustentável**. Recife: UFRPE, 2001. p. 141-169.
- MARSCHNER, H. **Mineral nutrition of higher plants**. 2. ed. New York: Academic Press, 1995. 887 p.
- MARTINATI, C. J. et al. Redução dos sintomas causados pela *Xylella fastidiosa* subsp. *pauca* por meio de aplicação de benzotriazolone e silício. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, DF, v. 42, n. 8, p. 1083-1089. 2007.
- MATICHENKOV, V.V.; CALVERT, D.V. Silicon as a beneficial element for sugarcane. **Journal American Society of Sugarcane Technologists**, v. 22, p. 21-30, 2002.
- MENEZES, J. B. et al. Melão pós-colheita. In: ALVES, R.E. **Características do melão para exportação**. Fortaleza: Embrapa Agroindústria Tropical, 2000. p. 13-22.
- MENZIES, J. G. et al. Effects of soluble silicon on the parasitic fitness of *Sphaerotheca fuliginea* on *Cucumis sativus*. **Phytopathology**, St. Paul, v. 81, n. 2, p. 84-99, 1991.
- MITANI, N.; MA, J.F.; IWASHITA, T. Identification of the silicone form in xylem sap of rice (*Oryza sativa* L.). **Plant and Cell Physiology**, Oxford, v. 46, n. 2, p. 279-283, 2005.
- NASCIMENTO, A. R. P.; MARIANO, R. L. R.; SILVA, E. I. Hospedeiros alternativos de *Acidovorax avenae* subsp. *citrulli*. **Horticultura Brasileira**, Brasília, DF, v. 22, p. 345-349, 2004.
- NWUGO, C.C.; HUERTA, A.J. Effects of silicon nutrition on cadmium uptake, growth and photosynthesis of rice plants exposed to low-level cadmium. **Plant and Soil**, Dordrecht, v. 311, n. 1-2, p.73-86, 2008.
- O'BRIEN, R. G.; MARTIN, A. L. Bacterial blotch of melons caused by strains of *Acidovorax avenae* subsp. *citrulli*. **Australian Journal of Experimental Agriculture**, Collingwood, v. 39, p. 479-485, 1999.

- OLIVEIRA, I. S.; SALES JÚNIOR, R.; MARIANO, R. L. R. *Acidovorax avenae* subsp. *citrulli*: método de isolamento e transmissão por sementes. **Fitopatologia Brasileira**, Brasília, DF, v. 26, p. 302, 2001. Suplemento.
- OLIVEIRA, I.S.; SALES JÚNIOR, R.; MARIANO R.L.R. Ocorrência da mancha-aquosa por *Acidovorax avenae* subsp. *citrulli* em melão-pepino no Brasil. **Fitopatologia Brasileira**, Brasília, DF, v. 28, p. 682, 2003.
- OLIVEIRA, L.A.; KORNDORFER, G.H. ; PEREIRA, A.C. Acumulação de silício em arroz em diferentes condições de pH da rizosfera. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 31, p. 685-690, 2007.
- OLIVEIRA, A. de. **Colonização de *Acidovorax avenae* subsp. *citrulli* em meloeiro e sobrevivência em restos de cultura e no solo**. 2008. 72 f. Dissertação (Mestrado em Fitopatologia) – Universidade Federal Rural de Pernambuco, Recife.
- OLIVEIRA, J.C. et al. Reduction of the severity of angular leaf spot of cotton mediated by silicon. **Journal of Plant Pathology**, v. 94, p. 297-307, 2012.
- PEREIRA, E. W. L. **Eficiência de Acibenzolar-s-methyl no controle da *Acidovorax avenae* subsp. *citrulli* e efeito na qualidade de frutos de melão**. 2005. 50 f. Dissertação (Mestrado em Fitotecnia) – Universidade Federal Rural do Semi Árido-UFERSA, Mossoró.
- PUSEY, P. L.; WILSON, C. L. Postharvest biological control of stone fruit brown rot by *Bacillus subtilis*. **Plant Disease**, St. Paul, v. 68, p. 753-756, 1984.
- RANE, K. K.; LATIN, R. X. Bacterial fruit blotch of watermelon: Association of the pathogen with seed. **Plant Disease**, St. Paul, v. 76, p. 509-512, 1992.
- ROBBS, C. F. et al. Mancha bacteriana da melancia no estado de São Paulo, causada por *Pseudomonas pseudoalcaligenes* subsp. *citrulli*. **Fitopatologia Brasileira**, Brasília DF, v. 16, n. 2, p. 48, 1991.
- RODRIGUES, F.A. et al. Ultrastructural and cytochemical aspects of silicon-mediated rice blast resistance. **Phytopathology**, Saint Paul, v. 93, n. 5, p. 535-546, 2003.
- RODRIGUES, F.A et al. Foliar spray of potassium silicate on the control of angular leaf spot in beans. **Journal of Plant Nutrition**, Philadelphia, v. 33, n. 14, p. 2082-2093, 2010.
- RUSHING, J. W.; COOK, W. P.; KEINATH, A. P. Postharvest behavior of watermelon fruit blotch. In: HOPKINS, D. et al. Bacterial fruit blotch of watermelon. Tampa: **Citrus & Vegetable Magazine**, p. 5-6, 1997.
- SALES JÚNIOR, R; MENEZES, J. B. **Mapeamento das doenças fúngicas, bacterianas e viróticas do cultivo do melão no Estado do RN**. Mossoró: Escola Superior de Agricultura de Mossoró, 2001. 25 p. Relatório.

SALES JÚNIOR, R. et al. Efeito de Kasugamicina e oxiclóreto de cobre no controle da mancha-aquosa do meloeiro. **Fitopatologia Brasileira**, Brasília, DF, v. 30, n. 3, p. 295-298, 2005.

SAMUELS, A. L. et al. Distribution of silicon in cucumber leaves during infection by powdery mildew fungus (*Sphaerotheca fuliginea*). **Canadian Journal of Botany**, Ottawa, v. 69, p. 140-146, 1991.

SANTOS, A. A.; VIANA, F. M. **Mancha-aquosa do melão**. Fortaleza: EMBRAPA – SPI, 2000. 2 p.

SANTOS, F. J. S. et al. **Irrigação do melão: manejo através do tanque classe “A”**. Fortaleza: Embrapa Agroindústria Tropical, 2001. 7 p. (Circular Técnica, 11).

SAVANT, N.K. et al. Silicon nutrition and sugarcane production: a review. **Journal of Plant Nutrition**, New York, n.22, p. 1853-1903, 1999.

SAVANT, N.K.; SNYDER, G.H; DATNOFF, L.E. Silicon management and sustainable rice production. **Advances in Agronomy**, San Diego, v.58, p.151-199. 1997.

SCHAAD, N. W. et al. *Pseudomonas pseudoalcaligenes* subsp. *citrulli*. **International Journal of Systematic Bacteriology**, Washington, US, v. 28, p. 117-125, 1978.

SILVA NETO, E. B. et al. Colonização e penetração de *Acidovorax avenae* subsp. *citrulli* em folhas, sementes e frutos de melão. **Fitopatologia Brasileira**, Brasília DF, v. 29, p. 54, 2006. Suplemento.

SILVA, I.T. et al. Wheat resistance to bacterial leaf streak mediated by silicon. **Journal of Phytopathology**, Berlin, v. 158, p. 253-262, 2010.

SILVEIRA, E. B.; MICHEREFF, S. J.; MARIANO, R. L. R. Severidade da mancha-aquosa em meloeiro sob diferentes condições de molhamento foliar e concentração de inóculo de *Acidovorax avenae* subsp. *citrulli*. **Fitopatologia Brasileira**, Brasília, DF, v. 28, n. 2, p. 171-175, 2003.

SOMODI, G. C. et al. Occurrence of a bacterial watermelon fruit blotch in Florida. **Plant Disease**, St. Paul, v. 75, p. 1053-1056, 1991.

SOWELL, G.; SCHAAD, N. W. *Pseudomonas pseudoalcaligenes* subsp. *citrulli* on watermelon: seed transmission and resistance of plant introductions. **Plant Disease Reporter**, Beltsville, v. 63, p. 437-441, 1979.

TAVARES, S. **Cultivar: Hortaliças e Frutas**, Pelotas, v.2, n. 13, p. 27-30, 2002.

UENO, B.; COUTO, M. E. O.; UESUGI, C. H. Ocorrência de mancha-aquosa em melão no estado do Rio Grande do Sul. **Fitopatologia Brasileira**, Brasília DF, v. 28, p. 246, 2003. Suplemento.

VIANA, F. M. P. et al. **Surto da mancha-aquosa em frutos de melão nos Estados do Ceará e Rio Grande do Norte**: recomendações preliminares de controle. Fortaleza: Embrapa Agroindústria Tropical, 2000. 4 p. (Comunicado técnico, 50).

WALCOTT, R.R. et al. Guidelines for managing bacterial fruit blotch disease. Georgia, 2001. Disponível em: <<http://www.stalals.com/flyer.htm>> . Acesso em: 10 jan. 2013.

WALCOTT, R. R.; GITAITIS, R.; CASTRO, A. C. Role blossoms in watermelon seed infestation by *Acidovorax avenae* subsp. *citrulli*. **Phytopathology**, St. Paul, v. 93, n. 5, p. 528-534, 2003.

WALTERS, D.R.; FOUNTAINE, J.M. Practical application of induced resistance to plant diseases: an appraisal of effectiveness under field conditions. **The Journal of Agricultural Science**, New York, v. 147, n. 5, p. 523-535, 2009.

WEBB, R. E.; GOTH, R. W. A seedborne bacterium isolated from watermelon. **Plant Disease Reporter**, Beltsville, v. 48, p. 818-821, 1965.

WEDEPOHL, K. H. The composition of the continental crust. **Geochimica et Cosmochimica Acta**, v.59, p.1217–1232, 1995.

CAPÍTULO II

**FONTES E FORMAS DE APLICAÇÃO DE SILÍCIO NA POTENCIALIZAÇÃO
DE COMPONENTES DE RESISTÊNCIA À MANCHA AQUOSA EM
MELOEIRO**

1 **Fontes e formas de aplicação de silício na potencialização de componentes de**
2 **resistência à mancha aquosa em meloeiro**

3
4 Hailson Alves **FERREIRA**¹, Clístenes Williams Araújo do **NASCIMENTO**¹, Rosa de
5 Lima Ramos **MARIANO**¹

6
7 ¹ Departamento de Agronomia, Universidade Federal Rural de Pernambuco, Av. Dom Manoel de
8 Medeiros s/n, Dois Irmãos, 52171-900, Recife, Brasil

9 Autor para correspondência: H. A. Ferreira, Phone: (81) 3320-6205 E-mail:
10 hailson_alves@hotmail.com.

11
12 **Resumo.** A mancha aquosa do meloeiro causada pela bactéria *Acidovorax citrulli* (Ac)
13 é responsável por consideráveis perdas de produção no Nordeste do Brasil. Os objetivos
14 deste trabalho foram avaliar os efeitos de silício (Si) aplicado via solo, irrigação e foliar
15 sobre a mancha aquosa, pelas mudanças induzidas por Si nos componentes de
16 resistência, crescimento, nutrição, fisiologia e bioquímica das plantas. O experimento
17 foi constituído pelos seguintes tratamentos: Si aplicado via solo na dose de 1,4 g kg⁻¹
18 solo, com três fontes (escória de siderurgia, silicato de cálcio e fertilizante silicatado
19 Agrosílicio); Si aplicado via irrigação (silicato de potássio 1,7 mM Si, pH 5,5); Si
20 aplicado foliarmente (silicato de potássio 17 mM Si, pH 5,5); Acibenzolar-S-metil
21 (ASM) pulverizado foliarmente (200 µg L⁻¹); e plantas controle (0,00 Si). Componentes
22 da resistência foram avaliados a cada 4 dias até 20 dias após a inoculação, quando o
23 desenvolvimento da planta e o acúmulo de nutrientes, lignina e clorofila *a*, *b* e total
24 foram determinados. Análises espectrais de fluorescência da clorofila foram realizadas
25 para monitorar a evolução temporal no conteúdo de clorofila e estado fisiológico de
26 plantas de meloeiro sobre o estresse causado pela infecção com *A. citrulli*. A atividade
27 de proteínas solúveis, compostos fenólicos totais e enzimas relacionadas às defesas de
28 plantas foram executadas 0, 12, 24, 48, 96, 144, 192 e 240 horas após a inoculação
29 (h.a.i) em plantas supridas ou não com Si. Aplicação via solo de silicato de cálcio
30 (SilCa) e escória (EscSil) foram os tratamentos mais eficientes em fornecer Si às plantas
31 e em reduzir a mancha aquosa. O período de incubação foi elevado de 4,7 para 9,2 e 7,7
32 dias como resultado da fertilização do solo com SilCa e EscSil, respectivamente.
33 Silicato de cálcio e EscSil também reduziram significativamente a área abaixo da curva
34 e o índice de doença em (61 e 67%) e (59 e 64%), respectivamente. O maior teor de Si

35 foi detectado em plantas tratadas com SilCa (12,82 g kg⁻¹ Si) e EscSil (10,93 g kg⁻¹ Si).
36 O conteúdo de N, P, K, Ca, Mg, Si, Cu e Fe foram elevados na parte aérea de plantas
37 tratadas com SilCa e EscSil, como também o conteúdo de lignina em matéria seca. Na
38 presença de Si (1,4 g kg⁻¹), os níveis de proteínas solúveis, compostos fenólicos totais,
39 como também a atividade das enzimas ascorbato peroxidase (APX), peroxidase (POX) e
40 polifenoxidase (PFO) aumentaram. A análise de fluorescência detectou mudanças
41 causadas pela infecção por *A. citrulli*, havendo maior grau de estresse em plantas
42 controle comparado a plantas tratadas com Si. Os resultados claramente sugerem que o
43 suprimento de Si às plantas via solo pode aumentar a resistência à mancha aquosa.

44

45 **Palavras chaves:** mecanismo de defesa, doença foliar, nutrição mineral, *Acidovorax*
46 *citrulli*, silício, fluorescência da clorofila.

47

48 **Summary.** Melon bacterial blotch caused by *Acidovorax citrulli* is responsible for
49 substantial yield losses in Northeastern Brazil. The aims of this work were to evaluate
50 the effects of silicon (Si) applied to the roots or to leaves on melon bacterial blotch,
51 through an evaluation of Si-induced changes in melon resistance to bacterial blotch, and
52 plant growth and nutrition. The effects of Si applied to the soil or to leaves were
53 evaluated on the melon resistance components of bacterial blotch. The experiment had
54 the following treatments: Si applied to the soil at 1.4 g kg⁻¹ through three sources (slag,
55 calcium silicate and silicon fertilizer AgroSil); Si applied by irrigation (potassium
56 silicate 1.7mM Si pH 5.5); Si applied to the leaves (potassium silicate 17mM Si pH
57 5,5); acibenzolar-S-methyl (ASM) also spreaded on leaves (200 µ L⁻¹); and control
58 plants (0.00 Si). Components of resistance were evaluated every 4 days up to 20 days
59 post inoculation, when plant development and the accumulation nutrient, lignin,
60 pigments (chlorophyll *a*, chlorophyll *b*, and total chlorophyll) were determined. The
61 Chlorophyll fluorescence spectral analysis was performed to follow the temporal
62 evolution of changes in the chlorophyll content and physiological state of melon plants
63 under *A. citrulli* stress. Activities of enzymes related to plant defenses and total soluble
64 phenolics (TSP) were analyzed 0, 12,24,48,96,144, and 240 h post inoculation. Calcium
65 silicate and slag applied to the roots were the most effective sources to reduce the melon
66 bacterial blotch. The incubation period was increased from 2.42 to 4.72 and 3.95 days
67 as a result of calcium silicate and slag fertilization, respectively. Silicate calcium and
68 slag also significantly reduced the area under disease progress and the disease index

69 also were reduced by (61 e 67 %) e (59 e 64 %), respectively. The higher silicon
70 concentration was detected in plants treated with calcium silicate (12.82 g kg⁻¹ Si) and
71 slag (10.93 g kg⁻¹ Si). The N, P, K, Ca, Mg, Si, Cu and Fe contents were elevated in
72 plants shoots by the soil fertilization. The lignin content in the shoot dry plants treated
73 with slag was 54% higher than plants control. In the presence of Si (1.4 g kg⁻¹), the level
74 of TSP and soluble proteins as well as the activity of the enzymes APX, POXs and
75 PPOs increased. The fluorescence analysis was sensitive to changes caused by *A.*
76 *citrulli* infection detecting high stress level on plants control as compared with plants
77 supplied with Si. The results clearly suggest that supplying Si though the soil to the
78 plants can increase resistance to bacterial blotch.

79

80 **Keywords:** mechanism of host defense, foliar disease, mineral nutrition, *Acidovorax*
81 *citrulli*, silicone, chlorophyll fluorescence.

82

83 **Introdução**

84

85 A mancha aquosa, causada por *Acidovorax citrulli*, é a principal doença
86 bacteriana do meloeiro no Nordeste do Brasil e representa uma série ameaça em outras
87 regiões produtoras do mundo (Sales Júnior e Menezes, 2001; Burdman e Walcott,
88 2012). No Brasil, as perdas geradas por essa bacteriose podem alcançar até 100% em
89 épocas chuvosas. *Acidovorax citrulli* afeta a cultura do meloeiro em todos os estágios
90 de desenvolvimento. Em plântulas, lesões encharcadas são observadas nos hipocótilos e
91 cotilédones, enquanto em folhas verdadeiras as lesões são inicialmente pequenas com
92 aspecto oleoso e coloração verde clara. Com o tempo, as lesões tornam-se marrons,
93 coalescem, e a necrose pode estender-se por toda a área foliar (Sales Júnior e Menezes,
94 2001). Os sintomas mais típicos da doença estão na casca dos frutos maduros, antes da
95 colheita e caracterizam-se como pequenas manchas verde-oliva, oleosas, com cerca de 1
96 a 5 mm de diâmetro, com ou sem halo, as quais progridem rapidamente, coalescem,
97 tornando-se marrom-claras ou escuras. Internamente, a bactéria coloniza a polpa
98 causando podridão seca, podendo contaminar a semente interna e/ou externamente.
99 (Sales Júnior e Menezes, 2001; Santos e Viana, 2000).

100 A não existência de cultivares resistentes e a limitação de medidas de
101 erradicação do patógeno das sementes e de controle químico em campo tornam difícil o
102 manejo integrado dessa bacteriose nos campos de produção de melão (Burdman e

103 Walcott, 2012). Atualmente, nos campos do Nordeste do Brasil, a utilização do indutor
104 de resistência acibenzolar-S-metil (ASM), seja isoladamente ou em associação com
105 bactericidas e/ou fungicidas está difundido como uma eficiente ferramenta do manejo
106 integrado de muitas doenças, incluindo a mancha aquosa (Sales Junior *et al.*, 2007;
107 Pereira *et al.*, 2008). A resistência induzida pode ser considerada uma forma de controle
108 alternativo de doenças que envolve a ativação de genes de defesas na planta em resposta
109 ao tratamento com agentes elicitores. No entanto, a utilização de indutores nem sempre
110 resulta em benefícios na produção, visto que a ativação de resistência demanda custo de
111 energia por parte da planta sob condições em que não seria necessário, como na
112 ausência do patógeno (Dietrich *et al.*, 2005; Cabral *et al.*, 2010).

113 Há evidências de que a resistência mediada por silício está associada com
114 indução de respostas de defesas hospedeiras, que podem envolver fortalecimento de
115 estruturas da parede celular via aumento da lignificação, aumento da concentração de
116 compostos fenólicos, ativação de mecanismos específicos como a produção de
117 fitoalexinas (Menzies *et al.*, 1991; Fawe *et al.*, 2001) e a síntese de proteínas
118 relacionadas à patogênese (Chérif *et al.*, 1994).

119 A intensidade de certas doenças foliares têm sido significativamente reduzidas
120 pela aplicação de Si. Por exemplo, em arroz, Seebold *et al.* (2001) verificaram que
121 embora o período latente (PL) da brusone, causada por *Pyricularia grisea* não tenha
122 diferido entre alguns cultivares, o período de incubação (PI) foi estendido em função do
123 aumento dos níveis de aplicação de silicato de cálcio ao solo. Houve ainda significante
124 redução na eficiência de infecção, comprimento de lesão, taxa de expansão da lesão,
125 esporulação por lesão e área foliar afetada. Resende *et al.* (2009) relataram que com o
126 incremento de doses de Si aplicadas ao solo, o PL, PI, área abaixo da curva de progresso
127 da eficiência de infecção, área abaixo da curva de progresso do índice de antracnose e a
128 severidade final da doença foram significativamente influenciados em folhas de sorgo
129 de uma cultivar suscetível a *Colletotrichum sublineolum*. Aplicação de 1,5 g de SiO₂ ao
130 solo reduziu em 54,9% a severidade da mancha-angular do algodoeiro causada pela
131 bactéria *Xanthomonas citri subsp. malvacearum*. (Oliveira *et al.*, 2012). Com relação à
132 mancha aquosa do meloeiro, Ferreira (2009) documentou aumento no PI de 5,6 para
133 15,8 dias e reduções no índice de doença e área abaixo da curva de progresso da doença
134 em 88,54 e 85,34% com a adição de 1,41 g Kg⁻¹ de Si ao solo.

135 O processo doença envolve alterações na fisiologia do hospedeiro. Com base
136 neste aspecto, McNews (1960) propôs uma classificação para as doenças de plantas

137 baseadas nos processos fisiológicos vitais da planta interferidos pelos patógenos. De
138 acordo com essa classificação, doenças que apresentam manchas como sintomas estão
139 incluídas no Grupo V que engloba as doenças que interferem com a fotossíntese. Neste
140 aspecto, a fluorescência da clorofila *in vivo* é um método potente, não destrutivo e
141 rápido para detectar mudanças na atividade fotossintética de folhas devido à variação
142 ambiental e a fatores de estresse natural e antropogênico. Usando a técnica de
143 fluorescência da clorofila é possível estimar os parâmetros de eficiência fotossintética
144 atual da folha, sob alguma condição em algum tempo. A análise espectral de
145 fluorescência da clorofila é uma técnica que infere o grau de estresse de plantas a partir
146 da razão da intensidade de emissão da fluorescência da clorofila (Cherif *et al.* 2010).
147 Esta técnica tem sido utilizada com a finalidade de detecção de estresses causados por
148 metais (Silva *et al.*, 2012), déficit hídrico (Zhang *et al.*, 2012) , salinidade (Naranjo-
149 Mateos *et al.*, 2013) e doenças de plantas (Tung *et al.*, 2013; Kathrin *et al.*, 2012).

150 O silício pode proporcionar efeitos benéficos às culturas, tais como resistência a
151 doenças e pragas, tolerância à toxicidade por metais pesados e estresses hídricos e
152 salinos, menor evapotranspiração, incremento de crescimento, efeito na atividade de
153 enzimas e na composição mineral, melhoria da arquitetura da planta, redução no
154 acamamento e conseqüente aumento da taxa fotossintética (Epstein, 1999; Cunha *et al.*,
155 2008, Ferreira, 2009). A resistência mediada por Si parece não envolver custos
156 fisiológicos extras, sendo comum na literatura relatos de melhor desempenho vegetal,
157 com incrementos em altura, acúmulo de nutrientes e ganhos em biomassa (Dannon e
158 Wydra, 2004; Diogo e Wydra, 2007; Ferreira, 2009).

159 Apesar de todo o potencial apresentado pelo Si em proteger plantas contra os
160 patógenos, pesquisas pela forma mais adequada de fornecer esse elemento às culturas
161 são fundamentais, visto as diferenças existentes em capacidade de absorção e acúmulo
162 desse elemento pelas diversas espécies. Por exemplo, o arroz, considerado uma espécie
163 acumuladora de Si, chega a apresentar um conteúdo de até 5% de Si em matéria seca e
164 em função deste acúmulo é a espécie que mais extrai benefícios desse elemento na
165 redução da intensidade das diversas doenças que a acometem (Datnoff *et al.*, 2006).
166 Entretanto, espécies não acumuladoras de Si, como o tomateiro e acumuladoras
167 intermediárias, como o meloeiro, têm menor capacidade de absorção e acúmulo desse
168 elemento e, dessa forma, se beneficiam menos dos efeitos protetores (Dallagnol *et al.*,
169 2012; Ghareeb *et al.*, 2011). Para estas espécies, a utilização de uma fonte e forma que
170 potencialize a absorção de Si faz-se fundamental para o manejo integrado de doenças

171 fundamentado na utilização de Si como um mediador da defesa do hospedeiro. Neste
172 contexto, as principais fontes de Si para as plantas são as escórias de siderurgia,
173 silicatos de potássio e sódio, as quais são aplicadas ao solo, foliarmente e/ou em
174 soluções nutritivas, para a obtenção de um elevado teor de Si em plantas para o controle
175 da doença (Bélanger *et al.*, 1995; Rodrigues *et al.*, 2003; Datnoff *et al.*, 2007). Suas
176 maiores ou menores efetividades em reduzir as doenças são condicionadas ao
177 patossistema alvo, características intrínsecas do solo e/ou solução nutritiva e modo de
178 aplicação.

179 Visando elucidar a forma mais efetiva de suprir as plantas de meloeiro com Si
180 para potencializar o controle da mancha aquosa e o uso deste elemento no manejo
181 integrado desta bacteriose, este trabalho teve como objetivos avaliar as mudanças
182 induzidas pela aplicação de Si via solo e foliar, identificar os possíveis processos
183 envolvidos na indução de resistência e, monitorar o estresse causado pela infecção por
184 *A. citrulli*, pela utilização da análise espectral de fluorescência da clorofila averiguando
185 o possível papel do Si na amenização desse fenômeno.

186

187 **Material e métodos**

188

189 **Tratamentos e condições de cultivo**

190 O experimento foi conduzido em casa de vegetação com temperatura média do
191 ar de 33°C e umidade média relativa do ar de 80%. O solo utilizado no experimento foi
192 um Neossolo Quartzarênico coletado na Fazenda Agrícola Famosa, na cidade de Icapuí,
193 Ceará, Brasil. As características físico-químicas foram as seguintes: pH em água = 6,5;
194 $H+Al = 2,93 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$; $Al^{3+} = 0,10 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$; $Na^+ = 0,76 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$; $K^+ = 0,22$
195 $\text{cmol}_c \text{ dm}^{-3}$; $Ca^{2+} = 2,10 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$; $Mg^{2+} = 1,5 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$; $P = 136 \text{ mg dm}^{-3}$; $N = 0,04$
196 g kg^{-1} ; $V\% = 61$; $MO = 6,86 \text{ g kg}^{-1}$; $Cu = 2,5 \text{ mg kg}^{-1}$; $Fe = 23,95 \text{ mg kg}^{-1}$; $Mn = 27,7$
197 mg kg^{-1} ; $Zn = 12,7 \text{ mg kg}^{-1}$; $Cd = 1,68 \text{ mg kg}^{-1}$; $Pb = 1,80 \text{ mg kg}^{-1}$; Argila = 8,5 g kg⁻¹;
198 Silte = 0,5 g kg⁻¹; Areia = 91 g kg⁻¹; densidade = 1,56 g cm⁻³. A concentração de Si
199 disponível no solo extraído por ácido acético (HC₂H₃O₂) 0,5 mol L⁻¹ foi 17,8 mg kg⁻¹.

200 Sementes de melão tipo Amarelo (híbrido AF4945) e tipo Pele de Sapo (híbrido
201 Medellín) foram semeadas em bandeja de plástico contendo substrato comercial
202 (Plantmax[®]). Mudas com 5 dias após a emergência (DAE) foram transplantadas para
203 vasos preenchidos com 5 dm³ do solo acima descrito.

204 **Aplicação de silício ao solo.** Três fontes de Si foram aplicadas ao solo na dose $1,4 \text{ g kg}^{-1}$
205 ¹ Si, as quais foram: Escória de siderurgia (EscSil) (pó de aciaria de forno elétrico, vê
206 constituição Tabela 1); AgroSilício (AgSil) (Silicato de Cálcio e Magnésio 22,4% SiO_2 ,
207 9,9% MgO, 34,9% CaO) e Silicato de Cálcio (SilCa: CaSiO_3) (16% CaO e 64% SiO_2).
208 Esses produtos foram adicionados ao solo juntamente com a suplementação mineral
209 com macro e micronutrientes de acordo com os requerimentos nutricionais da cultura. O
210 solo com as doses de Si foi incubado por 25 dias com umidade mantida em torno de
211 80% da capacidade de retenção de água do solo.

212 **Aplicação de silício via irrigação** Silicato de potássio (K_2SiO_3) (SilK) (1,7mM Si, pH
213 5,5) foi aplicado diariamente com a irrigação, mantendo os vasos com 80% da
214 capacidade de retenção de água, mediante pesagem para complementação da água
215 perdida por evapotranspiração.

216 **Aplicação foliar de silício** Para a aplicação foliar, silicato de potássio (SilK) (K_2SiO_3)
217 (17 mM Si – pH 5,5) foi pulverizado em folhas de meloeiro híbrido AF4945 e Medellín
218 às 24 e 96 horas antes da inoculação (h.a.i) com *A. citrulli*, respectivamente (Ferreira *et*
219 *al.*, 2012). O pH da solução de SilK foi alterada de 10,5 para 5,5 utilizando-se ácido
220 fosfórico 5 M, para tentar maximizar a absorção do Si pelas folhas de meloeiro, mesmo
221 considerando que a polimerização do silicato em solução com pH mais ácido ocorre
222 rapidamente.

223 **Aplicação foliar de Acibenzolar-S-metil (ASM)** O tratamento com acibenzolar-S-
224 metílico (ASM $200 \mu\text{g L}^{-1}$) 24 h.a.i foi incluído para comparação com os demais
225 tratamentos, já que o mesmo é considerado um indutor de defesa de plantas à diversos
226 patógenos. Os produtos FertiSil[®] (PQ Silicas Brasil Ltda, São Paulo, SP) e Bion[®] 500
227 WG (Syngenta Proteção de Cultivos Ltda, São Paulo, SP) foram utilizados como fontes
228 do K_2SiO_3 e do ASM, respectivamente. As soluções de SilK e de ASM foram aplicadas
229 nas páginas abaxial e adaxial das quatro folhas por planta utilizando-se o atomizador
230 Devilbs. Cada planta recebeu 20 mL de cada solução até atingir o ponto de
231 escorrimento.

232 **Controle** Plantas pulverizadas apenas com água destilada esterilizada serviram como
233 controle (0,00 Si). Os níveis de Ca e K em cada tratamento foram nivelados com o uso
234 de carbonato de cálcio e hidróxido de potássio, respectivamente.

235 **Preparo e Inoculação de *Acidovorax citrulli*.** A partir de crescimento bacteriano com
236 48 h em meio (NYDA) (dextrose 10 g, extrato de carne 3 g, extrato de levedura 5 g,
237 ágar 18 g L^{-1}), foi preparada uma suspensão do isolado Aac1de *A. citrulli* em água

238 destilada, sendo ajustada em fotocolorímetro (Metronic M3) para uma concentração de
239 3.4×10^7 UFC mL⁻¹ (0,25 unidades de abosorbância em comprimento de onda 580 nm),
240 adicionando-se Tween 20 (0,05%). O isolado de *A. citrulli*, Aac1, utilizado neste estudo
241 foi proveniente da Coleção de Culturas do laboratório de Fitobacteriologia da
242 Universidade Federal Rural de Pernambuco e identificado usando primers WFB1 e
243 WFB2. Ao alcançarem o número de cinco folhas definitivas (20 d.a.e) as plantas foram
244 inoculadas com 20 mL desta suspensão por pulverização até o escorrimento.

245 As plantas foram submetidas à câmara úmida constituída por sacos plásticos
246 transparentes previamente umedecidos, 24 horas antes e após a inoculação. Durante o
247 experimento, os vasos foram mantidos com 80% da capacidade de retenção de água,
248 mediante pesagem e irrigação diárias para complementação da água perdida por
249 evapotranspiração. O delineamento experimental foi inteiramente casualizado (DIC),
250 em arranjo fatorial (7x2), representado por sete tratamentos, sendo três aplicados em
251 solo na dose 1,4 g kg⁻¹ Si: EscSil, AgSil e SilCa, um aplicado via irrigação SilK (1,7
252 mM Si); dois foliarmente: SilK (17 mM Si) e ASM (200µg/L) e um controle (0,00 Si);
253 e dois híbridos de meloeiro (AF4945 e Medellín). Cada tratamento consistiu de 5
254 repetições composta de um vaso com 5 dm³ de solo com duas plantas, sendo avaliadas
255 5 folhas de cada planta.

256 ***Quantificação dos componentes de resistência á mancha aquosa em meloeiro*** 257 ***potencializados pelo Si***

258 Após a inoculação, cinco folhas de cada planta foram avaliadas diariamente
259 para incidência e por 20 dias em intervalos de 4 dias para severidade. Os seguintes
260 componentes da resistência do meloeiro à mancha aquosa foram avaliados: a) período
261 de incubação, calculado pelo número de dias entre a inoculação e o surgimento dos
262 sintomas da doença; b) severidade da doença, estimada baseando-se em uma escala de 0
263 a 6, adaptada a partir da escala diagramática utilizada para determinar a severidade da
264 mancha zonada do pepino causada por *Leandria mormodicae* (Azevedo, 1997), onde 0
265 = sem sintomas, 1 = 1 a 5% de área foliar infectada, 2 = 6 a 12% de área foliar
266 infectada, 3 = 13 a 37% de área foliar infectada, 4 = 38 a 62% de área foliar infectada, 5
267 = 63 a 87% de área foliar infectada e 6 = 88 a 100% de área foliar infectada; c) índice
268 de doença, aos vinte dias após a inoculação, calculado de acordo com Mckinney (1923);
269 d) área abaixo da curva de progresso da doença, calculada baseada em cinco avaliações
270 da severidade da doença de acordo com Shaner e Finney (1977); e, e) incidência da

271 doença, calculada pela porcentagem de folhas por tratamento com sintomas após 20 dias
272 da inoculação.

273 **Análise espectral de fluorescência da clorofila.** Para as análises de fluorescência da
274 clorofila, crescimento, conteúdo de nutrientes, clorofila e lignina foram utilizadas
275 plantas constituintes dos tratamentos de Si aplicados ao solo (EscSi e SiCa), e seus
276 respectivos controles. Durante o experimento foram realizadas cinco medidas de
277 fluorescência da clorofila: 0, 4, 8, 12 e 16 dias após a inoculação (d.a.i) com *A. citrulli*,
278 coincidindo com as datas de avaliação da severidade da doença. As medidas foram
279 executadas a noite para assegurar a desativação de transportadores fotossintéticos de
280 elétrons. O aparato experimental da fluorescência de clorofila consistiu de uma fonte
281 LED de fibras ópticas integradas, acoplado a um espectrômetro fotodetector (Ocean
282 Optics USB2000). O sistema de detecção teve uma resolução espectral global ~1,0nm.
283 A fonte de excitação foi direcionada para a superfície foliar por meio de um cabo de
284 fibra com um diâmetro de 200 μm que possuía um sistema mecânico na extremidade
285 que prevenia qualquer luz ambiente alcançar a superfície das folhas durante as medidas.
286 Todo o espectro apresentado neste estudo foi trabalhado utilizando o software (Ocean
287 Optics SpectraSuite) do espectrômetro. A emissão LED azul com um comprimento de
288 onda de 405 nm, largura espectral de 10 nm, e potência máxima de saída de 2 mW foi
289 usada como fonte luminosa de excitação fluorescente. As medidas foram conduzidas em
290 amostras previamente mantidas em ambiente sem iluminação por um mínimo de 20
291 min. As leituras foram feitas em três diferentes posições das cinco folhas avaliadas para
292 severidade da mancha aquosa em cada planta. O espectro foi obtido e armazenado
293 usando o Ocean Optics SpectraSuite software e ajustado a duas curvas Gaussianas
294 correspondendo a vermelho (685 nm) e vermelho-distante (735nm). A relação de
295 intensidade de fluorescência (F_{685}/F_{735}) foi calculada a partir de curvas ajustadas para
296 cada tratamento e usada para inferir o efeito dos mesmos na biossíntese de clorofila e
297 fotosistema II por meio do software comercial Origin versão 6.0.

298 **Efeito dos tratamentos aplicados ao solo no conteúdo de clorofila, nutrientes e lignina**
299 **das plantas.** Amostras foliares do terço médio de plantas com 45 dias de cultivo foram
300 coletadas para a determinação das clorofilas *a*, *b* e total (Arnon, 1949). O conteúdo de
301 clorofila foi determinado em extrato acetona a 80%, com as leituras realizadas em um
302 espectrofotômetro bioespectro UV-SP-220 usando equações de Arnon para os cálculos.
303 Após a coleta das folhas, as plantas foram colhidas, separadas em parte aérea e raízes e
304 pesadas em balança analítica para obtenção de biomassa fresca. Posteriormente, parte

305 aérea e raízes foram lavadas em água destilada para eliminação de fragmentos de solo
306 aderidos às mesmas, e então acondicionados em sacos de papel e conduzidos à estufa
307 para secagem a 65°C por 72 horas. Estes materiais foram moídos em moinho tipo
308 Willey e após digestão utilizando o método EPA 3051A (USEPA, 1998), foram
309 determinadas as concentrações de N, P, K, Ca, Mg, Cu, Zn, Mn, Fe, Cd e Pb. O Si
310 acumulado nas raízes e parte aérea, foi extraído de acordo com o método descrito por
311 Korndörfer *et al.*, 2004. A lignina foi analisada pelo método Van Soest *et al.* (1991) em
312 autoclave, conforme descrito por Pell e Schofield (1993).

313 ***Determinação de atividades enzimáticas e fenóis totais.*** Para avaliar a atividade
314 enzimática e de compostos fenólicos totais em plantas de meloeiro, um segundo
315 experimento foi conduzido em casa de vegetação utilizando a fonte silicato de cálcio
316 (SiCa :CaSiO₃) aplicada ao solo em uma concentração de 1,4 g kg⁻¹ de Si solo. Além
317 de ter sido uma das fontes mais eficientes no controle da doença (Tabela 2), a aplicação
318 de SiCa exigiu apenas o nivelamento dos teores de Ca, o qual foi realizado com a
319 utilização de carbonato de cálcio(CaCO₃) de forma que a única fonte de variação foi o
320 Si. O experimento foi conduzido da mesma forma que o experimento para quantificar os
321 componentes de resistência à mancha aquosa do meloeiro.

322 As plantas foram cultivadas na presença ou ausência de Si (+/-Si) e inoculadas
323 com o isolado Aac1. Folhas foram coletadas 0, 12, 24, 48, 96, 144, 192 e 240 horas
324 após a inoculação (h.a.i), imediatamente congeladas em nitrogênio líquido e
325 armazenadas a -20°C. O delineamento experimental foi completamente casualizado,
326 com quatro repetições, sendo cada repetição representada por um vaso de 5 dm³ com
327 duas plantas.

328 Para determinar a concentração de proteínas solúveis totais e atividades
329 enzimáticas, 0,2 g da biomassa de folhas de meloeiro foram maceradas em nitrogênio
330 líquido. Foram acrescentados 4 ml do tampão fosfato de potássio (50 mM), pH 7,0,
331 contendo KH₂PO₄ e 1 mM de EDTA. O concentrado foi colocado em tubos, os quais
332 foram centrifugados (10.000 g a 4°C, 10 min), sendo os extratos enzimáticos
333 armazenados em tubos eppendorf. A concentração de proteínas solúveis (mg g⁻¹
334 matéria fresca – MF) em cada amostra foi determinada pelo método colorimétrico
335 (Bradford, 1976). Para a determinação da atividade da ascorbato peroxidase (APX, EC
336 1.11.1.11) foi utilizada a metodologia de Nakano e Asada (1981) modificada por
337 Koshiba (1993). A atividade da peroxidase (POX, EC 1.11.1) foi avaliada de acordo
338 com Urbanek *et al.* (1991) usando guaiacol e H₂O₂ como substrato. A polifenoloxidase

339 (PFO, EC 1.10.3.1) teve sua atividade determinada pela oxidação do pirogalol (Kar e
340 Mishra 1976).

341 Para a extração de compostos fenólicos totais (FT) 0,5 g da biomassa fresca de
342 folhas de meloeiro foram macerados em nitrogênio líquido com posterior adição de
343 etanol a 80%. A determinação da atividade de FT foi realizada utilizando-se o método
344 colorimétrico de Folin-Denis (Bezerra Neto e Barreto, 2011).

345

346 **Análise estatística dos dados**

347 Todos os experimentos foram repetidos. Teste de Cochran indicou
348 homogeneidade de variância e desta forma os dados de cada ensaio foram agrupados
349 para análise. As análises de variância e os testes de comparação de médias (Teste de
350 Tuckey $P \leq 0,05$) foram executados utilizando-se o pacote estatístico SAS (SAS, 1999).

351

352 **Resultados**

353

354 **Efeito dos tratamentos nos componentes de resistência à mancha aquosa do** 355 **meloeiro**

356 Os tratamentos SilCa, EscSil e AgSil ($1,41 \text{ g kg}^{-1}\text{Si}$) aplicados ao solo e ASM
357 ($200 \mu\text{g L}^{-1}$) aplicado foliarmente promoveram as maiores elevações e reduções
358 significativas ($P \leq 0,01$) nos componentes de resistência PI, IDO e AACPD,
359 independentemente do híbrido avaliado (Tabela 2). O PI foi elevado de 4,7 para 9,2 e
360 7,7 dias com a aplicação de SilCa e EscSil ao solo, respectivamente. Apesar de
361 diferirem significativamente do controle, os tratamentos EscSil, AgSil, ASM e SiK
362 (17 mM) não diferiram entre si para essa variável. Silicato de potássio SilK (17 mM Si)
363 pulverizado em folhas também elevou significativamente o PI para 6,7 dias, no entanto,
364 esse mesmo produto aplicado via irrigação na concentração de $1,7 \text{ mM Si}$ não diferiu do
365 controle (Tabela 2).

366 O IDO e a AACPD foram reduzidas significativamente em (67 e 61%) e (64 e
367 59%) com a adição de SilCa e EscSil ao solo. Aplicação de ASM e AgSil reduziram a
368 IDO em 40 e 33% e a AACPD em 51 e 42%. Ainda, a aplicação de SilK foliar e via
369 irrigação não diferiram entre si, mas também resultaram em reduções do IDO em 16 e
370 14% e da AACPD em 21 e 17%, respectivamente (Tabela 2).

371 O híbrido tipo amarelo AF4945 foi o menos acometido pela doença
372 apresentando o maior PI (6,5) e as menores médias para IDO (38,44%) e AACPD

373 (18,63), independentemente do tratamento utilizado. (Tabela 2). Não houve diferença
374 significativa entre os tratamentos e entre os híbridos com relação à incidência da
375 doença, com todas as folhas exibindo sintomas da mancha aquosa ao fim do
376 experimento. Os primeiros sintomas da doença caracterizaram-se por pequenas lesões
377 encharcadas que progrediram para necróticas, rodeadas ou não por halos cloróticos. Nas
378 plantas que serviram como controle as lesões coalesceram e cobriram todo o limbo
379 foliar.

380

381 **Espectros de fluorescência da clorofila em meloeiro inoculado com *Acidovorax*** 382 ***citrulli*, supridos ou não com silício.**

383 Após 45 dias de cultivo, as diferenças entre as razões de fluorescência dos
384 tratamentos SilCa e EscSil e os seus respectivos controles foi de 14 e 12% para o
385 híbrido AF 4945, e 7 e 5% para o híbrido Medellín (Figuras 1 e 2).

386 No tempo 0 horas antes da inoculação com *A. citrulli*, as razões de fluorescência
387 da clorofila mostraram-se semelhantes, independentemente do tratamento aplicado. No
388 entanto, a partir de 8 dias da inoculação, plantas controles AF 4945 e Medellín elevaram
389 a razão F_{685}/F_{735} . Enquanto plantas tratadas com Si mantiveram a redução dessa razão
390 até 16 dias após a inoculação, com plantas híbridas AF 4945 e Medellín tratadas com
391 SilCa exibindo discreta elevação entre 12 e 16 dias após a inoculação com *A. citrulli*.
392 No intervalo entre a primeira e a última avaliação, plantas híbridas AF 4945 e Medellín
393 reduziram a razão de fluorescência em 20 e 19% e 22 e 20% quando fertilizadas com
394 EscSil e SilCa, respectivamente. Por sua vez, nesse mesmo intervalo, plantas controles
395 híbridas AF 4945 e Medellín obtiveram razões de fluorescência reduzidas em apenas 7 e
396 11% (Figuras 1 e 2).

397

398 **Efeito dos tratamentos aplicados ao solo no conteúdo de Si, nutrientes, clorofila,** 399 **lignina e biomassa das plantas**

400 Os maiores teores de Si (10,93 e 12,82 g kg⁻¹) e (10,37 e 10,67 g kg⁻¹) foram
401 observados em plantas de meloeiro híbrido AF 4945 e Medellín, respectivamente,
402 quando supridas com EscSil e SilCa (Figura 3).

403 A Adição de SilCa e EscSil ao solo elevou significativamente ($P \leq 0,05$) os
404 conteúdos de Si em raízes e de N, P, K, Ca, Mg, Si, Cu e Fe na parte aérea de plantas
405 de meloeiro, independentemente do híbrido. O conteúdo de Mn, por sua vez, foi
406 reduzido com a fertilização do solo. Os tratamentos SilCa e EscSil apenas diferiram

407 entre si para o acúmulo de Si, Cu e Mn na parte aérea, sendo os maiores incrementos de
408 Si (80%) e Cu (122%) observados em plantas tratadas com EscSil, e, a maior redução
409 de Mn (51%) obtida em plantas tratadas com SilCa (Tabela 3).

410 A concentração de clorofila total e lignina foram elevadas significativamente em
411 36 e 43% e 38 e 54%, quando as plantas foram fertilizadas com SilCa e EscSil,
412 respectivamente. A biomassa do meloeiro foi significativamente elevada ($P \leq 0,05$) com
413 a adição de SiCa e EscSil ao solo (Tabela 4). Incrementos de 249, 94, 173 e 136%
414 foram observados para biomassa fresca e seca de raiz e parte aérea de plantas
415 fertilizadas com EscSil, comparadas às plantas controle. Os tratamentos SilCa e EscSil
416 não diferiram entre si para o acúmulo de biomassa (Tabela 4).

417

418 **Determinação da atividade enzimática, peróxido de hidrogênio e fenóis totais**

419 Em folhas de plantas de meloeiro híbrido AF4945 tratadas com Si (+Si) e
420 inoculadas com *A. citrulli*, aumento significativo de proteínas solúveis totais (PST) foi
421 observado em todos os tempos avaliados, com picos significativos ($P \leq 0,05$) em
422 atividades às 24, 48 e 96 horas após inoculação (h.a.i) quando comparado ao controle (-
423 Si). Para o híbrido Medellín picos significativos em atividades da PST foram
424 verificados em 0, 12, 24, 48 e 96 h.a.i (Figuras 4a, 4b).

425 A peroxidase (POX) disparou sua significativa maior atividade das 24 às 144
426 h.a.i em folhas de meloeiro híbrido AF 4945 e a partir das 12 h.a.i em plantas híbridas
427 Medellín (Figuras 5a, 5b). A atividade da ascorbato peroxidase (APX) diferiu entre os
428 tratamentos (+Si e -Si) 12, 24, 48, 96 e 144 h.a.i em folhas híbridas AF4945 e, a partir
429 de 12 h.a.i em todos os tempos avaliados para o híbrido Medellín, quando houve uma
430 maior atividade em plantas (+Si) para ambos híbridos (Figura 6a e 6b).

431 A atividade da polifenoxidase (PFO) foi significativamente maior ($P \leq 0,05$) em
432 12, 24, 192 e 240 h.a.i para plantas AF 4945 (+Si) comparadas com plantas (-Si). Para
433 plantas Medellín (+Si), a atividade da PFO foi significativamente maior das 12 às 240
434 h.a.i (Figuras 7a e 7b). A atividade de fenóis totais (FT) foi significativamente maior em
435 plantas AF4945 (+Si) das 24 às 240 h.a.i, enquanto que plantas Medellín (+Si) exibiram
436 maior atividade de FT das 12 às 96 h.a.i, comparadas a plantas (-Si) (Figura 8a e 8b).

437

438 **Discussão**

439 Fornecer Si a espécies não acumuladoras e acumuladoras intermediárias é um
440 desafio. A pesquisa por fontes e modos mais adequados é fundamental na definição de

441 uma estratégia apropriada de aplicação à cultura, de modo que os vários efeitos do Si
442 possam potencializar a resistência do vegetal. No patossistema *A. citrulli*-meloeiro, as
443 informações registradas limitam-se a investigações prévias sobre os efeitos de silicato
444 de cálcio suplementado às plantas via fertilização do solo (Ferreira *et al.*, 2009) e
445 silicato de potássio pulverizado em folhas (Ferreira *et al.*, 2012).

446 Independentemente da fonte e forma como o Si foi aplicado às plantas, todos os
447 tratamentos à base desse elemento foram capazes de reduzir a intensidade da doença. Os
448 resultados também forneceram as primeiras evidências de que SilK aplicado
449 diretamente ao solo, via irrigação e/ou pulverizado em folhas de meloeiro pode reduzir
450 a severidade da mancha aquosa (Tabela 2). Estas informações podem ser utilizadas na
451 estratégia de manejo integrado da doença, especialmente quando o custo com aplicações
452 de agrotóxicos necessita ser reduzido. As principais fontes de Si para as plantas são as
453 escórias de siderurgia, silicatos de potássio e silicatos de sódio, as quais são aplicadas
454 ao solo, foliarmente e/ou em soluções nutritivas para a obtenção de um elevado teor de
455 Si em plantas para o controle da doença (Bélanger *et al.*, 1995; Rodrigues *et al.*, 2003;
456 Datnoff *et al.*, 2007). Muitas culturas não cultivadas hidroponicamente, ou aquelas com
457 ineficiente habilidade em absorver ácido monossilícico a partir da solução do solo e em
458 translocá-lo a parte aérea, não podem se beneficiarem dos efeitos positivos que o Si
459 fornece às plantas, tais como reduzir a intensidade de algumas doenças e aliviar alguns
460 tipos de estresses abióticos (Datnoff *et al.*, 2007). Assim, a aplicação foliar de Si
461 solúvel pode ser uma alternativa para o controle de doenças em algumas culturas. Na
462 cultura do meloeiro, a maior parte dos tratamentos fitossanitários é realizada por meio
463 de pulverizações foliares, as quais se constituem uma forma prática de manejar as várias
464 doenças. Entretanto, apesar de elevar o PI de 5 para 7 dias e reduzir significativamente o
465 IDO e a AACPD em 16 e 21%, a pulverização foliar com SilK não foi o tratamento
466 mais eficiente em reduzir a severidade da mancha aquosa, mas sim a fertilização do solo
467 com SilCa ou EscSil, os quais foram responsáveis pelas maiores elevações em PI e
468 reduções em IDO e AACPD. Quando aplicados ao solo na concentração de 1,4 g kg⁻¹
469 Si, SilCa e EscSil elevaram significativamente o PI de 5 para 9 e 8 dias e reduziram o
470 IDO em 67 e 61% e a AACPD em 64 e 59%, respectivamente (Tabela 2). Guév *et al.*
471 (2007) também observaram que Si pulverizado foliarmente não foi tão efetivo quanto Si
472 suprido às raízes para o controle de oídio (*Blumeria graminis* f. sp. *tritici*) em trigo.
473 Liang *et al.* (2005) obtiveram resultados análogos para o oídio (*Sphaerotheca fuliginea*)
474 em pepino. Os autores também não observaram aumento na atividade de proteínas

475 relacionadas à patogênese com a aplicação foliar de Si, indicando que o controle da
476 doença promovido pelo tratamento foliar foi provavelmente devido um efeito físico do
477 Si sendo depositado nas folhas de pepino, ou um efeito osmótico ou de pH promovidos
478 pelas solução de Si na superfície foliar. Aplicação foliar de Si pode revestir fisicamente
479 a superfície foliar após a secagem, interferindo com a germinação de urediniósporos e,
480 como consequência, controlar o desenvolvimento da ferrugem asiática da soja (Lemes *et*
481 *al.*, 2011).

482 Em meloeiro, Dallagnol *et al.* (2012) estudaram os efeitos de silicato de potássio
483 nos componentes de resistência ao oídio (*Podosphaera xanthii*) e verificaram que o
484 fornecimento desse produto às raízes resultou em maior teor de Si em plantas, sendo
485 mais efetiva que sua pulverização em folhas em reduzir a maioria dos componentes
486 epidemiológicos avaliados, com exceção da eficiência de infecção, em contraste ao
487 tratamento foliar, onde o Si foi somente depositado na superfície externa das folhas. Os
488 autores observaram reduções na área abaixo da curva de progresso da doença em 65 e
489 73%, quando o SilK foi aplicado foliarmente e em raízes, respectivamente, comparado a
490 plantas controle. No presente trabalho, os maiores teores de Si foram observados em
491 plantas fertilizadas com SilCa e EscSil (Figura 3), os quais foram atrelados às maiores
492 reduções em IDO (67 e 51%) e AACPD (64 e 59%) (Tabela 2). O meloeiro tem sido
493 classificado como uma espécie acumuladora-intermediária de Si (Takahashi *et al.*, 1990;
494 Ferreira, 2009; Dallagnol *et al.*, 2010), o que foi também confirmado neste estudo, visto
495 plantas fertilizadas com SilCa terem acumulado até 12 g kg⁻¹ Si na massa aérea seca
496 (Figura 4). Teores de até 30 g kg⁻¹ de Si foram observados em plantas de meloeiro
497 híbrido Jangada que receberam aplicação de SilK em raízes (Dallagnol *et al.*, 2012).
498 Além disso, como mostrado para o arroz (Rezende *et al.*, 2009), análises de raio-X
499 indicaram que Si acumulou em folhas apenas quando foi suplementado às raízes, uma
500 vez que Si aplicado foliarmente foi facilmente removido por lavagem.

501 Os componentes da resistência de plantas à patógenos podem ser positivamente
502 influenciados pela nutrição mineral (Epstein, 1999). Os resultados mostraram que
503 plantas de meloeiro foram influenciadas pela fertilização do solo com SiCa e EscSil,
504 independentemente do híbrido. O conteúdo de N, P, K, Ca, Mg, Si, Cu e Fe foi
505 significativamente incrementado, enquanto o conteúdo de Mn foi reduzido com a
506 aplicação de escória e silicato de cálcio ao solo (Tabela 3). Os fertilizantes silicatados,
507 quando adicionados ao solo, além de Si carregam outros macro e micronutrientes que
508 estão presentes em sua constituição, aumentando a disponibilidade dos mesmos às

509 plantas. O silício também pode alterar o pH da rizosfera das plantas, influenciando
510 dessa forma, a absorção de nutrientes essenciais para ativar mecanismos de defesa e
511 barreiras estruturais. Os nutrientes podem atuar como co-fatores na síntese de enzimas,
512 inclusive naquelas ligadas a patogênese tornando-se mais uma evidência da atuação dos
513 nutrientes no processo de defesa da planta (Marchener, 1995). A mitigação dos
514 possíveis efeitos tóxicos de alguns elementos, principalmente do Mn^{2+} , constitui-se em
515 outro efeito benéfico da absorção de Si (Epstein, 1994). Redução de 51% na
516 concentração de Mn^{2+} em plantas de meloeiro foi obtida com a adição de SilCa ao solo
517 (Tabela 3), o que indiretamente contribuiu na redução da intensidade da doença por
518 aliviar as plantas dos possíveis efeitos tóxicos causados por esse elemento.

519 De acordo com a capacidade de absorção de Si pelas plantas, estas podem ser
520 mais ou menos beneficiadas pelos efeitos desse elemento (Arsenault-Labrecque *et al.*,
521 2012), dessa forma, plantas acumuladoras, como o arroz, o trigo e a cana-de-açúcar são
522 as mais notadamente beneficiadas. Nessas espécies, a redução da intensidade de
523 doenças é desempenhada pelo papel do Si funcionando como uma barreira física contra
524 a penetração de patógenos e, ainda, pela mediação dos mecanismos de defesa vegetal
525 (Datnoff *et al.*, 2007). Em plantas não acumuladoras, como o tomateiro e acumuladoras
526 intermediárias, como o meloeiro o efeito do Si na redução dos componentes de
527 resistência parece restringir-se a um efeito *priming* que resulta na antecipação e
528 aumento na intensidade de respostas de defesa pós-infecção da planta (Brunings *et al.*,
529 2009; Ghareeb *et al.*, 2011; Dallagnol *et al.*, 2011).

530 Como consequência de um superior acúmulo de Si, N, P, K, Ca, Mg, Cu e Fe,
531 plantas fertilizadas com escória incrementaram a biomassa fresca e seca da raiz e parte
532 aérea em 249, 94, 173 e 136%, respectivamente (Tabela 4). A resistência de plantas á
533 patógenos mediada por Si parece não envolver custos fisiológicos extras, ao contrário, é
534 observado na maioria dos casos, maior aporte de nutrientes e incremento vegetal em
535 biomassa, conferindo a planta um status nutricional mais adequado que contribui na
536 resistência de plantas (Dannon e Wydra, 2004; Diogo e Wydra, 2007; Ferreira, 2009).

537 Aos 45 dias de cultivo, concentrações de pigmentos (clorofila *a*, clorofila *b* e
538 total) foram significativamente elevadas em folhas de plantas de meloeiro supridas com
539 SilCa e EscSil, indiretamente refletindo reduzido danos às folhas durante a infecção por
540 *A. citrulli*. Os maiores incrementos de clorofila *a* (40%), clorofila *b* (34%) e clorofila
541 total (38%) foram observados em plantas fertilizadas com EscSil (Tabela 4). As
542 explicações para o aumento do teor de clorofila com o suprimento de Si as plantas,

543 embora não estejam bem esclarecidas, apoiam-se no fato de que quando o Si é
544 acumulado nas células epidérmicas da parte aérea, melhora a arquitetura da planta
545 favorecendo um melhor aproveitamento da luz. Uma das consequências desse efeito
546 seria um aumento da taxa fotossintética em tais plantas, levando a um aumento da
547 produção de poder redutor (NADP e NADPH) e, conseqüentemente, uma maior
548 capacidade de assimilação de nitrogênio pelas mesmas. Além do N, o Mg, por ser o
549 átomo central das moléculas de clorofila, o Cu e o Fe, por desempenharem importantes
550 funções na síntese dessa molécula, são também fundamentais á fotossíntese (Taiz e
551 Zeiger, 2004). Neste trabalho, as maiores concentrações de clorofila corresponderam
552 aos maiores acúmulos de Si, N, Mg, Cu e Fe pelas plantas e reduções na severidade da
553 mancha aquosa do meloeiro, sugerindo uma estreita relação entre os mesmos com
554 significativa influência na infecção por *A. citrulli*. Plantas de pepino cultivadas em
555 solução nutritiva, com concentração de 100 mg L⁻¹ de SiO₂, apresentaram aumento no
556 teor de clorofila, maior massa foliar (fresca e seca), atraso na senescência e aumento da
557 rigidez das folhas, as quais permaneceram mais eretas (Adatia e Besford, 1986).

558 A fluorescência da clorofila é uma técnica eficaz no fornecimento de
559 informações sobre mudanças na eficiência fotoquímica e dissipação de calor (Maxwell e
560 Jhonson, 2000). As análises espectrais de fluorescência mostraram que o estresse
561 induzido por *A. citrulli* está associado com as reduções dos níveis de clorofila e
562 mudanças no fotossistema II (Figuras 1e 2). Baseado no processo fisiológico da planta
563 interferido pelo patógeno, a mancha aquosa do meloeiro, por afetar a área foliar, pode
564 ser inserida no grupo V de McNew (1960) de doenças de plantas que interferem com a
565 fotossíntese.

566 Os resultados mostraram variações significativas no perfil espectral para plantas
567 supridas com Si e inoculadas com *A. citrulli* quando comparadas com plantas controle
568 (Figuras 1e 2). Ao longo do processo infeccioso causado por *A. citrulli*, plantas híbridas
569 de meloeiro AF 4945 e Medellín, fertilizadas com Si exibiram aumentos dos níveis de
570 clorofila, que foi indicado por um aumento na reabsorção de fluorescência em
571 aproximadamente 685 e 735 nm, e uma redução na razão de florescência F₆₈₅/F₇₃₅.
572 Enquanto que em plantas controles, a partir de 8 dias da inoculação com *A. citulli*,
573 reduzida reabsorção de fluorescência, devido a uma diminuição nos níveis de clorofila
574 foi acompanhada por um aumento na razão F₆₈₅/F₇₃₅, indicando que houve perturbação
575 no processo fotossintético, especificamente com o fotossistema II, sendo um reflexo da
576 maior severidade causada pelo patógeno às folhas, o que foi detectado pela análise

577 espectral de fluorescência (Figura 1). Em condições de estresse a taxa de fluorescência
578 das bandas de emissão da clorofila no vermelho e vermelho distante, indicadas pela
579 razão F_{685}/F_{735} , é aumentada. O aumento dessa relação indica que a capacidade de
580 captação da luz é superior à capacidade de aproveitamento fotoquímico, resultando na
581 emissão de fluorescência. Níveis de clorofila são importantes parâmetros na
582 identificação de estresses em plantas e estão associados com outras importantes
583 variáveis que afetam o desenvolvimento vegetal (Dai *et al.*, 2009).

584 Com relação à eficiência dos tratamentos, plantas de meloeiro supridas com
585 silicato de cálcio, independentemente do híbrido, exibiram elevação na razão de
586 fluorescência F_{685}/F_{735} a partir de 12 dias da inoculação com *A. citrulli*, enquanto plantas
587 tratadas com escória mantiveram a redução para essa razão (Figura 1). Esse fenômeno
588 sugere a perda de eficiência em proteção das plantas pelo silicato de cálcio em estágios
589 avançados da infecção e a ação prolongada da escória nesse patossistema.

590 Aos 45 dias de cultivo, reduzida emissão em 685 nm e 735 nm, devido aos seus
591 mais altos níveis de clorofila, foi observada em plantas supridas com Si e inoculadas
592 com *A. citrulli*, comparadas a emissão não absorvida de plantas controles altamente
593 estressadas, sugerindo que o Si desempenhou um papel fundamental em amenizar o
594 estresse causado pela infecção por *A. citrulli*. (Figura 2).

595 A quantificação da severidade de doenças foliares tem sido tradicionalmente
596 avaliada com o uso de escalas diagramáticas baseadas em sintomas visíveis. Esta é uma
597 forma fácil, rápida e aplicável à maioria das doenças foliares, entretanto só avalia
598 sintomas visíveis e pode ser afetada pela subjetividade das observações. Uma forma de
599 reduzir a subjetividade é a análise de imagens digitais para quantificar a severidade da
600 doença com base em mudanças da coloração foliar devido aos sintomas. Outra
601 alternativa é a utilização da fluorescência da clorofila para quantificar os efeitos de
602 doenças foliares no sistema fotossintético. As vantagens dessa técnica são sua alta
603 sensibilidade, não ser destrutiva e não subjetiva (Tung *et al.*, 2012; Mahlein *et al.* 2012).
604 Neste estudo, os primeiros sintomas visíveis da mancha aquosa surgiram aos 6 dias após
605 a inoculação com *A. citrulli*, entretanto observados como minúsculas lesões, as quais só
606 foram interferir com o sistema fotossintético foliar 8 dias após a inoculação (Figura 1).
607 Isto pode indicar que a técnica de fluorescência da clorofila tem o potencial de inferir
608 quando perdas econômicas passam a ser importantes.

609 Em plantas não acumuladoras de Si, este elemento desempenha uma função
610 indireta em induzir enzimas que removem espécies reativas de oxigênio e enzimas

611 responsáveis pela degradação da parede celular de patógenos. É também relatado que Si
612 pode agir por elicitar reações bioquímicas de defesa, incluindo o acúmulo de lignina,
613 compostos fenólicos e proteínas relacionadas à patogênese em plantas infectadas. (Qin
614 e Tian, 2005; Datnoff *et al.*, 2011). Em plantas tratadas com Si e inoculadas com *A.*
615 *citrulli* foi observado um aumento no nível de proteínas solúveis totais (Figura 4).
616 Segundo Oliveira *et al.* (2012), este fenômeno pode estar relacionado a reprogramação
617 genética do hospedeiro, conduzindo à síntese de novas proteínas associadas com a
618 patogênese e defesa da planta.

619 A atividade da APX foi maior em plantas supridas com Si e inoculadas com *A.*
620 *citrulli* (Figura 6). As APXs são consideradas as enzimas mais importantes na
621 eliminação de H₂O₂, tanto no citosol quanto nos cloroplastos (Inzé e Montagu, 1995),
622 utilizando o ascorbato como seu doador específico de elétrons na redução de peróxido
623 de hidrogênio à água. Aumento ou decréscimo na atividade de enzimas relacionadas
624 com a resposta de defesa das plantas a patógenos é um fenômeno comum diante de
625 todas as possíveis mudanças citológicas decorrentes da íntima interação patógeno-
626 planta-Si (Pereira *et al.*, 2009).

627 O suprimento de Si às plantas é também reconhecido por aumentar a
628 concentração de compostos fenólicos durante o processo de infecção por alguns
629 patógenos (Bélanger *et al.*, 2003; Dallagnol *et al.*, 2011; Menzies *et al.*, 1991; Rodrigues
630 *et al.*, 2003). Percussores de lignina e compostos fenólicos podem ser tóxicos a
631 patógenos tais como *Puccinia recondita* f. sp. *tritici* em trigo, *Pyricularia grisea* em
632 arroz, *Phodosphaera xanthi* em melão, *Fusarium oxysporum* f. sp. *cubense* em banana e
633 *Xanthomonas translucens* pv. *ondulosa* em trigo (Rodrigues *et al.*, 2003; Southerton e
634 Deverall, 1990; Dallagnol, 2010; Fortunato *et al.*, 2012) devido as suas interações com
635 lipídeos e fosfolipídios presentes na parede celular desses patógenos. Os nossos
636 resultados revelaram maior atividade de fenóis totais em folhas de meloeiro supridas
637 com Si e inoculadas com *A. citrulli* (Figura 8). O rápido acúmulo de compostos
638 fenólicos no sítio de infecção, nos estágios iniciais da resposta de defesa, é fundamental
639 para restringir a infecção pelo patógeno (Nicholson e Hammerschmidt, 1992), pois estes
640 podem inibir enzimas extracelulares, inibir a fosforilação oxidativas no patógeno e
641 reduzir a disponibilidade de nutrientes para o mesmo (Scalbert, 1991).

642 O conteúdo de lignina em matéria seca, avaliado aos 45 dias de cultivo, foi
643 elevado em 54%, quando as plantas foram supridas com EscSil (Tabela 4). O efeito
644 negativo da lignificação celular sobre o patógeno ocorre devido à formação de uma

645 barreira mecânica que limita seu crescimento, pelo aumento na resistência da parede
646 celular à ação de suas enzimas, pela redução de metabólitos e também pela produção de
647 precursores tóxicos e radicais livres (Chabannes *et al.*, 2001). Silva *et al.* (2010)
648 sugerem que o suprimento de Si à plantas de trigo pode aumentar a resistência à estria
649 bacteriana causada por *Xanthomonas translucens* pv. *ondulosa*, possivelmente por um
650 aumento na lignificação dos tecidos.

651 A polimerização dos compostos fenólicos que resulta em um aumento na
652 lignificação dos tecidos envolve a participação de ambas polifenoxidase (PFO) e
653 peroxidase (POX). O aumento da atividade da enzima POX (Figura 5) consome parte
654 do H₂O₂ para a síntese de lignina e reforço da parede celular o que restringe a
655 colonização pelo patógeno e reduz os danos celulares (Torres *et al.*, 2006). Peróxido de
656 hidrogênio é uma espécie reativa de oxigênio e sua produção pode ser elevada em
657 plantas submetidas a estresses bióticos, neste caso inoculação com *A. citrulli* ou estresse
658 abiótico. Membranas bacterianas são sensíveis às espécies reativas de oxigênio, e
659 explosões oxidativas agem como parte da estratégia de defesa da planta, para limitar a
660 colonização pelo patógeno (Eltner, 1982; Oliveira *et al.*, 2012). Peróxido de hidrogênio
661 age também como um indutor da expressão de genes que codificam algumas proteínas,
662 incluindo enzimas antioxidantes. Embora H₂O₂ tenha uma importante função na
663 proteção de plantas, sua excessiva acumulação é prejudicial, conduzindo a oxidação de
664 proteínas, ácidos graxos e DNA, causando assim danos e eventual morte celular
665 (Halliwell, 2006; Oliveira *et al.*, 2012).

666 A atividade da PFO foi também significativamente elevada em plantas de
667 meloeiro tratadas com Si e inoculadas com *A. citrulli* (Figura 7). As PFOs catalisam a
668 hidroxilação de monofenóis formando *orto*-difenóis e também a oxidação de *orto*-
669 difenóis formando *orto*-quinonas, as quais exibem natureza microbiana superior aos
670 compostos fenólicos que as precede (Rodrigues *et al.*, 2005). A verificação do aumento
671 da atividade de fenóis totais, paralelamente ao da enzima PFO, sugere possível atuação
672 de quinonas na redução da severidade da mancha aquosa. Dallagnol (2010) não
673 verificou alteração na atividade da enzima PFO em folhas de meloeiro tratados com
674 silicato de potássio e inoculados com *P. xanthi* o que indicou atuação de fenóis em sua
675 forma original nesse patossistema. Silva *et al.* (2010) relataram um não aparente efeito
676 da atividade da PFO na resistência do trigo à estria bacteriana, considerando os
677 tratamentos com Si.

678 Os resultados deste estudo mostraram que Si aplicado ao meloeiro via solo é a
679 mais eficiente forma de fornecer esse elemento à cultura apresentado o maior potencial
680 em reduzir a intensidade da mancha aquosa. O silicato de cálcio e a escória de
681 siderurgia foram as fontes que mais se destacaram em fornecer Si às plantas e na
682 redução da doença. Entretanto, devido ao baixo custo e disponibilidade, a escória se
683 constitui na mais adequada fonte a ser aplicada nos campos de produção de melão. Foi
684 evidente o papel das fontes de Si na nutrição e melhor status fotossintético da plantas,
685 sendo a análise de fluorescência da clorofila sensível a mudanças causadas pela infecção
686 por *A. citrulli* em folhas de meloeiro, detectando danos fotossintéticos, especificamente
687 danos ao fotossistema II. Somado ao efeito nutricional e fotoquímico, a função
688 desempenhada pela POX e PFO na polimerização de compostos fenólicos, remoção de
689 H₂O₂ e maior síntese de lignina resultaram na redução da severidade da mancha aquosa
690 do meloeiro.

691

692 **Referências**

693

694 Adatia M.H., A.T. Besford ,1986. The effects of silicon on cucumber plants grown in
695 recirculating nutrient solution. *Annual Botanical* 58, 343-351.

696

697 Azevedo L.A.S, 1997. *Manual of Quantification of Diseases of Plants*, , Luiz Azevedo,
698 São Paulo, Brasil, 114 pp.

699

700 Arnon D. I, 1994. Copper enzymes in isolated chloroplasts polyphenoloxidase in *beta*
701 *vulgaris*. *Plant Physiology*, 24, 1-5.

702

703 Bélanger R.R., P.A. Bowen, D.L. Eheret and J.G. Menzies, 1995. Soluble silicon: its
704 role in crop and disease management of greenhouse crops. *Plant Disease* 79, 329-336.

705

706 Bélanger R.R., N. Benamou and J.G. Menzies, 2003. Cytological evidence of an active
707 role of silicon in wheat resistance to powdery mildew (*Blumeria graminis* f. sp. *tritici*).
708 *Phytopathology* 93, 402-412.

709

710 Bezerra Neto E. and L. P. Barreto, 2004. *Métodos de Análises Químicas em Plantas*.

711 Imprensa Universitária, Recife, Brasil, 165pp.

- 712 Burdman S. and R. Walcott, 2012. *Acidovorax citrulli*: generating basic and applied
713 knowledge to tackle a global threat to the cucurbit industry. *Molecular Plant Pathology*,
714 13, 805-815.
715
- 716 Chabannes M., K. Ruel, A. Yoshinaga, B. Chabbert, A. Jauneau, J.P. Joseleau and A.M.
717 Boudet, 2001. In situ analysis of lignins in transgenic tobacco reveals a differential
718 impact of individual transformations on the spatial patterns of liginin deposition at the
719 cellular and subcellular levels. *The plant Journal* 28, 271-282.
720
- 721 Chérif M., A. Asselin and R.R. Bélanger, 1994. Defense responses induced by soluble
722 silicon in cucumber roots infected by *Pythium* spp. *Phytopathology* 84, 236-242.
723
- 724 Dallagnol L.J., 2010. *Epidemiologia e Bioquímica do Controle do Oídio do Meloeiro*
725 *por Silício*. Tese, Universidade de São Paulo – Escola Superior de Agricultura Luiz de
726 Queiroz, Piracicaba, São Paulo, Brasil, 66 pp.
727
- 728 Dallagnol L.J., F.A. Rodrigues, F.A.O. Tanaka, L. Amorim and L.E.A. Camargo, 2012.
729 Effect of potassium silicate on epidemic componentes of powdery mildew on melon.
730 *Plant Pathology* 61, 323-330.
731
- 732 Dannon E.A. and K. Wydra, 2004. Interaction between silicon amendment, bacterial
733 wilt development and phenotype of *Ralstonia solanacearum* in tomato genotypes.
734 *Physiological and Molecular Plant Pathology* 64, 233-243.
735
- 736 Datnoff L.E., F.A. Rodrigues and K.W. Seebold, 2007. Silicon and plant disease. In:
737 *Mineral nutrition and plant disease* (L.E. Datnoff, W.H. Elmer, D.M. Huber, ed.), The
738 American Phytopathological Society Press, St Paul, MN, USA, 233-246.
739
- 740 Diogo R.V.C and K. Wydra, 2007. Silicon-induced basal resistance in tomato against
741 *Ralstonia solanacearum* is related to modification of pectic cell wall polysaccharide
742 structure. *Physiological and Molecular Plant Pathology* 70, 120-129.
743
- 744 Elstner E.F, 1982. Oxygen activation and toxicity. *Annual Review of Plant Physiology*
745 33: 73-96.

- 746 Epstein E, 1994. The anomaly of silicone in plant biology, 1994. *Proceedings of the*
747 *National Academy of Sciences* 91, 11-17.
- 748
- 749 Epstein E, 1999. Silicon. *Annual Review in Plant Physiology and Plant Molecular*
750 *Biology* 50, 641-664.
- 751
- 752 Fawe A., J.G. Menzies, M. Chérif and R.R. Bélanger, 2001. Silicon and Disease
753 Resistance in Dicotyledons. In: *Silicon in Agriculture* (L.E. Datnoff, G.H. Snyder, G.H.
754 Korndörfer, ed.), Elsevier, Amsterdam, Netherlands, 159-169.
- 755
- 756 Ferreira H.A., 2009. *Silício no controle da mancha-aquosa em meloeiro (Cucumis melo*
757 *L.)* Dissertação, Universidade Federal Rural de Pernambuco, Recife, Brasil, 84 pp.
- 758
- 759 Ferreira H.A., C.W.A. Nascimento, A.J. Silva, R.L.R. Mariano, G.H.S. Nunes and
760 R.L.S. Cavalcante, 2009. Efeito de doses de silício no controle da mancha-aquosa em
761 meloeiro. In: *Abstracts, 42th Congresso Brasileiro de Fitopatologia, 3 – 7 Agosto,*
762 *2009, Rio de Janeiro, Brasil, N° 959 (abstract).*
- 763
- 764 Ferreira H.A., C.W.A. Nascimento, R.L.R. Mariano, G.H.S Nunes, S.B. Melo, W.R. da
765 Silva, W.M. Silva and F.B.V. da Silva. 2012. Aplicação foliar de silício na resistência
766 do meloeiro à mancha-aquosa. In: *Abstracts 30th Reunião Brasileira de Fertilidade do*
767 *Solo e Nutrição de Plantas, p. 127, Setembro, 2012, Maceió/Alagoas, Brasil, N° 2098*
768 *(abstract).*
- 769
- 770 Fortunato A.A., F.A. Rodrigues and K.J.T. do Nascimento, 2012. Physiological and
771 Biochemical Aspects of the Resistance of Banana Plants to Fusarium Wilt Potentiated
772 by Silicon. *Phytopathology* 102, 957-966.
- 773
- 774 Ghareeb H., Z. Bozsó, P.G. Ott, K. Wydra, 2011. Silicon and *Ralstonia solanacearum*
775 modulate expression stability of housekeeping genes in tomato. *Physiological and*
776 *Molecular Plant Pathology* 75,176-179.
- 777

- 778 Guéve M.H., J.G. Menzies and R.R. Bélanger, 2007. Effect of root and foliar
779 applications of soluble silicon on powdery mildew control and growth of wheat plants.
780 *European Journal of Plant Pathology* 119, 429-436.
781
- 782 Halliwell B, 2006. Reactive species and antioxidants. Redox biology is a fundamental
783 theme of aerobic life. *Plant Physiology* 141, 312-322.
784
- 785 Inzé D. and M.V. Montagú, 1995. Oxidative stress in plants. *Current Opinion in*
786 *Biotechnology* 6, 153-158.
787
- 788 Kathrin B., H. Mauricio and G. Noga, 2012. Presymptomatic Detection of Powdery
789 Mildew Infection in Winter Wheat Cultivars by Laser-Induced Fluorescence. *Applied*
790 *Spectroscopy* 66, 344-358.
791
- 792 Korndörfer G.H., H.S. Pereira and A. Nolla, 2004. *Silicon analyses for soil, plant, and*
793 *fertilizer*. Uberlândia: Silicon in Agriculture Research Group. 34. (Technical Bulletin 2)
794 (In Portuguese).
- 795 Lemes E.M., C.L. Mackowaik, A. Blount, J.J. Wright, D.L. Coelho and L.E. Datnoff,
796 2011. Effects of silicon applications on soybean rust development under greenhouse and
797 field conditions. *Plant Disease* 95, 317-324.
798
- 799 Liang Y.C., W.C. Sun, J. Si and V. Römheld, 2005. Effects of foliar and root applied
800 silicon on the enhancement of induced resistance to powdery mildew in *Cucumis*
801 *sativus*. *Plant Pathology* 54, 678-685.
802
- 803 Lins E.C.C., 2009. *Espectroscopia da fluorescência na citricultura*. Tese, Universidade
804 de São Paulo, São Paulo, Brasil, 116 pp.
805
- 806 Mateos-Naranjo E., L. Andrades-Moreno and A.J. Davy, 2013. Silicon alleviates
807 deleterious effects of high salinity on the halophytic grass *Spartina densiflora*. *Plant*
808 *Physiology and Biochemistry* 63, 115-121.
809

- 810 Maxwell K. and G.N. Johnson, 2000. Chlorophyll fluorescence—a practical guide.
811 *Journal of Experimental Botany* 51,659–668.
812
- 813 Menzies J.G., D.L. Ehret A.D.M. Glass and A.L. Samuels, 1991. The influence of
814 silicon on cytological interactions between *Sphaerotheca fuliginea* and *Cucumis*
815 *sativus*. *Physiological and Molecular Plant Pathology* 39, 403-414.
816
- 817 Pell A.N. and P. Schofield, 1993. Computerized monitoring of gas production to
818 measure forage digestion in vitro. *Journal of Dairy Science* 76, 1063-1073.
819
- 820 Pereira E.W.L., H.A. Ferreira and W. Preston, 2008. Eficiência do acibenzolar-s-
821 methyl no controle da *Acidovorax avenae* subsp. *citrulli* e efeito na qualidade de frutos
822 de melão. *Proceedings of the Tropical Region - American Society for Horticultural* 52,
823 47-51.
824
- 825 Quin G.Z. and S.P. Tian, 2005. Enhancement of biocontrol activity of *Cryptococcus*
826 *laurentii* by silicon and the possible mechanisms involved. *Phytopathology* 95, 69-75.
- 827 Rodrigues F.A., F.X.R. Vale, L.E. Datnoff, A.S. Prabhu and G.H. Korndörfer, 2003.
828 Effect of rice growth stages and silicon on sheath blight development. *Phytopathology*
829 93, 256-261.
830
- 831 Rodrigues F.A., W.M. Jurick, L.E. Datnoff, J.B. Jones and J.A. Rollins, 2005. Silicon
832 influences cytological and molecular events in compatible rice-*Magnaporthe grisea*
833 interactions. *Physiological and Molecular Plant Pathology* 66, 144-159.
834
- 835 Sales Júnior R. and J.B. Menezes, 2001. *Mapeamento das doenças fúngicas,*
836 *bacterianas e viróticas do cultivo do melão no Estado do RN.* Mossoró: Escola Superior
837 de Agricultura de Mossoró, 25 p. (Relatório Técnico).
838
- 839 Sales Junior R., F.S.T.P. Filho, G.H.S. Nunes and G.R.C. Torres, 2007. Eficiência de
840 Acybenzolar-S-Methul e oxiclreto de cobre no controle de *Acidovorax avenae* subsp.
841 *citrulli*, agente causal da mancha-aquosa do meloeiro. *Revista de Biologia e Ciências da*
842 *Terra* 7, 66-70.

- 843 Sandra S., F.A. Rodrigues, V. Carré-Missio, M.A.G. Oliveira and L. Zambolin, 2009.
844 Aplicação foliar de silício na resistência da soja à ferrugem e na atividade de enzimas de
845 defesa. *Tropical Plant Pathology* 34, 164-170.
846
- 847 Santos A.A., F.M. Viana, 2000. *Mancha-aquosa do melão*. Fortaleza. EMBRAPA-SPI.
848
- 849 Scalbert A, 1991. Microbial properties of tannins, *Photochemistry* 30, 3875-3883.
850
- 851 Silva I.T., F.A. Rodrigues, J.R. Oliveira, S.C. Pereira, C.C.L. Andrade, P.R. Silveira
852 and M.M. Conceição, 2010. Wheat resistance to bacterial leaf streak mediated by
853 silicon. *Journal of Phytopathology* 158, 253-262.
854
- 855 Silva A.J., C.W.A. Nascimento, A.S. Gouveia-Neto and E.A. da Silva-Jr, 2012. LED-
856 Induced Chlorophyll Fluorescence Spectral Analysis for the early detection and
857 monitoring of cadmium toxicity in Maize plants. *Water Air Soil Pollution* 223, 3527-
858 3533.
859
- 860 Southerton, S. G. and B. J. Deverall, 1990. Histochemical and chemical evidence for
861 lignin accumulation during the expression of resistance to leaf rust fungi in wheat.
862 *Physiological and Molecular Plant Pathology* 36,483-494.
863
- 864 Taiz, L. and E. Zeiger, 2004. *Fisiologia vegetal*. Porto Alegre: ARTMED. 719p.
865
- 866 Takahashi E., J.F. Ma, Y. Miyake, 1990. The possibility of silicon as an essential
867 element for higher plants. *Comments on Agricultural and Food Chemistry* 2, 357-360.
868
- 869 Torres, M. A., Jones J. D. G. and Dangi J. L, 2006. Reactive oxygen species signaling
870 in response to pathogens. *Plant Physiology* 141, 373-378.
871
- 872 Tung J., P.H. Goodwin and T. Hsiang, 2013. Chlorophyll fluorescence for
873 quantification of fungal foliar infection and assessment of the effectiveness of an
874 induced systemic resistance activator. *European Journal of Plant Pathology* 1-15.
875

- 876 Urbanek H., E. Kuzniak-Gebarowska, K. Herka, 1991. Elicitation of defense responses
877 in bean leaves by *Botrytis cinerea* polygalacturonase. *Acta Physiologiae Plantarum* 13,
878 43-50.
- 879
- 880 United States Environmental Protection Agency – USEPA (1998). Microwave assisted
881 acid digestion of sediments, sludges, soils, and oils (p. 30). Method 3051 A, CD-ROM.
- 882
- 883 Van Soest P.J., J.B. Robertson, B.A. Lewis, 1991. Methods for dietary fiber, neutral
884 detergent fiber, and nonstarch polysaccharides in relation to animal nutrition. *Journal of*
885 *Dairy Science* 74, 3583-3597.
- 886
- 887 Zhang C., J.M. Moutinho-Pereira, C. Correia, J. Coutinho, A. Gonçalves, A. Guedes
888 and J. Gomes-Laranjo, 2012. Foliar application of Sili-K ® increases chestnut
889 (*Castanea* spp.) growth and photosynthesis, simultaneously increasing susceptibility to
890 water deficit. *Plant Soil*. 12, 1382-1385.

891 **Tabela 1.** Análise química da escória de aciaria utilizada na fertilização de plantas de
 892 meloeiro híbridos AF 4945 e Medellín

Características	Teores
SiO ₂ total (g kg ⁻¹)	198,00
SiO ₂ solúvel (g kg ⁻¹)	6,30
P ₂ O ₅ (g kg ⁻¹)	2,70
K ₂ O (g kg ⁻¹)	1,40
CaO (g kg ⁻¹)	131,00
MgO (g kg ⁻¹)	75,00
Fe (g kg ⁻¹)	20,10
Zn (g kg ⁻¹)	0,96
Cu (g kg ⁻¹)	0,24
Mn (g kg ⁻¹)	0,80
Ni (g kg ⁻¹)	0,07
Cd (g kg ⁻¹)	0,01
Pb (g kg ⁻¹)	0,33
PN (%)	67,40
RE (%)	66,40
PRNT (%)	45,00

893 PN – poder de neutralização; RE – reatividade; PRNT – poder reativo de neutralização total.

894

895 **Tabela 2.** Médias das componentes de resistência: período de incubação (PI), área
 896 abaixo da curva de progresso da doença (AACPD) e índice de doença (IDO) avaliadas
 897 em híbridos de meloeiro AF 4945 e Medellín supridos com silício via solo (AgSil,
 898 EscSil e SilCa: 1,4 g kg⁻¹ Si), irrigação (SilK 1,7 mM Si) e foliar (SilK 17 mM Si);
 899 pulverizadas com acibenzolar-S-metil (ASM 200 µg L⁻¹) e em plantas controle (0,00 Si)
 900 inoculados com *Acidovorax citrulli*

901

Tratamentos	Componentes de Resistência		
	PI	AACPD	IDO
AgSil (1,4 g kg ⁻¹ Si)	7,2 b	20,95 c	44,17 c
ASM (200 µg L ⁻¹)	7,3 b	17,78 c	39,58 c
EscSil (1,4 g kg ⁻¹ Si)	7,7 b	14,79 d	25,83 d
SilK (1,7 mM Si)	5,5 c	29,93 b	57,09 b
SilK (17mM Si)	6,7 b	28,54 b	55,37 b
SilCa (1,4 g kg ⁻¹ Si)	9,2 a	12,98 d	21,88 d
Controle (0,00 Si)	4,7 c	35,95 a	66,04 a
Híbridos			
AF 4945	6,5 a	18,63 b	38,44 b
Medellín	5,5 b	27,34 a	50,12 a
CV(%)	23,90	30,92	26,67

902 Médias seguidas pela mesma letra minúscula pertencem não diferem entre si pelo teste de Tuckey ($P \leq 0,05$).

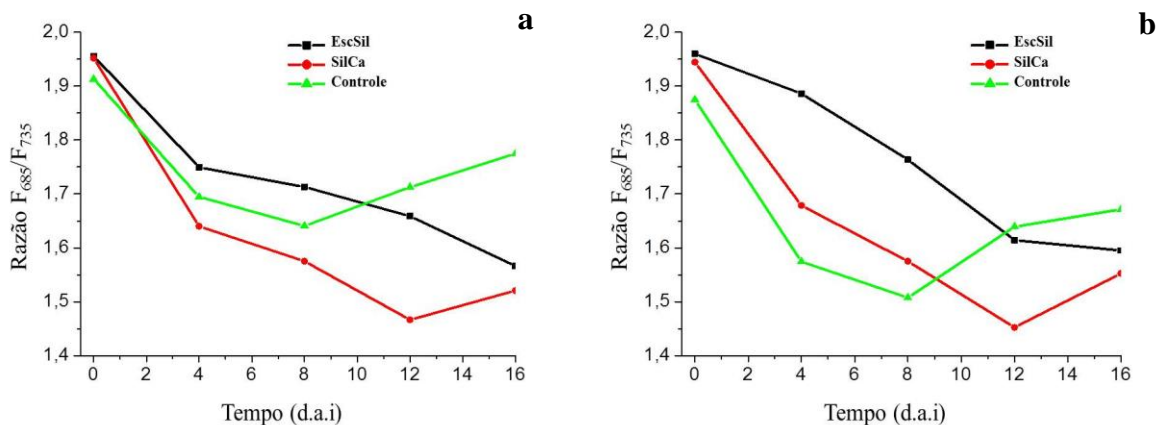


Figura 1. Razão do espectro de fluorescência da clorofila em função do tempo de cultivo de plantas híbridas de meloeiro AF 4945 (a) e Medellín (b) supridas com silício via solo e inoculadas com *Acidovorax citrulli*, usando medidas da luz vermelha e vermelho distante (F_r/F_{rr}) que correspondem aos comprimentos de onda de fluorescência de 685 e 735 nm, respectivamente.

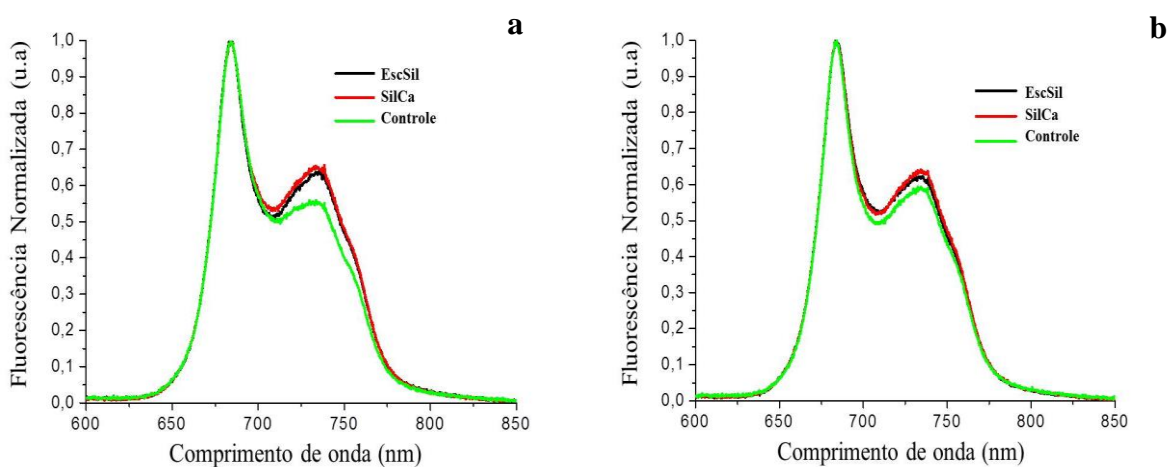


Figura 2. Média espectral da fluorescência da clorofila aos 45 dias de cultivo normalizado a intensidade de emissão 685 nm, em plantas de meloeiro híbridas AF 4945 (a) e Medellín (b) supridas com silício via solo e inoculadas com *Acidovorax citrulli*.

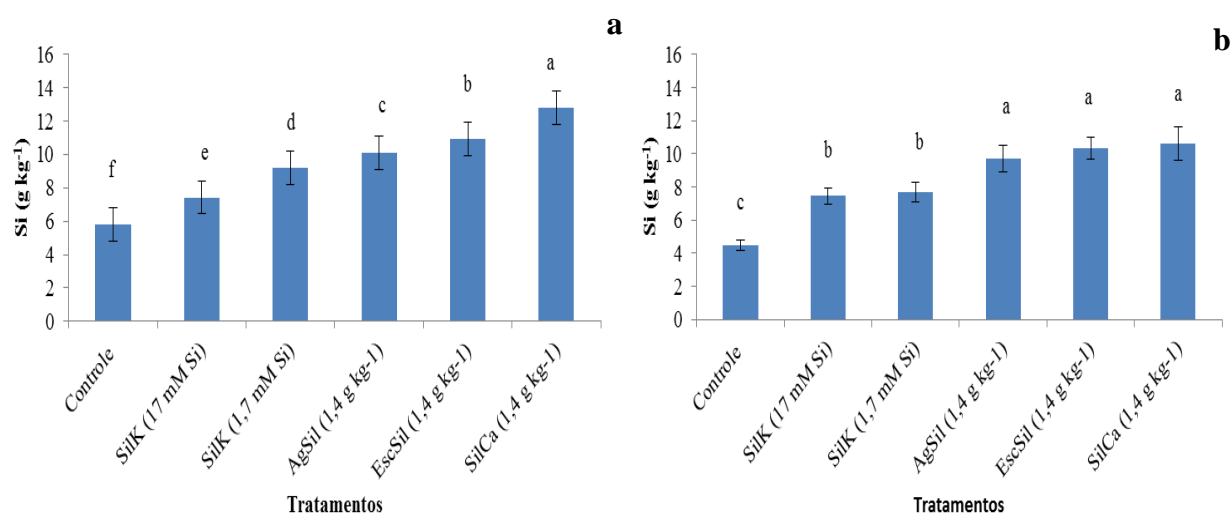


Figura 3. Teores de silício em plantas de meloeiro híbridas AF 4945 (a) e Medellín (b) supridas com silício via solo (AgSil, EscSil e SiCa 1,4 g kg⁻¹ Si), irrigação (SiLK 1,7 mM Si), foliar (SiLK 17 mM Si) e controle (0,00 Si) inoculadas com *Acidovorax citrulli*

904 **Tabela 3.** Médias dos conteúdos de Nitrogênio (N), fósforo (P), potássio (K), cálcio
 905 (Ca), magnésio (Mg), silício (SiPA), cobre (Cu), ferro (Fe), manganês (Mn) na parte
 906 aérea e silício em raízes (Si Raiz) de meloeiro híbridos AF 4945 e Medellín fertilizadas
 907 com silicato de cálcio (SiCa) e escória (EscSil) e inoculadas com *Acidovorax citrulli*

Tratamentos	N	P	K	Ca	Mg	Si PA	Si Raiz	Cu	Fe	Mn
	-----g vaso ⁻¹ -----						-----mg vaso ⁻¹ -----			
Controle	0,35 b	0,018 b	0,34 b	0,49 b	0,038 b	0,061 c	0,015 b	0,09 c	0,097 b	2,06 a
SiCa	0,56 a	0,035 a	0,47 a	1,73 a	0,15 a	0,085 b	0,086 a	0,16 b	0,15 a	1,01 c
EscSil	0,56 a	0,035 a	0,50 a	1,69 a	0,15 a	0,11 a	0,050 a	0,20 a	0,14 a	1,60 b
CV (%)	8,28	12,16	11,29	10,06	36,74	26,62	64,8	7,26	12,34	15,63

908 Médias seguidas pela mesma letra não diferem entre si pelo teste Tuckey ($P \leq 0,05$).

909

910

911

912

913 **Tabela 4.** Concentrações de clorofila *a*, *b* e total, teor de lignina na matéria seca,
 914 biomassa fresca da raiz (BF Raiz), biomassa fresca parte aérea (BFPA), biomassa seca
 915 raiz (BS Raiz) e biomassa seca parte aérea (BSPA) de plantas de meloeiro híbridas
 916 AF4945 e Medellín supridas com silício via solo e inoculadas com *Acidovorax citrulli*

Tratamentos	Clorofila <i>a</i>	Clorofila <i>b</i>	clorofila total	Lignina	BF Raiz	BFPA	BS Raiz	BSPA
	-----mg g ⁻¹ -----			%	-----g vaso ⁻¹ -----			
Controle	1,09 b	0,76 b	1,85 b	2,29 b	14,04 b	83,58 b	3,49 b	8,03 b
SilCa	1,53 a	0,98 a	2,52 a	3,27 a	44,06 a	160,13 a	5,47 a	18,05 a
EscSil	1,53 a	1,02 a	2,56 a	3,53 a	49,08 a	162,19 a	9,53 a	18,98 a
CV (%)	8,27	9,53	8,72	2,75	33,51	8,17	68,57	6,6

917 Médias seguidas pela mesma letra não diferem entre si pelo teste Tuckey ($P \leq 0,05$).

918
 919
 920

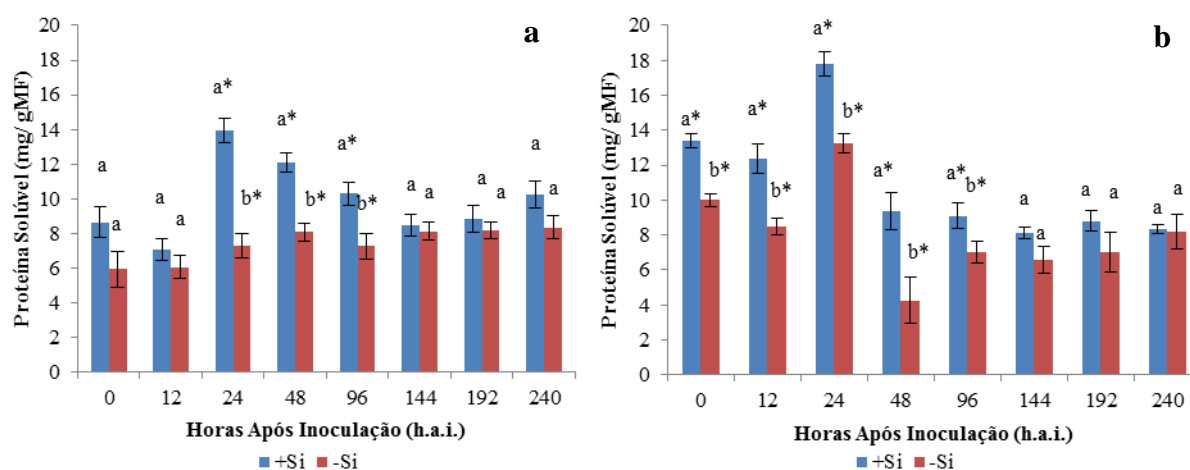


Figura 4. Níveis de proteínas solúveis totais (PST) em folhas de meloeiro híbridos AF 4945 (a) e Medellín (b) cultivados em solo com 0 (-Si) ou 1,4 g kg⁻¹ Si (+Si) em 0, 12, 24, 48, 96, 144 e 240 após inoculação com o isolado Aac1 de *Acidovorax citrulli*. Cada ponto representa a média de quatro repetições. As barras representam as médias do desvio padrão. Médias dos tratamentos (-Si) e (+Si) seguidas por um (*) diferiram pelo teste de Tuckey em um nível de 5% de probabilidade.

921

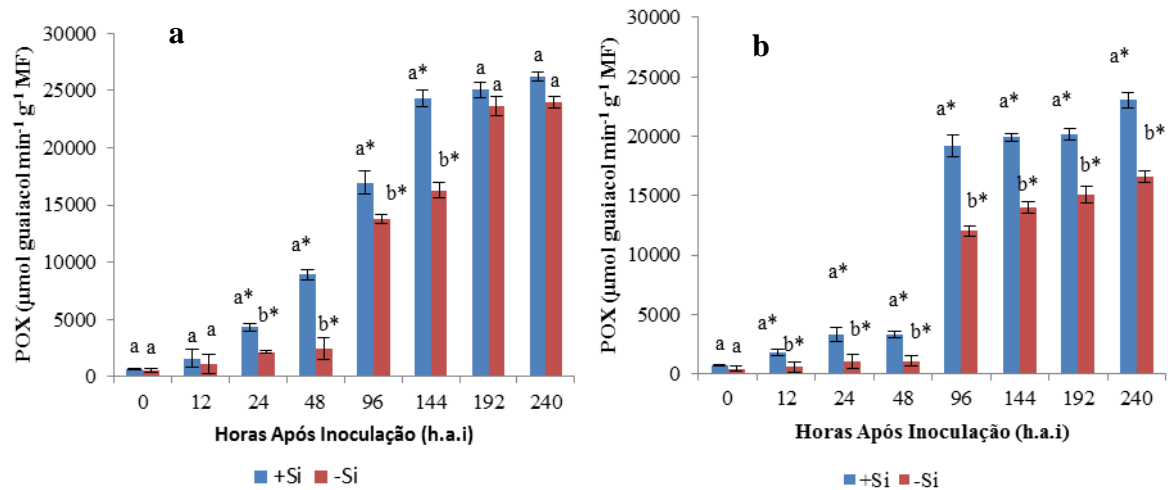


Figura 5. Atividade da peroxidase guaiacol (POX) em folhas de meloeiro híbridos AF 4945 (a) e Medellín (b) cultivados em solo com 0 (-Si) ou 1,4 g kg⁻¹ Si (+Si) em 0, 12, 24, 48, 96, 144 e 240 após inoculação com o isolado Aac1 de *Acidovorax citrulli*. Cada ponto representa a média de quatro repetições. As barras representam as médias do desvio padrão. Médias dos tratamentos (-Si) e (+Si) seguidas por um (*) diferiram pelo teste de Tuckey em um nível de 5% de probabilidade.

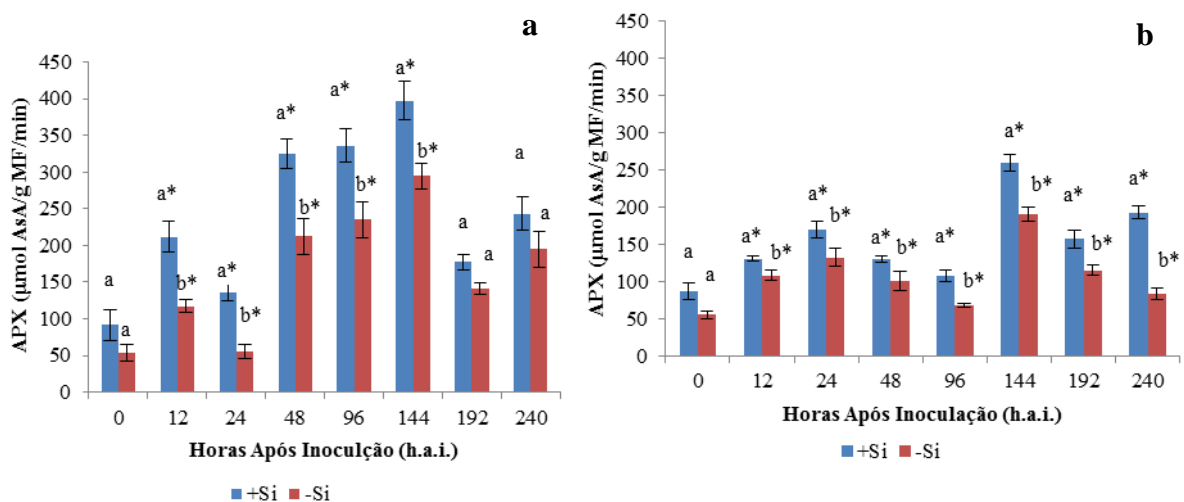


Figura 6. Atividade enzimática da ascorbato peroxidase (APX) em folhas de meloeiro híbridos AF 4945 (a) e Medellín (b) cultivados em solo com 0 (-Si) ou 1,4 g kg⁻¹ Si (+Si) em 0, 12, 24, 48, 96, 144 e 240 após inoculação com o isolado Aac1 de *Acidovorax citrulli*. Cada ponto representa a média de quatro repetições. As barras representam as médias do desvio padrão. Médias dos tratamentos (-Si) e (+Si) seguidas por um (*) diferiram pelo teste de Tuckey em um nível de 5% de probabilidade.

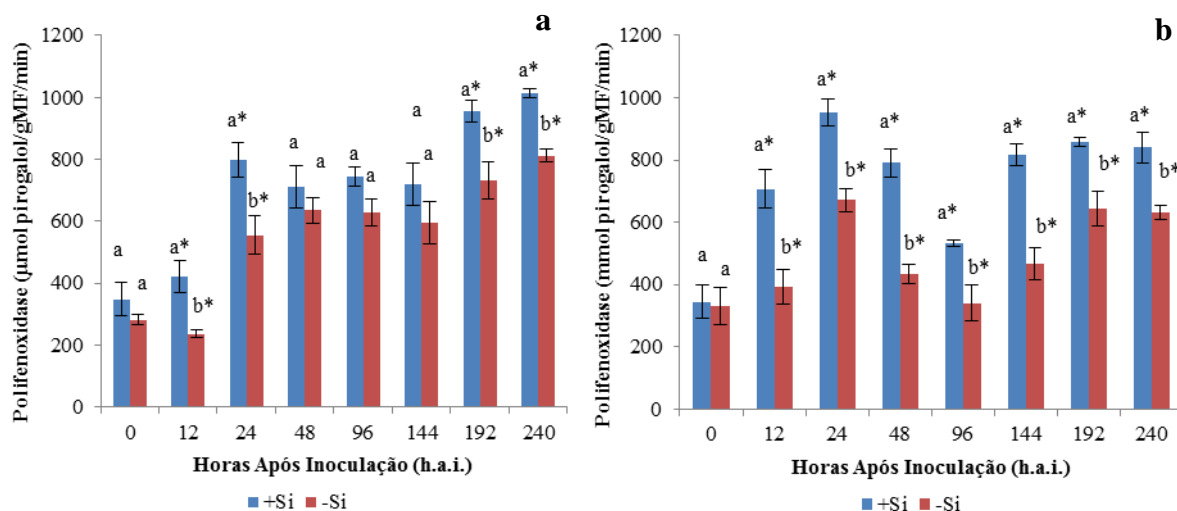


Figura 7. Atividade enzimática da polifenoxidase (PFO) em folhas de meloeiro híbridos AF 4945 (a) e Medellín (b) cultivados em solo com 0 (-Si) ou 1,4 g kg⁻¹ Si (+Si) em 0, 12, 24, 48, 96, 144 e 240 após inoculação com o isolado Aac1 de *Acidovorax citrulli*. Cada ponto representa a média de quatro repetições. As barras representam as médias do desvio padrão. Médias dos tratamentos (-Si) e (+Si) seguidas por um (*) diferiram pelo teste de Tuckey em um nível de 5% de probabilidade.

922

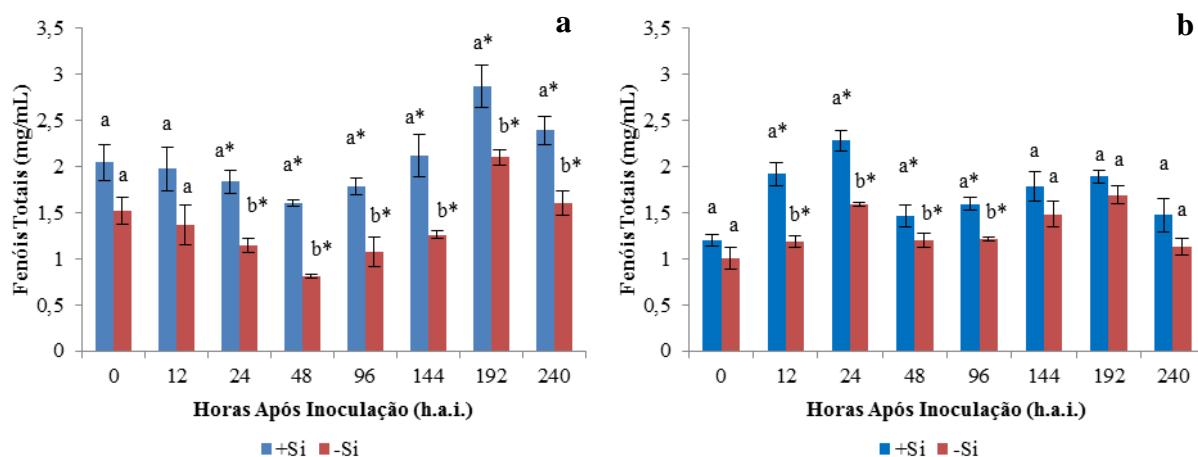


Figura 8. Níveis de fenóis totais (FT) em folhas de meloeiro híbrido AF 4945 (a) e Medellín (b) cultivados em solo com 0 (-Si) ou 1,4 g kg⁻¹ Si (+Si) em 0, 12, 24, 48, 96, 144 e 240 após inoculação com o isolado Aac1 de *Acidovorax citrulli*. Cada ponto representa a média de quatro repetições. As barras representam as médias do desvio padrão. Médias dos tratamentos (-Si) e (+Si) seguidas por um (*) diferiram pelo teste de Tuckey em um nível de 5% de probabilidade.

CAPÍTULO III

**ESCÓRIA DE SIDERURGIA E SEUS EFEITOS NA RESISTÊNCIA À
MANCHA AQUOSA E NO CRESCIMENTO DE MELOEIRO**

923 *Silício no crescimento e resistência à mancha aquosa*

924

925 *Universidade Federal Rural de Pernambuco, Pernambuco, Brasil*

926

927 **Escória de siderurgia e seus efeitos na resistência à mancha aquosa e no**
928 **crescimento de meloeiro**

929

930 HAILSON ALVES FERREIRA, CLÍSTENES WILLIAMS ARAÚJO DO NASCIMENTO E ROSA DE
931 LIMA RAMOS MARIANO

932 Endereço dos autores: Laboratório de Fitobacteriologia, Departamento de Agronomia, Universidade

933 Federal Rural de Pernambuco, Recife, Pernambuco 52171-900, Brasil (Autor para correspondência: H. A.

934 Ferreira. E-mail: hailson_alves@hotmail.com).

935

936 **Palavras-chave:** *Acidovorax citrulli*, nutrição mineral, atributos químicos do solo, silício.

937

938 **Resumo**

939 A mancha aquosa do meloeiro, causada por *Acidovorax citrulli* (Ac) é responsável por
940 consideráveis perdas à produção no Nordeste do Brasil. O objetivo deste trabalho foi
941 avaliar os efeitos induzidos por silício (Si) nos componentes de resistência, atributos
942 químicos do solo, crescimento e nutrição das plantas. Plantas de meloeiro híbridas AF
943 4945 e Medellín foram cultivadas em vasos contendo 5 dm³ de solo fertilizado com
944 escória nas doses de 0,00;0,12; 0,24; 0,47; 0,71 e 1,41 g kg⁻¹Si e inoculadas com *A.*
945 *citrulli* 20 dias após a emergência. Os componentes de resistência avaliados foram:
946 período de incubação (PI), área abaixo da curva de progresso da doença (AACPD),
947 índice de doença (IDO), e a incidência aos 20 dias após inoculação. Análises de
948 crescimento e acúmulo de nutrientes pelas plantas foram realizadas aos 45 dias de
949 cultivo. A dose 0,71 g kg⁻¹ Si significativamente reduziu o IDO em (38,69 e 36,69%) e
950 a AACPD em (38,38 e 37,54%) em plantas híbridas AF 4945 e Medellín,
951 respectivamente, comparadas aos seus controles. O período de incubação em plantas AF
952 4945 e Medellín supridas com Si foi de 3,9 e 3,7 dias, na medida em que seus
953 respectivos controles expressaram os primeiros sintomas da doença 2,3 e 3 dias após a
954 inoculação com Ac. A incidência da doença não foi influenciada pelo Si. Os atributos
955 químicos do solo foram significativamente influenciados pela adição de Si. O pH, e os
956 teores de Si e Ca+Mg observados após a adição desta dose foram: 5,88; 70,71 mg kg⁻¹ e
957 2,64 cmol_c dm⁻³. A acidez potencial (H+Al) e o Al³⁺ foi reduzido em 14,88 e 70%.

958 Plantas híbridas AF 4945 exibiram um conteúdo de Si e relação Si/Ca de 0,7% e 0,4,
959 enquanto o híbrido Medellín apresentou 0,8% e 0,5, o que confirmou a classificação da
960 espécie como uma acumuladora intermediária de Si.

961

962 **Keywords:** *Acidovorax citrulli*, host resistance, mineral nutrition, soil chemical attributes, silicon.

963

964 **Abstract**

965 Melon bacterial fruit blotch (BFB) caused by *Acidovorax citrulli* is responsible for
966 large yield losses in Northeastern Brazil. The aim of this work was to evaluate the
967 effects of silicon (Si) on melon BFP through an assessment of the Si-induced changes in
968 melon resistance to BFP, chemical attributes of the soil, and plant growth and nutrition.
969 Yellow melon hybrid AF 4945 and “pele-de-sapo” melon hybrid Medellín were grown
970 in pots containing soil supplemented with slag that provided concentrations of 0.00,
971 0.12, 0.24, 0.47, 0.71, and 1.41 g Si kg⁻¹ of soil and inoculated with *A. citrulli* 20 days
972 after emergence. The components of melon resistance evaluated were: incubation
973 period, disease index, area under the disease progress curve and incidence at 20 days
974 after inoculation. Analysis of plant growth and nutrient accumulation were performed in
975 45 day-old plants. The intermediate Si dose (0.71 g Si kg⁻¹ soil) significantly reduced
976 disease index to AF 4945 and Medellín hybrids by 38.69 and 36.69%, area under the
977 disease progress curve by 38.38 and 37.54%, respectively as compared to control (0.00
978 g Si kg⁻¹ soil). The silicon did not influence the incidence neither incubation period. The
979 0.71 g Si kg⁻¹ soil dose also promoted significant changes in soil chemical attributes.
980 Soil pH, Si and Ca+Mg concentrations regarding this dose were: 5.88, 70.71 mg kg⁻¹,
981 2.64 cmol_c dm⁻³, respectively, whereas H+Al and Al³⁺ were reduced by 14.88 e 70%.
982 Plant growth and nutrition were also significantly altered. AF 4945 melon hybrid plants
983 exhibited a Si content and Si/Ca ratio of 0.74 and 0.36% while the Medellín hybrid
984 showed 0.81 and 0.40%, respectively, which strengthened its classification as an
985 intermediate accumulator.

986

987

988 **Introdução**

989

990 O Brasil é o terceiro maior produtor de frutos no mundo, produzindo 40 milhões
991 de toneladas em 2,2 milhões de hectares, sendo o melão a principal fruta fresca

992 exportada pelo país. A área cultivada aumentou 7,5% entre 2009 e 2010, alcançando
993 mais que 18 000 ha e uma produção estimada de 478 000 toneladas. Todas as regiões
994 brasileiras produzem melão, mas 94% da produção está concentrada na região Nordeste.
995 Os estados do Ceará e Rio Grande do Norte são os líderes brasileiros na produção e
996 exportação da fruta (IBGE 2009; IBGE 2010; IBRAF, 2010).

997 A cultura do meloeiro é suscetível a várias doenças que podem causar danos
998 econômicos por reduzir a qualidade e/ou quantidade dos frutos produzidos. A mancha
999 aquosa do meloeiro causada pela bactéria *Acidovorax citrulli* (Schaad et al.) Schaad et
1000 al. é a principal doença bacteriana que afeta os campos de produção no Nordeste do
1001 Brasil. A doença ocorre principalmente na estação chuvosa, causando perdas na ordem
1002 de 40 a 50%, podendo dizimar algumas lavouras. Apesar dos danos causados pela
1003 mancha aquosa, existem poucos estudos focando seu controle químico (Sales Junior et
1004 al. 2005) ou biológico (Oliveira et al. 2006; Santos et al. 2006; Medeiros et al. 2009).
1005 Visto não haver cultivar resistente ou tolerante, a mais importante medida de controle é
1006 o uso de sementes saudáveis, embora tratamentos químicos ou físicos não erradiquem
1007 completamente o patógeno da semente (Burdman e Walcott 2012). No campo, o
1008 principal método de controle desta bacteriose é o uso de produtos cúpricos e antibióticos
1009 (Sales Junior et al. 2005). Entretanto, de acordo com Burdman e Walcott (2012),
1010 tratamentos de desinfestação de sementes e controle químico no campo têm baixa
1011 eficiência na redução das perdas associadas a esta bactéria. Rotação de cultura, evitar
1012 plantio em áreas úmidas ou em épocas chuvosas e erradicar restos culturais,
1013 cucurbitáceas silvestres e hospedeiras voluntárias são também medidas recomendadas
1014 (Latin e Hopkins 1995; Viana et al. 2000). Além disso, uma prática alternativa é
1015 manejar a nutrição mineral para aumentar a resistência à doença (Marshner 1995). Entre
1016 os elementos minerais estudados, o Si destaca-se pela sua habilidade em reduzir a
1017 severidade de um importante número de doenças de plantas (Epstein 1999; Datnoff et
1018 al. 2007).

1019 O efeito do Si no controle de doenças de plantas, seu modo de ação e sua
1020 atuação na epidemia de diversos patossistemas ainda não estão totalmente esclarecidos.
1021 Há alguns estudos mostrando que Si aplicado ao solo, foliarmente ou em solução
1022 nutritiva, tem significativamente contribuído para reduzir a intensidade de várias
1023 doenças economicamente importantes (Bélangier et al. 1995; Datnoff et al. 1997;
1024 Rodrigues e Datnoff 2005; Datnoff et al. 2007; Resende et al. 2009; Silva et al. 2010).
1025 Os estudos de Si no controle de doenças tiveram início com monocotiledôneas, pois

1026 estas absorvem grandes quantidades deste elemento. As doenças do arroz, por exemplo,
1027 são as mais eficientemente controladas pelo suprimento de Si às plantas (Datnoff et al.
1028 2007). Plantas acumuladoras de Si são definidas como plantas que acumulam mais que
1029 1% de Si e mostram uma relação Si/Ca maior que 1. Plantas que contêm 0,5-1% de Si
1030 na matéria seca, porém com relação molar Si/Ca menor que 1 são classificadas como
1031 intermediárias, e plantas que contêm menos que 0,5% de Si, não-acumuladoras (Ma et
1032 al. 2001). Interesse em patossistemas envolvendo dicotiledôneas tem aumentado desde a
1033 segunda metade do século passado, e têm focado principalmente oídios em pepino e
1034 murcha bacteriana em tomateiro (Menzies et al. 1992; Dannon e Wydra 2004; Diogo e
1035 Wydra 2007).

1036 Um dos mecanismos envolvidos na resistência hospedeira mediada pelo Si é
1037 atribuído à sua deposição abaixo da cutícula formando uma barreira física. Esta dupla
1038 camada cutícula-Si pode ser parcialmente responsável por impedir a penetração de
1039 patógenos. Em seu movimento via apoplasto desde as raízes até as folhas, o Si
1040 polimeriza-se nos espaços extracelulares, acumulando-se nas paredes das células
1041 epidérmicas das folhas e dos vasos do xilema (Fawe et al. 2001; Cunha et al. 2009).
1042 Entretanto, a observação que alteração de parâmetros nutricionais de plantas via
1043 fertilização silicatada aumentou a atividade de enzimas e resultou na presença de
1044 fitoalexinas tem fortalecido a hipótese que Si está envolvido na indução de mecanismos
1045 de defesa de plantas (Bélanger e Menzies 2003; Rodrigues et al. 2003).

1046 Os efeitos benéficos da resistência induzida pelo Si têm sido principalmente
1047 relatados para patógenos fúngicos em plantas que acumulam Si, tais como pepino, arroz
1048 e trigo (Chérif et al. 1994; Rodrigues et al. 2003; Silva et al. 2010). Em patossistemas
1049 envolvendo bactérias e plantas não acumuladoras e/ou acumuladoras intermediárias, os
1050 efeitos do Si não têm sido amplamente estudados (Dannon e Wydra 2004; Carzola et al.
1051 2006; Diogo e Wydra 2007; Martinati et al. 2007).

1052 As fontes de Si normalmente utilizadas em pesquisas são os metassilicatos de
1053 sódio e potássio, além do ácido silícico, com efeitos semelhantes. Existe grande
1054 diversidade de fontes de Si usadas na agricultura. Além dos produtos especialmente
1055 desenvolvidos para aplicações foliares, termosfosfatos e diferentes escórias industriais
1056 de siderurgia são aplicadas ao solo e adicionam significativas quantidades de Si,
1057 juntamente com outros nutrientes. A forma presente na maioria dos produtos para
1058 aplicação via solo é o silicato de cálcio (CaSiO_3), sendo o teor de SiO_2 da fonte variável
1059 conforme a origem do material (Bélanger et al. 1995).

1060 As escórias siderúrgicas, provenientes da produção do aço e do ferro-gusa,
1061 constituídas basicamente de silicatos de cálcio e magnésio, desde que não se constituam
1062 em fontes de contaminação do solo com metais pesados, podem atender adequadamente
1063 a características ideais como fonte de Si para o uso agrícola que são: alto conteúdo de Si
1064 solúvel, facilidade de aplicação mecanizada, adequadas relações e quantidades de cálcio
1065 (Ca) e magnésio (Mg), custo reduzido e baixo potencial de contaminação do solo com
1066 metais pesados (Kordönrfer et al. 2004; Araújo e Nascimento 2005). Embora o
1067 aproveitamento agrícola das escórias de siderurgia seja pouco comum no Brasil, apesar
1068 da grande quantidade disponível, seu uso no fornecimento de Si para as plantas é
1069 estudado e praticado em várias partes do mundo (Prado et al. 2003; Sobral et al. 2011).
1070 Além da fonte fornecedora de Si ser importante, a quantidade de Si a ser aplicada no
1071 solo precisa ser definida ou calculada com bastante critério, pois quanto mais Si for
1072 absorvido pela planta, maiores são as chances de resultados promissores no controle de
1073 doenças (Körndorfer et al. 2004).

1074 Com a hipótese de que Si fornecido via aplicação de escória ao solo em uma
1075 dose intermediária, menor que $1,41 \text{ g kg}^{-1}$ é capaz de reduzir a intensidade da mancha
1076 aquosa do meloeiro, o objetivo deste trabalho foi avaliar as mudanças induzidas pelo Si
1077 na resistência de plantas a esta doença, nos atributos químicos do solo e no crescimento
1078 e nutrição de plantas cultivadas em casa de vegetação.

1079

1080

1081 **Material e Métodos**

1082

1083 **Efeito da escória de siderurgia nos componentes da resistência**

1084

1085 O experimento foi conduzido em casa de vegetação com temperatura do ar
1086 variando de 27 a 40°C e umidade relativa do ar entre 38 e 78%. O solo utilizado no
1087 experimento foi um Neossolo Quartzarênico coletado na Fazenda Agrícola Famosa, na
1088 cidade de Icapuí, Ceará, Brasil. As características físico-químicas foram as seguintes:
1089 pH em água = 6,5; $\text{H+Al} = 2,93 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$; $\text{Al}^{3+} = 0,10 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$; $\text{Na}^+ = 0,76 \text{ cmol}_c$
1090 dm^{-3} ; $\text{K}^+ = 0,22 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$; $\text{Ca}^{2+} = 2,10 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$; $\text{Mg}^{2+} = 1,5 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$; $\text{P} = 136$
1091 mg dm^{-3} ; $\text{N} = 0,04 \text{ g kg}^{-1}$; $\text{V}\% = 61$; $\text{MO} = 6,86 \text{ g kg}^{-1}$; $\text{Cu} = 2,5 \text{ mg kg}^{-1}$; $\text{Fe} = 23,95$
1092 mg kg^{-1} ; $\text{Mn} = 27,7 \text{ mg kg}^{-1}$; $\text{Zn} = 12,7 \text{ mg kg}^{-1}$; $\text{Cd} = 1,68 \text{ mg kg}^{-1}$; $\text{Pb} = 1,80 \text{ mg kg}^{-1}$;
1093 $\text{Argila} = 8,5 \text{ g kg}^{-1}$; $\text{Silte} = 0,5 \text{ g kg}^{-1}$; $\text{Areia} = 91 \text{ g kg}^{-1}$; $\text{densidade} = 1,56 \text{ g cm}^{-3}$. A

1094 concentração de Si disponível no solo extraído por ácido acético ($\text{HC}_2\text{H}_3\text{O}_2$) $0,5 \text{ mol L}^{-1}$
1095 foi $17,8 \text{ mg kg}^{-1}$. A fonte de Si utilizada foi a escória siderúrgica (pó de aciaria de forno
1096 elétrico) proveniente da empresa Multiserv, pertencente ao grupo Gerdau, localizada na
1097 cidade de Recife, Pernambuco, Brasil. Esse material foi passado em peneira de 2 mm e
1098 caracterizado quimicamente (EMBRAPA 1999) e teve seu teor de Si determinado
1099 (Korndörfer et al. 2004). A escória foi digerida pelo método EPA 3052 (USEPA 1996),
1100 visando à determinação dos metais pesados (Tabela 1).

1101 A escória siderúrgica foi aplicada ao solo nas doses de 0,00, 0,12, 0,24, 0,47;
1102 0,71 e $1,41 \text{ g kg}^{-1}$ Si. Foi realizada suplementação mineral com macro e micronutrientes
1103 de acordo com os requerimentos nutricionais da cultura. A concentração de Ca e Mg foi
1104 nivelada em todos os tratamentos utilizando-se carbonato de cálcio e magnésio, visando
1105 isolar o efeito destes elementos e tornar o Si a única fonte de variação. O solo com as
1106 doses foi incubado por 25 dias com umidade mantida em torno de 80% da capacidade
1107 de retenção de água do solo.

1108 Sementes de melão tipo amarelo (híbrido AF4945) e tipo Pele de Sapo (híbrido
1109 Medellín) foram semeadas em bandeja de plástico contendo substrato comercial
1110 (Plantmax[®]). Mudas com 5 dias após emergência (d.a.e) foram transplantadas para os
1111 vasos após a incubação do solo (duas mudas por vaso). A partir de crescimento
1112 bacteriano com 48 h em meio de cultura NYDA (dextrose 10 g, extrato de carne 3 g,
1113 extrato de levedura 5 g, ágar 18 g L^{-1}) foi preparada uma suspensão do isolado Aac1 de
1114 *A. citrulli* em água destilada, sendo ajustada em fotocolorímetro (Metronic M3) para
1115 uma concentração de $3,4 \times 10^7 \text{ UFC mL}^{-1}$ (0,25 unidades de absorvância em
1116 comprimento de onda 580 nm), adicionando-se Tween 20 (0,05%). O isolado utilizado
1117 foi proveniente da Coleção de Culturas do Laboratório de Fitobacteriologia da
1118 Universidade Federal Rural de Pernambuco. Ao alcançarem o número de cinco folhas
1119 definitivas (20 d.a.e) as plantas foram inoculadas com 20 mL desta suspensão por
1120 pulverização até o escorrimento. Plantas pulverizadas apenas com água destilada
1121 serviram como controle.

1122 As plantas foram submetidas à câmara úmida constituída por saco plástico
1123 transparente previamente umedecido, 24 horas antes e após a inoculação. Durante o
1124 experimento os vasos foram mantidos com 80% da capacidade de retenção de água,
1125 mediante pesagem e irrigação diárias para complementação da água perdida por
1126 evapotranspiração. O delineamento experimental foi inteiramente casualizado, em
1127 arranjo fatorial (6x2), representado por 6 doses de Si e dois híbridos de meloeiro. Cada

1128 tratamento consistiu de 5 repetições composta de um vaso com 5 dm³ de solo com duas
1129 plantas, sendo avaliadas 5 folhas de cada planta.

1130 Após a inoculação, cinco folhas de cada planta foram avaliadas diariamente para
1131 incidência e por 20 dias em intervalos de 4 dias para severidade. Os seguintes
1132 componentes da resistência do meloeiro à mancha aquosa foram avaliados: a) período
1133 de incubação, calculado pelo número de dias entre a inoculação e o surgimento dos
1134 sintomas da doença; b) severidade da doença, estimada baseando-se em uma escala de 0
1135 a 6, adaptada a partir da escala diagramática utilizada para determinar a severidade da
1136 mancha zonada do pepino causada por *Leandria mormodicae* (Azevedo 1997), onde 0 =
1137 sem sintomas, 1 = 1 a 5% de área foliar infectada, 2 = 6 a 12% de área foliar infectada,
1138 3 = 13 a 37% de área foliar infectada, 4 = 38 a 62% de área foliar infectada, 5 = 63 a
1139 87% de área foliar infectada e 6 = 88 a 100% de área foliar infectada; c) índice de
1140 doença, aos vinte dias após a inoculação, calculado de acordo com Mckinney (1923); d)
1141 área abaixo da curva de progresso da doença, calculada baseada em cinco avaliações da
1142 severidade da doença de acordo com Shaner e Finney (1977) e, e) incidência da doença,
1143 calculada pela porcentagem de folhas por tratamento com sintomas após 20 dias da
1144 inoculação.

1145

1146 **Efeito dos tratamentos no solo e nas plantas**

1147

1148 Após a incubação do solo e antes das mudas de meloeiro serem transplantadas,
1149 amostras de solo foram coletadas de cada tratamento e análises químicas foram
1150 realizadas para os seguintes parâmetros: pH em água (1:2,5); N; P; K⁺; Na⁺; Ca²⁺; Mg²⁺;
1151 Al³⁺; H+Al (EMBRAPA 1999); e Si (Korndörfer et al. 2004) além, também, de Cu, Zn,
1152 Mn, Fe, Cd e Pb, disponíveis nos tratamentos extraídos com Mehlich-1; Si e P foram
1153 determinados por colorimetria, Cu, Zn, Mn, Fe, Cd e Pb por espectrofotometria de
1154 absorção atômica, o Na e K por fotometria de chama e Ca, Mg, N, Al e H+Al por
1155 titulometria.

1156 Após 45 dias de cultivo, as plantas foram examinadas quanto à altura com
1157 auxílio de uma régua graduada, medindo-se cada planta da base do colo até a inserção
1158 da última folha. Em seguida foram colhidas, separadas em parte aérea e raízes e pesadas
1159 em balança analítica para obtenção de massa fresca. Posteriormente, parte aérea e raízes
1160 foram lavadas em água destilada para eliminação de fragmentos de solo aderidos às
1161 mesmas, e então acondicionados em sacos de papel e conduzidos à estufa para secagem

1162 a 65°C por 72 horas. Estes materiais foram moídos em moinho tipo Willey e após
1163 digestão utilizando o método EPA 3051A (USEPA, 1998), foram determinadas as
1164 concentrações de N, P, K, Ca, Mg, Cu, Zn, Mn, Fe, Cd e Pb. O Si acumulado nas raízes
1165 e parte aérea foi extraído de acordo com o método descrito por Korndörfer et al. 2004.

1166

1167 **Efeito de doses de escória no crescimento de *Acidovorax citrulli* in vitro**

1168

1169 Em placa de Petri contendo meio de cultura NYDA foram depositados 100 µL
1170 de suspensão de Aac1 contendo $3,4 \times 10^7$ UFC mL⁻¹, espalhando-se com alça de
1171 Drigalsky. Após secagem, 4 discos de papel de filtro foram impregnados em soluções
1172 da escória contendo as seguintes concentrações de Si: 0,00; 0,12; 0,24; 0,47; 0,71 e 1,41
1173 g L⁻¹ em água destilada esterilizada e foram distribuídos equidistantemente na placa
1174 contendo a suspensão bacteriana.

1175 O delineamento experimental foi inteiramente casualizado com seis tratamentos
1176 referentes às doses de Si, cada tratamento com cinco repetições representadas por uma
1177 placa de Petri com quatro discos de papel de filtro. A avaliação foi realizada após 24, 36
1178 e 48 horas medindo-se os halos de inibição do crescimento de *A. citrulli*.

1179

1180 **Análise estatística dos dados**

1181

1182 Todos os experimentos foram repetidos. Teste de Cochran (Gomez e Gomez
1183 1994) indicou homogeneidade de variância e, desta forma, os dados dos dois ensaios
1184 foram agrupados para análise. Os dados foram analisados por análises de variância
1185 (ANOVA) e ajustados a regressões polinomiais usando o software SAEG 5.0
1186 (Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, Minas Gerais, Brasil).

1187

1188

1189 **Resultados**

1190

1191 **Efeito da escória de siderurgia nos componentes de resistência do meloeiro à** 1192 **mancha aquosa**

1193

1194 As análises de regressão mostraram efeito significativo ($P \leq 0,05$) das diferentes
1195 doses de Si avaliadas nos componentes de resistência à mancha aquosa do meloeiro. A

1196 aplicação de $0,71 \text{ g kg}^{-1}$ Si ao solo significativamente atrasou o aparecimento dos
1197 primeiros sintomas da doença em dois e um dia para os híbridos AF 4945 e Medellín,
1198 respectivamente (Figura 1a). Não houve diferença significativa entre os tratamentos
1199 com relação à incidência da doença. Os primeiros sintomas da mancha aquosa do
1200 meloeiro foram pequenas lesões encharcadas que se tornaram necróticas e
1201 frequentemente rodeadas por um halo clorótico. As lesões coalesceram e cobriram
1202 100% da área foliar nas plantas que serviram como controle.

1203 O aumento das concentrações de escória no solo conduziu a reduções na
1204 AACPD e IDO (Figuras 1b-c), para ambos híbridos. Embora todas as doses tenham
1205 proporcionado reduções significativas para AACPD e IDO ($P \leq 0,05$), a dose
1206 intermediária de $0,71 \text{ g kg}^{-1}$ Si solo foi a que promoveu as maiores reduções (38; 39%) e
1207 (38; 37%) para estes componentes para os híbridos AF4945 e Medellín,
1208 respectivamente.

1209

1210 **Efeito da escória de siderurgia nos atributos químicos do solo**

1211

1212 O pH do solo foi elevado ($P \leq 0,05$) com a maior dose de Si para 7,77,
1213 correspondendo a um aumento de 50%. A dose intermediária ($0,71 \text{ g kg}^{-1}$ Si)
1214 proporcionou um aumento significativo ($P \leq 0,05$) de 13%, elevando o pH de 5,18 para
1215 5,88 (Figura 2a). A maior disponibilidade de $\text{Ca}+\text{Mg}$ ($6,10 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$) foi observada
1216 quando a dose $0,71 \text{ g kg}^{-1}$ Si foi aplicada, incrementando significativamente ($P \leq 0,05$)
1217 em (131%) o teor desses elementos no solo, quando comparados a dose $0,00 \text{ g kg}^{-1}$ Si,
1218 na qual o teor de $\text{Ca}+\text{Mg}$ foi de $2,64 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$ (Figura 2b).

1219 A concentração de Si foi elevada significativamente ($P \leq 0,05$) de $8,95 \text{ mg kg}^{-1}$
1220 para $70,71$ e $189,01 \text{ mg kg}^{-1}$ com a aplicação das doses $0,71$ e $1,41 \text{ g kg}^{-1}$ Si (Figura 2c).
1221 A acidez potencial (H+Al) foi reduzida em 15% e 36% quando as doses $0,71$ e $1,41 \text{ g}$
1222 kg^{-1} Si foram aplicadas ao solo. H+Al foi reduzida de $2,89 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$ para $2,46$ e $1,85$
1223 $\text{cmol}_c \text{ dm}^{-3}$, respectivamente. (Figura 2d). O Al^{3+} foi sensivelmente reduzido pelas doses
1224 de escória, sendo completamente neutralizado com a dose mais alta (Figura 2e).

1225 Os teores dos micronutrientes Cu, Fe, Mn e Zn foram elevados
1226 significativamente ($P \leq 0,05$) com a aplicação das doses $0,71$ e $1,41 \text{ g kg}^{-1}$ Si. Entretanto,
1227 os incrementos máximos destes elementos foram obtidos com aplicação desta última
1228 dose, sendo de: 24; 781; 147 e 122 % comparados ao controle (Figuras 3a-b-c-d,
1229 respectivamente). Cádmio e Pb também foram elevados significativamente ($P \leq 0,05$),

1230 aumentando de 1,66 e 1,76 para 1,72 e 5,49 mg kg⁻¹ solo, respectivamente (Figuras 4a-
1231 b).

1232

1233 **Efeitos da escória no crescimento e nutrição das plantas**

1234

1235 Aplicação de doses crescentes de escória ao solo influenciou o crescimento dos
1236 híbridos de meloeiro estudados, verificando-se incrementos significativos ($P \leq 0,05$) em
1237 altura, massa fresca da raiz (MFR), massa fresca da parte aérea (MFPA), massa seca da
1238 raiz (MSR) e massa seca da parte aérea (MSPA). A dose intermediária 0,71 e a maior
1239 dose 1,41 g kg⁻¹ Si foram responsáveis pelos maiores incrementos de crescimento dos
1240 híbridos.

1241 A altura, MFR, MFPA, MSR e MSPA das plantas de meloeiro híbrido AF4945
1242 foram elevadas em: (53; 73%); (96; 154%); (49; 71%); (58; 155%) e (67; 102%)
1243 quando se utilizou a dose 0,71 e 1,41 g kg⁻¹ Si (Figuras 5a-b-c-d-e, respectivamente).

1244 A dose 0,71 g kg⁻¹ Si foi a que promoveu os maiores incrementos significativos
1245 ($P \leq 0,05$) em crescimento para o híbrido Medellín. Assim, nesta dose, a altura, MFR,
1246 MFPA, MSR e MSPA foram elevadas em 144; 204; 101; 135 e 121, respectivamente
1247 (Figuras 5a-b-c-d-e).

1248 Com relação ao acúmulo de nutrientes pelas plantas, observou-se que com a
1249 adição de doses crescentes de escória ao solo, o híbrido AF4945 acumulou linearmente
1250 N, K, Ca e Cu ($P \leq 0,05$) (Figuras 6a-b-c-e). O conteúdo de Si acumulado pelas raízes
1251 deste híbrido (Figura 7a) foi também elevado de forma linear, enquanto o acúmulo deste
1252 elemento e o de Mg na parte aérea foi ajustado a um modelo quadrático, indicando
1253 tendência a estabilização da concentração na maior dose utilizada em 37,84 e 68,02 mg
1254 vaso⁻¹ (Figura 7b, 6d).

1255 O híbrido Medellín, por sua vez, apresentou maiores conteúdos de K (424,76 mg
1256 vaso⁻¹), Ca (151,72 mg vaso⁻¹), Cu (0,086 mg vaso⁻¹), Fe (0,83 mg vaso⁻¹) (Figuras 6b-
1257 c-e-f), e Si nas raízes (4,89 mg vaso⁻¹) quando a dose intermediária 0,71 g kg⁻¹ Si foi
1258 aplicada (Figura 7a). As concentrações de N, Mg e Si, na parte aérea das plantas deste
1259 híbrido (Figuras 6a-d e 7b) foram ajustadas a modelos quadráticos que estabilizaram
1260 em conteúdos de: 210,88; 75,07 e 40,15 mg vaso⁻¹, respectivamente, com a adição da
1261 maior dose 1,41 g kg⁻¹ Si.

1262

1263

1264 **Efeito da escória de siderurgia no crescimento de *Acidovorax citrulli* *in vitro***

1265

1266 A escória de siderurgia não inibiu o crescimento *in vitro* de *A. citrulli* em
1267 nenhuma das doses avaliadas.

1268

1269

1270 **Discussão**

1271

1272 A aplicação de $0,71 \text{ g kg}^{-1}$ Si ao solo, embora tenha influenciado discretamente o
1273 período de incubação, atrasando o aparecimento dos primeiros sintomas da doença em 2
1274 e 1 dia, e, não tenha afetado a incidência da doença, reduziu a AACPD (38 e 39%) e o
1275 IDO (38 e 37%) para o híbrido AF4945 e Medellín, respectivamente (Figura 1). Esses
1276 resultados indicam que Si tem potencial para o uso no controle desta doença. Ferreira et
1277 al. (2009), estudando o efeito de diferentes doses de silicato de cálcio aplicadas ao solo
1278 para esse mesmo patossistema observaram que a maior dose, $1,41 \text{ g kg}^{-1}$ Si solo reduziu
1279 significativamente o IDO em 88,54%, a AACPD em 85,34%, e a incidência da doença
1280 em 50%, como também elevou o PI de 5,6 para 15,8 dias.

1281 Alguns estudos têm mostrado que o suprimento de Si ao solo, às folhas ou em
1282 solução nutritiva significativamente contribui para a redução da intensidade de doenças
1283 economicamente importantes em espécies monocotiledôneas e dicotiledôneas, tais como
1284 cevada, milho, pepino, uva, arroz, centeio, sorgo, morango, trigo, algodão e melão
1285 (Bélanger et al. 1995; Datnoff et al. 1997; Rodrigues e Datnoff 2005; Datnoff et al.
1286 2007; Resende et al. 2009; Silva et al. 2010; Oliveira et al. 2012; Ferreira et al. 2009;
1287 Dallagnol et al. 2011).

1288 O Si pode aumentar a resistência de plantas acumuladoras deste elemento às
1289 doenças por meio da formação de uma barreira física que pode impedir total ou
1290 parcialmente a penetração de patógenos, e/ou pela mediação da resistência hospedeira
1291 (Samuels et al. 1991; Bélanger e Menzies 2003). Em plantas não acumuladoras e
1292 acumuladoras intermediárias, tais como tomateiro e meloeiro, é sugerido que Si induz
1293 um efeito *priming* que resulta na antecipação e aumento na intensidade de respostas de
1294 defesa pós-infecção da planta (Brunings et al. 2009; Ghareeb et al. 2011; Dallagnol et
1295 al. 2011).

1296 Plantas monocotiledôneas absorvem altas quantidades de Si. Doenças da cultura
1297 do arroz, por exemplo, são eficientemente controladas pelo suprimento de Si as plantas.

1298 Semelhantemente ao pepino, o meloeiro é uma planta típica da família das
1299 cucurbitáceas e acumula níveis intermediários de Si. Segundo Ma et al. (2001), plantas
1300 como soja e pepino, que têm 0,5 a 1,0% de Si na matéria seca, mas uma relação Si/Ca
1301 menor que 1, são consideradas acumuladoras intermediárias de Si. No presente trabalho,
1302 plantas de meloeiro híbrido AF 4945 apresentaram um conteúdo de Si e uma relação
1303 Si/Ca de 0,7% e 0,4, enquanto o híbrido Medellín apresentou 0,8% de Si em matéria
1304 seca e relação Si/Ca de 0,5. Esses resultados reforçam a classificação da cultura em
1305 estudo como uma espécie acumuladora intermediária.

1306 Apesar de existirem poucos trabalhos relatando os efeitos de Si em doenças
1307 bacterianas, é notável que componentes da resistência hospedeira possam ser
1308 eficientemente alteradas pelo suprimento de Si às plantas. Neste contexto, a severidade
1309 da mancha-bacteriana do maracujá causada por *Xanthomonas axonopodis* pv.
1310 *passiflorae* foi reduzida pela pulverização foliar com argila silicatada em concentrações
1311 entre 1 e 2% (Brancaglione et al. 2009).

1312 Aplicação de escória (0,2 a 0,4 t ha⁻¹) no campo com o fim de avaliar quatro
1313 variedades de arroz com diferentes graus de resistência à escaaldadura (*Xanthomonas*
1314 *oryzae* pv. *oryzae*) reduziu significativamente o comprimento das lesões em 5 a 22%
1315 (Chang et al. 2002). Silva et al. (2010) estudaram a resistência de trigo a estria
1316 bacteriana causada por *X. oryzae translucens* pv. *undulosa* e observaram uma redução
1317 de 50,2% na área foliar clorótica quando 0,3 g kg⁻¹ de wollastonita (fonte de Si) foi
1318 adicionada ao solo.

1319 Silício em raízes desempenha uma função na sinalização da cascata de eventos
1320 bioquímicos relacionados com a defesa da planta e pode induzir resistência sistêmica
1321 em outros órgãos (Fawe et al. 2001; Silva et al. 2010). A função do Si na resistência
1322 induzida pode ser devida a sua função em fortalecer estruturas da parede celular,
1323 aumentar a lignificação, ou ativar mecanismos específicos, produção de fitoalexinas e
1324 síntese de proteínas relacionadas à patogênese (PR)-proteínas (Bélanger et al. 2003;
1325 Menzies et al. 1991; Chérif et al. 1994; Fawe et al. 2001; Silva et al. 2010).

1326 Os silicatos atuam no solo de forma semelhante aos carbonatos, corrigindo a
1327 acidez por meio da elevação do pH e reduzindo os teores de H⁺Al; neutralizando o Al
1328 trocável e ainda estão associados ao aumento da disponibilidade de Si solúvel e dos
1329 teores de Ca e Mg trocáveis (Epstein 1999). Matichenkov e Calvert (2002) afirmaram
1330 que uma das formas pelas quais os fertilizantes silicatados podem influenciar as culturas
1331 é melhorando as propriedades químicas e a fertilidade do solo. As doses 0,71 e 1,41 g

1332 kg⁻¹ Si resultaram nas maiores alterações na acidez do solo, o que influenciou
1333 diretamente a disponibilização dos nutrientes às plantas. Desta forma, a dose 0,71 g Kg⁻¹
1334 Si solo resultou em um pH mais adequado a cultura do meloeiro (5,88) e em uma
1335 maior disponibilização de Ca+Mg (6,1 cmol_c dm⁻³) para as plantas (Figura 2).

1336 O Ministério da Agricultura Pecuária e Abastecimento (MAPA) em uso da
1337 Instrução Normativa nº 27 de 05/06/2006 regulamenta o uso de escórias silicatadas para
1338 fins agrícolas baseando-se em limites máximos admitidos dos metais Cd e Pb que são
1339 de 20 e 1000 mg kg⁻¹. A escória utilizada na pesquisa apresenta teores de Cd e Pb de 10
1340 e 330 mg kg⁻¹, o que permite o seu uso na agricultura.

1341 Concentrações de N (34; 34 g kg⁻¹), Ca (34; 27 g kg⁻¹), Mg (12; 12 g kg⁻¹), Cu
1342 (13; 15 mg kg⁻¹), Fe (127; 145 mg kg⁻¹), Mn (230; 148 mg kg⁻¹), Zn (61; 75 mg kg⁻¹)
1343 foram obtidos em plantas de meloeiro híbrido AF 4945 e Medellín, respectivamente,
1344 com a aplicação da dose 0,71 g kg⁻¹ Si solo (Tabela 2). Estes teores refletem um
1345 adequado estado nutricional da cultura do meloeiro (Raij et al. 1996).

1346 Os teores de P observados foram inferiores aos teores de referência (3-7 g kg⁻¹),
1347 sendo de 1,89 e 1,55 g kg⁻¹ em plantas híbridas AF 4945 e Medellín. Este último híbrido
1348 também apresentou teor de K (75 g kg⁻¹) superior ao nível adequado (25-40 g kg⁻¹) para
1349 esse elemento. A alta concentração de P no solo, que não foi acompanhada por
1350 equivalente absorção pelas plantas, pode ter ocorrido em virtude da competição do
1351 ânion SiO₄⁻³ com PO₄⁻³ pelos mesmos sítios de adsorção. Além disso, o extrator ácido
1352 Mehlich-1 contribuiu para obtenção desse alto teor, provavelmente por sua eficiente
1353 extração de P, quando a planta, na maioria dos casos, não o é (Kato e Owa 1997; Sobral
1354 et al. 2011).

1355 Os conteúdos de Si, N, K, Ca, Mg, Cu e Fe acumulados pelas plantas de
1356 meloeiro híbrido AF 4945 e Medellín foram elevados em (46 ; 54%), (36; 57%), (43;
1357 200%), (400; 366%), (187; 257%), (20; 83%) e (16; 78%), respectivamente, quando as
1358 plantas foram supridas com 0,71 g kg⁻¹ Si solo (Figura 7b, 6a-b-c-d-e-f). O incremento
1359 nutricional promovido às plantas pode ser explicado pelo aporte de nutrientes via
1360 aplicação da escória ao solo, uma vez que, além de Si, a escória utilizada apresenta em
1361 sua constituição P, K, Ca, Mg, Fe, Zn, Cu, Mn, Ni, Cd e Pb (Tabela 1). Assim, esse
1362 efeito nutricional pode também ter sido responsável pelo melhor desempenho das
1363 plantas de meloeiro tratadas com Si e inoculadas com *A. citrulli* (Ferreira 2009).

1364 A nutrição de plantas determina em grande parte a sua resistência ou
1365 susceptibilidade a doenças, sua estrutura morfológica ou histológica, a função de tecidos

1366 na progressão da patogênese, a virulência e sobrevivência do patógeno. Os elementos
1367 minerais são necessários para síntese de barreiras químicas e físicas ou para alteração do
1368 metabolismo ao redor do sítio de infecção. A resistência também pode ser influenciada
1369 pela ausência de um nutriente essencial à atividade patogênica. Assim, uma prática
1370 alternativa no controle de doenças de plantas é manejar a nutrição mineral para
1371 aumentar a resistência hospedeira (Marschner 1995).

1372 Resende et al. (2009), estudando a influência de diferentes doses de silicato de
1373 cálcio aplicadas ao solo no comportamento de linhagens de sorgo em resposta a
1374 *Colletotrichum sublineolum*, observaram que o conteúdo foliar de Si aumentou
1375 linearmente em função das doses crescentes, com um incremento em relação ao controle
1376 de 55 e 58%, respectivamente, nas linhagens suscetível e resistente. Entretanto,
1377 diferenças não significativas foram observadas para o conteúdo foliar de Ca entre as
1378 duas linhagens ou entre a combinação de doses de wollastonita e carbonato de cálcio.
1379 Silicato de potássio aplicado em solução nutritiva reduziu o comprimento de lesões da
1380 ferrugem asiática e aumentou os níveis de P, Ca, S e Zn na parte aérea de plantas de soja
1381 (Lima et al. 2010).

1382 As plantas de meloeiro híbrido AF 4945 suplementadas com $0,71 \text{ g kg}^{-1}$ Si solo
1383 após 45 dias de cultivo apresentaram aumentos em altura (53%), MFR (96%), MFPA
1384 (49%), MSR (58%) e MSPA (67%), comparadas às plantas controles. Nesta mesma
1385 dose, o híbrido Medellín obteve os maiores valores de altura, MFR, MFPA, MSR e
1386 MSPA, as quais foram elevadas em 144; 204; 101; 135 e 121%, respectivamente
1387 (Figura 5). Outros estudos têm mostrado que a fertilização com Si pode aumentar o
1388 crescimento de plantas. Ferreira (2009) relatou aumento de altura de plantas de meloeiro
1389 híbrido AF 4945 que foram suplementadas com silicato de cálcio em (9,15%), massa
1390 fresca (23,87%) e massa seca da parte aérea (33,36%).

1391 Matichencov e Calvert (2002) afirmaram que a segunda forma como fertilizantes
1392 a base de silicatos influenciam as culturas é através de seu efeito direto no crescimento e
1393 desenvolvimento de plantas. Por exemplo, Oliveira et al. (2012) observaram que plantas
1394 de algodoeiro suplementadas com Si por 43 dias mostraram aumentos em altura (7%),
1395 massa foliar fresca (12,2%) e massa foliar seca (5,9%), esses ganhos em crescimento
1396 foram atrelados a uma redução na severidade da mancha-angular do algodoeiro em
1397 54,9%. A tolerância de plantas suscetíveis de tomateiro tratadas com Si e inoculadas
1398 com *Ralstonia solanacearum* foi relacionada a um aumento na massa seca da parte
1399 aérea em 243% quando comparadas a plantas não tratadas (-Si) (Dannon e Wydra 2004;

1400 Diogo e Wydra 2007). A resistência induzida geralmente envolve custos extras, tais
1401 como redução em crescimento e produção de plantas (Kuc 2001). Cabral et al. (2010)
1402 estudando a influência de acibenzolar-S-metil (ASM) e bioflavonóides cítricos (BFC)
1403 no controle da mancha aquosa do meloeiro verificaram reduções na incidência em 88 e
1404 60%; no IDO em 96 e 88%; e na AACPD em 94 e 74%. No entanto, independentemente
1405 do nível de NPK no solo, ASM e BFC reduziram a altura, massa fresca e seca da parte
1406 aérea das plantas de meloeiro em até 24; 41 e 34%, respectivamente. Por outro lado, a
1407 resistência mediada por Si normalmente não envolve custos fisiológicos às plantas
1408 (Ghareeb et al. 2011; Dannon e Wydra 2004; Diogo e Wydra 2007).

1409 A escória não inibiu o crescimento *in vitro* de *A. citrulli* em nenhuma das
1410 concentrações avaliadas, indicando a ausência de um efeito bactericida ou
1411 bacteriostático do Si para esta bactéria. Esses resultados corroboram os observados por
1412 Ferreira (2009) e Oliveira et al.(2012). Entretanto, diferentes concentrações de argila
1413 silicatada inibiram o crescimento *in vitro* de *X. axonopodis* pv. *passiflorae*
1414 (Brancaglione *et al.*, 2009). De acordo com Kuc (2001) indutores de resistência não
1415 agem diretamente no patógeno, não sendo fungicidas nem bactericidas e, desta forma,
1416 não exercendo pressão seletiva. Além disso, a maioria dos estudos tem mostrado que o
1417 controle de doenças mediado pela aplicação de Si é devido à indução dos mecanismos
1418 de defesa da planta hospedeira e não ação direta sobre o patógeno (Rodrigues e Datnoff
1419 2005).

1420 Resultados deste estudo mostram claramente que suprimento de Si ao solo via
1421 utilização de escória de siderurgia pode elevar a resistência à mancha aquosa do
1422 meloeiro. Assim, concluiu-se também que a dose intermediária de 0,71 g kg⁻¹ Si solo
1423 tem potencial para o uso no controle dessa bactéria, sendo necessário avaliar a eficiência
1424 desta dose e dessa fonte nos campos de produção. Foi evidente que Si não afetou
1425 diretamente o patógeno, mas desempenhou uma importante função na nutrição das
1426 plantas, e esse efeito contribuiu em reduzir a severidade da doença.

1427

1428

1429 **Referências**

1430

1431 Araújo JCT, Nascimento CAWA. (2005) Redistribuição entre frações e teores
1432 disponíveis de zinco em solos incubados com lodo de esgoto. *Rev Bras Ciênc Solo*
1433 29:635-644.

- 1434 Azevedo LAS. (1997) *Manual of Quantification of Diseases of Plants* Luiz Azevedo,
1435 São Paulo, Brasil, 114 pp.
1436
- 1437 Bélanger RR, Bowen PA, Ehret DL, Menzies JG. (1995) Soluble silicon – its role in
1438 crop and disease management of greenhouse crops. *Plant Dis* 79:329-335.
1439
- 1440 Bélanger RR, Benhamou N, Menzies JG. (2003) Cytological evidence of an active role
1441 of silicon in wheat resistance to powdery mildew (*Blumeria graminis* f. sp. *tritici*).
1442 *Phytopathology* 93:402-412.
1443
- 1444 Bélanger RR, Menzies JG. (2003) Use of silicon to control diseases in vegetable
1445 crops. *Fitopatol Bras* 28:42-45.
1446
- 1447 Brancaglione P, Sampaio AC, Fischer IH, Almeida AM, Fumis TF. (2009) Eficiência de
1448 argila silicatada no controle de *Xanthomonas axonopodis* pv. *passiflorae*, *in vitro* e em
1449 mudas de maracujazeiro-amarelo. *Rev Bras de Frutic* 31:718-724.
1450
- 1451 Burdman S, Walcott R. (2012) *Acidovorax citrulli*: generating basic and applied
1452 knowledge to tackle a global threat to the cucurbit industry. *Mol Plant Pathol* 1-11.
1453
- 1454 Brunings AM, Datnoff LE, Ma JF, Mitani N, Nagamura Y, Rathinasabapathi B, Kirst
1455 M. (2009) Differential gene expression of rice in response to silicon and rice blast
1456 fungus *Magnaporthe oryzae*. *Ann App Biol* 155:1-10.
1457
- 1458 Cabral CP, Gama MAS, Alexandre ER, Mariano RLR, Silveira EB. (2010) Efeito de
1459 acibenzolar-S-metil, mananoligossacarídeo e bioflavonóides cítricos no controle da
1460 mancha-aquosa e no crescimento do meloeiro. *Trop Plant Pathol* 35:119-123.
1461
- 1462 Cazorla MF, Arrebola E, Olea F, Velasco L, Hermoso JM, Pérez-García A, Torés JA,
1463 Farréand JM, de Vicente A. (2006) Field evaluation of treatments for the control of the
1464 bacterial apical necrosis of mango (*Mangifera indica*) caused by *Pseudomonas syringae*
1465 pv. *syringae*. *Eur J Plant Pathol* 116:279-288.
1466

- 1467 Chang SJ, Tzeng DDS, Li CC. (2002) Effect of silicon nutrient on bacterial blight
1468 resistance of rice (*Oryza sativa* L.) In: Matoh T. (ed.) Proc 2th Silicon in Agriculture
1469 Conference, 2002. Kyoto, Japan, Press-Net, pp 31-33.
1470
- 1471 Chérif M, Asselin A, Bélanger RR. (1994) Defense responses induced by soluble silicon
1472 in cucumber roots infected by *Pythium* spp. *Phytopathology* 84:236-242.
1473
- 1474 Cunha KPV, Nascimento CWA. (2009) Silicon effects on metal tolerance and structural
1475 changes in maize (*Zea mays* L.) grown on a cadmium and zinc enriched soil. *Water, Air
1476 and Soil Pollut* 197:323-330.
1477
- 1478 Dallagnol LJ, Rodrigues FA, Tanaka FAO, Amorim L, Camargo LEA. (2011) Effect of
1479 potassium silicate on epidemic componentes of powdery mildew on melon. *Plant
1480 Pathol* 1-8.
1481
- 1482 Dannon EA, Wydra K. (2004) Interaction between silicon amendment, bacterial wilt
1483 development and phenotype of *Ralstonia solanacearum* in tomato genotypes. *Phys Mol
1484 Plant Pathol* 64:233-243.
1485
- 1486 Datnoff LE, Deren CW, Snyder GH. (1997) Silicon fertilization for disease
1487 management of rice in Florida. *Crop Prot* 16:525-531.
1488
- 1489 Datnoff LE, Rodrigues FA, Seebold KW. (2007) Silicon and plant disease. In: Datnoff
1490 LE, Elmer WH, Huber DM. (eds). *Mineral nutrition and plant disease*. St Paul, MN,
1491 USA, APS Press, pp 233-246.
1492
- 1493 Diogo RVC, Wydra K. (2007) Silicon-induced basal resistance in tomato against
1494 *Ralstonia solanacearum* is related to modification of pectic cell wall polysaccharide
1495 structure. *Phys Mol Plant Pathol* 70:120-129.
1496
- 1497 Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária – EMBRAPA. (1999) *Manual de análises
1498 químicas de solos, plantas e fertilizantes*. Embrapa Comunicação para Transferência de
1499 Tecnologia, Brasília, Brasil, 370 pp.
1500

- 1501 Epstein E. (1999) Silicon. *Ann Rev Plant Phys Plant Mol Biol* 50:641-664.
1502
- 1503 Fawe A, Menzies JG, Chérif M, Bélanger RR. (2001) Silicon and Disease Resistance in
1504 Dicotyledons. In: Datnoff LE, Snyder GH, Korndörfer GH (eds). *Silicon in Agriculture*.
1505 Amsterdam, Netherlands, Elsevier, pp 159-169.
1506
- 1507 Ferreira HA, Nascimento CWA, Silva AJ, Mariano RLR, Nunes GHS, Cavalcante RLS.
1508 (2009) Efeito de doses de silício no controle da mancha-aquosa em meloeiro. In:
1509 Abstracts *42th Congresso Brasileiro de Fitopatologia*, 3 – 7 Agosto 2009. Rio de
1510 Janeiro, Brasil, pp 285.
1511
- 1512 Ferreira HA. (2009) Silício no controle da mancha-aquosa em meloeiro (*Cucumis melo*
1513 L.). Recife, Pernambuco, Brazil, Universidade Federal Rural de Pernambuco, M.Sc.
1514 Thesis.
1515
- 1516 Ghareeb H, Bozsó Z, Ott PG, Wydra K. (2011) Silicon and *Ralstonia solanacearum*
1517 modulate expression stability of housekeeping genes in tomato. *Phys Mol Plant Pathol*
1518 75:176-179.
1519
- 1520 Gomez KA, Gomez AA. (1994) *Statistical Procedures for Agricultural Research*, 2nd
1521 edn. New York, NY, USA, Wiley.
1522
- 1523 Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística – IBGE. (2009) Produção Agrícola
1524 Municipal: Culturas temporárias e permanentes, Rio de Janeiro 2009. Internet Resource:
1525 <http://www.ibge.gov.br/home/estatistica/economia/pam/2010/default.shtm>. (verified
1526 Jan 15, 2012).
1527
- 1528 Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística – IBGE. (2009) Produção Agrícola
1529 Municipal: Culturas temporárias e permanentes, Rio de Janeiro 2010. Internet Resource:
1530 <http://www.ibge.gov.br/home/estatistica/economia/pam/2010/default.shtm>. (verified
1531 Jan 15, 2012).
1532

- 1533 Instituto Brasileiro de Frutas- IBRAF. (2010) Comparativo das Importações Brasileiras
1534 de Frutas Frescas - 2010/2009. Internet Resource:
1535 http://www.ibraf.org.br/estatisticas/est_frutas.asp. (verified Jan 5, 2012).
1536
- 1537 Kato N, Owa N. (1997) Evaluation of Si availability in slag fertilizers by an extraction
1538 method using a cation exchange resin. *Soil Sci Plant Nutr* 43:351-359.
1539
- 1540 Korndörfer GH, Pereira HS, Nolla A. (2004) *Análise de Silício: Solo, Planta e*
1541 *Fertilizante*. Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia MG. GPS-ICIAG-UFU.
1542
- 1543 Kuc J. (2001) Concepts and direction of induced systemic resistance in plants and its
1544 application. *Eur J Plant Pathol* 107:7-12.
1545
- 1546 Latin RX, DL Hopkins. (1995) Bacterial fruit blotch of watermelon. The hypothetical
1547 exam question becomes reality. *Plant Dis* 79: 761–765.
1548
- 1549 Lima LM, EA Pozza, AAA Pozza, TAPS Fonseca, JG Carvalho. (2010) Quantificação
1550 da ferrugem asiática e aspectos nutricionais de soja suprida com silício em solução
1551 nutritiva. *Summa Phytopathol* 36:51-56.
1552
- 1553 Ma JF, Myakey Y, E. Takahashi. (2001) Silicon as a beneficial element for crop plants.
1554 In: Datnoff LE, Korndörfer GH, Snyder GH. (eds) *Silicon in Agriculture*. Amsterdam,
1555 Netherlands, Elsevier, pp 17-39.
1556
- 1557 Matichenkov VV, Calvert DV. (2002) Silicon as a beneficial element for sugarcane. *J A*
1558 *Soc Sugar Cane Technol* 22:21-30.
1559
- 1560 Marschner H. (1995) *Mineral Nutrition of Higher Plants*, 2nd edn. London, UK,
1561 Academic Press.
1562
- 1563 Martinati CJ, Lacava PT, Miyasawa SKS, Guzzo SD, Azevedo JL, Tsai SM. (2007)
1564 Redução dos sintomas causados pela *Xylella fastidiosa* subsp. *pauca* por meio de
1565 aplicação de benzotriazolozole e silício. *Pesq Agropec Bras* 42:1083-1089.
1566

- 1567 McKinney RH. (1923) Influence of soil temperature and moisture on infection of wheat
1568 seedlings by *Helminthosporium sativum*. *J Agric Res* 26:195-218.
1569
- 1570 Medeiros FHV, Moraes ISF, Silva Neto EB, Silveira EB, Mariano RLR. (2009)
1571 Management of melon bacterial blotch by plant beneficial bacteria. *Phytoparasitica*
1572 37:453-460.
1573
- 1574 Menzies JG, Ehret DL, Glass ADM, Helmer T, Koch C, Seywerd F. (1991) Effects of
1575 soluble silicon on the parasitic fitness of *Sphaerotheca fuliginea* on *cucumis sativus*.
1576 *Phytopathology* 81:84-88.
1577
- 1578 Menzies JG, Bowen P, Ehret D. (1992) Foliar application of potassium silicate reduce
1579 severity of powdery mildew development on cucumber, muskmelon and zucchini
1580 squash. *J Am Soc Hort Sci* 117:902-905.
1581
- 1582 Oliveira A, Santos MHM, Silveira EB, Gomes AMA, Mariano RLR. (2006)
1583 Biocontrole da mancha-aquosa do melão pelo tratamento de sementes com bactérias
1584 epifíticas e endofíticas. *Hortic Bras* 24:373-377.
1585
- 1586 Oliveira JC, Albuquerque GMR, Mariano RLR, Gondim DMF, Oliveira JTA, Souza
1587 EB. (2012) Reduction of the severity of angular leaf spot of cotton mediated by silicone.
1588 *Jo Plant Pathol* 94:297-307.
1589
- 1590 Prado FM, Fernandes FM, Natale W. (2003) Efeito residual da escória de siderurgia
1591 como corretivo da acidez do solo na soqueira de cana-de-açúcar. *Rev Bras Ciênc Solo*
1592 27:287-296.
1593
- 1594 van Raij B, Cantarela H, Quaggio JA, Furlani AMC. (1997) *Recomendações de*
1595 *adubação e calagem para o estado de São Paulo*. Campinas: Instituto
1596 Agrônômico/Fundação IAC. 2. ed. (Technical Bulletin 100).
1597
- 1598 Resende RR, Rodrigues FA, Soares JM, Casela CR. (2009). Influence of silicon on
1599 components of resistance to anthracnose in susceptible and resistant sorghum lines. *Eur*
1600 *J Plant Pathol* 124:533-541.

- 1601 Rodrigues FA, Benhamou N, Datnoff LE, Jones JB, Bélanger RR. (2003)
1602 Ultrastructural and cytochemical aspects of silicon-mediated rice blast resistance.
1603 *Phytopathology* 93:535-546.
1604
- 1605 Rodrigues FA, Datnoff LE. (2005) Silicon and rice disease management. *Fitopatol Bras*
1606 30:457-469.
1607
- 1608 Sales Junior R, Oliveira IS, Mariano RLR, Silva GF, Nunes GHS. (2005) Kasugamycin
1609 and copper oxichloride effect on bacterial blotch of melon. *Fitopatol Brasil* 30:295-298.
1610
- 1611 Samuels AL, Glass ADM, Ehret DL, Menzies JG. (1991) Mobility and deposition of
1612 silicon in cucumber plants. *Plant Cell and Environ* 14:485-492.
1613
- 1614 Santos ER, Gouveia ER, Mariano RLR, Souto-Maior AM. (2006) Biocontrol of
1615 bacterial fruit blotch of melon by bioactive compounds produced by *Bacillus* spp.
1616 *Summa Phytopathol* 32:376-378.
1617
- 1618 Shaner G, Finney RE. (1977) The effect of nitrogen fertilization on the expression of
1619 slow-mildewing resistance in knox wheat. *Phytopathology* 67:1051-1056.
1620
- 1621 Silva IT, Rodrigues FA, Oliveira JR, Pereira SC, Andrade CCL, Silveira PR, Conceição
1622 MM. (2010) Wheat resistance to bacterial leaf streak mediated by silicon. *J Phytopathol*
1623 158:253-262.
1624
- 1625 Sobral MF, Nascimento CWA, Cunha KPV, Ferreira HA, Silva AJ, Silva FBV. (2011)
1626 Escória de siderurgia e seus efeitos nos teores de nutrientes e metais pesados em cana-
1627 de-açúcar. *Rev Bras Eng Agríc Amb* 15:867-872.
1628
- 1629 United States Environmental Protection Agency– USEPA. (1996) Microwave assisted
1630 acid digestion of siliceous and organically based matrices. Method 3052. Internet
1631 resource: <http://www.epa.gov/SW-846/pdfs/3052.pdf>. (verified Jan 20, 2011).
1632

- 1633 United States Environmental Protection Agency– USEPA. (1998) Microwave assisted
1634 acid digestion of sediments, sludges, soils, and oils. Method 3051a. Internet resource:
1635 <http://www.epa.gov/SW-846/pdfs/3051a.pdf>. (verified Jan 22, 2011).
1636
- 1637 Viana FMP, Santos AA, Cardoso JE, Freire FCO, Lopes, CA. (2000) *Surto da mancha-*
1638 *aquosa em frutos de melão nos Estados do Ceará e Rio Grande do Norte:*
1639 *recomendações preliminares de controle.* Fortaleza. Embrapa Agroindústria Tropical.
1640 (Comunicado Técnico, 50).

1641 **Tabela 1.** Análise química da escória de aciaria utilizada na fertilização de plantas de
 1642 meloeiro híbridos AF 4945 e Medellín
 1643

Características	Teores
SiO ₂ total (g kg ⁻¹)	198,00
SiO ₂ solúvel (g kg ⁻¹)	6,30
P ₂ O ₅ (g kg ⁻¹)	2,70
K ₂ O (g kg ⁻¹)	1,40
CaO (g kg ⁻¹)	131,00
MgO (g kg ⁻¹)	75,00
Fe (g kg ⁻¹)	20,10
Zn (g kg ⁻¹)	0,96
Cu (g kg ⁻¹)	0,24
Mn (g kg ⁻¹)	0,80
Ni (g kg ⁻¹)	0,07
Cd (g kg ⁻¹)	0,01
Pb (g kg ⁻¹)	0,33
PN (%)	67,40
RE (%)	66,40
PRNT (%)	45,00

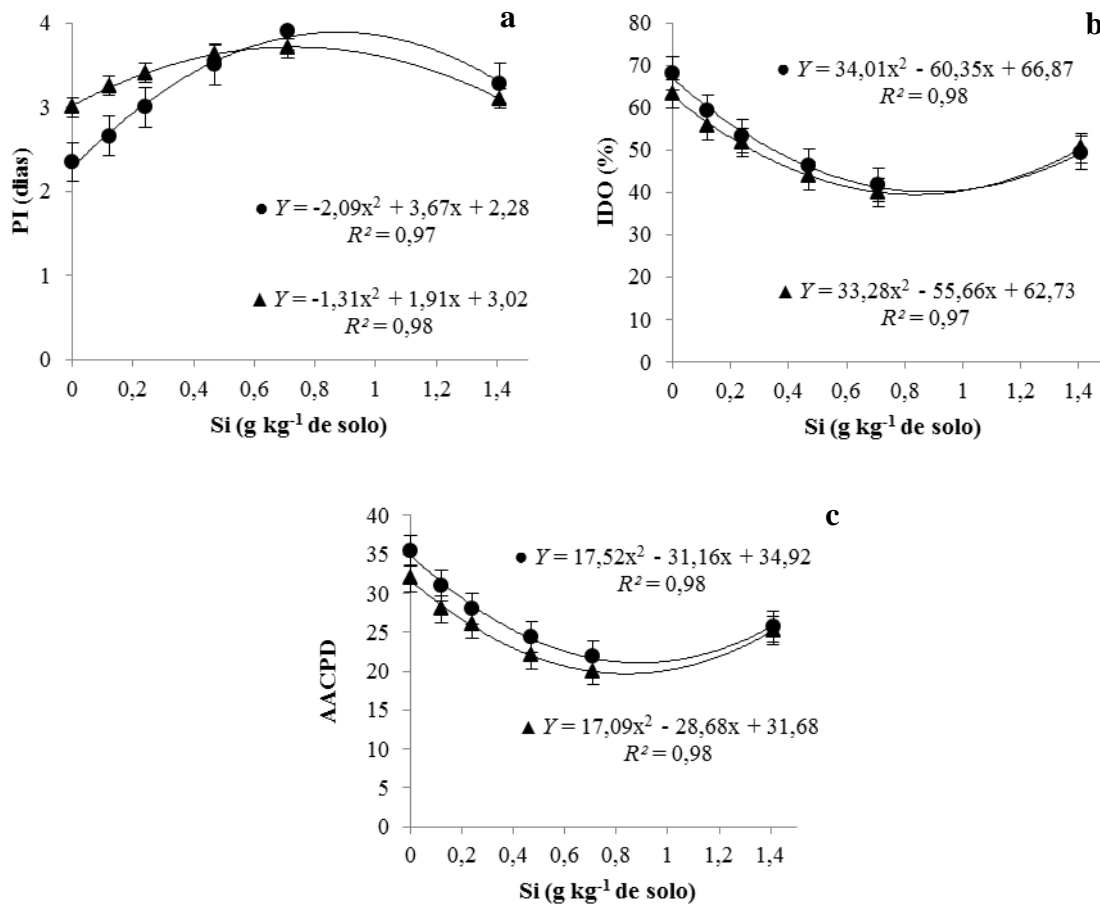
1644 PN – poder de neutralização; RE – reatividade; PRNT – poder reativo de neutralização total.

1645 **Tabela 2.** Teores de nutrientes em plantas de meloeiro híbrido AF 4945 e Medellín
 1646 inoculadas com *Acidovorax citrulli* em função de doses crescentes de silício aplicadas
 1647 ao solo
 1648

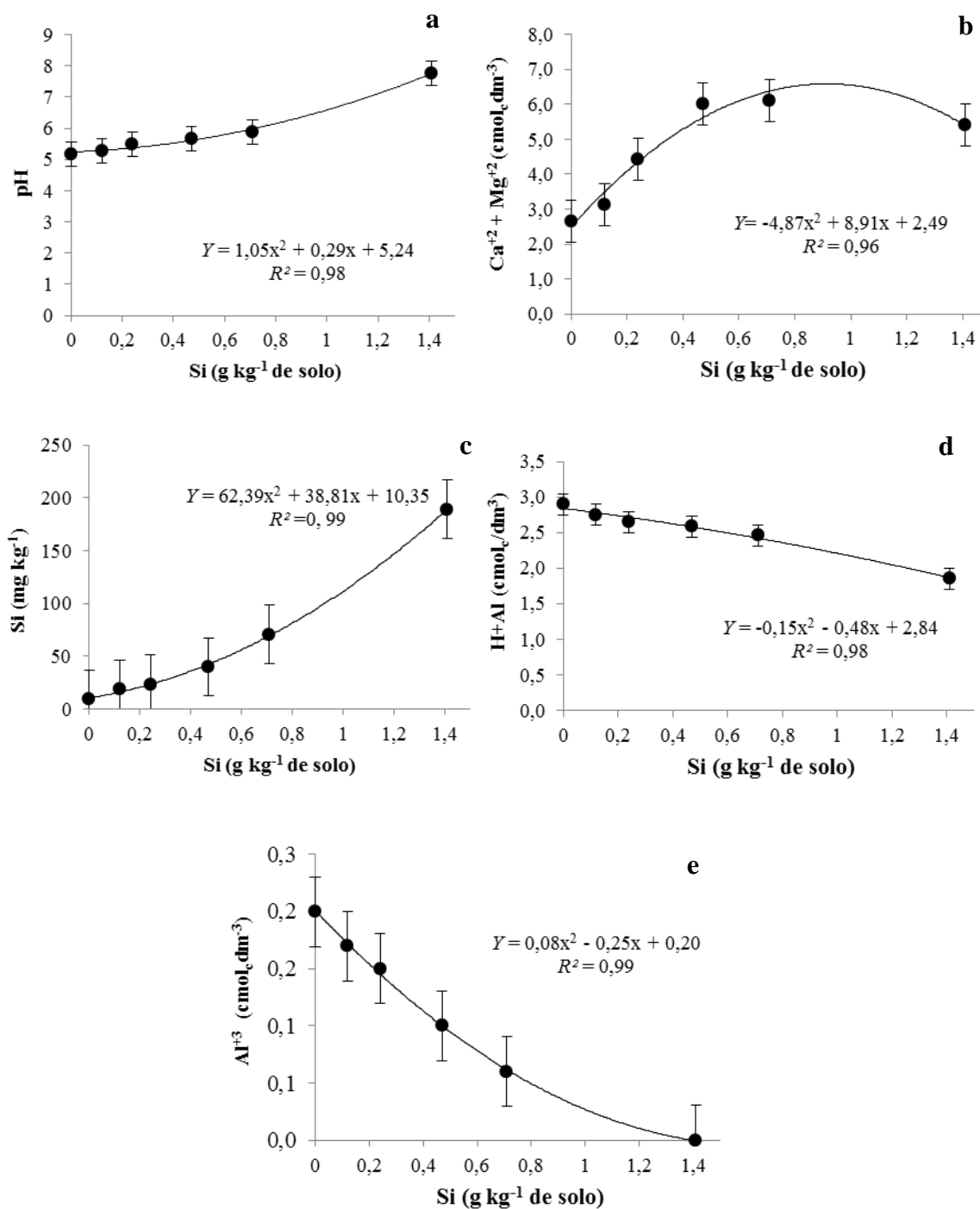
Híbrido AF 4945											
Doses Si (g kg ⁻¹)	N	P	K	Ca	Mg	Si ¹ Raiz	Si ² PA	Cu	Fe	Mn	Zn
	------(g kg ⁻¹)-----						------(mg kg ⁻¹)-----				
0,00	42,48	5,55	49,24	11,64	6,71	7,78	8,16	18,66	171,54	896,00	179,38
0,12	45,26	4,50	44,70	13,78	8,75	7,81	7,37	16,05	129,49	1064,66	162,00
0,24	43,96	3,81	43,44	17,83	9,96	7,61	7,60	15,16	125,51	1054,59	165,94
0,47	37,80	2,49	44,10	21,84	10,76	8,43	7,74	15,41	116,95	1016,31	136,19
0,71	33,60	1,89	41,93	34,44	11,60	8,21	7,13	13,26	127,21	230,34	61,50
1,41	36,37	1,52	41,68	39,38	11,34	8,66	6,31	12,59	105,13	15,09	38,00
Híbrido Medellín											
0,00	47,57	5,87	54,54	12,53	7,66	14,38	9,09	18,28	176,88	898,63	172,56
0,12	45,85	4,97	52,74	14,11	8,47	9,83	8,40	17,69	152,83	878,28	180,38
0,24	44,28	4,17	75,31	13,85	8,04	9,14	8,19	16,49	134,21	843,72	173,31
0,47	38,64	2,51	82,53	22,63	11,21	8,79	8,40	16,29	119,33	860,34	150,19
0,71	33,64	1,55	74,96	26,86	12,27	9,01	7,31	15,01	145,30	148,09	75,00
1,41	37,07	1,34	71,18	18,83	13,02	7,33	7,10	14,61	104,49	17,06	51,38

1649 ¹ Teor de silício em raízes

1650 ² Teor de silício em parte aérea



1651 Fig. 1 Período de incubação (PI) (a); Índice de doença (IDO) (b) e Área abaixo da curva
 1652 de progresso da doença (AACPD) (c) em folhas de meloeiro híbrido AF 4945 (●) e
 1653 Medellín (▲) inoculadas com *Acidovorax citrulli* em função de doses crescentes de Si
 1654 aplicadas ao solo

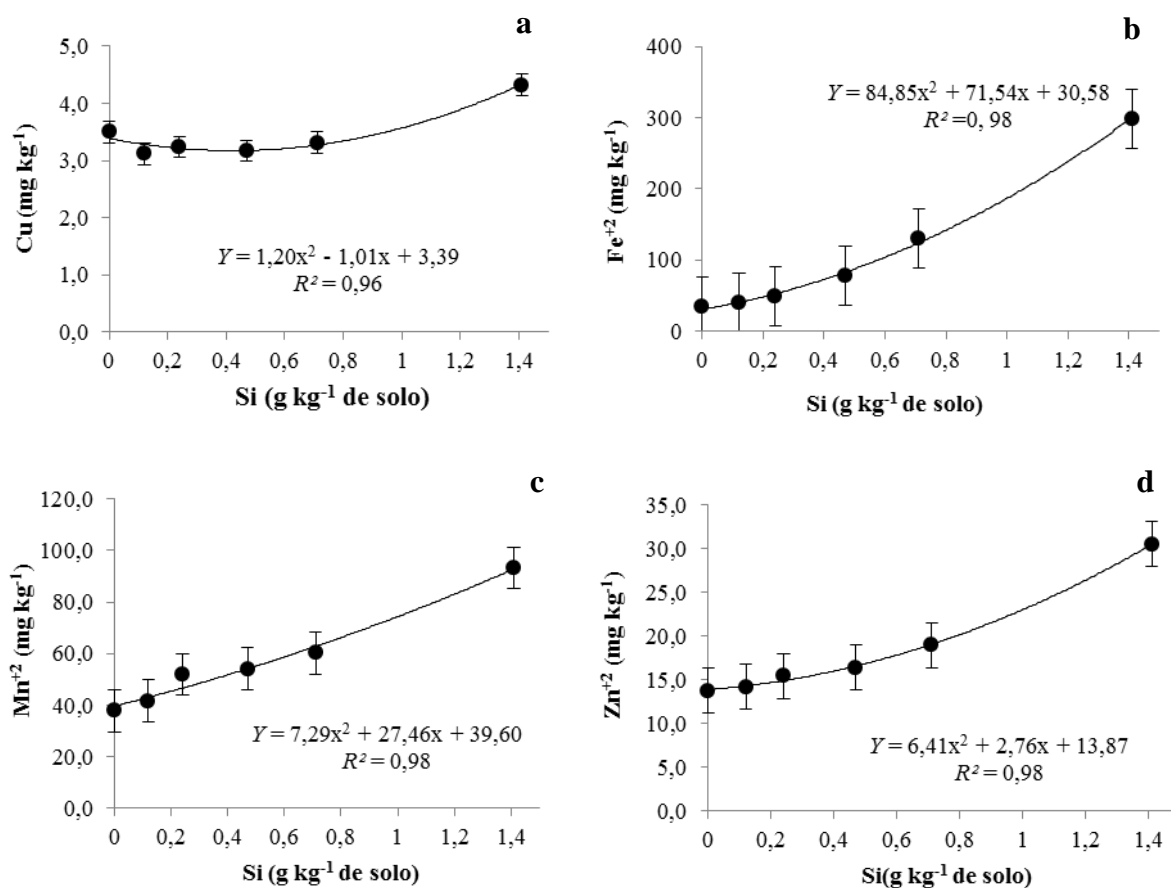


1655

1656 Fig. 2 pH (a); Teor de Cálcio+Magnésio (Ca+Mg) (b); Silício (Si) (c);

1657 Hidrogênio+Alumínio (H+Al) (d); Alumínio (Al^{3+}) (e) no solo, em função da aplicação

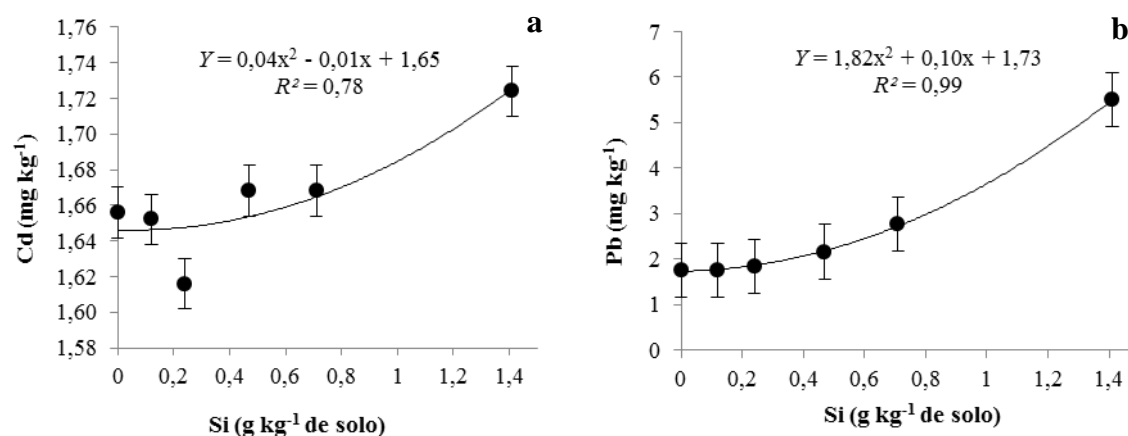
1658 de doses crescentes de silício ao solo



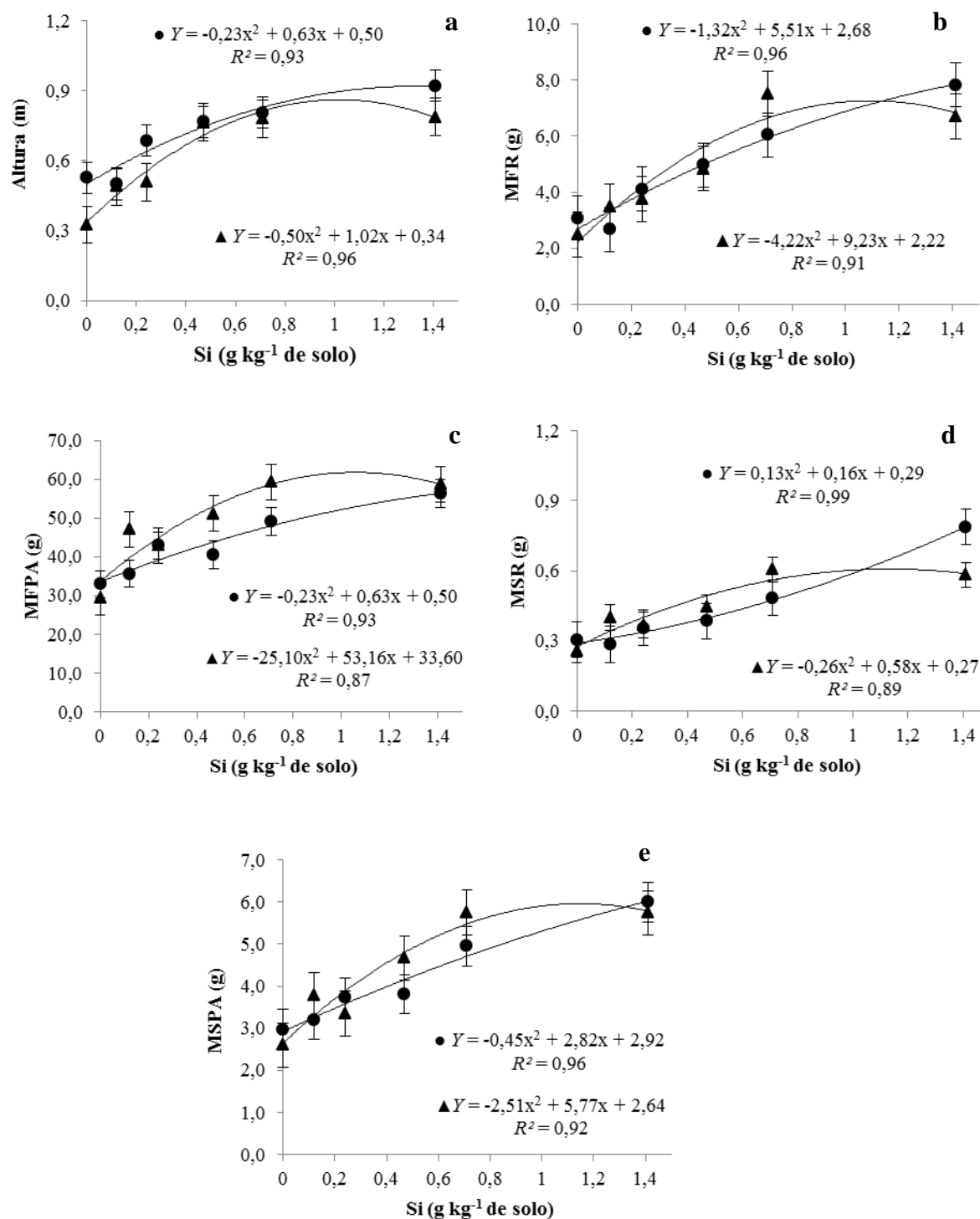
1659 Fig. 3 Teores de Cobre (Cu) (a); Ferro (Fe) (b); Manganês (Mn) (c) e Zinco (Zn) (d) no
1660 solo, em função de doses crescentes de silício aplicadas ao solo

1661

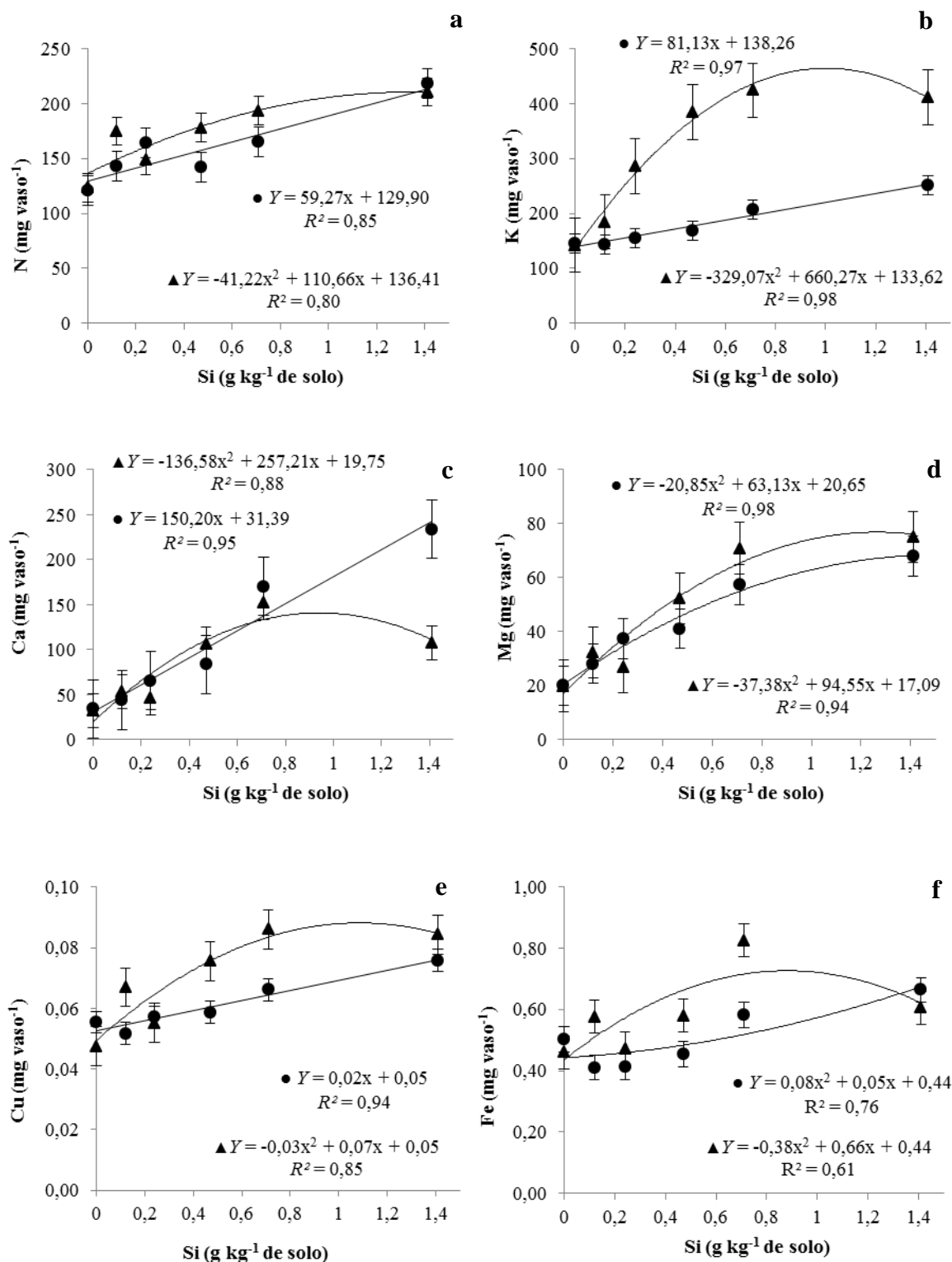
1662



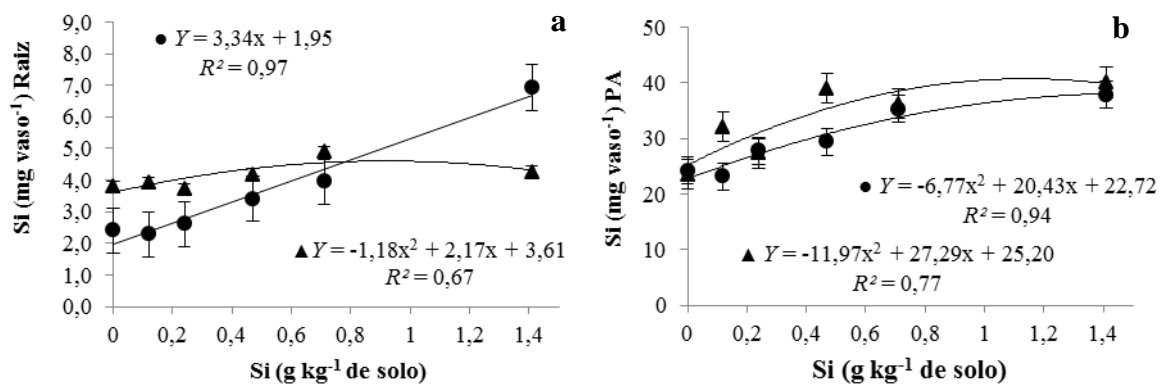
1663 Fig. 4 Teores de Cádmiu (Cd) (a) e Chumbo (Pb) (b) no solo, em função de doses
1664 crescentes de silício aplicadas ao solo



1665 Fig. 5 Altura da planta (a); Massa fresca da raiz (MFR) (b); Massa fresca da parte aérea
 1666 (MFPA) (c); Massa seca da raiz (MSR) (d); Massa seca da parte aérea (MSPA) (e) de
 1667 plantas de meloeiro híbrido AF 4945 (●) e Medellín (▲) inoculadas com *Acidovorax*
 1668 *citrulli*, em função de doses crescentes de silício aplicadas ao solo



1669 Fig. 6 Conteúdo de Nitrogênio (N) (a); Potássio (K) (b); Cálcio (Ca) (c); Magnésio
 1670 (Mg) (c); Cobre (Cu) (d) e Ferro (Fe) em plantas de meloeiro híbrido AF 4945 (●) e
 1671 Medellín (▲) inoculadas com *Acidovorax citrulli*, em função de doses crescentes de Si
 1672 aplicadas ao solo



1673 Fig. 7 Conteúdo de silício (Si) nas raízes (a) e parte aérea (b) de meloeiro híbrido AF
 1674 4945 (●) e Medellín (▲) inoculadas com *Acidovorax citrulli*, em função de doses
 1675 crescentes de silício aplicadas ao solo
 1676

CAPÍTULO IV

**ESCÓRIA DE SIDERURGIA APLICADA AO MANEJO INTEGRADO DA
MANCHA AQUOSA DO MELOEIRO**

1677 **Escória de siderurgia aplicada ao manejo integrado da mancha aquosa do**
1678 **meloeiro**

1679

1680 Hailson Alves **FERREIRA**¹, Clístenes Williams Araújo do **NASCIMENTO**¹, Rosa de
1681 Lima Ramos **MARIANO**¹

1682 ¹ Departamento de Agronomia, Universidade Federal Rural de Pernambuco, Av. Dom Manoel de
1683 Medeiros s/n, Dois Irmãos, 52171-900, Recife, Brazil

1684 Autor para correspondência: H. A. Ferreira, Phone: (81) 33206205, E-mail:
1685 hailson_alves@hotmail.com

1686 **Resumo.** A mancha aquosa do meloeiro, causada por *Acidovorax citrulli* (Ac) é a mais
1687 destrutiva doença bacteriana que acomete os campos de produção no Nordeste do
1688 Brasil. O Silício (Si) é amplamente reconhecido por seus efeitos profiláticos na
1689 amenização de doenças de plantas e tem sido proposto como uma possível alternativa de
1690 controle para a mancha aquosa do meloeiro. Experimentos de campo foram conduzidos
1691 para avaliar os efeitos da fertilização com escória nos componentes de resistência à
1692 mancha aquosa, nos atributos químicos do solo, no crescimento e nutrição das plantas e
1693 na qualidade dos frutos produzidos. Plantas de meloeiro híbridas AF 4945 e Medellín
1694 foram cultivadas em parcelas com solo fertilizado ou não com escória (0,00 e 5,00 t ha⁻¹
1695 ¹) e inoculadas com Ac 25 dias após a emergência. Os componentes de resistência
1696 avaliados foram: severidade com base em escala de notas, calculando-se a área abaixo
1697 da curva de progresso da doença (AACPD) e o índice de doença (IDO) em plantas e, a
1698 incidência (INC) em frutos, no dia da colheita. O crescimento e acúmulo de nutrientes
1699 pelas plantas foram verificados aos 55 dias de cultivo. A produção e as seguintes
1700 características pós-colheita dos frutos foram também avaliadas: espessura de polpa
1701 (EP), firmeza de polpa (FP) e sólidos solúveis (SS). A AACPD, IDO e INC foram
1702 significativamente reduzidas, respectivamente, em 10, 14 e 12% em plantas supridas
1703 com Si, independentemente do híbrido. A fertilização com escória resultou em
1704 significativas alterações nos atributos químicos do solo e na nutrição das plantas. As
1705 análises químicas não mostraram diferenças no acúmulo de Si entre os híbridos,
1706 entretanto, o híbrido Medellín acumulou menos Ca e Zn comparado ao AF 4945, o que
1707 esteve associado a menor redução da intensidade da doença. Além disso, o tratamento
1708 com escória elevou em 8 e 7% a espessura da polpa e o conteúdo de sólidos solúveis em
1709 frutos.

1710 **Palavras-chave:** *Acidovorax citrulli*, *resistência hospedeira*, *nutrição de plantas*,
1711 *atributos químicos do solo*, *silício*

1712

1713 **Summary.** Melon bacterial fruit blotch (BFB) caused by *Acidovorax citrulli* is one of
1714 the most destructive bacterial diseases affecting melon production in Northeastern
1715 Brazil. Silicon (Si) is recognized for its prophylactic role in alleviating diseases when
1716 absorbed by plants therefore it has been proposed as a possible solution against BFP.
1717 Field experiments were conducted to evaluate the effect of silicon fertilizers on melon
1718 bacterial fruit blotch. Our objectives were to evaluate the effects of Si on melon BFP
1719 through an assessment of Si-induced changes in melon resistance to BFP, chemical
1720 attributes of the soil, plant growth and nutrition and fruit quality. Yellow hybrid AF
1721 4945 and “pele-de-sapo” hybrid Medellín were grown in soil with or without slag (Si at
1722 0.00 and 5.00 t ha⁻¹) and inoculated with *A. citrulli* 25 days after emergence. The
1723 components of melon resistance evaluated were: area under the disease progress curve,
1724 disease index in plants, and incidence in fruits at the harvest time. Evaluation of plant
1725 growth and nutrient accumulation were performed in 55 day-old plants. The production
1726 and the follows postharvest parameters of fruits were also evaluated: firmness, soluble
1727 solids and pulp thickness. The area under disease progress, disease index and the
1728 incidence of BFP in fruits from plants receiving Si treatments were significantly
1729 reduced by 10; 14 and 12%, respectively, regardless the hybrid. The slag also promoted
1730 significant changes in soil chemical attributes and plant growth and nutrition. Chemical
1731 analyses revealed no significant differences in Si content for the hybrid Medellín which
1732 was translated into a less effective effect on disease control. On the other hand, Yellow
1733 hybrid AF 4945 treated with slag absorbed more Si than the control plants. This cultivar
1734 also showed increased calcium and zinc concentrations and biomass, low severity and
1735 incidence of BFP. Furthermore, the silicon treatment significantly elevated the level of
1736 soluble solids by 8% and the pulp thickness by 7%, regardless the hybrid.

1737

1738 **Key words.** *Acidovorax citrulli*, *Cucumis melo*, *host resistance*, *plant nutrition*, *soil*
1739 *chemical attributes*, *silicon*

1740 **Introdução**

1741

1742 O melão (*Cucumis melo*) é o principal fruto fresco exportado pelo Brasil. Em
1743 2010 o país exportou 759 mil toneladas de frutas frescas, sendo o melão responsável por
1744 23,41 % desse montante, liderando o ranking com 178 mil toneladas (IBRAF, 2010). A
1745 produção brasileira de melão cresceu 18,7% entre 2009 e 2010, passando de 402.959
1746 mil para 478.431 mil toneladas. Nesse período, houve um aumento de 7,5% da área
1747 cultivada com melão, passando de 17.559 ha para aproximadamente 18.870 ha. O
1748 Nordeste é a principal região produtora, sendo responsável por 16.308 ha dessa área,
1749 com um rendimento médio de 28 t ha⁻¹. O estado do Rio Grande do Norte destaca-se
1750 como o maior produtor, seguido de Ceará, Bahia e Pernambuco (IBGE, 2009; IBGE,
1751 2010).

1752 Apesar de todo esse potencial produtivo, a cultura do meloeiro é suscetível a
1753 várias doenças que podem causar danos econômicos por reduzir a qualidade e/ou
1754 quantidade dos frutos produzidos. A mancha aquosa do meloeiro causada pela bactéria
1755 *Acidovorax citrulli* (Schaad et al) Schaad et al. embora ocorra esporadicamente em
1756 muitas regiões do mundo, representa uma séria ameaça à produção mundial de melão
1757 devido o seu potencial destrutivo (Burdman e Walcott, 2012). No Nordeste do Brasil
1758 esta é a principal doença bacteriana que afeta os campos de produção, ocorrendo
1759 principalmente na estação chuvosa, causando frequentemente perdas de 40 a 50%,
1760 atingindo níveis de 100% em períodos chuvosos (Sales Júnior e Menezes, 2001). Em
1761 frutos, onde a mancha aquosa é mais comum e facilmente visualizada, os sintomas
1762 caracterizam-se pelo aparecimento de pequenos pontos oleosos que se expandem e se
1763 tornam manchas marrons, necróticas com ou sem rachaduras no centro. Internamente, a
1764 bactéria coloniza a polpa do fruto, onde causa podridão seca que inviabiliza a
1765 comercialização. Entretanto, a doença pode manifestar-se mediante sintomas em
1766 qualquer fase de desenvolvimento da planta, ocorrendo comumente também em
1767 plântulas, e plantas adultas (Sales Júnior e Menezes, 2001; Santos e Viana, 2000).

1768 Por não existir cultivar resistente ou tolerante a mancha aquosa, a principal
1769 medida de controle é o uso de sementes livres da bactéria (Santos e Viana, 2000). Há
1770 relatos de que *A. citrulli* tem sido isolada da casca e do embrião de sementes, indicando
1771 contaminação interna e externa (Rane e Latin, 1992), o que dificulta a eficácia do
1772 tratamento. No entanto, tratamentos químicos e físicos de sementes têm sido
1773 recomendados (Santos e Viana, 2000; Silva Neto *et al.*, 2003), além da pulverização de

1774 plantas com cúpricos e antibióticos no campo (Sales Junior *et al.*, 2005). De acordo com
1775 Burdman e Walcott (2012) tratamentos de desinfestação de sementes, testes de sanidade
1776 de sementes e controle químico são medidas limitadas em reduzir as perdas associadas a
1777 essa bactéria em campo. Desta forma, medidas como: rotação de cultura, evitar plantio
1778 em áreas úmidas ou em épocas chuvosas e erradicar restos culturais, cucurbitáceas
1779 silvestres e hospedeiras voluntárias são recomendadas (Latin e Hopkins, 1995; Viana *et*
1780 *al.*, 2000). Além disso, a nutrição mineral desempenha uma importante função no
1781 funcionamento fisiológico de plantas, e tem sido um importante componente para o
1782 manejo de doenças (Datnoff *et al.*, 2007), podendo exercer efeito no controle da mancha
1783 aquosa do meloeiro (Ferreira *et al.*, 2009).

1784 Apesar de não ser considerado um elemento essencial aos vegetais superiores, o
1785 Si destaca-se pela habilidade em reduzir a severidade de um importante número de
1786 doenças de plantas (Epstein, 1999; Datnoff *et al.*, 2007). Incremento de produção em
1787 plantas supridas com Si tem sido atribuído a fatores como: aumento de crescimento de
1788 plantas, melhor balanço nutricional e resistência mecânica (Lemes *et al.*, 2011). Elevado
1789 conteúdo de Si em plantas conhecidas como acumuladoras desse elemento, tais como
1790 arroz, cana-de açúcar e trigo, está associado com mais altas produções (Datnoff *et al.*,
1791 1997).

1792 Espécies de plantas absorvem Si em diferentes graus, havendo uma correlação
1793 direta entre a capacidade de absorver este elemento e os benefícios que extraem a partir
1794 dele (Arsenault-Labrecque *et al.*, 2012). Os efeitos benéficos da resistência induzida
1795 pelo Si têm sido principalmente relatadas para patógenos fúngicos em plantas que
1796 acumulam Si, tais como pepino, arroz e trigo (Chérif *et al.*, 1994; Rodrigues *et al.*, 2003;
1797 Silva *et al.*, 2010). Em patossistemas envolvendo bactérias e plantas não acumuladoras
1798 e/ou acumuladoras intermediárias, os efeitos do Si não têm sido amplamente estudados
1799 (Dannon e Wydra, 2004; Carzola *et al.*, 2006; Diogo e Wydra, 2007; Martinati *et al.*,
1800 2007; Ayana *et al.*, 2011).

1801 Há evidências de que a resistência induzida por Si estabelece-se pelo Si
1802 funcionar como uma barreira mecânica contra o progresso de patógenos, e /ou induzir
1803 componentes de resistência (Bélanger *et al.*, 2003; Samuels *et al.*, 1991; Ghareeb *et al.*,
1804 2011). Entretanto, o efeito físico do Si não é aplicável para justificar a resistência
1805 hospedeira em plantas que absorvem baixas quantidades de Si (Ghareeb *et al.*, 2011).
1806 Em plantas não acumuladoras e acumuladoras intermediárias, tais como tomateiro e
1807 meloeiro, é sugerido que Si induz um efeito *priming* que resulta na antecipação e

1808 aumento na intensidade de respostas de defesa pós-infecção da planta (Brunings *et al.*,
1809 2009; Ghareeb *et al.*, 2011; Dallagnol *et al.*, 2011).

1810 Além dos efeitos do Si não serem amplamente estudados em patossistemas
1811 envolvendo plantas não acumuladoras e/ou acumuladoras intermediárias, as pesquisas
1812 existentes se restringem a condições controladas de casa-de-vegetação, sendo poucas as
1813 realizadas em condições de campo. Ayana *et al.* 2011 relataram que a fertilização
1814 silicatada em campo (Agrosil 15 kg/100 m²) reduziu a população de *Ralstonia*
1815 *solanacearum* 29,2 e 17,6%, em genótipos de tomateiro aos cinco e doze dias após a
1816 inoculação, respectivamente. Os mesmos autores relataram reduções na incidência e
1817 índice de severidade da murcha bacteriana em plantas de 51,6 e 57,8%; essas reduções
1818 foram associadas à elevação no conteúdo de Si acumulado pelas plantas de tomateiro
1819 em 63,3% e, resultaram na produção de frutos com padrões comercializáveis. Chang *et*
1820 *al.* (2002), estudando a escaldadura em arroz causada por *Xanthomonas oryzae* pv.
1821 *oryzae*, observaram que aplicação de escória (0,2 a 0,4 t ha⁻¹) em campo reduziu
1822 significativamente o comprimento de lesões em 5 a 22%, com o Si desempenhando
1823 importante função nesta redução.

1824 Com relação à mancha aquosa do meloeiro as informações registradas dizem
1825 respeito a pesquisas executadas em condições controladas de casa-de-vegetação, pelas
1826 quais foi observado elevação do período de incubação de 5,6 dias para 15,8 dias e
1827 reduções do índice de doença e área abaixo da curva de progresso da doença em 88,54 e
1828 85,34% quando as plantas foram fertilizadas com silicato de cálcio (1,41 g kg⁻¹ Si),
1829 sendo o controle da doença atribuído a possível mediação dos componentes de
1830 resistência aliado ao efeito nutricional promovido pela absorção de Si (Ferreira *et al.*,
1831 2009). Faz-se necessário a elucidação do efeito da fertilização silicatada em condições
1832 de campo, com levantamento de informações das alterações provocadas pela aplicação
1833 de Si desde o solo até a qualidade dos frutos produzidos. Somado a isso, a pesquisa por
1834 uma fonte alternativa de Si a partir de materiais localmente disponíveis que possuam
1835 uma considerável concentração de Si, é essencial. Uma das fontes mais abundantes e de
1836 baixo custo dos silicatos no Brasil é a escória de siderurgia, resíduo da fabricação do
1837 ferro-gusa e do aço, constituída quimicamente de um silicato de cálcio. Atualmente,
1838 apesar de uma produção nacional significativa de aproximadamente 3 milhões de t ano⁻¹
1839 ¹, estas escórias de siderurgia praticamente não são aproveitadas, além de serem
1840 armazenadas, normalmente em locais impróprios. Entretanto, tem havido um consenso
1841 que o destino mais apropriado para este resíduo seria seu emprego na agricultura,

1842 devido ao seu efeito como corretivo da acidez do solo e fonte de nutrientes (Ca, Mg, Fe,
1843 Mn, Zn) e do elemento benéfico Si e, ainda sem riscos de contaminação ao sistema
1844 solo-planta por elementos tóxicos (Prado *et al.*, 2003; Sobral *et al.*, 2011).

1845 Neste contexto, com a hipótese de que Si fornecido via aplicação de escória ao
1846 solo é capaz de reduzir a intensidade da mancha aquosa do meloeiro no campo e resultar
1847 na produção de frutos de melhor qualidade, o objetivo deste trabalho foi avaliar as
1848 mudanças induzidas pela fertilização com escória na resistência de plantas, nos atributos
1849 químicos do solo, no crescimento e nutrição de plantas e na produção e qualidade dos
1850 frutos em condições de campo, visando contribuir para o manejo dos campos afetados
1851 por esta doença.

1852

1853 **Material e Métodos**

1854

1855 **Caracterização da área dos experimentos**

1856

1857 Os experimentos foram conduzidos na horta didática do Departamento de
1858 Ciências Vegetais da Universidade Federal Rural do Semi-árido – UFERSA com
1859 temperatura do ar variando de 23,3 a 34,7°C e umidade relativa do ar entre 37,5 e
1860 83,4%. Durante o período de realização dos ensaios a área experimental recebeu uma
1861 precipitação de 169 mm, o que correspondeu a uma média de 1,4 mm dia⁻¹. O município
1862 de Mossoró está localizado a 5° 12' 25.87" de latitude Sul, 37° 19' 06.50" de longitude
1863 Oeste e 18 m de altitude. Conforme a Classificação de Köppen o clima é do tipo BSw^h,
1864 seco e muito quente, com duas estações climáticas bem definidas; a seca que ocorre de
1865 junho a janeiro e a outra chuvosa de fevereiro a maio (Carmo Filho *et al.*, 1991).

1866 O solo da área experimental foi um Argissolo Vermelho Amarelo Eutrófico
1867 (EMBRAPA, 1999). As características físico-químicas analisadas antes da
1868 implementação do experimento foram as seguintes: pH em água (1:2,5) = 7,17; H+Al =
1869 0,29 cmol_c dm⁻³; Al³⁺ = 0,00 cmol_c dm⁻³; Na⁺ = 0,49 cmol_c dm⁻³; K⁺ = 0,65 cmol_c dm⁻³;
1870 Ca²⁺ = 2,70 cmol_c dm⁻³; Mg²⁺ = 1,3 cmol_c dm⁻³; P = 231 mg dm⁻³; N = 0,011 g kg⁻¹; V%
1871 = 95; MO = 34,97 g kg⁻¹; Cu = 0,7 mg kg⁻¹; Fe = 15,19 mg kg⁻¹; Mn = 72,1 mg kg⁻¹; Zn
1872 = 15,5 mg kg⁻¹; Cd = 1,73 mg kg⁻¹; Pb = 2,91 mg kg⁻¹ A concentração de Si disponível
1873 no solo extraído por ácido acético (HC₂H₃O₂) 0,5 mol L⁻¹ foi 22,24 mg kg⁻¹.

1874 **Implementação e condução dos experimentos**

1875

1876 Foram conduzidos dois ensaios com dimensões de 38 x 14,8 m, formado por 9
1877 linhas de 36 m, com espaçamento entre fileira de 1,8 m e 0,3 m entre plantas,
1878 totalizando 562,4 m² e uma densidade populacional de 1080 plantas (Figura 1). O
1879 primeiro ensaio foi conduzido no período de janeiro a fevereiro de 2012. O segundo
1880 ensaio no período de março a abril de 2012 em área adjacente ao primeiro. Em ambos
1881 os ensaios foram utilizados o híbrido ‘AF 4945’ e o híbrido ‘Medellín’. O híbrido ‘AF
1882 4945’ é do tipo Amarelo, pertencente ao grupo botânico Inodorus, tem casca amarelo
1883 ouro rugosa, polpa branca e expressão sexual andromonóica. O híbrido ‘Medellín’ é do
1884 tipo Pele de Sapo, pertencente ao grupo botânico Inodorus, tem casca verde escura com
1885 traços verde-claro rugosa, polpa branca e expressão sexual andromonóica.

1886 O preparo do solo constou de uma aração e uma gradagem, seguida de
1887 sulcamento em linhas, espaçadas de 1,8 m com profundidade de 20 cm, onde foi
1888 realizada a adubação de fundação, utilizando-se 8,0 Mg ha⁻¹ de esterco bovino e 100 kg
1889 ha⁻¹ de P₂O₅ e a fertilização silicatada, utilizando-se a escória siderúrgica (pó de aciaria
1890 de forno elétrico) proveniente da empresa Multiserv, pertencente ao grupo Gerdau,
1891 localizada na cidade de Recife, Pernambuco, Brasil como fonte de Si nas doses controle
1892 (0,00 t ha⁻¹) e (5,00 t ha⁻¹). A escória antes de ser utilizada foi passada em peneira de 2
1893 mm e caracterizada quimicamente (EMBRAPA, 1999) e teve seu teor de Si
1894 determinado (Korndörfer *et al.*, 2004). A escória foi digerida pelo método EPA 3052
1895 (USEPA, 1996), visando à determinação dos metais pesados e Si (Tabela 1). O solo
1896 com as doses de escória foi deixado em pousio por 25 dias com umidade mantida em
1897 torno de 80% da capacidade de retenção de água através de sistema de irrigação por
1898 gotejamento.

1899 Sementes dos híbridos foram semeadas em bandejas de poliestireno expandido
1900 com 128 células contendo substrato comercial Plantmax[®], sendo o transplântio
1901 realizado quando as mudas estavam com um par de folhas definitivas, cinco dias após a
1902 emergência (5 d.a.e), transplantando-se uma muda por cova. O sistema de irrigação foi
1903 por gotejamento com linhas laterais de tubos gotejadores de polietileno com 16 mm de
1904 diâmetro, com emissores distanciados 0,3 m e vazão nominal de 1,5 L ha⁻¹. Em
1905 fertirrigação foram aplicados 90 kg ha⁻¹ de N na forma de uréia e 30 kg ha⁻¹ de K₂O na

1906 forma de cloreto de potássio. As demais práticas culturais foram realizadas de acordo
1907 com o padrão de produção utilizado pelas empresas da região.

1908

1909 **Preparo e Inoculação de *Acidovorax citrulli***

1910

1911 A partir de crescimento bacteriano com 48 h em meio NYDA (dextrose 10 g,
1912 extrato de carne 3 g, extrato de levedura 5 g, ágar 18 g L⁻¹) foi preparada uma suspensão
1913 do isolado Aac1 de *A. citrulli* em água destilada, sendo ajustada em fotocolorímetro
1914 (Metronic M3) para uma concentração de 3,4 x 10⁷ UFC mL⁻¹ (0,25 unidades de
1915 absorvância em comprimento de onda 580 nm), adicionando-se Tween 20 (0,05%). O
1916 isolado utilizado foi proveniente da Coleção de Culturas do Laboratório de
1917 Fitobacteriologia da Universidade Federal Rural de Pernambuco.

1918 Ao alcançarem o número de cinco folhas definitivas (25 d.a.e) as plantas foram
1919 inoculadas com 20 mL desta suspensão com auxílio de um pulverizador costal
1920 (Guarany[®]). Após a inoculação, cinco plantas de cada parcela foram avaliadas por 20
1921 dias em intervalos de 4 dias para a severidade da doença, estimada com auxílio de uma
1922 escala descritiva com notas variando de 0 a 6, onde: 0 = 0% de folhas sintomáticas; 1 =
1923 10% ou menos de folhas sintomáticas; 2 = 11-25% de folhas sintomáticas; 3 = 26-50%
1924 de folhas sintomáticas; 4 = 51-75% de folhas sintomáticas; 5 = 76-90% de folhas
1925 sintomáticas; 6 = mais de 90% de folhas sintomáticas (Bahar *et al.*, 2009). O índice de
1926 doença foi calculado aos vinte dias após a inoculação de acordo com Mckinney (1923).
1927 A área abaixo da curva de progresso da doença, calculada baseada em cinco avaliações
1928 da severidade da doença de acordo com Shaner e Finney (1977). O delineamento
1929 experimental foi em blocos casualizados, em arranjo fatorial triplo (2x2x2),
1930 representado por duas doses de Si (0,00: -Si e 5 ton ha⁻¹: +Si), dois híbridos de meloeiro
1931 (AF 4945 e Medellín) e dois níveis de inoculação (inoculado: +Ac e não inoculado: -
1932 Ac), com quatro repetições, sendo a unidade experimental constituída por cinco plantas.

1933 As plantas em estágio inicial de frutificação (seis semanas após plantio) foram
1934 novamente inoculadas (folhas e frutos) (Bahar *et al.*, 2009), e os frutos foram avaliados
1935 quanto à incidência da doença no momento da colheita (55 dias de cultivo), onde foi
1936 contabilizado o percentual de frutos afetados pela bacteriose em relação aos frutos
1937 sadios.

1938 Efeito dos tratamentos no solo e nas plantas

1939

1940 Após o período de pousio do solo (25 dias) e antes das mudas de meloeiro serem
1941 transplantadas, amostras de solo foram coletadas de cada tratamento e análises químicas
1942 foram realizadas para os seguintes parâmetros: pH em água (1:2,5); N; P; K⁺; Na⁺; Ca²⁺;
1943 Mg²⁺; Al³⁺, H+Al (Embrapa, 1999) e Si (Korndörfer *et al.*, 2004) além, também, de Cu,
1944 Zn, Mn, Fe, Cd e Pb, disponíveis nos tratamentos extraídos com Mehlich-1; Si e P
1945 foram determinados por colorimetria, Cu, Zn, Mn, Fe, Cd e Pb por espectrofotometria
1946 de absorção atômica, o Na e K por fotometria de chama e Ca, Mg, N, Al e H+Al por
1947 titulometria.

1948 Plantas com 55 dias de cultivo (5 plantas por parcela) foram colhidas, separadas
1949 em parte aérea e raízes e pesadas em balança analítica para obtenção de massa fresca.
1950 Posteriormente, parte aérea e raízes foram lavadas em água destilada para eliminação de
1951 fragmentos de solo aderidos às mesmas, e então acondicionados em sacos de papel e
1952 conduzidos à estufa para secagem a 65°C por 72 horas. Estes materiais foram moídos
1953 em moinho tipo Willey e após digestão utilizando o método EPA 3051A (USEPA,
1954 1998), foram determinadas as concentrações de N, P, K, Ca, Mg, Cu, Zn, Mn, Fe, Cd e
1955 Pb. O Si acumulado nas raízes e parte aérea foi extraído de acordo com o método
1956 descrito por Korndörfer *et al.*, 2004.

1957

1958 Efeito dos tratamentos na produção e qualidade pós-colheita dos frutos

1959

1960 Após 55 dias de cultivo as plantas tiveram seus frutos colhidos, os quais foram
1961 contabilizados e avaliados para obtenção dos seguintes parâmetros de produção:

1962 - Número total de frutos (NF): total de frutos por parcela;

1963 - Massa média do fruto (MMF): foi determinada pela pesagem individual dos frutos
1964 constituintes das parcelas, expressa em quilograma;

1965 - Produção (PROD): determinada pela soma total em peso de frutos por parcela,
1966 expressa em quilograma;

1967 Para as análises pós-colheita, um total de dez frutos por parcela foram avaliados
1968 com relação às seguintes características:

1969 - Espessura da polpa (EP): foi obtida da média da leitura de dois pontos opostos,
1970 medido no sentido transversal, em centímetro, após seccionar o fruto longitudinalmente
1971 da região de inserção do pedúnculo para o ápice;

1972 - Firmeza da polpa (FP): foi determinada como resistência à penetração utilizando-se
1973 um penetrômetro McCormick (modelo 25921), com valor de leitura máxima de 29 lb,
1974 com plunger de 7,6 mm de diâmetro. O fruto foi dividido longitudinalmente em duas
1975 partes e as leituras efetuadas em duas regiões equatoriais equidistantes de cada banda e
1976 perpendicular ao corte do fruto, sendo os resultados convertidos para Newton pelo fator
1977 4,445;

1978 - Sólidos solúveis (SS): foram expressos em porcentagem, e determinados por meio de
1979 um refratômetro digital modelo Palette PR-101, com escala de 0 a 45 %, erro de $\pm 0,2$ %
1980 com correção automática de temperatura. As médias foram obtidas por meio da leitura
1981 de duas gotas de sumo por fruto.

1982

1983 **Análises estatísticas**

1984

1985 Os experimentos foram repetidos. Teste de Cochran indicou homogeneidade de
1986 variância e desta forma os dados de cada ensaio foram agrupados para análise. As
1987 análises de variância e os testes de comparação de médias (teste t e teste de Tuckey)
1988 foram executados utilizando-se o pacote estatístico SAS (SAS, 1999).

1989

1990 **Resultados**

1991

1992 **Efeito da escória nos componentes de resistência da mancha aquosa do meloeiro**

1993

1994 A fertilização com escória influenciou significativamente ($P \leq 0,05$) todos os
1995 componentes de resistência do meloeiro à mancha aquosa analisados. A área abaixo da
1996 curva de progresso da doença (AACPD) e o índice de doença (IDO) em plantas, e, a
1997 incidência (INC) da doença em frutos foram significativamente reduzidas ($P \leq 0,05$) em:
1998 10; 14 e 12% quando as plantas foram fertilizadas com escória (+Si),
1999 independentemente do híbrido avaliado. O híbrido tipo amarelo AF 4945 foi o menos
2000 acometido pela doença em folhas e frutos, apresentando as maiores reduções para a
2001 AACPD, IDO e INC, respectivamente. (Tabela 2).

2002 Em campo, independentemente da fertilização, o aparecimento dos primeiros
2003 sintomas da doença em folhas foi verificado apenas cerca de 2 a 3 dias após a
2004 inoculação de *A. citrulli*, sendo perceptíveis pequenas lesões encharcadas que se
2005 tornaram necróticas e frequentemente rodeadas por um halo clorótico. As lesões
2006 rapidamente coalesceram e cobriram grande parte da área foliar nas plantas controle.
2007 Em frutos, foram observadas pequenas manchas verde-oliva, oleosas, frequentemente
2008 com halos, que rapidamente coalesceram, tornando-se marrom-escuras. Internamente,
2009 foi visualizada podridão seca em frutos que constituíam o controle.

2010

2011 **Efeito da escória nos atributos químicos do solo**

2012

2013 A fertilização com escória elevou significativamente ($P \leq 0,05$) o pH e os teores
2014 de Si, Ca+Mg, P, Cu, Fe, Mn e Zn em 8; 542; 19; 32; 115; 570, 110 e 128% no solo. A
2015 acidez potencial (H+Al) foi reduzida em 16% com a adição de escória ao solo (Tabela
2016 3). Além disso, teores de 2,08 e 6,45 mg kg⁻¹ de Cd e Pb foram observados nos
2017 tratamentos fertilizados com a escória. Esses metais têm seus teores controlados pelo
2018 Ministério do Abastecimento e Pecuária (MAPA, 2007) para aplicação de fertilizantes
2019 silicatados.

2020

2021 **Efeitos da escória no crescimento e nutrição das plantas**

2022

2023 O crescimento do híbrido AF 4945 foi significativamente ($P \leq 0,05$) influenciado
2024 pela fertilização com escória, sendo observados incrementos na biomassa fresca e
2025 biomassa seca da parte aérea de plantas fertilizadas (+Si) em 19 e 14% comparado a
2026 plantas não fertilizadas (-Si). Em adição, plantas desse híbrido apresentaram teores de
2027 Si, N, Ca, Mg e Zn elevados significativamente ($P \leq 0,05$) em: 11; 20; 59; 10 e 22%,
2028 respectivamente, quando fertilizadas com escória (Tabela 4). O conteúdo de Si em base
2029 seca acumulado por esse híbrido e a relação Si/Ca foi de 1% e 0,40.

2030 O híbrido Medellín, por sua vez, apesar de ter acumulado 1% de Si em base
2031 seca e ter exibido uma relação Si/Ca de 0,61, não apresentou diferenças significativas
2032 em crescimento e acúmulo de nutrientes quando fertilizado com a escória (Tabela 4).

2033 Plantas de meloeiro híbrido AF 4945 e Medellín fertilizadas com escória
2034 apresentaram teores de Pb de 31,32 e 31,90 mg kg⁻¹, respectivamente (Tabela 4). Não
2035 foi detectada a presença de Cd nas plantas.

2036 **Efeitos da escória na produção e qualidade pós-colheita de frutos de meloeiro**

2037

2038 O número de frutos (NF) produzidos por parcela, independentemente da
2039 inoculação, não foi influenciado pela fertilização com escória. Entretanto, plantas
2040 fertilizadas com escória e inoculadas com *A. citrulli* produziram significativamente
2041 igual NF que plantas fertilizadas e não inoculadas. Enquanto, plantas não fertilizadas
2042 com escória obtiveram redução na produção de NF em 22% quando inoculadas com Ac
2043 (Figura 2).

2044 Frutos colhidos de plantas fertilizadas com escória apresentaram espessura de
2045 polpa (EP) e teor de sólidos solúveis (SS) 7 e 8% superior, independentemente do
2046 híbrido e da inoculação com *A. citrulli*. Entretanto, a ação de *A. citrulli* promoveu
2047 reduções na massa média de frutos (MMF) (16%), produção (PROD) (22%), espessura
2048 de polpa (EP) (7%) e teor de sólidos solúveis totais (SST) (8%), quando comparados a
2049 frutos de plantas não inoculadas (Tabela 5).

2050 O híbrido Medellín produziu frutos com maior massa média (1,38 kg) e com
2051 polpa mais espessa (3,36 cm), enquanto que o híbrido AF 4945 produziu maior número
2052 de frutos (15 frutos) com maior teor de sólidos solúveis (7,43%). Os híbridos não
2053 diferiram entre si para a produção de frutos e firmeza de polpa (Tabela 5).

2054

2055 **Discussão**

2056

2057 Considerando a necessidade de métodos alternativos ao controle químico para
2058 reduzir a severidade da mancha aquosa do meloeiro, nenhuma estratégia isolada tem
2059 sido suficientemente eficiente no controle desta bacteriose. Neste trabalho, a aplicação
2060 de escória silicatada apresentou resultados que podem ser explorados para o manejo do
2061 controle de *Acidovorax citulli* em campo.

2062 A aplicação de Si como uma medida profilática no controle de doenças de
2063 plantas tem se mostrado eficiente em várias interações planta-patógenos (Bélangier *et*
2064 *al.*, 1995; Datnoff *et al.*, 1997; Rodrigues e Datnoff, 2005; Datnoff *et al.*, 2007; Resende
2065 *et al.*, 2009, Silva *et al.*, 2010, Oliveira *et al.*, 2012, Dallagnol *et al.*, 2011). No caso da
2066 mancha aquosa do meloeiro, somente um estudo avaliou o potencial de Si no manejo
2067 desta doença em condições controladas de casa-de-vegetação (Ferreira *et al.*, 2009).
2068 Entretanto, a partir dos resultados deste trabalho constataram-se reduções de 10 e 14%
2069 para AACPD e IDO em plantas, e de 12% para a incidência da mancha aquosa em

2070 frutos de meloeiro quando as plantas foram fertilizadas com Si em condições de campo
2071 (Tabela 2). Nestas condições, o híbrido Medellín apresentou maior severidade e
2072 incidência da doença em folhas e frutos, respectivamente. Não existem variedades de
2073 meloeiro resistentes à mancha aquosa, de forma que todos os tipos de melão apresentam
2074 suscetibilidade à bactéria, incluindo Amarelo, Orange, Pele de Sapo, Charentais e Gália
2075 (Mariano *et al.*, 2002).

2076 Essas reduções em severidade e incidência da doença tornam-se mais
2077 significativas em um cenário no qual são produzidas cerca de 500 000 toneladas de
2078 frutos de meloeiro dos quais 94% são produzidos na região Nordeste do Brasil onde *A.*
2079 *citrulli* pode causar perdas na ordem de 40 a 50%, chegando a dizimar algumas lavouras
2080 em épocas chuvosas.

2081 Os híbridos de meloeiro estudados, assim como em pesquisas prévias em casa de
2082 vegetação, comportaram-se em campo como acumuladoras intermediárias de Si,
2083 apresentando 1% de Si na massa seca e relação Si/Ca de 0,40 e 0,61. Espécies
2084 monocotiledôneas, como arroz e trigo, por serem acumuladoras de Si são mais
2085 beneficiadas pelos efeitos desse elemento contra muitos estresses bióticos e abióticos.
2086 Porém, para espécies não acumuladoras e acumuladoras intermediárias como tomate,
2087 soja, pepino e meloeiro é sugerido que Si induz um efeito *priming* que resulta na
2088 antecipação e aumento na intensidade de respostas de defesa pós-infecção da planta
2089 (Brunings *et al.*, 2009; Ghareeb *et al.*, 2011; Dallagnol *et al.*, 2011).

2090 Silício em raízes desempenha uma função na sinalização da cascata de eventos
2091 bioquímicos relacionados com a defesa da planta e pode induzir resistência sistêmica
2092 em outros órgãos (Fawe *et al.*, 2001; Silva *et al.*, 2010). A função do Si na resistência
2093 induzida pode ser devida sua função em fortalecer estruturas da parede celular,
2094 aumentar a lignificação, ou ativar mecanismos específicos, produção de fitoalexinas e
2095 síntese de proteínas relacionadas à patogênese (PR)-proteínas (Menzies *et al.*, 1991;
2096 Chérif *et al.*, 1994; Fawe *et al.*, 2001; Silva *et al.*, 2010).

2097 As escórias siderúrgicas, desde que não se constituam em fontes de
2098 contaminação do solo com metais pesados, são ideais como fontes de Si, Ca, Mg e
2099 outros nutrientes (Kordönrfer *et al.*, 2004; Araújo e Nascimento, 2005). Por exemplo,
2100 Chang *et al.* (2002) estudando a escaldadura em arroz, observaram que aplicação de
2101 escória (0,2 a 0,4 t ha⁻¹) em campo reduziu significativamente o comprimento de lesões
2102 em 5 a 22%, com o Si desempenhando importante função nesta redução.

2103 A escória utilizada, com teores de Cd e Pb de 10 e 330 mg kg⁻¹ tem seu uso
2104 regulamentado pela Instrução Normativa nº 27 de 05/06/2006 que estabelece o uso de
2105 escórias silicatadas para fins agrícolas baseando-se em limites máximos admitidos dos
2106 metais Cd e Pb que são de 20 e 1000 mg kg⁻¹. Quando aplicada ao solo na dose de 5 ton
2107 ha⁻¹, a escória resultou em teores de 2,08 e 4,6 mg kg⁻¹ de Cd e Pb. Esse alto teor de Cd
2108 encontrado superou o estabelecido como valor de referência de qualidade de solos
2109 (VRQs) para o estado do Rio Grande do Norte que é de 0,10 mg kg⁻¹ (Preston, 2013).
2110 Entretanto, o solo da área experimental, independente da aplicação de escória
2111 apresentou altos teores originais de P (291 mg dm⁻³), Cd (1,73 mg kg⁻¹) e Pb (2,91 mg
2112 kg⁻¹), que podem ser provenientes de adubações fosfatadas realizadas ao longo do
2113 tempo, que além de P, carregam esses dois potenciais poluentes ao solo (Alloway, 1990;
2114 Mendes *et al.*, 2010). Além de ser encontrado em adubos fosfatados, Cd faz parte da
2115 constituição de agrotóxicos e pesticidas, que são vias de entrada de metais pesados no
2116 solo (Accioly e Siqueira, 2000).

2117 A aplicação de escória resultou em elevação significativa do pH (8%), redução
2118 da acidez potencial (H+Al) (16%), e maior disponibilidade de Si solúvel (542%) e dos
2119 teores de P (32%), Ca+Mg (19%), Cu (115%), Fe (570%), Mn (110%) e Zn (128%)
2120 trocáveis no solo (Tabela 3). O incremento desses nutrientes ao solo pode ser explicado
2121 pelo carreamento desses elementos via a fertilização com a escória (Tabela 1). Manejar
2122 a disponibilidade de elementos no solo de modo que as plantas possam se beneficiar de
2123 seus efeitos se constitui em uma ferramenta básica no sistema de manejo integrado,
2124 sendo a aplicação de fertilizantes ao solo o meio mais direto de fornecer nutrientes para
2125 reduzir a severidade de diversas doenças de plantas (Oborn *et al.*, 2003).

2126 Concentrações de N (18,63; 18,19 g kg⁻¹), P (3,35; 3,43 g kg⁻¹), K (27,08; 33,66
2127 g kg⁻¹), Ca (30,89; 18,86 g kg⁻¹), Mg (11,84; 11,57 g kg⁻¹ g kg⁻¹), Cu (12,51; 11,64 mg
2128 kg⁻¹), Fe (457,73; 443,37 mg kg⁻¹) Mn (108,82; 121,13 mg kg⁻¹), Zn (22,41; 17,13 mg
2129 kg⁻¹) foram obtidas em plantas de meloeiro híbrido AF 4945 e Medellín fertilizadas com
2130 escória e inoculadas com *A. citrulli* (Tabela 4). Os teores de P, K, Ca, Mg, Cu e Mn
2131 encontrados, refletem um adequado estado nutricional para ambos os híbridos.
2132 Entretanto, os teores de N e Fe foram respectivamente, inferiores e superiores aos
2133 citados como adequados á cultura que são de 25-50 g kg⁻¹ de N e 50 a 300 mg kg⁻¹ de
2134 Fe . Além disso, o acúmulo de Ca e Zn observado para o híbrido Medellín estão abaixo
2135 dos teores citados como adequados ao meloeiro, que são de 25-50 g kg⁻¹ de Ca e 20-100
2136 mg kg⁻¹ de Zn (Raij *et al.*, 1996). O comportamento diferenciado dos híbridos em

2137 função da adubação utilizada indica exigências nutricionais intrínsecas, sugerindo que o
2138 nível de adubação a ser aplicado depende do cultivar escolhido (Silva *et al.*, 2003) e
2139 significativamente influencia na resistência a *A. citrulli*.

2140 Teores de Pb de 31,32 e 31,90 mg kg⁻¹, detectados em plantas AF 4945 e
2141 Medellín supridas com escória são classificados por Kabata-Pendias e Pendias, 2001
2142 como excessivos ou tóxicos situando-se na faixa de 30-300 mg Kg⁻¹. Porém, a
2143 fertilização com escória não interferiu na absorção desse elemento, visto que não houve
2144 diferença significativa entre plantas fertilizadas e não fertilizadas quanto ao acúmulo de
2145 Pb (Tabela 4).

2146 Plantas híbridas AF 4945 fertilizadas com escória e inoculadas com *A. citrulli*
2147 acumularam 11% mais Si que plantas não fertilizadas, não sendo observado diferenças
2148 significativas no acúmulo deste elemento para o híbrido Medellín (Tabela 4). A
2149 acumulação de Si nos tecidos vegetais varia entre 0,1 e 10% da matéria seca (Ma e
2150 Takahashi, 2002; Currie e Perry, 2007). Cada espécie de planta possui sua própria
2151 capacidade de absorver Si, que é atribuída à presença de transportadores específicos, e
2152 está diretamente relacionada com os benefícios que extraem a partir deste elemento (Ma
2153 *et al.*, 2006; Arsenault-Labrecque *et al.*, 2012). Além de Si, plantas híbridas AF 4945
2154 fertilizadas com escória apresentaram incrementos significativos em teores de N, Ca,
2155 Mg, e Zn em 20; 59; 10 e 22%, respectivamente, o que influenciou na produção de
2156 biomassa, com um incremento significativo em massa fresca e seca da parte aérea de 19
2157 e 14%. Por outro lado, não foi observado incremento significativo de nutrientes nem de
2158 biomassa para o híbrido Medellín (Tabela 4).

2159 Os resultados não revelaram diferenças significativas entre as cultivares
2160 avaliadas com relação ao acúmulo de Si (Tabela 4). Arsenault-Labrecque *et al.* (2012)
2161 observaram haver diferenças significativas na absorção de Si entre genótipos de soja,
2162 sendo a cultivar Hikmok sorip a que mais acumulou Si e exibiu resistência à ferrugem
2163 da soja, observada por uma clara manifestação de reação de hipersensibilidade quando
2164 as plantas foram supridas com Si antes da inoculação de *Phakopsora pachyrhizi*. Apesar
2165 da não diferença quanto ao acúmulo de Si, foi significativo o incremento no acúmulo de
2166 Ca e Zn por plantas híbridas AF 4945 fertilizadas com escória, que exibiram 64 e 31%
2167 mais Ca e Zn em seus tecidos, comparados ao híbrido Medellín que apresentou teores
2168 desses nutrientes abaixo dos adequados á cultura (Tabela 4).

2169 Ferreira (2009) observou que plantas de meloeiro híbrido AF 4945 supridas com
2170 silicato de cálcio em doses crescentes de Si e inoculadas com *A. citrulli* obtiveram

2171 incremento em acúmulo desse elemento na parte aérea somente até a adição de 0,24 g
2172 kg^{-1} Si ao solo, com posterior estabilização de conteúdo de Si em 1,30 g vaso^{-1} ,
2173 enquanto o conteúdo de Ca aumentou linearmente em função das doses de Si aplicadas,
2174 sendo observado um incremento de 124,55% em Ca com a adição da maior dose (1,41 g
2175 kg^{-1} Si ao solo). O mesmo autor verificou maior PI (15,8 dias) e maiores reduções de
2176 IDO (88,54%) e AACPD (85,34%) com a aplicação dessa maior dose. A importância
2177 de Si na disponibilização de Ca para o pimentão, não só pelo ponto de vista da nutrição
2178 da planta, mas principalmente pela correlação com a redução da severidade da murcha
2179 bacteriana causada por *Ralstonia solanacearum* foi comprovada pela observação de que
2180 a aplicação da dose 1,41 g kg^{-1} Si ao substrato resultou em maior teor de Ca na parte
2181 aérea das plantas e maior redução da doença. Entretanto, o maior acúmulo de Si pelas
2182 plantas foi promovido pela adição de 0,71 g kg^{-1} Si ao solo (Alves, 2012). Oliveira *et al.*
2183 (2012), enquanto estudando a influência de diferentes doses de silicato de cálcio
2184 aplicadas ao solo no patossistema algodoeiro-*Xanthomonas citri* subsp. *malvacearum*
2185 não verificaram acúmulo significativo de Si em raízes e folhas de plantas tratadas, mas
2186 observaram aumento de 4% no teor de Ca em raízes com a aplicação da dose 0,71 g kg^{-1}
2187 Si ao solo, o qual foi associado a uma redução de 54,9% na severidade da mancha-
2188 angular do algodoeiro em plantas inoculadas.

2189 Plantas sob estresse nutricional são mais suscetíveis ao ataque de patógenos. No
2190 entanto, há pouca informação sobre o efeito do estado nutricional da planta nos
2191 mecanismos de defesa contra bactérias (Marschner, 1995). Deficiência de cálcio em
2192 tomateiros aumentou a susceptibilidade das cvs. Santa Cruz (susceptível) e Yoshimatsu
2193 (resistente) à murcha bacteriana (Cavalcante *et al.*, 1995).

2194 O teor de Ca no tecido das plantas afeta a severidade e incidência de doenças de
2195 duas formas. Primeiro, o Ca é essencial para a estabilidade e funcionamento de
2196 biomembranas vegetais e quando seu nível é baixo há extravasamento com aumento do
2197 efluxo de compostos de baixo peso molecular, como: açúcares e aminoácidos do
2198 citoplasma para o apoplasto, o que estimula a infecção pelos patógenos (Marschner,
2199 1995). Segundo, cálcio é um importante componente estrutural da parede celular, sendo
2200 os poligalacturonatos de Ca requeridos na lamela média para a estabilidade da parede
2201 celular. Muitos fungos e bactérias invadem o tecido hospedeiro através da produção
2202 extracelular de enzimas pectinolíticas como a poligalacturonase, que dissolve a lamela
2203 média. A atividade desta enzima é inibida pelo cálcio. Oliveira *et al.* (2007) não
2204 detectaram produção de enzimas pectinolíticas por 41 isolados (entre eles o isolado

2205 utilizado nesta pesquisa Aac1) de *A. citrulli* pertencentes à Coleção de Culturas do
2206 Laboratório de Fitobacteriologia da Universidade Federal de Pernambuco.

2207 Por sua vez, o Zn desempenha importante função na síntese de proteínas e de
2208 amido, e, portanto, uma baixa concentração de zinco induz acumulação de aminoácidos
2209 e açúcares redutores no tecido vegetal. Como um cofator na síntese de superóxido
2210 dismutase (Cu/Zn-SOD), zinco está envolvido na proteção de membranas contra danos
2211 oxidativos pela detoxificação de radicais superóxidos. Deficiências na estrutura de
2212 membranas, causadas por radicais livres conduzem a um extravasamento de compostos
2213 de baixo peso molecular, cujas presenças favorecem a patogênese (Fones e Preston,
2214 2012).

2215 Portanto, foi notável o fenômeno de que o híbrido AF 4945 além de se beneficiar
2216 dos possíveis efeitos da absorção de Si, como por exemplo indução de resistência
2217 sistêmica em folhas e frutos, obteve maior desempenho quanto à redução da severidade
2218 e incidência da mancha aquosa por acumular mais Ca e Zn e, desses extrair benefícios
2219 para a redução da intensidade da doença. Entretanto, o híbrido Medellín por ter
2220 apresentado deficiência de Ca e Zn em seus tecidos foi mais suscetível à infecção por *A.*
2221 *citrulli*. O Si influencia a absorção de vários macro e micronutrientes e frequentemente
2222 diminui ou elimina o efeito adverso do excesso de metais no meio sobre as plantas,
2223 especialmente do Mn^{2+} (Epstein, 1994). Embora, não seja foco desse trabalho, foi
2224 observada redução significativa no teor de Mn de plantas híbridas AF 4945 tratadas com
2225 escória em 25% o que pode também ter contribuído indiretamente para a resistência à *A.*
2226 *citrulli* por amenizar os possíveis efeitos tóxicos desse elemento.

2227 Além de influenciar no controle de doenças, a nutrição de plantas desempenha
2228 papel fundamental na produção e qualidade pós-colheita de frutos de meloeiro, sendo as
2229 características de produção, tamanho e peso de fruto, espessura e firmeza de polpa e teor
2230 de sólidos solúveis os principais descritores de qualidade da cultura (Menezes *et al.*,
2231 2000; Nunes *et al.*, 2006).

2232 Com relação ao número de frutos produzidos (NF), destaque é dado ao fato que
2233 o tratamento com escória assegurou às plantas inoculadas com *A. citrulli* uma produção
2234 equivalente às não inoculadas, enquanto que plantas não supridas com escória, quando
2235 inoculadas com *A. citrulli* produziram 22% menos frutos que plantas não inoculadas
2236 (Figura 2), o que pode ser compreendido como um fenômeno de tolerância induzida
2237 pela fertilização com escória e evidencia a ação de *A. citrulli* na redução do NF. Chérif e
2238 Bélanger (1992) verificaram que plantas de pepino inoculadas com *Phythium ultimum* e

2239 tratadas com Si aumentaram o número de frutos com padrão de qualidade comercial.
2240 Aplicação de fertilizante silicatado (Agrosil 1,5 kg t ha⁻¹) em campos de produção na
2241 Etiópia também aumentou significativamente a produção de frutos de tomate
2242 comercializáveis na cultivar King Kong 2 moderadamente resistente à *Ralstonia*
2243 *solanacearum* (Ayana *et al.*, 2011).

2244 De acordo com os resultados obtidos neste estudo, a produção estimada de frutos
2245 pelas plantas fertilizadas com escória de 17,2 t ha⁻¹ não diferiu estatisticamente da
2246 produção obtida por plantas não fertilizadas. Entretanto, os frutos produzidos por
2247 plantas tratadas com escória apresentaram maior teor de sólidos solúveis (7%) e
2248 espessura de polpa (3,36 cm) comparada a frutos colhidos de plantas não tratadas
2249 (Tabela 5). Alta produtividade (25 t ha⁻¹), frutos firmes com conteúdo médio de sólidos
2250 solúveis (SS) acima de 9% bem desenvolvidos e em estágio de maturação satisfatório
2251 para suportar as condições de transporte e manuseio são exigências para
2252 comercialização do melão no mercado internacional (Menezes *et al.*, 2000; Nunes *et al.*,
2253 2006). A produção de frutos e o teor de sólidos solúveis podem ser influenciados por
2254 fatores genéticos, ambientais, irrigação e nutrição das plantas. A produtividade obtida
2255 (17,2 t ha⁻¹) e o teor de SS (7%) podem ser justificados pelo discreto desequilíbrio
2256 nutricional provocado pela adubação e pela colheita precoce dos frutos, que foi
2257 realizada cerca de 10 dias antes do ponto ideal, devido ao severo ataque de *A. citrulli*.
2258 Conciliar produtividade com qualidade dos frutos é um difícil desafio enfrentado pelo
2259 setor produtivo de melão, sendo comum algumas características referentes à qualidade
2260 dos frutos serem comprometidas ao executar-se uma programação de adubação visando
2261 à alta produtividade (Menezes *et al.*, 2000).

2262 Os valores médios da espessura da polpa variaram entre 3,10 e 3,36 cm, para
2263 frutos híbridos AF 4945 e Medellín, podendo ser considerados com polpa espessa
2264 (Tabela 5). A polpa do fruto deve ser espessa e a cavidade interna pequena,
2265 proporcionando maior resistência ao transporte e manuseio e impedindo o deslocamento
2266 da placenta, o que pode acelerar o processo de deterioração do fruto. A maior espessura
2267 da polpa é desejável, pois indica maior parte comestível e aumenta a massa, melhorando
2268 a qualidade do fruto (Paduan *et al.*, 2007).

2269 Em conclusão, resultados deste estudo confirmam que suprimento de escória ao
2270 solo pode reduzir a severidade e a incidência da mancha aquosa do meloeiro em
2271 condições de campo. Foram evidentes as diferenças intrínsecas entre as cultivares, com
2272 o híbrido AF 4945 sendo o mais responsivo aos benefícios da absorção, principalmente

2273 de Si, Ca e Zn e incremento de biomassa, o que foi refletido em uma menor severidade
2274 e incidência da mancha aquosa para esse cultivar. Além disso, independentemente do
2275 cultivar, aplicação de escória melhorou a qualidade de frutos produzidos. Portanto, são
2276 necessárias futuras pesquisas visando potencializar os efeitos da aplicação de escória de
2277 forma a permitir sua inserção no manejo integrado desta doença com o fim de reduzir os
2278 impactos ambientais, custos de produção e otimizar as práticas de controle em campos
2279 de cultivo de meloeiro.

2280

2281 **Referências**

2282

2283 Accioly A.M. A., J.O. Siqueira, 2000. Contaminação química e biorremediação do solo.
2284 *Tópicos em Ciência do Solo* 1, 299-351.

2285

2286 Araújo J.C.T., C.A.W.A. Nascimento, 2005. Redistribuição entre frações e teores
2287 disponíveis de zinco em solos incubados com lodo de esgoto. *Revista Brasileira de*
2288 *Ciência do Solo* 29, 635-644.

2289

2290 Alloway B.J., 1990. *Heavy metals in soils*. Glasgow: Blackie Academic and Professional.

2291

2292 Alves A.O., 2012. *Controle alternativo da murcha bacteriana do pimentão utilizando*
2293 *óleos essenciais vegetais e silicato de cálcio*. Tese, Universidade Federal Rural de
2294 Pernambuco, Recife, Brasil, 94 pp.

2295

2296 Arsenault-Labrecque G., J.G. Menzies and R. R. Bélanger, 2012. Effect of silicon
2297 absorption on soybean resistance to *Phakopsora pachyrhizi* in different cultivars. *Plant*
2298 *Disease* 96, 37-42.

2299

2300 Ayana G., C. Fininsa, S. Ahmed and K. Wydra, 2011. Effect of soil amendment on
2301 bacterial wilt caused by *Ralstonia solanacearum* and tomato yields in Ethiopia. *Journal*
2302 *of Plant Protection Research* 51, 72-76.

2303

2304 Bahar O., G. Kritzman and S Burdman, 2009. Bacterial fruit blotch of melon: screens
2305 for disease tolerance and role of seed transmission in pathogenicity. *European Journal*
2306 *Plant Pathology* 123, 71–83.

- 2307 B elanger R.R., P.A. Bowen, D.L. Ehret and J.G. Menzies, 1995. Soluble silicon – its
2308 role in crop and disease management of greenhouse crops. *Plant Disease* 79,329-335.
2309
- 2310 B elanger R.R. and J.G. Menzies, 2003. Use of silicon to control diseases in vegetable
2311 crops. *Fitopatologia Brasileira* 28, 42-45.
2312
- 2313 Burdman S. and R. Walcott, 2012. *Acidovorax citrulli*: generating basic and applied
2314 knowledge to tackle a global threat to the cucurbit industry. *Molecular Plant Pathology*,
2315 1-11.
2316
- 2317 Brunings A.M., L.E. Datnoff, J.F. Ma, N. Mitani, Y. Nagamura, B. Rathinasabapathi and
2318 M. Kirst, 2009. Differential gene expression of rice in response to silicon and rice blast
2319 fungus *Magnaporthe oryzae*. *Annals of Applied Biology*, 155, 1-10.
2320
- 2321 Cakmak I.M., 2000. Possible roles of zinc in protecting plant cells from damage by
2322 reactive oxygen species. *New Phytology*. 146, 185–205.
2323
- 2324 Carmo Filho F., J. Espinola Sobrinho, J.M. Maia Neto, 1991. *Dados Climatol gicos de*
2325 *Mossoró: Um município semi- rido nordestino*. Mossoró: ESAM. 121p. (Cole o
2326 Mossoroense, C, 30).
2327
- 2328 Cazorla M.F., E. Arrebola, F. Olea, L. Velasco, J.M. Hermoso, A. Pérez-Garcia, J.A.
2329 Tor s, J.M. Farr and, A. de Vicente, 2006. Field evaluation of treatments for the control
2330 of the bacterial apical necrosis of mango (*Mangifera indica*) caused by *Pseudomonas*
2331 *syringae* pv. *syringae*. *European Journal of Plant Pathology* 116, 279-288.
2332
- 2333 Cavalcante E.B., R.L.R. Mariano, J.P. Leite, R.S.B. Coelho, 1995. Influence of mineral
2334 nutrition on the reaction of tomato cvs. Yoshimatsu and Santa Cruz to *Pseudomonas*
2335 *solanacearum*. *Bacterial Wilt Newsletter* 12, 3-8.
2336
- 2337 Chang S.J., D.D.S. Tzeng, C.C. Li, 2002. Effect of silicon nutrient on bacterial blight
2338 resistance of rice (*Oryza sativa* L.) In: *Second Silicon in Agriculture Conference*, Press-
2339 Net, Kyoto, Japan 31-33.

- 2340 Chérif M., J.G. Menzies, N. Benhamou and R.R. Bélanger, 1992. Studies of silicon
2341 distribution in wounded and *Pythium ultimum* infected cucumber plants. *Physiological*
2342 *and Molecular Plant Pathology* 41, 371-385.
- 2343
- 2344 Chérif M., A. Asselin and R.R. Bélanger, 1994. Defense responses induced by soluble
2345 silicon in cucumber roots infected by *Pythium* spp. *Phytopathology* 84, 236-242.
- 2346
- 2347 Currie H.A., C. Perry, 2007. Silica in plants: biological, biochemical and chemical
2348 studies. *Annals of Botany* 1:7.
- 2349
- 2350 Dallagnol L.J., F.A Rodrigues, F.A.O. Tanaka, L. Amorim and L.E.A Camargo, 2011.
2351 Effect of potassium silicate on epidemic componentes of powdery mildew on melon.
2352 *Plant Pathology*, 1-8.
- 2353
- 2354 Dannon E.A. and K. Wydra, 2004. Interaction between silicon amendment, bacterial
2355 wilt development and phenotype of *Ralstonia solanacearum* in tomato genotypes.
2356 *Physiological and Molecular Plant Pathology* 64, 233-243.
- 2357
- 2358 Datnoff L.E., C.W. Deren and G.H. Snyder, 1997. Silicon fertilization for disease
2359 management of rice in Florida. *Crop Protection* 16, 525-531.
- 2360
- 2361 Datnoff L.E., F.A. Rodrigues and K.W. Seebold, 2007. Silicon and plant disease. In:
2362 *Mineral nutrition and plant disease* (L.E. Datnoff, W.H. Elmer, D.M. Huber, ed.), The
2363 American Phytopathological Society Press, St Paul, MN, USA, 233-246.
- 2364
- 2365 Diogo R.V.C and K. Wydra, 2007. Silicon-induced basal resistance in tomato against
2366 *Ralstonia solanacearum* is related to modification of pectic cell wall polysaccharide
2367 structure. *Physiological and Molecular Plant Pathology* 70, 120-129.
- 2368
- 2369 Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária – EMBRAPA, 1999. *Manual de análises*
2370 *químicas de solos, plantas e fertilizantes*. Embrapa Comunicação para Transferência de
2371 Tecnologia, Brasília, Brasil, 370 pp.

- 2372 Epstein E, 1994. The anomaly of silicone in plant biology, 1994. *Proceedings of the*
2373 *National Academy of Sciences* 91, 11-17.
2374
- 2375 Epstein E, 1999. Silicon. *Annual Review in Plant Physiology and Plant Molecular*
2376 *Biology* 50, 641-664.
2377
- 2378 Fawe A., J.G. Menzies, M. Chérif and R.R. Bélanger, 2001. Silicon and Disease
2379 Resistance in Dicotyledons. In: *Silicon in Agriculture* (L.E. Datnoff, G.H. Snyder, G.H.
2380 Korndörfer, ed.), Elsevier, Amsterdam, Netherlands, 159-169.
2381
- 2382 Silva J.R., S.M. Filho, J.S. Holanda and F.I.O. Melo, 2003. Produção de cultivares de
2383 melão em função de adubações corretivas de potássio e magnésio. *Revista Ciência*
2384 *Agronômica* 34, 225-231.
2385
- 2386 Ferreira H.A., C.W.A. Nascimento, A.J. Silva, R.L.R. Mariano, G.H.S Nunes and
2387 R.L.S. Cavalcante, 2009. Efeito de doses de silício no controle da mancha-aquosa em
2388 meloeiro. In: *Abstracts, 42th Congresso Brasileiro de Fitopatologia, 3 – 7 Agosto,*
2389 *2009, Rio de Janeiro, Brasil, No. 959 (abstract).*
2390
- 2391 Ferreira H.A., 2009. *Silício no controle da mancha-aquosa em meloeiro (Cucumis melo*
2392 *L.)* Dissertação, Universidade Federal Rural de Pernambuco, Recife, Brasil, 84 pp.
2393
- 2394 Fones H. and G.M. Preston, 2012. The impact of transition metals on bacterial plant
2395 disease. *Microbiology Reviews*, 1-25.
2396
- 2397 Ghareeb H., Z. Bozsó, P.G. Ott and K. Wydra, 2011. Silicon and *Ralstonia*
2398 *solanacearum* modulate expression stability of housekeeping genes in tomato.
2399 *Physiological and Molecular Plant Pathology*, 75, 176-179.
2400
- 2401 IBGE, 2009. *Agriculture*. Available in:
2402 <http://www.ibge.gov.br/home/estatistica/economia/pam/2010/default.shtm>. Accessed on
2403 Jan 15 2012.

- 2404 IBGE, 2010. *Agriculture*. Available in:
2405 <http://www.ibge.gov.br/home/estatistica/economia/pam/2010/default.shtm>. Accessed on
2406 Jan 15 2012.
2407
- 2408 IBRAF, 2010. *Agriculture*. Available in:
2409 http://www.ibraf.org.br/estatisticas/est_frutas.asp. Accessed on Jan 5 2012.
2410
- 2411 Kabata-Pendias A. and H. Pendias, 2000. *Trace elements in soils and plants*. 3rd
2412 edition, Chemical Rubber Company Press, Boca Raton, Florida, 315 pp.
2413
- 2414 Korndörfer G.H., H.S. Pereira and A. Nolla, 2004. *Silicon analyses for soil, plant, and*
2415 *fertilizer*. Uberlândia: Silicon in Agriculture Research Group. 34. (Technical Bulletin 2)
2416 (In Portuguese).
2417
- 2418 Latin R.X. and Hopkins D.L, 1995. Bacterial fruit blotch of watermelon. The
2419 hypothetical exam question becomes reality. *Plant Disease* 79, 761–765.
2420
- 2421 Lemes E., C.L. Mackowiak, A. Blount, J.J. Marois, D.L. Wright, L. Coelho and L.E.
2422 Datnoff, 2011. Effects of silicon application on soybean rust development under
2423 greenhouse and field conditions. *Plant Disease* 95, 317-324.
2424
- 2425 Ma J.F., Y. Miyake, E. Takahashi, 2001. Silicon as a beneficial element for crop plants.
2426 In: *Silicon in agriculture* (L.E. Datnoff, G.H. Snyder, G.H. Korndörfer, ed.), Elsevier
2427 Science, The Netherlands, 17- 39.
2428
- 2429 Ma J.F., K. Tamai, N. Yamaji, N. Mitani, S. Konishi, S. Konishi, M. Katsuhara, M.
2430 Ishiguro, Y. Murata and M. Yano, 2006. A silicon transporter in rice. *Nature* 440, 89-
2431 91.
2432
- 2433 Mariano RLR., EB. Silveira, 2002. Mancha-aquosa: importante bacteriose de meloeiro
2434 no Brasil. In: *Anais da Academia Pernambucana de Ciência Agronômica* (R.M. Moura,
2435 R.L.R Mariano, ed.), Academia Pernambucana de Ciência Agronômica, Recife, PE,
2436 Brasil, 79-88.

- 2437 Martinati C.J., P.T. Lacava, S.K.S. Miyasawa, S.D. Guzzo, J.L. Azevedo and S.M. Tsai,
2438 2007. Redução dos sintomas causados pela *Xylella fastidiosa* subsp. *pauca* por meio de
2439 aplicação de benzotiadiazole e silício. *Pesquisa Agropecuária Brasileira* 42, 1083-
2440 1089.
- 2441
- 2442 Marschner H, 1995. *Mineral nutrition of higher plants*. 2nd edition, Academic Press,
2443 New York, USA, 887 pp.
- 2444
- 2445 McKinney R.H., 1923. Influence of soil temperature and moisture on infection of wheat
2446 seedlings by *Helminthosporium sativum*. *Journal of Agricultural Research* 26, 195-218.
- 2447
- 2448 Mendes A.M.S., G.P. Duda, C.W.A. Nascimento, J.A.G. Lima and A.D.L. Medeiros,
2449 2010. Acúmulo de metais pesados e alterações químicas em Cambissolo cultivado com
2450 meloeiro. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental* 14, 791-796.
- 2451
- 2452 Menezes J.B., H.A.C. Filgueiras, R.E. Alves, C.E. Maia, G.G. Andrade, J.H.S. Almeida
2453 and F.M.P. Viana, 2000. Características do melão para exportação. In: *Melão: pós-
2454 colheita*. (R.E. Alves, ed.), Embrapa, Brasília, DF, 13-22.
- 2455
- 2456 Menzies J.G., D.L. Ehret, A.D.M. Glass, T. Helmer, C. Koch and F. Seywerd, 1991.
2457 Effects of soluble silicon on the parasitic fitness of *Sphaerotheca fuliginea* on *cucumis*
2458 *sativus*. *Phytopathology* 81,84-88.
- 2459
- 2460 Nunes G.H.S., J.J. Santos Júnior, F.V. Andrade, F. Bezerra Neto, A.H.B. Almeida and
2461 D. C. Medeiros, 2004. Aspectos produtivos e de qualidade de híbridos de melão
2462 cultivados no agropólo Mossoró-Assu. *Horticultura Brasileira* 22, 744:747.
- 2463
- 2464 Nunes G.H.S., A.E.S. Madeiros, L.C. Grangeiro, G.M. Santos and R. Sales Junior,
2465 2006. Estabilidade fenotípica de híbridos de melão amarelo avaliados no pólo agrícola
2466 Mossoró-Assú. *Pesquisa Agropecuária Brasileira* 41, 1369-1376.
- 2467
- 2468 Oborn I., A.C. Edwards, E. Witter, O. Oenema, K. Ivarsson, P.J.A. Withers, S.I. Nilsson
2469 and A. Richert Stinzing, 2003. Element balances as a toll for sustainable nutrient

- 2470 management: a critical appraisal of their merits and limitations within an agronomic and
2471 environmental context. *European Journal of Agronomy* 20, 211–225.
- 2472
- 2473 Oliveira J.C., E.B. Silveira, R.L.R. Mariano, E. Cardoso and I.O. Viana, 2007.
2474 Caracterização de isolados de *Acidovorax avenae* subsp. *citrulli*. *Fitopatologia*
2475 *Brasileira* 32, 480-487.
- 2476
- 2477 Oliveira J.C., G.M.R. Albuquerque, R.L.R. Mariano, D.M.F. Gondim, J.T.A. Oliveira
2478 and E.B. Souza, 2012. Reduction of the severity of angular leaf spot of cotton mediated
2479 by silicone. *Journal of Plant Pathology* 94, 297-307.
- 2480
- 2481 Paduan M.T., R.P. Campos and E. Clemente, 2007. Qualidade dos frutos de tipos de
2482 melão produzidos em ambiente protegido. *Revista Brasileira de Fruticultura* 29, 535-
2483 539.
- 2484
- 2485 Prado F.M., F.M. Fernandes and W. Natale, 2003. Efeito residual da escória de
2486 siderurgia como corretivo da acidez do solo na soqueira de cana-de-açúcar. *Revista*
2487 *Brasileira de Ciência do Solo* 27, 287-296.
- 2488
- 2489 van Raij B., H. Cantarela, J.A. Quaggio, A.M.C. Furlani, 1997. *Recomendações de*
2490 *adubação e calagem para o estado de São Paulo*. Campinas: Instituto
2491 Agrônômico/Fundação IAC. 2. ed. (Technical Bulletin 100).
- 2492
- 2493 Rane K. K. and R. X. Latin, 1992. Bacterial fruit blotch of watermelon: Association of
2494 the pathogen with seed. *Plant Disease*, 76, 509-512.
- 2495
- 2496 Resende R.R., F.A Rodrigues, J.M. Soares and C.R Casela, 2009. Influence of silicon
2497 on components of resistance to anthracnose in susceptible and resistant sorghum lines.
2498 *European Journal of Plant Pathology* 124, 533-541.
- 2499
- 2500 Rodrigues F.A., N. Benhamou, L.E. Datnoff, J.B. Jones and R.R. Bélanger, 2003.
2501 Ultrastructural and cytochemical aspects of silicon-mediated rice blast resistance.
2502 *Phytopathology* 93, 535-546.

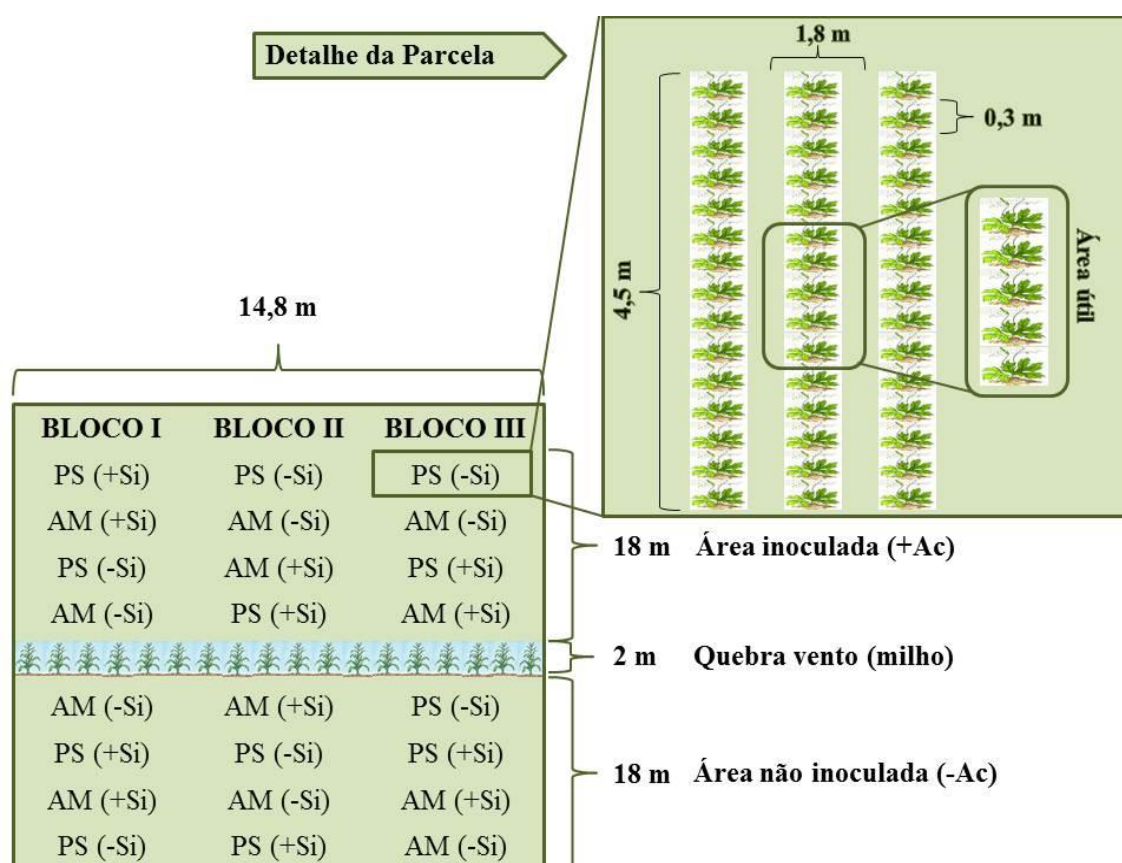
- 2503 Samuels A.L., A.D.M. Glass, D.L. Ehret and J.G. Menzies, 1991. Mobility and
2504 deposition of silicon in cucumber plants. *Plant Cell and Environmental* 14, 485-492.
2505
- 2506 Sales Júnior R. and J.B. Menezes, 2001. *Mapeamento das doenças fúngicas,*
2507 *bacterianas e viróticas do cultivo do melão no Estado do RN.* Mossoró: Escola Superior
2508 de Agricultura de Mossoró, 25 p. (Relatório Técnico).
2509
- 2510 Sales Junior R., I.S. Oliveira, R.L.R. Mariano, G.F. Silva and G.H.S. Nunes, 2005.
2511 Kasugamycin and copper oxichloride effect on bacterial blotch of melon. *Fitopatologia*
2512 *Brasileira* 30, 295-298.
2513
- 2514 Santos A.A., F.M. Viana, 2000. *Mancha-aquosa do melão.* Fortaleza. EMBRAPA-SPI.
2515
- 2516 *SAS Institute* (1999): Statistical analyses system. Procedure guide for personal
2517 computer. Cary.
2518
- 2519 Shaner G. and R.E. Finney, 1977. The effect of nitrogen fertilization on the expression
2520 of slow-mildewing resistance in knox wheat. *Phytopathology* 67, 1051-1056.
2521
- 2522 Silva I.T., F.A. Rodrigues, J.R. Oliveira, S.C. Pereira, C.C.L. Andrade, P.R. Silveira
2523 and M.M. Conceição, 2010. Wheat resistance to bacterial leaf streak mediated by
2524 silicon. *Journal of Phytopathology* 158, 253-262.
2525
- 2526 Silva Neto E. B., F. H. V. Medeiros, R. L. R. Mariano and E. B. Silveira, 2003.
2527 Controle químico da mancha-aquosa do melão pelo tratamento de sementes.
2528 *Fitopatologia Brasileira*, 28, 340.
2529
- 2530 Sobral M.F., C.W.A. Nascimento, K.P.V. Cunha, H.A. Ferreira, A.J. Silva and F.B.V.
2531 Silva, 2011. Escória de siderurgia e seus efeitos nos teores de nutrientes e metais
2532 pesados em cana-de-açúcar. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*
2533 15,867-872.

- 2534 United States Environmental Protection Agency– USEPA, 1996. Microwave assisted
2535 acid digestion of siliceous and organically based matrices. Method 3052. Available in:
2536 <http://www.epa.gov/SW-846/pdfs/3052.pdf>. Accessed on Jan 20 2011.
2537
- 2538 United States Environmental Protection Agency– USEPA, 1998. Microwave assisted
2539 acid digestion of sediments, sludges, soils, and oils. Method 3051a. Available in:
2540 <http://www.epa.gov/SW-846/pdfs/3051a.pdf>. Accessed on Jan 22 2011.
2541
- 2542 Viana F.M.P., A.A Santos, J.E. Cardoso, F.C.O. Freire and C.A. Lopes, 2000. *Surto da*
2543 *mancha-aquosa em frutos de melão nos Estados do Ceará e Rio Grande do Norte:*
2544 *recomendações preliminares de controle.* Fortaleza: Embrapa Agroindústria Tropical,
2545 4p. (Technical Bulletin, 50).

2546 **Tabela 1.** Análise química da escória de aciaria utilizada na fertilização de plantas de
 2547 meloeiro híbridos AF 4945 e Medellín em campo experimental
 2548

Características	Teores
SiO ₂ total (g kg ⁻¹)	198,00
SiO ₂ solúvel (g kg ⁻¹)	6,30
P ₂ O ₅ (g kg ⁻¹)	2,70
K ₂ O (g kg ⁻¹)	1,40
CaO (g kg ⁻¹)	131,00
MgO (g kg ⁻¹)	75,00
Fe (g kg ⁻¹)	20,10
Zn (g kg ⁻¹)	0,96
Cu (g kg ⁻¹)	0,24
Mn (g kg ⁻¹)	0,80
Ni (g kg ⁻¹)	0,07
Cd (g kg ⁻¹)	0,01
Pb (g kg ⁻¹)	0,33
PN (%)	67,40
RE (%)	66,40
PRNT (%)	45,00

2549 PN – poder de neutralização; RE – reatividade; PRNT – poder reativo de neutralização total.
 2550
 2551
 2552
 2553



2554 **Figura 1.** Croqui da área experimental com detalhamento da parcela amostral. AM:
 2555 híbrido AF 4945; PS: híbrido Medellín; +Si: fertilizado com escória (5,00 ton ha⁻¹); -Si:
 2556 não fertilizado com escória (0,00 ton ha⁻¹).
 2557

2558 **Tabela 2.** Área abaixo da curva de progresso da doença (AACPD) e índice de doença
 2559 (IDO) em plantas de meloeiro, e incidência da mancha aquosa em frutos de melão
 2560 (INC) em função da aplicação de escória e do híbrido avaliado
 2561

Fatores	Componentes de Resistência		
	AACPD	IDO (%)	INC (%)
Silício			
¹ +Si	50,75 b	71,67 b	73,95 b
² -Si	56,55 a	83,75 a	84,21 a
Híbrido			
AF 4945	50,90 a	74,17 b	73,87 b
Medellín	56,40 b	81,25 a	81,29 a
CV (%)	3,8	4,6	6,1

2562 Médias seguidas pela mesma letra não diferem entre si pelo teste de Tuckey ($P \leq 0,05$). 1: Fertilizadas com escória; 2: Não
 2563 fertilizadas com escória.
 2564

2565

2566 **Tabela 3.** Atributos químicos do solo avaliados em parcelas experimentais com e sem a
 2567 aplicação de escória
 2568

Silício	pH	P (mg dm ⁻³)	K ⁺ ------(cmol _c dm ⁻³)-----	(Ca ⁺² + Mg ⁺²) -----	(H + Al ⁺³) -----	N (g kg ⁻¹)	Si	Cu	Mn ------(mg kg ⁻¹)-----	Zn	Fe
+Si	7,77a	394,70a	0,50a	8,61a	2,20b	1,55a	185,25a	1,68a	212,97a	45,78a	252,60a
-Si	7,18b	299,00b	0,42a	7,24b	2,63a	1,39a	28,84b	0,78b	101,47b	20,09b	37,68b
t _c	10,19**	8,50**	1,84 ^{ns}	4,24**	-9,23**	0,93 ^{ns}	11,27**	4,52**	4,75**	3,53**	5,08**

2569 t_c: Valor de t calculado, **, *: significativo pelo teste t bilateral $P \leq 0,01$ e $P \leq 0,05$, respectivamente. Médias seguidas pela mesma
 2570 letra não diferem entre si pelo teste t ($P \leq 0,05$).

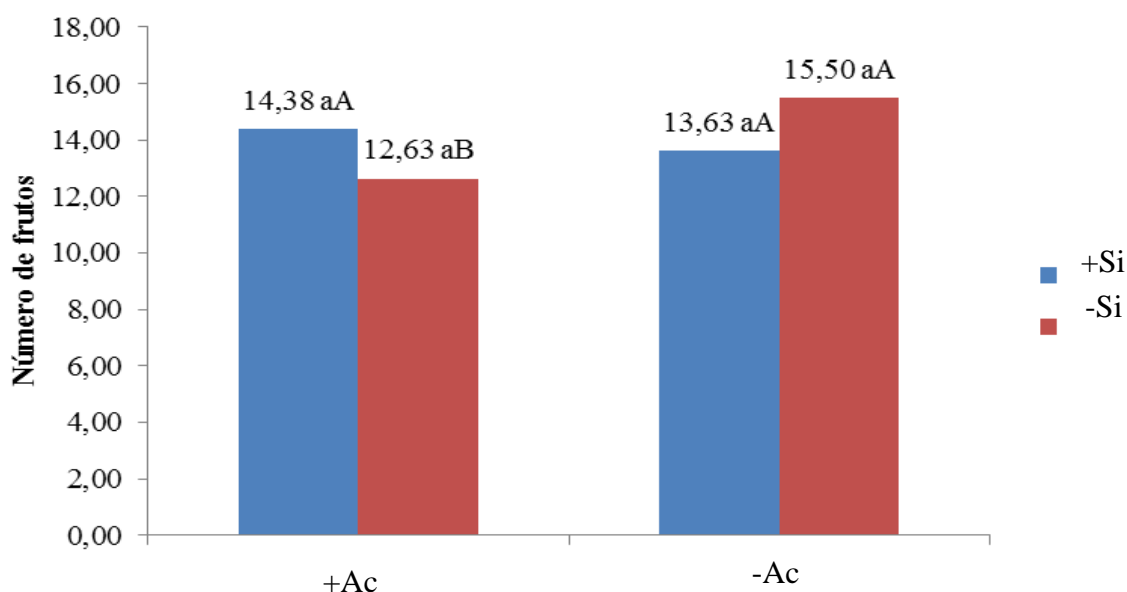
2571 **Tabela 4.** Biomassa fresca e seca da parte aérea, teor de nutrientes e Pb em plantas
 2572 híbridas de meloeiro inoculadas com *Acidovorax citrulli* supridas ou não com escória
 2573

Escória	Híbridos	
	AF 4945	Medellín
	Biomassa fresca (g)	
+Si	469,67aA	489,92aA
-Si	393,50bB	551,17aA
	Biomassa seca (g)	
+Si	70,58aA	70,08aA
-Si	61,75bB	77,91aA
	Si (g kg ⁻¹)	
+Si	12,02aA	11,95aA
-Si	10,87bA	11,56aA
	N (g kg ⁻¹)	
+Si	18,63aA	18,19aA
-Si	15,56bB	19,63aA
	P (g kg ⁻¹)	
+Si	3,35aA	3,43aA
-Si	3,68aA	3,96aA
	K (g kg ⁻¹)	
+Si	27,08aA	33,66aA
-Si	26,87aA	33,13aA
	Ca (g kg ⁻¹)	
+Si	30,89aA	18,86aB
-Si	19,40bA	19,68aA
	Mg (g kg ⁻¹)	
+Si	11,84aA	11,57aA
-Si	10,74bA	10,81aA
	Cu (mg kg ⁻¹)	
+Si	12,51aA	11,64aA

-Si	12,07aA	12,19aA
Fe (mg kg ⁻¹)		
+Si	457,73aA	443,37aA
-Si	437,61aA	494,09aA
Mn (mg kg ⁻¹)		
+Si	108,82bA	121,13aA
-Si	145,08aA	137,43aA
Zn (mg kg ⁻¹)		
+Si	22,41aA	17,13aB
-Si	18,44bA	19,16aA
Pb (mg kg ⁻¹)		
+Si	31,32aA	31,90aA
-Si	29,81aA	31,45aA

2574
2575

Médias seguidas pela mesma letra minúscula na coluna e maiúscula na linha não diferem entre si pelo teste t ($P \leq 0,05$).



2576 **Figura 2.** Interação entre os fatores Silício e Bactéria para o número de frutos (eixo y)
 2577 de híbridos de meloeiro cultivados em solo com e sem aplicação de escória inoculados e
 2578 não inoculados com *Acidovorax citrulli*. Letras minúsculas são utilizadas para comparar
 2579 os níveis do fator Silício (+Si e -Si) em cada nível do fator inoculação enquanto que
 2580 médias maiúsculas são utilizadas para comparar os níveis do fator inoculação (+Ac e -
 2581 Ac) em cada nível do fator Silício. Médias seguidas pela mesma letra minúscula ou
 2582 maiúscula não diferem entre si pelo teste t ($P \leq 0,05$). +Ac: inoculado com *A. citrulli* e -
 2583 Ac: não inoculado com *A. citrulli*; +Si: fertilizado com escória e -Si: não fertilizado
 2584 com escória

2585 **Tabela 5.** Características de produção e qualidade de frutos de dois híbridos de
 2586 meloeiro cultivados em solo com e sem aplicação de escória na presença e ausência de
 2587 *Acidovorax citrulli*
 2588

Fatores	Características de produção e qualidade de frutos					
	MMF	PROD	NF	EP	FP	SS
Silício						
+Si	1,173 a	17,22 a	14,00 a	3,34 a	12,68 a	7,41 a
-Si	1,248 a	16,34 a	14,06 a	3,13 b	12,90 a	6,86 b
Inoculação						
¹ +Ac	1,103 b	14,66 b	13,50 a	3,11 b	12,07 a	6,85 b
² -Ac	1,317 a	18,90 a	14,56 a	3,36 a	13,51 a	7,42 a
Híbrido						
AF 4945	1,037 b	16,09 a	15,31 a	3,10 b	12,52 a	7,43 a
Medellín	1,383 a	17,47 a	12,75 b	3,36 a	13,06 a	6,44 b
CV (%)	13,60	17,32	16,85	6,00	6,89	10,00

2589 Médias seguidas pela mesma letra não diferem entre si pelo teste t ($P \leq 0,05$). 1: Inoculado com *A. citrulli*, 2: Não inoculado com
 2590 *Acidovorax citrulli*. MMF: Massa média do fruto em kg; PROD: Produção em kg parcela⁻¹; NF: Número de Frutos por parcela em
 2591 frutos parcela⁻¹; EP: Espessura de polpa em cm; FP: Firmeza da polpa em Newton; SS: Sólidos Solúveis em %.

CONCLUSÕES GERAIS

CONCLUSÕES GERAIS

- ✓ Em condições controladas de casa de vegetação o silício fornecido via solo através da fertilização com escória foi o mais eficiente em reduzir a intensidade da mancha aquosa, atingindo níveis satisfatórios de controle;
- ✓ Nestas condições foi visível o aporte de Si e nutrientes fornecidos às plantas conferindo ao meloeiro um maior desempenho frente à infecção por *Acidovorax citrulli*;
- ✓ Além da nutrição, foi evidente o papel do silício em amenizar o estresse causado pela infecção por *Acidovorax citrulli*, sendo verificada mitigação de danos fotossintéticos, especialmente ao fotossistema II em plantas supridas com esse elemento;
- ✓ A técnica de fluorescência da clorofila foi sensível em detectar os danos fotoquímicos causados por *A. citrulli* às folhas de meloeiro destacando o potencial dessa técnica no monitoramento de estresses decorrentes de doenças foliares;
- ✓ A maior atividade de proteínas solúveis, compostos fenólicos totais, e das enzimas APX, POX e PFO, como também os maiores níveis de lignina detectados em plantas tratadas com Si sugerem seu envolvimento na indução de resistência nesse patossistema;
- ✓ Em condições de campo, a fertilização com escória foi capaz de reduzir a severidade da doença em folhas e sua incidência em frutos e incrementar características de qualidade dos frutos, como a espessura de polpa e os sólidos solúveis, entretanto, são necessárias pesquisas que visem a potencialização

desse controle e assim permitam a inclusão dessa prática no manejo integrado dessa bacteriose nos campos de produção.