**Universidade de São Paulo
Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”**

**Ação da casca de arroz queimada sobre nematoide da cenoura e atributos
químicos do solo**

Rosemari Kerber Aires

Tese apresentada para obtenção do título de Doutora em
Ciências. Área de concentração: Fitotecnia

**Piracicaba
2014**

Rosemari Kerber Aires
Licenciada em Ciências Agrícolas

Ação da casca de arroz queimada sobre nematoide da cenoura e atributos químicos do solo

versão revisada de acordo com a resolução CoPGr 6018 de 2011

Orientador:
Prof. Dr. **JOSÉ LAÉRCIO FAVARIN**

Tese apresentada para obtenção do título de Doutora em
Ciências. Área de concentração: Fitotecnia

**Piracicaba
2014**

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação
DIVISÃO DE BIBLIOTECA - DIBD/ESALQ/USP

Aires, Rosemari Kerber

Ação da casca de arroz queimada sobre nematoide da cenoura e atributos químicos do solo / Rosemari Kerber Aires. - - versão revisada de acordo com a resolução CoPGr 6018 de 2011. - - Piracicaba, 2014.

80 p: il.

Tese (Doutorado) - - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", 2014.

1. Reúso 2. Resíduos 3. *Meloidogyne javanica* 4. *Daucus carota* L cv. Nantes
5. Silício I. Título

CDD 635.13
F272a

"Permitida a cópia total ou parcial deste documento, desde que citada a fonte -O autor"

Dedico, de todo coração ...

*... as minhas filhas Caroline Kerber
Aires e Juliana Kerber Aires, irmãs Marinês
Kerber, Marilene Kerber (in memoriam),
Roseli Kerber Estrella Sarmiento (Tchely) e
meu irmão Rogério Luiz Kerber (Tcheco).
Fisicamente quase sempre distantes, mas
eternamente próximos no coração.*

AGRADECIMENTOS

Sempre, a Deus...

...criador, guia, conselheiro e companheiro permanente de todas as caminhadas.

Ao orientador Professor Dr. José Laércio Favarin, por compartilhar seus conhecimentos e pela paciência e disponibilidade de orientar e ajudar a concretizar este trabalho.

Aos Profs. Drs. que ministraram aulas no DINTER: Durval Dourado Neto, João Alexio Scarpore Filho, José Laércio Favarin, Ricardo Kluge, Ricardo Victória Filho e Pedro Cristofolleti, e ao Prof. Dr. Mário Massayuki Inomoto, por disporem de seu precioso tempo e dividirem comigo seus saberes.

Às instituições e pessoas que oportunizaram o DINTER em Fitotecnia: especialmente à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), pelo apoio financeiro concedido.

Ao Prof. Dr. Jean Acosta Mendonça e a Luciane Aparecida Lopes Toledo pela presteza, colaboração e ajuda em todas as etapas do curso.

Gratidão especial aos orientados do Prof. Favarin: Adriene Woods Pedrosa, Ana Paula Neto, Bruno Cocco Lago, Clóvis Pierozan Junior, Felipe Brendler Oliveira, Pedro Paulo de Carvalho Teixeira, Rafaela Alenbrant Migliavacca, Rodrigo Estevam Munhoz de Almeida, Silas Maciel, Tiago Tezotto e Wolmar Trevisol, pelo convívio e disponibilidade incondicional em ajudar.

Aos colegas do DINTER, pela convivência breve, mas harmoniosa. E, especialmente, a Wolmar Trevisol, Cláudio Renato S. Kelling e Jorge Alex Willes, pela “força” na condução dos meus experimentos.

As Bibliotecárias Silvia Maria Zinsly e Eliana Maria Garcia pela presteza e colaboração.

Meu MUITO OBRIGADA a todos os bolsistas, estagiários, alunos e servidores da Produção Vegetal da ESALQ e do IFFarroupilha - Campus Alegrete, que, de alguma forma colaboraram para a realização do meu projeto de pesquisa. Foram tantos... (não cito nomes, para não incorrer no erro de esquecer alguém, pois como bem disse o poeta Mário Quintana “um erro em bronze é um erro eterno” e, pelo meu entendimento, um erro no papel também o é).

E, por fim, mas com igual merecimento...

... aos meus pais Lorena Lourdes Kerber e Armi Luiz Kerber, eternos e amorosos Mestres e sábios Doutores na escola da vida, pelas horas difíceis em que não pude estar presente

e minhas irmãs Marinês Kerber e Roseli Kerber Estrella Sarmiento e meu cunhado Luiz Carlos Estrella Sarmiento por me ajudarem todas as vezes em que necessitei (e foram muitas...);

... ao companheiro de jornada José Luiz Ferraz Aires, pelo desempenho no papel de pai/mãe durante os períodos em que estive ausente e pela ajuda integral na concretização deste trabalho e, às minhas filhas Caroline Kerber Aires e Juliana Kerber Aires, pela compreensão, apoio e incentivo constantes.

MUITO OBRIGADA!

SUMÁRIO

RESUMO	9
ABSTRACT	11
LISTA DE FIGURAS	13
LISTA DE TABELAS	15
1 INTRODUÇÃO	17
Referências	19
2 CASCA DE ARROZ QUEIMADA E ATRIBUTOS QUÍMICOS DO SOLO	23
Resumo	23
Abstract.....	23
2.1 Introdução	24
2.2 Material e Métodos	27
2.3 Resultados e Discussão.....	31
2.3.1 Efeitos da casca de arroz queimada no pH do solo	31
2.3.2 Incremento de matéria orgânica do solo (MOS) em função da incubação da casca de arroz queimada	32
2.3.3 Efeitos da casca de arroz queimada na disponibilidade de fósforo (P) ao solo.....	33
2.3.4 Efeitos da casca de arroz queimada sobre cátions no solo	34
2.3.5 Teores de silício (Si) no solo em função da aplicação de diferentes doses de casca de arroz queimada e tempos de incubação	37
2.4 Conclusões.....	39
Referências	39
3 USO DE CASCA DE ARROZ QUEIMADA E SILICATO DE CÁLCIO E MAGNÉSIO SOBRE <i>Meloidogyne javanica</i>	45
Resumo	45
Abstract.....	45
3.1 Introdução	46
3.2 Material e Métodos	51
3.3 Resultados e Discussão.....	60
3.3.1 Concentração de nutrientes nas raízes de cenoura.....	62
3.3.2 Componentes biométricos	66
3.3.3 Componentes de rendimento e qualidade das raízes	68
3.4 Conclusões.....	73
Referências	73

RESUMO

Ação da casca de arroz queimada sobre nematoide da cenoura e atributos químicos do solo

Dar destino adequado ao resíduo de casca de arroz e promover seu reúso é tarefa premente, em razão dos problemas gerados pelo descarte no ambiente ou uso indiscriminado na área agrícola, sem que se conheça sua influência na planta e no solo. Estudos sinalizam diversidade de usos da casca de arroz queimada. O resíduo contém alta concentração de silício (Si) e também outros nutrientes. Pesquisas com algumas culturas demonstram resposta positiva do uso de silício (Si) no controle de nematoides, patógeno que pode reduzir a produtividade e qualidade da cenoura (*Daucus carota* L.). Esta pesquisa foi realizada com o objetivo de conhecer a contribuição da casca de arroz queimada como alternativa à redução de danos por nematoides em cenoura e sua ação nos atributos químicos do solo. No primeiro capítulo avaliou-se o efeito da dose de casca de arroz queimada e do tempo de incubação sobre os atributos químicos do solo. No segundo capítulo avaliou-se o uso da casca de arroz queimada com diferentes tempos de incubação e do silicato de cálcio e magnésio nos atributos químicos do solo, concentração de nutrientes na cenoura, componentes da produção e produtividade de raízes. Os dois experimentos foram desenvolvidos em casa de vegetação no Departamento de Produção Vegetal da Esalq, Piracicaba/SP. No primeiro experimento foram usadas quatro doses de massa de matéria seca de casca de arroz queimada (zero, 0,65 g, 6,5 g e 13 g dm⁻³ de solo) em cinco tempos de incubação (zero, 25, 50, 75 e 100 dias), avaliadas em relação as alterações que promoveram no pH, matéria orgânica do solo (MOS), fósforo (P), potássio (K), cálcio (Ca), magnésio (Mg) e silício (Si). No segundo experimento avaliou-se a ação da dose de 13 gramas de massa de matéria seca de casca de arroz queimada por dm⁻³ de solo com três diferentes tempos de incubação, e do silicato de cálcio e magnésio na dose de cinco gramas por dm⁻³ de solo, sobre os atributos químicos do solo, concentração de nutrientes na cenoura, componentes de produção e produtividade, em relação ao dano por *Meloidogyne javanica*. Para tal o experimento foi montado com cinco tratamentos com inoculação de nematoides (CN): CAQ90AS-CN (casca de arroz queimada incubada 90 dias antes da semeadura); CAQ45AS-CN (casca de arroz queimada incubada por 45 dias antes da semeadura); CAQ00DS-CN (casca de arroz queimada incorporada na semeadura); SILIC-CN (silicato de cálcio e magnésio); TEST-CN (testemunha, com nematoides) e outros cinco tratamentos com igual composição, porém sem inoculação de nematoides (SN): CAQ90AS-SN; CAQ45AS-SN; CAQ00DS-SN; SILIC-SN; TEST-SN. Constatou-se no primeiro experimento, que a casca de arroz queimada, disponibilizou potássio (K) em quantidades diretamente proporcionais a dose, independente do tempo de incubação ao solo. Houveram incrementos nos teores de fósforo (P) e silício (Si) do solo, de forma linear para dose e tempo de incubação. A casca de arroz queimada apresentou efeito residual para fósforo (P) e, especialmente, para silício (Si). No segundo experimento a aplicação de casca de arroz queimada, na dose de 13 g dm⁻³ de matéria seca incubada por 90 dias no solo aumentou a massa de matéria fresca de raízes comercializáveis em 3,9 vezes em relação a do tratamento testemunha, com manutenção da produtividade da cenoura em solo infestado por *Meloidogyne javanica*. O silicato de cálcio e magnésio aumentou o pH do solo, com consequente redução de absorção de Mn e Zn pela cultura, menor desenvolvimento das cenouras e diminuição da massa de matéria fresca de raízes comercializáveis. Nenhuma das fontes de silício (Si), nas doses usadas na pesquisa, aumentou significativamente a concentração do nutriente nas plantas de cenoura.

Palavras-chave: Reúso; Resíduos; *Meloidogyne javanica*; *Daucus carota* L cv. Nantes; Silício

ABSTRACT

Action of carbonized rice husk on carrot nematode and chemical soil attributes

A proper destination of rice husk to reuse this residue is a pressing task due to the problems generated by the discharge into the environment or indiscriminate use in agriculture without knowing its influence on plant and soil. Studies indicate a variety of uses of carbonized rice husk. The residue contains a high concentration of silicon and also other nutrients. Research shows for some crops positive response using silicon to control nematode pathogen that can reduce the yield and quality of carrot (*Daucus carota* L.). The objective of this research was to evaluate the contribution of the carbonized rice husk as an alternative to reduce damage by nematodes in carrots and action in soil chemical properties. In the first chapter we evaluated the effect of dose and time of incubation of carbonized rice husk on soil chemistry attributes. In the second chapter we evaluated the use of carbonized rice husk with different incubation times and calcium magnesium silicate in soil chemical properties, concentration of nutrients in carrots, yield components and yield of roots. The two experiments were conducted in a greenhouse at Department of Crop Science, Esalq, Piracicaba/SP. In the first experiment four doses of carbonized rice husk (zero, 0,65 g, 6,5 g and 13 g dm⁻³ of soil) in five incubation times (zero, 25, 50, 75 and 100 days) were compared to pH, organic matter soil, phosphorus, potassium, calcium, magnesium and silicon. The second experiment evaluated the action of 13 g dm⁻³ of soil of carbonized rice husk with three incubation times, and five g dm⁻³ of soil of calcium and magnesium silicate on soil chemical properties, nutrient concentration in carrots, yield components and yield in relation to damage by *Meloidogyne javanica* by the following treatments: CAQ90AS-CN (incubated 90 days before sowing); CAQ45AS-CN (incubated for 45 days before sowing); CAQ00DS-CN (incorporated at sowing); SILIC-CN (Ca and Mg silicate); TEST-CN (control with nematodes) and the same treatments without inoculation of nematodes (CAQ90AS-SN; CAQ45AS-SN; CAQ00DS-SN; SILIC-SN and TEST-SN). Based on the results of the first experiment we found that carbonized rice husk released potassium (K) in amounts directly proportional to dose applied, regardless of the incubation time on the ground. There were increases in the levels of phosphorus (P) and silicon (Si) soil linearly with the dose and time of incubation. The carbonized rice husk had residual effect on phosphorus (P), especially for silicon (Si). In the second experiment the application of carbonized rice husk at dose of 13 g dm⁻³, dry matter incubated for 90 days in the soil increased the fresh weight of marketable yield by 3.9 times compared to the control treatment, with maintaining productivity carrot in soil infested with *Meloidogyne javanica*. Calcium silicate and magnesium increased soil pH, with consequent reduction of manganese (Mn) and zinc (Zn) uptake by the crop, less development of carrots and decreased fresh weight of marketable roots. No sources of silicon (Si), the doses used in the study, significantly increased the concentration of the nutrient in carrot plants.

Keywords: Reuse; Residue; *Meloidogyne javanica*; *Daucus carota* L cv. Nantes; Silicon

LISTA DE FIGURAS

- Figura 1 - Efeito do tempo de incubação da casca de arroz queimada no valor de pH, em Argissolo Vermelho-Amarelo Distrófico típico 32
- Figura 2 - Efeitos de doses de casca de arroz queimada nos valores de pH, em Argissolo Vermelho-Amarelo Distrófico típico 32
- Figura 3 - Teor de matéria orgânica do solo em função do tempo de incubação de casca de arroz queimada, em Argissolo Vermelho-Amarelo Distrófico típico 33
- Figura 4 - Teores de fósforo (P) em função da dose de casca de arroz queimada incubada em Argissolo Vermelho-Amarelo Distrófico típico 34
- Figura 5 - Teores de fósforo (P) em função do tempo de incubação da casca de arroz queimada em Argissolo Vermelho-Amarelo Distrófico típico. 34
- Figura 6 - Teores de magnésio (Mg) em um Argissolo Vermelho-Amarelo Distrófico típico em função da dose de casca de arroz queimada no solo 35
- Figura 7 - Teores de magnésio (Mg) em um Argissolo Vermelho-Amarelo Distrófico típico em função do tempo de incubação de casca de arroz queimada ao solo 35
- Figura 8 - Teores de K em Argissolo Vermelho-Amarelo Distrófico típico em função de diferentes doses de casca de arroz queimada incubadas ao solo 36
- Figura 9 - Teores de cálcio (Ca) em Argissolo Vermelho-Amarelo Distrófico típico em função de diferentes doses de casca de arroz queimada ao longo do período de incubação ao solo 37
- Figura 10 - Teores de silício (Si) em Argissolo Vermelho-Amarelo Distrófico típico em função de diferentes doses e tempos de incubação de casca de arroz queimada 38
- Figura 11- Vista geral do tratamento com silicato de Ca e Mg (A) e com CAQ incubada por 90 dias antes da semeadura (B), no dia do 1º desbaste e antes da inoculação do *Meloidogyne javanica* 55
- Figura 12- (A) parte do sistema radicular de uma planta de cenoura após imersão na solução com floxina B; (B) galhas e massas de ovos vistas no microscópio após imersão em solução com floxina B 58
- Figura 13 - Raízes de cenoura dos tratamentos sem inoculação de nematoides (SN) com: (A) casca de arroz queimada incubada 90 dias antes da semeadura, (B) casca de arroz incubada 45 dias antes da semeadura, (C) casca de arroz queimada aplicada no dia da semeadura, (D) silicato de cálcio e magnésio, (E) testemunha absoluta 68
- Figura 14 - Raízes de cenoura dos tratamentos com inoculação de nematoides (CN) com: (A) casca de arroz queimada incubada 90 dias antes da semeadura, (B) casca de arroz incubada 45 dias antes da semeadura, (C) casca de arroz queimada aplicada no dia da semeadura, (D) silicato de cálcio e magnésio, (E) testemunha relativa 72
- Figura 15 - Detalhes raízes de uma planta do tratamento testemunha com inoculação de nematoides: (A) principal com digitamentos, (B) secundárias com massas de ovos e galhas, inclusive gigantes, (C) galhas gigantes e massas de ovos ampliadas 73

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Composição química do solo usado no experimento, antes e depois da incubação com hidróxido de cálcio.....	28
Tabela 2 - Atributos químicos e densitométricos da casca de arroz queimada e quantidades totais de carbono (C), nitrogênio (N), fósforo (P), cálcio (Ca), magnésio (Mg), silício (Si) total e silício (Si) solúvel, aplicadas no solo em cada tratamento/dose de casca de arroz queimada	28
Tabela 3 - Equações de regressão dos teores de cálcio (Ca) no solo no período de 100 dias de incubação para as diferentes doses de casca de arroz queimada	36
Tabela 4 - Equações de regressão dos teores de silício (Si) no solo no período de 100 dias de incubação, para as diferentes doses de casca de arroz queimada	38
Tabela 5 - Composição química do solo usado no experimento antes da aplicação de hidróxido de cálcio.....	52
Tabela 6 - Composição química e densitométrica da casca de arroz queimada e quantidades totais de carbono (C), nitrogênio (N), fósforo (P), cálcio (Ca), magnésio (Mg), silício (Si) total e silício (Si) solúvel, adicionadas por dose (13 gramas de matéria seca de casca de arroz queimada por decímetro cúbico de solo) nos tratamentos em que a fonte de silício (Si) foi o referido resíduo	53
Tabela 7 - Composição química do solo utilizado no experimento ¹ , considerada na definição da adubação de plantio e cobertura ²	54
Tabela 8 - Composição química do solo ¹ : pH, teores de matéria orgânica (MO), fósforo (P), potássio (K), cálcio (Ca), magnésio (Mg), enxofre (S) e saturação de bases (V) no final do experimento ²	61
Tabela 9 - Composição química do solo ¹ : teores de cobre (Cu), zinco (Zn), manganês (Mn), ferro (Fe), boro (B) e silício (Si) no final do experimento	61
Tabela 10 - Concentrações de cobre (Cu), ferro (Fe), manganês (Mn), zinco (Zn) e silício (Si), na massa de matéria seca de raízes de cenoura Nantes em solo + casca de arroz queimada com 90, 45 e zero dias de incubação (CAQ90AS; CAQ45AS e CAQ00DS), solo + silicato de cálcio de magnésio (SILIC) e somente solo (TEST), com inoculação de 10.000 ovos+J2 de <i>Meloidogyne javanica</i> por planta (CN) e sem inoculação (SN)	63
Tabela 11 - Concentrações de cobre (Cu), ferro (Fe), manganês (Mn), zinco (Zn) e silício (Si), na matéria seca da parte aérea de cenoura Nantes em solo + casca de arroz queimada com 90, 45 e zero dias de incubação (CAQ90AS; CAQ45AS e CAQ00DS), solo + silicato de cálcio e de magnésio (SILIC) e somente solo (TEST), com inoculação de 10.000 ovos+J2 de <i>Meloidogyne javanica</i> por planta (CN) e sem inoculação (SN)	64

- Tabela 12 - Massa de matéria fresca da raiz¹ (MMF), comprimento da raiz principal² e Área foliar³ de cenoura Nantes em solo + casca de arroz queimada com 90, 45 e zero dias de incubação (CAQ90AS; CAQ45AS e CAQ00DS), solo + silicato de cálcio de magnésio (SILIC) e somente solo (TEST), com inoculação de 10.000 ovos+J2 de *Meloidogyne javanica* por planta (CN) e sem inoculação (SN) 66
- Tabela 13 - Massa de matéria fresca¹ de raízes comercializáveis (MFCOM) e não comercializáveis (MFNCOM) de cenoura Nantes em solo + casca de arroz queimada com 90, 45 e zero dias de incubação (CAQ90AS; CAQ45AS e CAQ00DS), solo + silicato de cálcio de magnésio (SILIC) e somente solo (TEST), com inoculação de 10.000 ovos+J2 de *Meloidogyne javanica* por planta (CN) e sem inoculação (SN) 69
- Tabela 14 - Índice de massa de ovos da raiz principal (IMORP), índice de massa de ovos das raízes secundárias (IMORS), número de nematoides nas raízes secundárias (NIRS), número de digitamentos na raiz principal (NDIG) e índice de galhas (IG) em cenoura Nantes com inoculação de 10.000 ovos+J2 de *Meloidogyne javanica* por planta em solo + casca de arroz queimada com 90, 45 e zero dias de incubação (CAQ90AS-CN; CAQ45AS-CN e CAQ00DS-CN), solo + silicato de cálcio e magnésio (SILIC-CN) e somente solo (TEST-CN)..... 70

1 INTRODUÇÃO

A produção de arroz na safra 2012/13 no Brasil foi 11.746.600 Mg. Destas, 68,7 % ou 8.069.903 Mg foram produzidas no Rio Grande do Sul (INSTITUTO RIOGRANDENSE DO ARROZ - IRGA, 2014a). Só no município de Alegrete na safra 2012/13 a produção total chegou a 425.955 Mg (IRGA, 2014b).

A disponibilidade de casca queimada é grande, pois a casca desse cereal representa de 20 % a 22 % da massa de grãos, e a casca queimada, na forma de cinza, representa 4 % a 5 % da produção de grãos. Segundo Capeletto (2012), a casca de arroz é fonte energética primária utilizada na geração de energia e beneficiamento de grãos. No ano de 2011, no Rio Grande do Sul, a potência produzida a partir de biomassa da casca de arroz foi, aproximadamente, 31.524 kW (CAPELETTO, 2012). A casca de arroz queimada é o resíduo sólido final de todos estes processos. Em função de sua baixa densidade, quanto menor a distância entre os pontos de geração e reúso, maior será a viabilidade econômica do processo e menor o consumo de combustíveis fósseis.

A Lei 12.305/2010, que instituiu a Política Nacional de Resíduos Sólidos -PNRS- (BRASIL, 2010), prevê a redução de produção de resíduos sólidos, o reúso e a disposição correta destes em caso de resíduos não recicláveis. A redução significativa do volume de casca de arroz *in natura* ou queimada produzido não é possível, em razão da crescente demanda e da importância do cereal para a alimentação humana. Pelo PNRS são proibidos tanto o lançamento de resíduos sólidos *in natura* a céu aberto, quanto sua queima em instalações e equipamentos não licenciados para a finalidade. No Rio Grande do Sul a Fundação Estadual de Proteção Ambiental Henrique Luiz Roessler - FEPAM, publicou em 2011 a DIRETRIZ TÉCNICA Nº 002 – DIRTEC 002, que trata especificamente da gestão dos resíduos de casca de arroz e cinzas resultantes do processo de queima da casca. Segundo a DIRTEC Nº 002/2011, para obtenção da licença ambiental as unidades geradoras de casca *in natura* ou queimada, têm que elaborar Plano de Gestão que defina como será feito o descarte final ambientalmente correto dos resíduos. Dentre os procedimentos que podem ser utilizados inclui-se a incorporação em solo agrícola, que deve ser precedido de projeto com a devida Anotação de Responsabilidade Técnica –ART. O manejo de aplicação ao solo deve considerar ‘técnicas agrônômicas’ de acordo com o volume de resíduos a ser aplicado e as características da área. (FUNDAÇÃO ESTADUAL DE PROTEÇÃO AMBIENTAL HENRIQUE LUIZ ROESSLER, 2011).

Desta forma, inclusive o uso agrícola de casca de arroz queimada deixará de ser feito de forma indiscriminada pelos agricultores, sem o devido conhecimento de sua influência na planta

e no solo (ISLABÃO, 2013), visto que a responsabilidade socioambiental de dar destino adequado aos resíduos de casca de arroz passou a ser responsabilidade legal.

Tomaram vulto nos últimos anos, pesquisas acerca do aproveitamento da casca de arroz queimada e o que era considerado resíduo agroindustrial e poluente ambiental passou a ter inúmeras finalidades. Sua valorização está ligada principalmente ao alto teor de sílica, importante na fabricação de refratários, vidros, cimento, como adsorvente, suporte de catalisadores metálicos dentre outros.

Na agricultura a casca de arroz, com diversos graus de queima, é pesquisada como corretivo da acidez, condicionador do solo e fonte de nutrientes (PAULETTO; NACHTIGALL; GUADAGNIM, 1990; HASHIM; AMINUDDIM; SIVA, 1996; DONEGÁ et al., 2011; SANDRINI, 2010; ISLABÃO, 2013) e, ainda, como fonte de silício (Si), no cultivo de diversas culturas (NOLLA et al., 2010; OLIVEIRA, 2013).

O silício (Si) na planta alivia estresses bióticos e abióticos e contribui à formação de barreiras mecânicas em algumas culturas (EPSTEIN; BLOOM, 2004). Nos últimos anos inúmeras pesquisas avaliaram o potencial do silício (Si) no controle de diversos patógenos de solo e parte aérea. Porém, poucas pesquisas foram realizadas acerca da sua ação no controle de fitonematoides, principalmente na cultura da cenoura (*Daucus carota* L.).

No município de Alegrete –RS há elevado déficit de produção de hortaliças e a cultura de cenoura, objeto desta pesquisa, figura entre as deficitárias. A produção de hortaliças no município não chega a 30% da demanda, sendo necessária a importação de outros locais para supri-la. Em virtude desta demanda está se buscando aumento da área de produção de hortaliças, especialmente pelos agricultores familiares. No município a categoria dos agricultores familiares que já englobava em 2004 aproximadamente 67% do total de propriedades agrícolas (CONSELHO MUNICIPAL DE DESENVOLVIMENTO AGROPECUÁRIO, 2008), aumentou nos últimos anos devido a assentamentos da reforma agrária. Para esta categoria de agricultores, cujas propriedades são, na sua maioria, menores que um módulo rural (28 ha), o cultivo de hortaliças e o uso de insumos alternativos deve ser incentivado como forma de reduzir os custos de produção e diversificar a dieta alimentar, a propriedade e as fontes de renda.

A cenoura, quarta hortaliça mais consumida no Brasil (SILVEIRA et al., 2011) é uma das que sofrem danos qualitativos e quantitativos por fitonematoides, em praticamente todas as regiões do mundo, com perdas entre 20% e 100% (PINHEIRO; CARVALHO; VIEIRA, 2010). Dentre os principais fitonematoides que infectam as raízes da cultura da cenoura, destacam-se os nematoides das galhas (*Meloidogyne* spp.). Ao parasitarem o sistema radicular, causam: (i) bifurcação, constrição, rachaduras e/ou a formação de galhas nas raízes; (ii) redução na

absorção de água e nutrientes; (iii) facilitam o ataque de outros agentes causadores de doenças e (iv) reduz a produção de raízes comerciais.

O manejo integrado, combinando várias medidas de controle é o mais recomendado para as áreas infestadas por nematoides (SILVA, 2006), com destaque para o uso de nematicidas. Estes defensivos são eficientes, mas de elevada toxicidade. Também é de ocorrência frequente e problemática o uso de produtos não registrados para a cultura (CHARCHAR et al., 2003; AGÊNCIA NACIONAL DE VIGILÂNCIA SANITÁRIA - ANVISA, 2013).

A casca de arroz queimada, resíduo da própria agricultura, pela disponibilidade, elevado teor de Si e baixo custo, é um material alternativo com potencial de uso no controle da infecção das raízes de cenoura por fitonematoídeos. Ressalte-se, também, que o seu uso na agricultura pode melhorar os atributos químicos do solo, aspecto pouco estudado.

Do exposto, faz-se necessária pesquisa sobre o uso da casca de arroz queimada a fim de contribuir com a produção de cenouras de qualidade ao consumo humano, combinada à preocupação de oferecer uma alternativa agrônômica à preservação ambiental e gerar conhecimentos que possam promover o uso adequado deste resíduo sólido.

Referências

AGÊNCIA NACIONAL DE VIGILÂNCIA SANITÁRIA. **Programa de Análise de Resíduos de Agrotóxicos em Alimentos (PARA):** monitoramento de resíduos de agrotóxicos nos alimentos. Relatório de Atividades de 2011 e 2012. Brasília, 2013. 45p.

Disponível em:

<http://portal.anvisa.gov.br/wps/wcm/connect/d480f50041ebb7a09db8bd3e2b7e7e4d/Relat%C3%B3rio%20PARA%202011-12%20-%2030_10_13_1.pdf?MOD=AJPERES>. Acesso em: 20 dez. 2013.

BRASIL. Lei n. 12.305, de 2 de agosto de 2010. Institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos; altera a Lei n. 9.605, de 12 de fevereiro de 1998; e dá outras providências. Diário Oficial da República Federativa do Brasil. Brasília, DF, 3 ago. 2010. Disponível em:

<http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2007-2010/2010/lei/l12305.htm>. Acesso em: 05 ago. 2014.

CAPELETTO, G.J. Setor energético do Rio Grande do Sul: ênfase em fontes de energia primária. In: CAPELETTO, G.J.; MOURA, G.H.Z. de. **Balanço energético do Rio Grande do Sul 2012:** ano base 2011. Porto Alegre: Grupo CEEE; Secretaria de Infraestrutura e Logística do Rio Grande do Sul. 2012. cap. 3, p. 35-58. Disponível em:

<<http://www.ceee.com.br/pportal/ceee/archives/BERS2012/1%20Balanço%20Energético%20do%20Rio%20Grande%20do%20Sul%202012%20-%20ano%20base%202011.pdf>>. Acesso em: 23 fev. 2014.

CHARCHAR, J.M.; GONZAGA, V.; GIORDANO, L.B.; BOITEUX, L.S.; REIS, N.V.B.; ARAGÃO, F.A.S. Reações de cultivares de tomate à infecção por população mista de *Meloidogyne incognita* raça 1 e *M. javanica* em estufa plástica e campo. **Nematologia Brasileira**, Piracicaba, v. 27 n. 1, p. 49-54, jun. 2003.

CONSELHO MUNICIPAL DE DESENVOLVIMENTO AGROPECUÁRIO. **Diagnóstico e proposições**. Alegrete, 2008. 48 p.

DONEGÁ, M.A.; VOLK, L.B.S.; NOLLA, A.; GAVIOLLI, T.O. Atributos químicos do solo e crescimento inicial de plantas de milho em latossolo arenoso com adição de cinza de casca de arroz. *Revista de Agricultura*, Piracicaba, v. 86, n. 3, p. 192 - 199, 2011.

EPSTEIN, E.; BLOOM, A.J. **Nutrição mineral de plantas**: princípios e perspectivas. Tradução de M.E.T. Nunes. Londrina: Planta, 2004. 403 p.

FUNDAÇÃO ESTADUAL DE PROTEÇÃO AMBIENTAL HENRIQUE LUIZ ROESSLER DO RIO GRANDE DO SUL - FEPAM. **Diretriz Técnica Nº 002/2011**: gestão de resíduos caracterizados como casca de arroz e cinzas resultantes do processo de queima da casca. Disponível em: <http://www.fepam.rs.gov.br/central/diretrizes/Diret_Tec_02_2011.pdf>. Acesso em: 22 Nov. 2012.

HASHIM, A.B.; AMINUDDIN, H.; SIVA, K.B. Nutrient content in rice husk ash of some Malaysian rice varieties. **Pertanika Journal of Tropical Agricultural Science**, Kuala Lumpur, v. 19, n. 1, p. 77-80, 1996.

INSTITUTO RIOGRANDENSE DO ARROZ. **Área e produção de arroz**. Relatório. IBGE; IRGA, Seção de Política Setorial (Elab.), 2014a. 2 p. Disponível em: <http://www.irga.rs.gov.br/upload/20131024101611producao_rs_e_brasil.pdf>. Acesso em: 20 fev. 2014.

_____. **Produtividades municipais safra 2012/2013**. Relatório. DCI; Seção Política Setorial (Elab.), 2014b. 3 p. Disponível: <http://www.irga.rs.gov.br/upload/20131018151801produtividade_municipios_safra_12_13_final.pdf>. Acesso em: 20 fev. 2014.

ISLABÃO, G.O. **Uso da cinza de casca de arroz como corretivo e condicionador do solo**. 2013. 84 p. Tese (Doutorado em Agronomia) - Faculdade de Agronomia, Universidade Federal de Pelotas, Pelotas, 2013.

NOLLA, A.; VOLK, L.B.S.; MUNIZ, A.S.; SILVA, T.R.B. Correção da acidez do solo em profundidade através do uso de carbonatos, silicatos e casca de arroz em lisímetros. **Cultivando o Saber**, Cascavel, v. 3, n. 2, p. 1-8, abr./jun. 2010.

OLIVEIRA, S. de. **Silício oriundo da cinza de casca de arroz carbonizada como promotor do rendimento e da qualidade fisiológica de sementes de soja**. 2013. 66 p. Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia de Sementes) - Faculdade de Agronomia Eliseu Maciel, Universidade Federal de Pelotas, Pelotas, 2013.

PAULETTO, E.A., NACHTIGALL, G.R.; GUADAGNIM, C.A. Adição de cinza de casca de arroz em dois solos do município de Pelotas, RS. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 14, n. 2, p. 255-258, 1990.

PINHEIRO, J.B.; CARVALHO, A.D.F. de; VIEIRA, J.V. **Manejo do nematoide-das-galhas (*Meloidogyne* spp.) em cultivos de cenoura na região de Irecê - BA**. Brasília: Embrapa Hortaliças, 2010. 6 p. (Embrapa Hortaliças. Comunicado Técnico, 77).

SANDRINI, W.C. **Alterações químicas e microbiológicas do solo decorrentes da adição de cinza de casca de arroz**. 2010.70 p. Dissertação (Mestrado em Ciências) - Universidade Federal de Pelotas, Pelotas, 2010.

SILVA, M.G. **Efeito da solarização e da adubação do solo sobre artrópodes, nematoides, atributos do solo e na produtividade de alface em cultivo protegido**. 2006. 136 p. Dissertação (Mestrado em Ciências Agrárias) - Faculdade de Agronomia e Medicina Veterinária, Universidade de Brasília, Brasília, 2006.

SILVEIRA, J.; GALENKAS, H.; TAPETTI, R.; LOURENCINI, I. Quem é o consumidor brasileiro de frutas e hortaliças? **Revista Hortifruti Brasil**, Piracicaba, n. 103, p. 8–23, 2011.

2 CASCA DE ARROZ QUEIMADA E ATRIBUTOS QUÍMICOS DO SOLO

Resumo

O reúso de resíduos agrícolas é imprescindível, pois seu descarte no ambiente pode provocar danos por vezes irreversíveis ao mesmo e, sobretudo, fere a atual legislação para resíduos sólidos. O processo de industrialização do arroz gera grande volume de casca, que representa 23% da massa do grão. Sob esta ótica, os grandes volumes de casca de arroz *in natura* ou queimada são preocupantes, principalmente nas regiões produtoras do cereal, como no município de Alegrete (RS). Investigar opções de reutilização deste resíduo é de primaz importância. O objetivo da pesquisa foi avaliar a liberação de nutrientes da casca de arroz queimada, em função do tempo de incubação no solo. Para tanto, foram usadas, junto com solo, quatro doses de massa seca de casca de arroz queimada (tratamentos): zero g dm⁻³ -T1; 0,65 g dm⁻³ (1,3 Mg ha⁻¹) - T2; 6,5 g dm⁻³ (13 Mg ha⁻¹) - T3 e 13g dm⁻³ (26 Mg ha⁻¹) - T4 e cinco tempos de incubação: zero, 25, 50, 75 e 100 dias. Os resultados obtidos permitiram concluir que: (i) a casca de arroz queimada disponibilizou potássio (K) em quantidades diretamente proporcionais a dose, independente do tempo de incubação ao solo; (ii) o resíduo aumentou os teores de fósforo (P) e silício (Si) do solo, de forma linear crescente para dose e tempo de incubação e, (iii) a casca de arroz queimada apresentou efeito residual para fósforo (P) e, especialmente, para silício (Si).

Palavras-chave: Casca de arroz; Efeito residual; Tempo de incubação; Teores de Si, K e P

Abstract

Reuse of agricultural wastes is essential since your disposal in the environment can damage the legislation for solid waste and cause irreversible damage in the environment. The industrialization process generates large amounts of rice husk, which represents 23% of the mass of the grain. Under this view, the large volumes of rice husk raw or carbonized are worrying, especially in the cereal producing regions, such as the city of Alegrete (RS). Investigate options for reuse of this waste is importance. The research objective was to evaluate the release of nutrients from carbonized rice husk, depending on the incubation time in soil. For both, were used, along with soil, four doses of dry mass of carbonized rice husk (treatments): zero g dm⁻³ -T1; 0.65 g dm⁻³ (1.3 Mg ha⁻¹) - T2; 6.5 g dm⁻³ (13 Mg ha⁻¹) - T3 and 13 dm⁻³ (26 Mg ha⁻¹) - T4 and five incubation times: zero, 25, 50, 75 and 100 days. The results showed that: (i) carbonized rice husk released potassium (K) in amounts directly proportional to dose applied, regardless of the incubation time on the ground; (ii) the residue increased the content of phosphorus (P) and silicon (Si) soil, growing linearly with the dose and incubation time, and (iii) the carbonized rice husk had residual effects for phosphorus (P) and especially for silicon (Si).

Keywords: Rice husk; residual effect; incubation time; Concentration of Si, K and P

2.1 Introdução

Dentre os cereais produzidos e consumidos pelo homem, o arroz é um dos principais, destacando-se mundialmente pela importância econômica, alimentar, social e ambiental (EMBRAPA, 2005). A produção nacional de arroz na safra 2012/13 foi 11.746.600 Mg de grãos. No Rio Grande do Sul (RS), maior produtor nacional, na safra 2012/2013, foram produzidas 8.069.903 Mg do cereal, em aproximadamente 1,1 milhões de hectares cultivados (IRGA, 2014a). No município de Alegrete a safra 2012/13 foi, aproximadamente, 425.955 Mg ou 5,3% da produtividade do RS (IRGA, 2014b).

O processo de industrialização do arroz gera grande volume de cascas. A casca representa em torno de 23% da massa do grão, e quando queimada completamente produz cinza equivalente a 4% da massa do grão (DELLA, 2005). Estima-se que o volume de casca e cinza de casca de arroz na safra 2012/2013 seja de 2.701.718 e 469.864 Mg, respectivamente. Nos últimos anos a casca de arroz *in natura* é queimada para produção de energia térmica aos processos de secagem e parboilização de grãos (CAPELETTO, 2012). A queima da casca de arroz reduz o passivo ambiental deste resíduo, uma vez que descartadas *in natura* no ambiente são lentamente decompostas, produzindo gás metano (CH_4). No processo de queima são produzidos monóxido de carbono (CO) e dióxido de carbono (CO_2), que contribuem menos para o efeito estufa que o gás metano (FOLETTTO et al., 2005; MAYER; HOFFMAN; RUPPERTHAL, 2006).

O material resultante da queima completa tem granulometria fina e cor branca acinzentada (SANTOS, 1997; ROZAINEE et al., 2008). Quando não queimada completamente tem-se a casca carbonizada, a cor predominante é preta, mantém o formato natural e a granulometria é grossa. O material resultante da queima incompleta, característico de queima em fornalhas, usado nas agroindústrias arrozeiras, consiste na mistura de partículas de cinza, cascas carbonizadas e cascas ainda na forma *in natura*. Segundo Lerípio (1996), este último material deve ser denominado ‘casca de arroz queimada’, por reunir partículas que sofreram diversos graus de queima. O material usado na presente pesquisa apresenta estas características, o que justifica o uso do termo casca de arroz queimada - CAQ.

Após a queima a casca de arroz é, muitas vezes, ainda usada de forma indiscriminada e sem conhecimento de seus efeitos ou doses adequadas (ISLABÃO, 2013). Com a promulgação da Lei 12.305/2010, que instituiu a Política Nacional de Resíduos Sólidos -PNRS- (BRASIL, 2010) e da publicação da DIRETRIZ TÉCNICA Nº 002/2011, pela Fundação Estadual de Proteção Ambiental Henrique Luiz Roessler - FEPAM, do Rio Grande do Sul, que trata

especificamente da gestão dos resíduos de casca de arroz e cinzas resultantes do processo de queima da casca, é imprescindível o descarte final ambientalmente correto do resíduo em questão. Pela DIRTEC Nº 002/2011, cabe as unidades geradoras de casca *in natura* ou queimada, através de projeto, definir os procedimentos a serem utilizados para o descarte. Um dos procedimentos permitidos é a incorporação em solo agrícola que, pela referida DIRTEC, deve seguir técnicas agronômicas, considerando o volume de resíduos à ser aplicado e as características da área onde será feita a aplicação, sempre com a devida Anotação de Responsabilidade Técnica –ART (FUNDAÇÃO ESTADUAL DE PROTEÇÃO AMBIENTAL HENRIQUE LUIZ ROESSLER, 2011).

Nos últimos anos estudos são realizados a fim de conhecer mais sobre esse produto agroindustrial e, ainda, sobre o reúso na área agrícola, onde é gerado. A CAQ é pesquisada para uso agrícola como condicionador de solo, correção da acidez e também como fonte de nutrientes, principalmente fósforo (P), potássio (K), cálcio (Ca), magnésio (Mg) e silício (Si).

A cinza da casca de arroz além de considerável teor de sílica, contém também potássio (K), magnésio (Mg), sódio (Na), cálcio (Ca), ferro (Fe), fósforo (P), manganês (Mn) e alumínio (Al) (DELLA, 2005). Porém a disponibilidade destes nutrientes depende das condições em que se fez a queima e da intensidade de queima, fatores que mais influenciam o seu potencial fertilizante do solo (ANDRIESSE; SCHELHAAS, 1987).

As características químicas da CAQ dependem dos teores dos elementos na casca *in natura* e estas de onde foi cultivada, do sistema de produção e do cultivar de arroz. Hashim, Aminuddin e Siva (1996) analisaram a composição de mais de sessenta amostras de cinza de casca de arroz de dez variedades da Malásia e verificaram, em média, teores de 80,3% de silício (Si), 0,38% de fósforo (P), 1,28% de potássio (K), 0,21% de magnésio (Mg) e 0,56% de cálcio (Ca), os quais consideraram a cinza de casca de arroz, material com potencial uso fertilizante.

A variabilidade nas características químicas da CAQ também podem ser observadas nos resíduos utilizados por Sandrini (2010): 600 g kg⁻¹ de silício (Si), 2 g kg⁻¹ de fósforo (P), 6 g kg⁻¹ de potássio (K), 2 g kg⁻¹ de magnésio (Mg), 3,2 g kg⁻¹ de cálcio (Ca), 0,11 g kg⁻¹ de nitrogênio (N) e 11 g kg⁻¹ de carbono (C) e por Islabão (2013): 410 g kg⁻¹ de silício (Si), 2,64 g kg⁻¹ de fósforo (P), 11,35 g kg⁻¹ de potássio (K), 4,2 g kg⁻¹ de magnésio (Mg), 6,02 g kg⁻¹ de cálcio (Ca), 0,98 g kg⁻¹ de nitrogênio (N) e 72,3 g kg⁻¹ de carbono (C).

Na cultura do milho, Donegá et al. (2011), aplicaram seis doses de cinza de casca de arroz (zero, 10, 20, 30, 50 e 100 Mg ha⁻¹) e verificaram incremento linear no pH, e nos teores de cálcio (Ca), magnésio (Mg), fósforo (P) e potássio (K) de um Latossolo Vermelho distrófico. Doses crescentes de cinza também contribuíram para o aumento de alguns componentes

biométricos da cultura. Pauletto, Nachtigall e Guadagnim (1990) também verificaram elevação do pH e dos teores de fósforo (P) e potássio (K) em Planossolo e Argissolo Vermelho-Amarelo Distrófico, após a aplicação de cinza de casca de arroz.

Os pesquisadores Sistani, Savant e Reddy (1997) avaliaram em arroz o efeito do Si da cinza de casca de arroz nos teores de nutrientes na planta, e atribuíram os resultados positivos a disponibilidade dos nutrientes no solo. Machado e Luz (2009) também usaram cinza de casca de arroz como fonte de silício (Si) em arroz, para averiguar seus efeitos nos atributos químicos do solo, e constaram resultados semelhantes aos de Donegá et al. (2011), exceto para potássio (K).

A casca de arroz carbonizada atuou como corretivo de solo e fonte de cálcio (Ca) e magnésio (Mg), porém foi menos eficiente que o silicato de cálcio (Ca) e o calcário, nas doses de 500 e 1000 kg ha⁻¹ em Argissolo Vermelho Distrófico típico (NOLLA et al., 2010). Para Islabão (2013), o efeito corretivo da CAQ foi mais rápido que o do calcário dolomítico. A cinza de casca de arroz promoveu acréscimo nos teores de magnésio (Mg), potássio (K), sódio (Na), fósforo (P) e silício (Si), à semelhança de vários outros trabalhos citados, com efeito positivo sobre a densidade global, a porosidade total e a macroporosidade do solo (ISLABÃO, 2013).

Pelo efeito discreto sobre o pH, Sandrini (2010) considerou lenta a reatividade da CAQ. A ação corretiva e fonte de potássio (K) foi observada apenas na dose de 8,68 g de cinza kg⁻¹ de solo. O teor de fósforo (P), sódio (Na) e silício (Si) aumentaram de forma linear para doses crescentes (SANDRINI, 2010).

No Brasil o silício (Si) foi incluído na lista dos micronutrientes em janeiro de 2004, pelo DECRETO N° 4954 (BRASIL, 2004). Seu uso, principalmente na forma de silicato de cálcio e potássio, despertou o interesse de pesquisadores e produtores. Estudos demonstram ser o silício (Si) um elemento benéfico ao solo e a inúmeras culturas, especialmente de poáceas (gramíneas), por aliviar estresses bióticos e abióticos (EPSTEIN, 1999).

O óxido de silício (SiO₂) é abundante e compõe a estrutura básica dos silicatos, maior grupo constituinte da litosfera. Faz parte dos coloides minerais do solo (exceto argilas oxídicas) grupo no qual destacam-se: caulinita, illita, vermiculita e montmorilonita (LEPSCH, 2011).

O ácido silícico [Si(OH)₄], forma na qual o silício (Si) é absorvido pela planta, também pode ser proveniente de decomposição de resíduos vegetais, adição de fertilizantes silicatados e água de irrigação (LIMA FILHO; LIMA; TSAI, 1999). Independente da fonte, em solos com pH próximo a neutralidade verifica-se maior disponibilidade do nutriente. Quando o teor de ácido silícico [Si(OH)₄] no solo for maior que 50 mg dm⁻³ pode ocorrer formação de ácido oligomérico ou partículas de sílica hidratada (BUCK, 2010). A manutenção de níveis adequados

de água no solo é importante para a disponibilização do silício (Si) no solo, pela dissolução da sílica como segue: $(SiO_2) + H_2O \leftrightarrow (SiO_2)_{x-1} + Si(OH)_4$ (BUCK, 2010). Em geral, há necessidade de repor Si, quando o teor no solo é inferior a 20 mg dm^{-3} (extrator ácido acético $0,5 \text{ Mol L}^{-1}$), com variações conforme as exigências das culturas (KORNDÖRFER; PEREIRA; CAMARGO, 2002).

Com base no exposto, foi objetivo desta pesquisa: avaliar a liberação de nutrientes da casca de arroz queimada, em função do tempo de incubação no solo.

2.2 Material e Métodos

O experimento foi realizado em casa de vegetação no Departamento de Produção Vegetal da ESALQ, Piracicaba – SP. Teve duração de cem dias, entre 26/03/2012 e 04/07/2012.

Os tratamentos foram instalados em delineamento inteiramente casualizado, em esquema fatorial 4×5 (4 doses de casca de arroz queimada, com base na sua massa de matéria seca $\times$ 5 tempos de incubação), e três repetições. Sendo: T1 - zero gramas por dm^{-3} de casca de arroz queimada (CAQ); T2 - $0,65 \text{ g dm}^{-3}$ de CAQ ($1,3 \text{ Mg ha}^{-1}$ de CAQ); T3 - $6,5 \text{ g dm}^{-3}$ de CAQ (13 Mg ha^{-1} de CAQ); T4 - 13 g dm^{-3} de CAQ (26 Mg ha^{-1} de CAQ).

O solo utilizado para a incubação de CAQ foi coletado da camada zero a vinte centímetros de profundidade de um Argissolo Vermelho-Amarelo Distrófico típico (VIDAL-TORRADO; SPAROVEK, 1993). Antes do uso e das análises iniciais, o solo foi peneirado (malha 2 mm) e após coletou-se amostras, para fins de análise física, conforme Embrapa (2009) e química, de acordo com Raij et al. (2001), cujos atributos estão apresentados na Tabela 1. Granulometricamente o solo era constituído por: 810 g kg^{-1} de areia total (300 g kg^{-1} de areia grossa e 510 g kg^{-1} areia fina), 48 g kg^{-1} de silte e 142 g kg^{-1} de argila. Aproximadamente 20 dias antes do início do experimento foram incorporados ao solo $0,38 \text{ g dm}^{-3}$ de hidróxido de cálcio $[Ca(OH_2)]$, a fim de elevar a saturação por bases a 70%, para atender a demanda da cenoura. O produto utilizado era composto de: 52,2% de CaO, 13,9% de MgO, PN 128% e PRNT 128%. Na caracterização do solo do experimento após aplicação do hidróxido de cálcio $[Ca(OH_2)]$, foi considerada a composição química do solo do tratamento testemunha (sem aplicação de CAQ) no tempo zero de incubação (Tabela 1). As análises foram realizadas conforme Raij et al. (2001).

Tabela 1 - Composição química do solo usado no experimento, antes e depois da incubação com hidróxido de cálcio

pH	MO	P	K	Ca	Mg	H+Al	SB	CTC	V	Si
CaCl ₂	g dm ³	mg dm ³	-----mmol _c dm ³ -----						%	mg kg ⁻¹
4,7	20	7	0,8	12	6	22	19	41	46	...
5,8	12	6	4,3	21	6	16	31	48	66	3,8

Extrator/método - pH: CaCl₂ 0,01 Mol L⁻¹/Titulação potenciométrica; matéria orgânica (MO) - Dicromato de Sódio/Colorimetria; fósforo (P): Resina trocadora de íons/Colorimetria, potássio (K), cálcio (Ca) e magnésio (Mg) - Resina trocadora de íons/Espectrofotometria de absorção atômica; hidrogênio mais alumínio (H+Al) SMP/Titulação potenciométrica; silício (Si) - CaCl₂ 0,01 mol L⁻¹/Colorimétrico. Obs.: linha 1 de dados - composição química do solo antes da aplicação de hidróxido de cálcio; linha 2 de dados - composição química do solo após aplicação de hidróxido de cálcio (no tempo zero de incubação da CAQ)

A CAQ usada no experimento era oriunda do município de Alegrete/RS e resíduo da queima de casca de arroz utilizada como fonte de energia na secagem dos grãos. O volume do resíduo necessário ao experimento foi peneirado (peneira com malha 4 mm) e armazenado em sacos de 50 L. A constituição química e a densidade seca e úmida da CAQ foram analisadas conforme Tedesco et al. (1995). O teor de silício (Si) total foi determinado por fluorescência de raios X de energia dispersiva (EDXRF), em aparelho modelo EDX-720 Shimadzu, conforme metodologia descrita por Tezotto et al. (2013), e o de silício (Si) solúvel conforme Pereira et al. (2003). Na determinação do teor médio de silício (Si) total foram analisadas quatro amostras, previamente secas em estufa a 60 ° C por 72 horas e moídas. Os resultados das análises da CAQ e as quantidades totais de carbono (C), nitrogênio (N), fósforo (P), cálcio (Ca), magnésio (Mg), silício (Si) total e silício (Si) solúvel, aplicadas no solo em cada tratamento/dose casca de arroz queimada, estão apresentados na Tabela 2.

Tabela 2 - Atributos químicos e densitométricos da casca de arroz queimada e quantidades totais de carbono (C), nitrogênio (N), fósforo (P), cálcio (Ca), magnésio (Mg), silício (Si) total e silício (Si) solúvel, aplicadas no solo em cada tratamento/dose de casca de arroz queimada

Du ¹	Ds ²	pH	C	N	P	K	Ca	Mg	Si ³	Si ⁴
----- kg m ⁻³ -----							----- % na matéria seca -----			
286	157	9,4	5,5	0,06	0,08	0,28	0,25	0,05	41	4,6
Tratamento	Dose de CAQ ⁵ (g dm ⁻³)		g dm ⁻³			mg dm ⁻³			mg kg ⁻¹	
T1	Zero	9,4	-	-	-	-	-	-	-	-
T2	0,65	9,4	0,036	0,39	0,52	1,82	1,63	0,33	197,4	22,15
T3	6,50	9,4	0,357	3,90	5,20	18,20	16,25	3,25	1.974,0	221,5
T4	13,00	9,4	0,715	7,80	10,40	36,40	32,50	6,50	3.948,2	442,9

Extrator/método: pH em H₂O 1:5 - potenciométrica; carbono (C) - combustão úmida/Walkey Black; nitrogênio (N) - Kjeldahl; fósforo (P), potássio (K), cálcio (Ca), magnésio (Mg) - digestão úmida nítrico-perclórica/espectrometria de emissão atômica com plasma acoplado indutivamente (ICP-OES); ³Si: silício total - fluorescência de raios X de energia dispersiva; ⁴Si: silício solúvel - extraído após cinco dias em contato com o extrator (carbonato de sódio + nitrato de amônio)/espectrofotometria ¹Densidade úmida. ²Densidade seca. ⁵ As doses são de matéria seca de CAQ (casca de arroz queimada)

O solo foi seco em estufa a 40° C. Antes da montagem do experimento, foram realizados procedimentos para garantir maior uniformidade do volume inicial de solo utilizado em cada

repetição, por meio da determinação da massa seca (MS), massa úmida (MU) e a umidade gravimétrica na capacidade de campo (UG).

Aos vasos previamente pesados e com os furos de drenagem tapados por fita adesiva, foram adicionados 2 dm³ de água. Marcou-se então em cada vaso o perímetro, na altura atingida pela água. Os vasos foram esvaziados, os lacres dos furos de drenagem retirados e em cada vaso foi colocado filtro-dreno. Os conjuntos vaso mais filtro-dreno tiveram novamente a massa definida por pesagem, para posterior desconto. Adicionou-se gradativamente solo seco aos vasos, até a altura referente ao volume anteriormente calibrado (2 dm³). Após, cada conjunto vaso + solo + filtro-dreno teve sua massa determinada. Com os valores obtidos calculou-se a massa seca (MS) de solo média das amostras, chegando-se a 2.700 g, já descontado o valor do vaso + filtro-dreno. Com os dados do volume e da massa seca (MS) de solo que seria utilizado, estimou-se a densidade do solo, que resultou em 1,35g dm⁻³.

Para a determinação da umidade em capacidade de campo, na abertura superior de cada vaso foi colocada película aderente de pvc transparente, objetivando barrar a saída da água evaporada através da superfície do solo. Os vasos foram distribuídos dentro de reservatório com capacidade para 500 L, ao qual adicionou-se água até atingir 2/3 da altura dos vasos, que ali permaneceram até a umidade atingir de maneira uniforme a superfície do solo, garantindo a saturação. Os vasos foram retirados e postos sobre bancada telada por 72 horas para drenagem e posterior cálculo da umidade em capacidade de campo. O conjunto solo + vaso + água retida teve a massa úmida (MU) determinada e o peso do vaso descontado. O valor da massa úmida (MU) média das amostras foi de 3.076g. Foram então retiradas amostras de cada vaso para determinação da umidade gravimétrica (UG) do solo, e para tal foi adotada a metodologia de Souza, Nogueira e Rassini (2002). Com os dados já obtidos calculou-se o teor de umidade gravimétrica (UG) do solo, pela equ. 1.

$$UG = \frac{M1-M2}{M2-M3} \quad (1)$$

em que: UG, corresponde ao teor de umidade da amostra (g de água g de solo seco⁻¹); M1 à massa úmida da amostra + recipiente (g); M2 à massa seca da amostra + recipiente (g); M3 corresponde a massa do recipiente.

A média da umidade gravimétrica (UG) das amostras de solo na capacidade de campo foi igual a 0,137 gramas de água por grama de solo seco⁻¹. Três amostras da CAQ a ser usada tiveram sua massa úmida (MU) determinada, em seguida foram secas em estufa a 60°C por 48

horas e tiveram sua massa seca (MS) determinada. A umidade média das amostras foi de 0,35 gramas de água por grama de CAQ seca⁻¹.

Com base nos dados apresentados anteriormente, foram preparadas as amostras definitivas de cada repetição do experimento. Para acondicionar cada repetição usou-se embalagem de plástico transparente. Cada embalagem foi colocada na balança de precisão e recebeu uma massa seca (MS) de 2.700 g de solo. As doses de CAQ de cada repetição tiveram sua massa úmida (MU) determinada em balança de precisão e, de acordo com cada tratamento, foram postas nas embalagens de plástico que já continham o solo seco. Manuseou-se cada embalagem por 3 minutos para homogeneizar a mistura. Após, à cada amostra foram acrescidos 0,370 dm³ de água, volume necessário para elevar a umidade da amostra a capacidade de campo. Cada embalagem de plástico transparente foi então colocada dentro de outra de plástico opaco, com a identificação do tratamento/repetição. Procedeu-se: (i) a determinação da massa úmida (MU) total de cada repetição e (ii) a coleta de uma alíquota de amostra (1/5) no tempo zero de incubação.

Após cada amostragem a massa úmida (MU) remanescente de cada repetição era anotada em planilha, para fins de reposição da água evaporada. As trocas gasosas foram facilitadas por um conjunto de quatro tubinhos de 5 mm de diâmetro e 40 mm de comprimento, unidos entre si por fita adesiva. O material foi mantido com umidade na capacidade de campo por meio de pesagens semanais e reposição da água evaporada. As embalagens plásticas contendo as amostras ficaram dispostas sobre bancada.

Os procedimentos seguidos na coleta das amostras durante o período de incubação foram: cada amostra era homogeneizada através de movimentação dentro da própria embalagem plástica e a massa úmida (MU) total determinada por pesagem. Após retirava-se uma alíquota equivalente a 1/5, 1/4, 1/3, 1/2 e 1 da massa úmida (MU) total remanescente, respectivamente nos tempos zero, 25, 50, 75 e 100 dias de incubação. Cada alíquota retirada era colocada em recipiente plástico identificado, permanecendo sem tampa por 2 dias. Depois eram secas em estufa a 40°C por 48h, para posterior análise química. O restante de cada amostra permanecia na embalagem de plástico opaco parcialmente aberta, conforme descrito anteriormente.

As análises químicas foram realizadas de acordo com Raij et al. (2001): Matéria orgânica: Dicromato de Sódio/Colorimetria; pH em CaCl₂ 0,01 Mol L⁻¹ (acidez ativa)/Titulação potenciométrica; matéria orgânica (MOS)- Dicromato de Sódio/Colorimetria; fósforo (P): Resina trocadora de íons/Colorimetria, potássio (K), cálcio (Ca) e magnésio (Mg) - Resina trocadora de íons/Espectrofotometria de absorção atômica; hidrogênio mais alumínio (H+Al)

SMP/Titulação potenciométrica; silício (Si): CaCl_2 0,01 mol L^{-1} /Colorimetria. A partir dos resultados obtidos, foram avaliadas a interação entre doses e tempos de incubação de CAQ no solo e as mudanças nos atributos químicos: pH, teor de matéria orgânica do solo (MOS), fósforo (P), potássio (K), cálcio (Ca), magnésio (Mg) e silício (Si), promovidas pelas doses de CAQ no período de incubação.

Na análise estatística foram utilizados os programas estatísticos SAS (STATISTICAL ANALYSIS SYSTEM, 2000) e SISVAR (FERREIRA, 2011). Os dados foram submetidos a análise de variância e homogeneidade de variância. As variáveis potássio (K) e silício (Si), que não apresentaram normalidade foram transformadas para Log na base 10. Verificou-se a ocorrência de interação entre doses e tempos de incubação da CAQ. Os resultados foram submetidos a análise de regressão.

2.3 Resultados e Discussão

2.3.1 Efeitos da casca de arroz queimada no pH do solo

A interação entre doses e tempos de incubação da casca de arroz queimada - CAQ não foi significativa para pH (Figuras 1 e 2), embora em outras pesquisas tenha sido constatada redução da acidez do solo pelo uso da CAQ (PAULETTO; NACHTIGALL; GUADAGNIM, 1990; DONEGÁ et al., 2011; NOLLA et al., 2010; ISLABÃO, 2013). Na presente pesquisa observaram-se apenas tênues oscilações nos valores de pH ao longo do tempo de incubação (Figura 1), independente da dose de CAQ. As variações de pH observadas podem ser, em parte, atribuídas à aplicação de hidróxido de cálcio [$\text{Ca}(\text{OH}_2)$], feita a fim de elevar a saturação por bases ao patamar de 70%, adequado para a cenoura.

Outra razão diz respeito às características físico-químicas da CAQ utilizada. As características físicas do corretivo definem juntamente com os teores dos elementos neutralizantes, o poder do produto de modificar o pH do solo. Também são importantes para o processo: a umidade do solo, o tempo e a forma de contato entre as partículas do corretivo e o solo (ALCARDE, 2005). Pelo valor da densidade seca da CAQ, 157 kg m^{-3} (Tabela 2), verifica-se que o resíduo usado apresentava características de material carbonizado, com poucas partículas de cinza (SOUZA, 1993). Considera-se que o processo de queima ao qual a CAQ utilizada nesta pesquisa fora submetida, não tenha modificado suficientemente sua estrutura física (granulometria) o que comprometeu a liberação dos elementos com características corretivas que a compunham. Supõe-se que, em função da granulometria da CAQ, o período de cem dias de incubação no solo também não tenha sido suficiente para promover a liberação dos

cátions responsáveis pela modificação do pH do solo. Os baixos teores de Ca e Mg na CAQ (Tabela 2) também contribuíram para os resultados obtidos. Reatividade lenta da casca de arroz queimada, principalmente na liberação de elementos neutralizantes, também foi verificada por Sandrini (2010).

Figura 1 - Efeito do tempo de incubação da casca de arroz queimada no valor de pH, em Argissolo Vermelho-Amarelo Distrófico típico. ** Significativo a 1%

Figura 2 - Efeitos de doses de casca de arroz queimada nos valores de pH, em Argissolo Vermelho-Amarelo Distrófico típico. ** Significativo a 1%

2.3.2 Incremento de matéria orgânica do solo (MOS) em função da incubação da casca de arroz queimada

A interação entre doses e tempos de incubação da CAQ não foi significativa para MOS (Figura 3). Também não se verificou efeito de dose. Em relação ao tempo de incubação, o teor de MOS aumentou linearmente no solo. Deduz-se que o incremento de C, estimado como MOS,

esteja associado aos grupamentos funcionais carboxílicos (-COOH) e hidroxílicos (-OH) (CUNHA et al., 2009). A ausência de resposta em relação as diferentes doses de CAQ explica-se pelo fato de o carbono pirogênico, resultante da queima de materiais vegetais, decompor-se mais lentamente. Segundo Cunha et al. (2009), a presença de estruturas aromáticas condensadas confere ao carbono pirogênico maior estabilidade.

Figura 3 - Teor de matéria orgânica do solo em função do tempo de incubação de casca de arroz queimada, em Argissolo Vermelho-Amarelo Distrófico típico. ** Significativo a 1%

2.3.3 Efeitos da casca de arroz queimada na disponibilidade de fósforo (P) ao solo

A interação entre doses de CAQ e tempos de incubação não foi significativa, mas observou-se aumento linear tanto para dose (Figura 4) quanto para tempo de incubação (Figura 5).

Figura 4 - Teores de fósforo (P) em função da dose de casca de arroz queimada incubada em Argissolo Vermelho-Amarelo Distrófico típico. ** Significativo a 1%

O aumento do teor de fósforo (P) pela CAQ, apesar de significativo às doses, correspondeu, nos tratamentos T2, T3 e T4, comparativamente ao tratamento testemunha (T1), a 76,92 %; 51,92% e 45,19% do fósforo (P) total presente na dose de CAQ aplicada em cada um dos respectivos tratamentos. O restante do fósforo (P) presente na CAQ, pressupõe-se, possa ter sido fixado no solo ou permanecido indisponível na estrutura da própria CAQ. O aumento do fósforo (P) disponível deve-se, em parte, a diminuição dos sítios de adsorção pela ocupação destes pelo silício (Si), cuja disponibilidade foi crescente para doses e tempos de incubação. Incrementos no teor de fósforo (P) do solo pela incorporação de CAQ, também foram relatados por outros pesquisadores (ISLABÃO, 2013; DONEGÁ et al., 2011; SANDRINI, 2010).

Figura 5 - Teores de fósforo (P) em função do tempo de incubação da casca de arroz queimada em Argissolo Vermelho-Amarelo Distrófico típico. ** Significativo a 1%

2.3.4 Efeitos da casca de arroz queimada sobre cátions no solo

A CAQ promoveu alterações nos teores de cálcio (Ca) e potássio (K). A interação entre doses de CAQ e tempos de incubação foi significativa somente para o cálcio (Ca) (Figura 9). Não foi constatada variação no teor de magnésio (Mg) no solo, porque a concentração do nutriente na composição da CAQ era muito baixa (0,05%) (Figuras 6 e 7). Se todo magnésio (Mg) fosse liberado das doses de CAQ usadas nos tratamentos T2, T3 e T4, seriam adicionados, respectivamente, o equivalente a 0,027 mmol_c dm⁻³, 0,27 mmol_c dm⁻³ e 0,54 mmol_c dm⁻³, insuficientes para provocar qualquer alteração no solo, em virtude de que o teor inicial era de 6 mmol_c dm⁻³ de magnésio (Mg) (Tabela 1).

Figura 6 - Teores de magnésio (Mg) em um Argissolo Vermelho-Amarelo Distrófico típico em função da dose de casca de arroz queimada no solo. ^{ns} Não significativo

Figura 7 - Teores de magnésio (Mg) em um Argissolo Vermelho-Amarelo Distrófico típico em função do tempo de incubação de casca de arroz queimada ao solo. Significativo a nível de 5%

O teor de potássio (K) no solo aumentou linearmente com as doses de CAQ (Figura 8). No solo sem aplicação do produto (T1), o teor foi de 4,3 mmol_c dm⁻³ (Tabela1). A aplicação de dose equivalente a 26 Mg ha⁻¹ de matéria seca de CAQ (T4), incrementou em 1,0 mmol_c dm⁻³ o teor de potássio (K) no solo, em relação à dose de 13 Mg ha⁻¹ de matéria seca de CAQ (T3). Incremento correspondente a 93 kg ha⁻¹ de K₂O, o qual atribui-se à maior concentração do potássio (K) na CAQ (0,28%), a liberação sem dificuldade, uma vez que permanece como cátion livre no resíduo, e a solubilidade da cinza na casca queimada (OSAKI; DAROLT, 1991).

Os resultados observados na pesquisa foram superiores aos verificados por Islabão (2013), em trabalho realizado a campo, para doses semelhantes de CAQ. A autora verificou uma recuperação no solo, de apenas 39% do potássio (K) presente na CAQ.

Figura 8 - Teores de K em Argissolo Vermelho-Amarelo Distrófico típico em função de diferentes doses de casca de arroz queimada incubadas ao solo; ** significativo a 1%; Dados transformados para Log na base 10

Os teores de cálcio (Ca) apresentaram comportamentos distintos para as doses, em que observou correlação significativa apenas para as doses 1,0 g dm⁻³ e 20 g dm⁻³ de CAQ (Tabela 3 e Figura 9). Os teores de cálcio (Ca) no início da incubação, no tempo zero, foram muito diferentes e variaram entre 21,9 mmol_c dm⁻³ de cálcio (Ca), quando aplicou-se 1,0 g dm⁻³, e 15 mmol_c dm⁻³ pelo fornecimento de 20 g dm⁻³. A diferença entre os valores foi de 6,9 mmol_c dm⁻³ de cálcio (Ca), a qual pode ser atribuída a contaminação das amostras nessa época. A discussão em relação a esse nutriente tornou-se impossível.

Tabela 3 - Equações de regressão dos teores de cálcio (Ca) no solo no período de 100 dias de incubação para as diferentes doses de casca de arroz queimada

Tratamento / Dose	Equação	R ²
T1 / Zero g dm ⁻³ de matéria seca de CAQ	$y = 0,000823x^2 - 0,994 + 20,655$	0,21 ^{ns}
T2 / 0,65 g dm ⁻³ de matéria seca de CAQ	$y = -0,0429x + 22,5$	0,85**
T3 / 6,50 g dm ⁻³ de matéria seca de CAQ	$y = 17,366 + 0,032x - 0,00032x^2$	0,13 ^{ns}
T4 / 13,00 g dm ⁻³ de matéria seca de CAQ	$y = 0,0343x + 15,84$	0,67*

*significativo a 5%; ** significativo a 1%; ^{ns} não significativo

Figura 9 - Teores de cálcio (Ca) em Argissolo Vermelho-Amarelo Distrófico típico em função de diferentes doses de casca de arroz queimada ao longo do período de incubação ao solo

2.3.5 Teores de silício (Si) no solo em função da aplicação de diferentes doses de casca de arroz queimada e tempos de incubação

A interação entre doses e tempos de incubação foi significativa em relação ao teor de silício (Si). Verifica-se aumento linear crescente com o aumento das doses de CAQ e ao longo do tempo de incubação (Figura 10). Supõe-se que as pequenas oscilações de pH observadas ao longo do tempo de incubação, independente da dose de CAQ (Figura 1 e 2), aliadas as condições de temperatura e umidade nas quais o experimento foi desenvolvido, tenham favorecido o aumento dos teores de silício (Si) em todos os tratamentos.

O teor de silício (Si) solúvel aumentou, ao longo do período de incubação, também no tratamento testemunha (T1), cujo teor inicial foi de $3,8 \text{ mg kg}^{-1}$ chegando a $10,3 \text{ mg kg}^{-1}$ no dia 100. Infere-se que tal incremento seja resultado da liberação de silício (Si) da estrutura dos minerais de caulinita, mica e feldspato, presentes nos solos da classe dos Argissolos. Os valores de pH ao longo do período de incubação mantiveram-se dentro da faixa de 5,0 e 9,0, na qual, segundo Toledo, Oliveira e Melfi (2000), em temperatura de 25°C , a sílica não é completamente insolúvel, apesar de apresentar baixa solubilidade. De acordo com Buck (2010), a maior disponibilidade de silício (Si) ocorre em pH próximo da neutralidade, condição presente neste experimento conjuntamente com um adequado nível de umidade, igualmente importante, visto que a água pode promover a dissolução da sílica e a formação do ácido silícico $[\text{Si}(\text{OH})_4]$. A influência da umidade do solo nos teores de silício (Si) solúvel do solo também é referenciada

por Drees et al. (1989). Desta forma, pressupõe-se que o incremento nos teores de silício (Si) solúvel, sejam devidos principalmente a reações de hidrólise parcial e dissolução.

Figura 10 - Teores de silício (Si) em Argissolo Vermelho-Amarelo Distrófico típico em função de diferentes doses e tempos de incubação de casca de arroz queimada

Tabela 4 - Equações de regressão dos teores de silício (Si) no solo no período de 100 dias de incubação, para as diferentes doses de casca de arroz queimada

Tratamento / Dose	Equação	R ²
T1 / Zero g dm ⁻³ de matéria seca de CAQ	$y = 0,07x + 3,55$	0,95**
T2 / 0,65 g dm ⁻³ de matéria seca de CAQ	$y = 0,06x + 4,96$	0,94**
T3 / 6,50 g dm ⁻³ de matéria seca de CAQ	$y = 0,10x + 4,44$	0,95**
T4 / 13,00 g dm ⁻³ de matéria seca de CAQ	$y = 0,12x + 4,46$	0,95**

** significativo a 1 %. Dados transformados para Log na base 10

A variação do teor de silício (Si) no solo do tratamento testemunha (T1), sem acréscimo de CAQ foi muito semelhante ao do T2 (dose de 0,65 g dm⁻³ de matéria seca de CAQ). O coeficiente angular das retas nas maiores doses de silício (Si) (6,5 g dm⁻³ e 13 g dm⁻³ de matéria seca de CAQ) foi superior (0,10 e 0,12) em relação ao das menores doses (0,06 e 0,07).

A aplicação das maiores doses de matéria seca de CAQ (6,5 g dm⁻³ e 13 g dm⁻³) elevou, no período de cem dias de incubação, em 4,2 mg kg⁻¹ e 6,1 mg kg⁻¹ respectivamente, o teor de silício (Si), já descontado o teor de 10,3 mg kg⁻¹ verificado no solo do T1, no tempo 100 do experimento.

Pela análise química da CAQ (Tabela 2), verifica-se teor de silício (Si) solúvel de 4,6% de silício (Si) solúvel, que nas maiores doses resultaria em aumento teórico máximo de 221,26 mg kg⁻¹ e 443 mg kg⁻¹ de silício (Si), após a completa reação da CAQ no solo. Os valores

efetivos de aumento nos teores de silício (Si) no solo corresponderam a 40,78 % no T3 (6,5 g dm⁻³ de matéria seca de CAQ) e 59,22 % no T4 (13 g dm⁻³ de matéria seca de CAQ). Porém, estes incrementos equivaleram a apenas 1,89 % (no T3) e 1,38 % (no T4), do total de silício (Si) solúvel presente nas doses de matéria seca de CAQ aplicadas nos referidos tratamentos. Como verificado para o fósforo (P), considera-se que parte do silício (Si) possa ter sido adsorvido aos colóides do solo.

Como o teor de silício (Si) total na matéria seca de CAQ, conforme Tabela 2, era de 41%, verifica-se que os cem dias de incubação do experimento, foram insuficientes para a liberação de uma maior quantidade de silício (Si) no solo. E pelos resultados obtidos, pode-se inferir, que os resíduos de CAQ apresentam elevado efeito residual. Na pesquisa feita por Islabão (2013) a autora obteve um incremento de apenas 0,054% em relação ao silício (Si) total presente no produto aplicado

2.4 Conclusões

A disponibilização do potássio (K) da casca de arroz queimada independe do tempo de incubação do resíduo ao solo e as quantidades são diretamente proporcionais a dose.

A casca de arroz queimada aumenta os teores de fósforo (P) e silício (Si) do solo, de forma linear e diretamente proporcional a dose e ao tempo de incubação.

O resíduo de casca de arroz queimada apresenta efeito residual para fósforo (P) e especialmente para silício (Si).

Referências

ALCARDE, J.C. **Corretivos da acidez dos solos:** características e interpretações técnicas. São Paulo: ANDA, 2005. 24 p. (Boletim Técnico, 6).

ANDRIESSE, J.P.; SCHELHAAS, R.M. A monitoring study of nutrient cycles in soils used for shifting cultivation under various climatic conditions in Tropical Asia. **Agriculture, Ecosystems & Environment**, Amsterdam, v. 19, n. 4, p. 285-332, Aug. 1987.

BRASIL. Leis, Decretos, etc. Decreto nº 4954. Aprova o regulamento da lei nº 6894 de 16 de janeiro de 1980, que dispõe sobre a inspeção e fiscalização da produção e do comércio de fertilizantes, corretivos, inoculantes ou biofertilizantes destinados à agricultura, e dá outras providências. Normas jurídicas - DEC 004954, 14 jan., 2004. 27 p. **Diário Oficial da União**, Brasília, Seção 1, p. 2, 15 jan. 2004.

BUCK, G.B. **Método para determinação de silício solúvel em fertilizantes.** 2010. 68 p. Tese (Doutorado em Fitotecnia)-Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2010.

CAPELETTO, G.J. Setor energético do Rio Grande do Sul: ênfase em fontes de energia primária. In: CAPELETTO, G.J.; MOURA, G.H.Z. de. **Balanco energético do Rio Grande do Sul 2012: ano base 2011**. Porto Alegre: Grupo CEEE; Secretaria de Infraestrutura e Logística do Rio Grande do Sul, 2012. cap. 3, p. 35-58. Disponível em: <<http://www.ceee.com.br/pportal/ceee/archives/BERS2012/1%20Balanco%20Energético%20do%20Rio%20Grande%20do%20Sul%202012%20-%20ano%20base%202011.pdf>>. Acesso em: 23 fev. 2014.

CUNHA, T.J.F.; NOVOTHY, E.H.; MADARI, B.E.; BENITES, V.B.; MARTINS-NETO, L.; SANTOS, G.A. O carbono pirogênico. In: TEIXEIRA, W.G.; KERN, D.C.; MADAR, B.; LIMA, H.N.; WOODS, W. (Ed.). **As terras pretas de índio da Amazônia: sua caracterização e uso deste conhecimento na criação de novas áreas**. Embrapa Amazônia Ocidental, 2009. cap. 21, p. 263-284. Disponível em: <http://www.biochar.org/joomla/images/stories/Cap_21_Tony_Jarbas.pdf>. Acesso em: 05 maio 2014.

DELLA, V.P. **Síntese e caracterização do pigmento cerâmico de hematita, obtida a partir de carepa de aço, encapsulada em sílica amorfa obtida a partir da casca de arroz**. 2005. 146 p. Tese (Doutorado em Engenharia de Materiais) - Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2005.

DONEGÁ, M.A.; VOLK, L.B.S.; NOLLA, A.; GAVIOLLI, T.O. Atributos químicos do solo e crescimento inicial de plantas de milho em latossolo arenoso com adição de cinza de casca de arroz. *Revista de Agricultura, Piracicaba*, v. 86, n. 3, p. 192 - 199, 2011.

DREES, L.R.; WILDING, L.P.; SMECK, N.E.; SENKAYI, A.L. Silica in soils: quartz and disordered silica polymorphs. In: DIXON, J.B.; WEED, S.B. (Ed.). **Minerals in soil environments**. 2nd ed. Madison: Soil Science Society of America, 1989. p. 913-965. (Book Series, 1).

EMBRAPA. Importância econômica, agrícola e alimentar do arroz. In: PEREIRA, D.P.P.; BANDEIRA, D.L.; QUINCOZES, E.R.F. (Ed.) **Cultivo do arroz irrigado no Brasil**. Pelotas: Embrapa Clima Temperado, 2005. cap. 1, p. 1. (Embrapa Clima Temperado. Sistema de Produção, 3). Disponível em: <<http://sistemasdeproducao.cnptia.embrapa.br/FontesHTML/Arroz/ArrozIrigadoBrasil/cap01.htm>>. Acesso em: 20 set. 2013.

_____. **Manual de análises químicas de solos, plantas e fertilizantes**. 2. ed. Brasília: EMBRAPA Informação Tecnológica, 2009. 627p.

EPSTEIN, E. Silicon. **Annual Review of Plant Physiology and Plant Molecular Biology**, Palo Alto, v. 50, p. 641-664, 1999.

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

FOLETO, E.L.; HOFFMANN, R.; HOFFMANN, R.S.; PORTUGAL JÚNIOR, U.L.; JAHN, S.L. Aplicabilidade das Cinzas da casca de arroz. **Química Nova**, São Paulo, v.28, n., p. 1055-1060, 2005. Disponível em <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-40422005000600021>. Acesso em: 04 ago. 2014.

FONSECA, I.M. **Efeito da escória de siderurgia como fonte de silício e sua interação com a adubação nitrogenada em *Brachiaria brizantha***. 2007. 79 p. Dissertação (Mestrado em Ciência do Solo) - Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Jaboticabal, 2007.

FUNDAÇÃO ESTADUAL DE PROTEÇÃO AMBIENTAL HENRIQUE LUIZ ROESSLER DO RIO GRANDE DO SUL - FEPAM. **Diretriz Técnica Nº 002/2011: gestão de resíduos caracterizados como casca de arroz e cinzas resultantes do processo de queima da casca**. Disponível em: <http://www.fepam.rs.gov.br/central/diretrizes/Diret_Tec_02_2011.pdf>. Acesso em: 22 Nov. 2012.

HASHIM, A.B.; AMINUDDIN, H.; SIVA, K.B. Nutrient content in rice husk ash of some Malaysian rice varieties. **Pentanika Journal of Tropical Agricultural Science**, Kuala Lumpur, v. 19, n. 1, p. 77-80, 1996.

INSTITUTO RIOGRANDENSE DO ARROZ. **Área e produção de arroz**. Relatório. IBGE; IRGA, Seção de Política Setorial (Elab.), 2014a. 2 p. Disponível em: <http://www.irga.rs.gov.br/upload/20131024101611producao_rs_e_brasil.pdf>. Acesso em: 20 fev. 2014.

_____. **Produtividades municipais safra 2012/2013**. Relatório. DCI; Seção Política Setorial (Elab.), 2014b. 3 p. Disponível em: <http://www.irga.rs.gov.br/upload/20131018151801produtividade_municipios_safra_12_13_final.pdf>. Acesso em: 20 fev. 2014.

ISLABÃO, G.O. **Uso da cinza de casca de arroz como corretivo e condicionador do solo**. 2013. 84 p. Tese (Doutorado em Agronomia) - Faculdade de Agronomia, Universidade Federal de Pelotas, Pelotas, 2013.

KORNDÖRFER, G.H.; PEREIRA, H.S.; CAMARGO, M.S. de. Silicatos de cálcio e magnésio na agricultura. Uberlândia: UFU, 2002, 23p. (Boletim Técnico 01).

LEPSCH, I.F. **19 lições de pedologia**. São Paulo: Oficina de Textos, 2011. 456 p.

LERÍPIO, A.A. **Caracterização química e eficiência agrônômica de resíduos sólidos agroindustriais**. 1996. 105 p. Dissertação (Mestre em Agronomia) - Universidade Federal de Pelotas, Pelotas, 1996.

LIMA FILHO, O.F.; LIMA, M.T.G.; TSAI, S.M. **O silício na agricultura**. 1999. p.1-7. (Encarte Técnico - Informe Agrônômico, 87)

MACHADO, M.D.; LUZ, P.B. da. Desenvolvimento de plantas de arroz de terras altas em função de doses da cinza da casca de arroz. In: JORNADA CIENTÍFICA DA UNEMAT, 2., 2009, Barra do Bugre. **Anais...** Barra do Bugre: Universidade do Estado do Mato Grosso, 2009. 4 p. Disponível em: <http://www.unemat.br/eventos/jornada2009/resumos_conic/Expandido_00428.pdf>. Acesso em: 28 mar. 2014.

MAYER, F.D.; HOFFMANN, R.; RUPPENTHAL, J.E. Gestão energética, econômica e ambiental do resíduo casca de arroz em pequenas e médias agroindústrias de arroz. In: SIMPÓSIO DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO, 13., Bauru, 2006. **Anais eletrônicos...** Bauru: UNESP, 2006. 11 p. Disponível em: <http://www.simpep.feb.unesp.br/anais/anais_13/artigos/124.pdf>. Acesso em: 15 ago. 2012.

NOLLA, A.; VOLK, L.B.S.; MUNIZ, A.S.; SILVA, T.R.B. Correção da acidez do solo em profundidade através do uso de carbonatos, silicatos e casca de arroz em lisímetros. **Cultivando o Saber**, Cascavel, v. 3, n. 2, p. 1-8, abr./jun. 2010.

OSAKI, F.; DAROLT, M.R. Estudo da qualidade de cinzas vegetais para uso como adubos na região metropolitana de Curitiba. **Revista do Setor Ciências Agrárias**, Curitiba, v. 11, n. 1/2, p. 197-205, 1991. Disponível em: <http://www.iapar.br/arquivos/File/zip_pdf/darolt_qualcinzasv.pdf>. Acesso em: 10 maio 2014.

PAULETTO, E.A.; NACHTIGALL, G.R.; GUADAGNIM, C.A. Adição de cinza de casca de arroz em dois solos do município de Pelotas, RS. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 14, n. 2, p. 255-258, 1990.

PEREIRA, H.S.; KORNDÖRFER, G.H.; MOURA W.F.; CORRÊA, G.F. Extratores de silício disponível em escórias e fertilizantes. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.27, n.2, p.265-274. 2003.

POUEY, M.T.F. **Beneficiamentos da cinza de casca de arroz residual com vistas à produção de cimento composto e/ou pozolânico**. 2006. 345 p. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2006. Disponível em: <<http://www.lume.ufrgs.br/handle/10183/7733>>. Acesso em: 20 fev. 2014.

RAIJ, B. van; ANDRADE, J.C.; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J.A.(org.) Análise química para avaliação da fertilidade de solos tropicais. Campinas: Instituto Agrônomo, 2001. 284p.

ROZAINEE, M.; NGO, S.P.; SALEMA, A.A.; TAN, K.G. Fluidized bed combustion of rice husk to produce amorphous siliceous ash. **Energy for Sustainable Development**, Hudson, v. 12, n. 1, p. 33-42, 2008.

SANDRINI, W.C. **Alterações químicas e microbiológicas do solo decorrentes da adição de cinza de casca de arroz**. 2010.70 p. Dissertação (Mestrado em Ciências) - Universidade Federal de Pelotas, Pelotas, 2010.

SANTOS, S. **Estudo da viabilidade de utilização de cinza de casca de arroz residual em argamassas e concretos**. 1997. 113 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia) - Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 1997.

SAS INSTITUTE. **SAS: user's guide**. 8th ed. Cary, 2000.

SISTANI, K.R.; SAVANT, N.K.; REDDY, K.C. Effect of rice hull ash silicon on rice seedling growth. **Journal of Plant Nutrition**, London, v. 20, n. 1, p 195-201, 1997.

SOUZA, G.B.; NOGUEIRA, A.R.A.; RASSINI, J.B. **Determinação de matéria seca e umidade em solos e plantas com forno de microondas doméstico**. São Carlos: Embrapa Pecuária Sudeste, 2002. 9 p. (Embrapa Pecuária Sudeste. Circular Técnica, 33). Disponível em: <<http://www2.cppse.embrapa.br/080servicos/070publicacao gratuita/circular-tecnica/CT%2033%20-%20Forno%20Microondas.pdf/view>>. Acesso: 20 fev. 2012.

SOUZA, F.X. de. Casca de arroz carbonizada: um substrato para a propagação de plantas. **Revista Lavoura Arrozeira**, Porto Alegre, v. 46, n. 406, p. 11, 1993.

TEDESCO, M.J.; GIANELLO, C.; BISSANI, C.A.; BOHNEN, H.; VOLKWEISS, S.J. **Análises de solo, plantas e outros materiais**. 2. ed. Porto Alegre: UFRGS, Faculdade de Agronomia, Departamento de Solos, 1995. 174 p. (UFRGS. Boletim Técnico, 5).

TEZOTTO, T.; FAVARIN, J.L.; PAULA NETO, A.; GRATÃO, P.L.; AZEVEDO, R.A.; MAZZAFERA, P. Simple procedure for nutrient analysis of coffee plant with energy dispersive X-ray fluorescence spectrometry (EDXRF). **Scientia Agrícola**, Piracicaba, v. 70, n. 4, p. 263-267, 2013.

TOLEDO, M.C.M.; OLIVEIRA, S.M.B. de; MELFI, A.J. Intemperismo e formação do solo. In: TEIXEIRA, W.; TOLEDO, M.C.M. de; FAIRCHILD, T.R.; TAIOLI, F. (Orgs.) **Decifrando a Terra**. São Paulo: Oficina de Textos, 2000. Cap. 8, p. 139-157.

VIDAL-TORRADO, P.; SPAROVEK, G. **Mapa pedológico detalhado do campus Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo**. Piracicaba: ESALQ, 1993. Escala 1:10.000.

3 USO DE CASCA DE ARROZ QUEIMADA E SILICATO DE CÁLCIO E MAGNÉSIO SOBRE *Meloidogyne javanica*

Resumo

Os objetivos da pesquisa foram de: (i) avaliar o efeito da incubação da casca de arroz queimada e do silicato de cálcio e magnésio como fontes de silício (Si), nos atributos químicos do solo, no estado nutricional e componentes biométricos em plantas de cenoura e, (ii) caracterizar os efeitos da casca de arroz queimada e do silicato de cálcio e magnésio, como fontes de silício (Si), na redução do dano por *Meloidogyne javanica* em raízes de cenoura. O experimento foi desenvolvido em casa de vegetação no Departamento de Produção Vegetal da Esalq, Piracicaba/SP. Avaliou-se a ação de uma dose de matéria seca de casca de arroz queimada (13 g dm^{-3} de solo), em três diferentes tempos de incubação e uma dose de silicato de cálcio e magnésio (5 g dm^{-3} de solo) sobre os atributos químicos do solo, concentração de nutrientes na planta, componentes de produção e qualidade comercial da cenoura, por meio de cinco tratamentos com inoculação de nematoides (CN): CAQ90AS-CN (casca de arroz queimada incubada 90 dias antes da semeadura); CAQ45AS-CN (casca de arroz queimada incubada por 45 dias antes da semeadura); CAQ00DS-CN (casca de arroz queimada incorporada na semeadura); SILIC-CN (silicato de cálcio e magnésio); TEST-CN (testemunha, relativa) e cinco tratamentos de mesma composição, porém sem inoculação de nematoides (SN): CAQ90AS-SN; CAQ45AS-SN; CAQ00DS-SN; SILIC-SN; TEST-SN (testemunha absoluta). Cada tratamento era composto por quatro repetições, cada uma com três vasos contendo $3,7 \text{ L}^{-1}$ de solo, mais a dose de uma das fontes de silício (Si) e de nematoides (quando cabível). A aplicação de 13 g dm^{-3} de matéria seca de casca de arroz queimada, incubada por 90 dias no solo manteve a produtividade da cenoura em solo infestado por *Meloidogyne javanica*, e aumentou a massa de matéria fresca de raízes comercializáveis em 3,9 vezes em relação a do tratamento testemunha. A dose de 5 g dm^{-3} de silicato de cálcio e magnésio aumentou o pH do solo, prejudicando a absorção de Mn e Zn e, consequentemente o desenvolvimento das cenouras, reduzindo a massa de matéria fresca de raízes comercializáveis. Nenhuma das fontes de silício (Si), nas doses usadas na pesquisa, aumentou significativamente a concentração do nutriente nas plantas de cenoura.

Palavras-chave: *Meloidogyne javanica*; *Daucus carota* L, cv. Nantes; Macro e micronutrientes no solo; Concentração de nutrientes

Abstract

The research objectives were to: (i) evaluate the effect of incubation of carbonized rice husk and calcium silicate and magnesium as sources of silicon (Si), the chemical properties of the soil, the nutritional status and biometric components in carrot plants and (ii) characterizing the effects of carbonized rice husk and calcium silicate and magnesium, as sources of silicon (Si), lowering the damage on *Meloidogyne javanica* roots of carrot. The experiment was conducted in a greenhouse at the Department of Plant Production Esalq, Piracicaba / SP. We evaluated the action of a dose of dry carbonized rice husk (13 g dm^{-3} soil) at three different incubation times and a dose of calcium silicate and magnesium (5 g dm^{-3} soil) on soil chemical properties, nutrient concentration in plant components in production and quality of carrot

through five treatments inoculated with nematodes (CN): CAQ90AS-CN (carbonized rice husk incubated 90 days before sowing); CAQ45AS-CN (carbonized rice husk incubated for 45 days before sowing); CAQ00DS-CN (carbonized rice husk incorporated at sowing); SILICON-CN (calcium magnesium silicate); TEST-CN (control on) and five treatments with the same composition, but without inoculation of nematodes (SN): SN-CAQ90AS; CAQ45AS-SN; CAQ00DS-SN; SILICON-SN; TEST-SN (control treatment). Each treatment consisted of four replicates, each with three 3.7 L pots containing soil, and a dose of a source of silicon (Si) and nematodes. The application of 13 g dm^{-3} of dry carbonized rice husk, incubated for 90 days in soil productivity remained carrot in soil infested with *Meloidogyne javanica*, and increased fresh weight of marketable roots at 3.9 times compared to the control treatment. A dose of 5 g dm^{-3} of calcium silicate and magnesium increased the pH of the soil, hindering the absorption of zinc (Zn) and manganese (Mn) and therefore the development of carrots, reducing the fresh weight of marketable yield. No sources of silicon (Si), the doses used in the study, significantly increased the concentration of the nutrient in carrot plants.

Keywords: *Meloidogyne javanica*; *Daucus carota* L, cv. Nantes; Soil macro and micronutrientes; nutriente concentration

3.1 Introdução

A maioria das espécies cultivadas nas regiões tropicais são acometidas por doenças radiculares causadas por fitonematoides pertencentes aos gêneros *Meloidogyne*, *Pratylenchus*, *Longidorus*, *Paratrichodorus*, *Radopholus*, *Rotylenchulus*, *Ditylenchus* e *Heterodera* (DAVIS; RAID, 2002; WALKER, 2004). Do gênero *Meloidogyne*, as espécies que se destacam por causar danos significativos em diversas culturas são: *Meloidogyne arenaria*, *M. hapla*, *M. incognita* e *M. javanica*. Entre os Estados produtores de olerícolas do Brasil, em 50% a 80% das áreas amostradas foram verificadas infestações no solo por *Meloidogyne javanica* e *M. incognita* (CHARCHAR; GONZAGA; VIEIRA, 1999; ROSA; WESTERICH; WILCKEN, 2013).

As espécies hospedeiras e as condições climáticas determinam o ciclo de vida do *Meloidogyne* spp., o qual varia de duas a quatro semanas (CHARCHAR, GONZAGA; VIEIRA, 1999; MICHEREFF; DOMINGOS; ANDRADE, 2005) e esses fitonematoides tem a capacidade de se multiplicar em escala logarítmica durante o ciclo da cultura (TIHOHOD, 2000). Segundo Pinheiro, Carvalho e Pereira (2012), as fêmeas de *Meloidogyne* spp. podem depositar de 500 a 1000 ovos em uma única massa de ovos, mas este número pode chegar a 3000 ovos de acordo com Tihohod (2000). Os ovos ficam protegidos por substância gelatinosa e permanecem próximo da superfície das raízes ou dentro das galhas (FERRAZ et al., 2010).

O desenvolvimento dos ovos inicia-se poucas horas após a deposição e segue até a total formação do primeiro estágio juvenil 'J1'. A primeira ecdise ocorre ainda no ovo. Após a eclosão os juvenis de segundo estágio 'J2', que podem até permanecer por determinado tempo na massa de ovos, deixam esta e movem-se no solo a procura de uma raiz para se alimentar. A fase infectante dos *Meloidogyne* spp. é, portanto, o segundo estágio juvenil 'J2'. Nesta fase os indivíduos apresentam, geralmente, o comprimento do corpo em torno de 250 a 500 µm e largura de 15 µm (TIHOHOD, 2000). Nesta fase penetram próximo da ponta das raízes e, após isso, passam por mais três estádios de desenvolvimento, atingindo no quinto estágio a forma adulta globosa ou piriforme. Enquanto se alimentam, as larvas incham, as células aumentam em quantidade (hiperplasia) e em tamanho (hipertrofia), formando assim as galhas. Os nematoides ficam nos espaços resultantes da ruptura das células (VOVLAS et al., 2005) e alimentam-se dos fotoassimilados mobilizados da parte aérea para o sistema radicular (CARNEIRO, 2000).

Os atributos físicos e químicos do solo também influenciam direta ou indiretamente no desenvolvimento dos nematoides. Nos solos de textura arenosa as populações de *Meloidogyne* spp. são, normalmente maiores. Segundo Noé e Barker (1985), maiores teores de argila no solo reduzem a mobilidade e a amplitude de distribuição dos nematoides no solo. Peixoto et al.(2011), em trabalho realizado com a cultura da alface em duas diferentes texturas de solo, verificou que no solo de textura mais arenosa, apesar do menor número de nematoides, houve um parasitismo mais intenso reduzindo o desenvolvimento da cultura. No solo com maior teor de argila a movimentação dos nematoides foi menor, porém a viabilidade dos ovos e a população final foram maiores, inclusive quando o número de massa de ovos e de galhas foi menor.

De acordo com Laughlin e Lordello (1977) e Young (1992), a estrutura, aeração, porosidade e capacidade de retenção de umidade do solo dependem de sua textura, se inter-relacionam e influenciam no nível populacional, comportamento, desenvolvimento dos nematoides e na potencialidade de seus danos.

A umidade ótima para a atividade dos nematoides fica entre 40 e 60% da umidade na capacidade de campo. Em solos saturados sua atividade é desfavorecida, principalmente se a condição de saturação ocorrer por períodos mais prolongados. Segundo Laughlin e Lordello (1977), solos mais secos tendem a reduzir a atividade e a população de nematoides, desta forma o pousio em áreas quentes e secas pode ser uma boa opção para o controle destes.

Os *Meloidogyne* spp. tem desenvolvimento mais lento em meios com baixo nível de potássio (K) e desenvolvimento acelerado quando o meio apresenta altos níveis do nutriente.

(LORDELLO, 1992). A matéria orgânica do solo também contribui para a redução populacional de nematoides e os ácidos graxos e a amônia oriundos de sua decomposição microbiana são, provavelmente, os responsáveis por esta redução (LAUGHLIN; LORDELLO, 1977). O pH do solo tem efeito variável sobre os nematoides-das-galhas. Nas condições tropicais, mesmo um pH do solo de 4,5, não impede a presença de nematoides. Porém o *Meloidogyne javanica* tem seu desenvolvimento inibido em pH menor que 5,2 e condições ideais ao mesmo quando o pH está entre 6,4 e 7,0 (SIKORA; FERNANDÉZ, 2005).

A cenoura (*Daucus carota L*) é a quarta hortaliça mais consumida no Brasil (SILVEIRA et al., 2011), e em diversas regiões do mundo quando atacada por nematoides, as perdas variam de 20% a 100%, dependendo das espécies e densidade populacional do patógeno, suscetibilidade da variedade cultivada, características e condições do ambiente (SIKORA; FERNANDÉZ, 2005). No mundo, mais de 90 espécies de nematoides já foram relatadas como parasitas da cultura da cenoura. No Brasil, os maiores danos econômicos na cultura da cenoura são causados pelo *Meloidogyne javanica* e *M. incognita* (CHARCHAR, 1999; PINHEIRO; HENZ, 2008; PINHEIRO; CARVALHO; PEREIRA, 2012).

Segundo Charchar e Vieira (2001) e Pinheiro, Carvalho e Vieira (2010), infecções até 35 dias após a semeadura da cenoura geram danos mais severos. O ataque de *Meloidogyne* spp. às raízes ocasiona deformações, bifurcações e desenvolvimento de galhas, e pode levar a mudanças no comprimento e diâmetro da raiz principal (PINHEIRO; CARVALHO; VIEIRA, 2010). Na parte aérea ocorre amarelecimento e murcha nas horas mais quentes, devido à menor absorção de água e nutrientes, principalmente nitrogênio (MITKOWSKI; ABAWI, 2011).

Quando os fitonematoides se apresentam em níveis que comprometem a produtividade ou a qualidade dos produtos cultivados, medidas de controle devem ser tomadas. O manejo integrado, que envolve mais de uma estratégia, a fim de reduzir a população à níveis abaixo do limiar de dano econômico (NEVES et al., 2011), sem erradicá-los é o mais recomendado (FERRAZ et al., 2010).

No caso das hortaliças, como a cenoura, espécies muito susceptíveis ao ataque de fitopatógenos, é elevado o uso de produtos fitossanitários (SILVA, 2006). Os nematoides-das-galhas que ocorrem em cenoura, no Brasil, são controlados quimicamente, principalmente, com carbamatos e organofosforados registrados para tal (BRASIL, 2013). O controle químico apresenta um custo relativamente elevado, alta toxicidade e periculosidade ambiental (PINHEIRO; CARVALHO; VIEIRA, 2010).

Atualmente, o leque de opções de produtos químicos para o controle de pragas é grande, porém em muitas situações seu uso é feito de forma incorreta, abusiva ou até mesmo ilegal. Dados dos últimos relatórios do Programa de Análise de Resíduos de Agrotóxicos em Alimentos –PARA- de 2011-2012 (ANVISA, 2013) comprova o excesso no uso de defensivos agrícolas, o que pode ocasionar danos à saúde, ambientais e à própria atividade agrícola.

Diante deste contexto e da crescente demanda por produtos agrícolas saudáveis e que não agredam o meio ambiente é premente a necessidade de se continuar pesquisando novas estratégias e produtos alternativos que sejam eficientes e eficazes, economicamente viáveis e com reduzido potencial poluidor.

Alguns produtos alternativos para o controle de nematoides já apresentaram resultados de pesquisa satisfatórios como a vinhaça, em cana-de-açúcar (MATOS et al., 2009); manipueira em cultivo de cenoura (SENA; PONTE, 1982; NASU et al., 2009) e o silício (Si), dentre outros. Segundo Epstein e Bloom (2004), o silício (Si) é reconhecido por aliviar estresses bióticos e abióticos, e por contribuir na formação de barreiras mecânicas em algumas culturas. As principais fontes de silício (Si) pesquisadas são os silicatos (de cálcio, cálcio e magnésio ou de potássio), escórias da siderurgia do ferro e do aço.

Na aplicação de 0,64; 1,28; 1,92 e 2,56 g dm⁻³ de solo de silicato de cálcio e magnésio na cultura da bananeira Prata-Anã, os autores verificaram menor número de ovos e fator de reprodução com a aplicação das doses 1,28 e 2,56 g dm⁻³, em relação a testemunha. No entanto, não observaram diferenças significativas para número de galhas, massas de ovos e J2 e concluíram que a presença dos nematoides prejudicou o desenvolvimento vegetativo das mudas e, dependendo da dose, o silicato de Ca e Mg influenciou a reprodução dos *M. javanica* e proporcionou ganho de matéria seca no pseudocaule da planta (OLIVEIRA et al., 2012).

Dutra (2004) avaliou o efeito de doses crescentes de silício (Si) nas culturas do feijoeiro, tomateiro e cafeeiro, com diversas espécies de *Meloidogyne* e observou que em feijoeiro, o número de J2 de *M. javanica* ou *M. incognita* que penetraram nas raízes não foi alterado pela adição de silicato de cálcio. Entretanto, o silicato de cálcio reduziu o número de galhas e de ovos em 46,7 % e 41,6 %, respectivamente, para *Meloidogyne incognita* e 54,7 % e 32,9 %, respectivamente, para *M. javanica*, em relação ao tratamento que não recebera controle. Na cultura do tomateiro, a adição de silicato de potássio e de cálcio reduziram a reprodutividade de *M. javanica*, com redução do número de ovos ao nível daquele em plantas tratadas com nematicida. Já, em mudas de cafeeiros, também ocorreu redução do número de galhas de *M. exigua* nas plantas que receberam silicato de cálcio. Entretanto, no experimento de campo, as aplicações simultâneas ou não do nematicida, silicato de cálcio ou torta de mamona

promoveram a redução do número de J2 e o número de ovos de *M. exigua* comparados com a testemunha.

O fornecimento de silício (Si) pelo uso de silicato de Ca ou carbonato de Ca em cafeeiro aumenta a resistência ao *Meloidogyne exigua*, pela redução da capacidade reprodutiva nas raízes, aumento da produção de lignina e da maior atividade das peroxidases, polifenoloxidasas e fenilalanina amoníasiases (SILVA et al., 2009).

Como uma fonte alternativa de silício (Si), a casca de arroz proveniente do resíduo do beneficiamento do cereal e a casca de arroz queimada, proveniente do uso da casca de arroz como fonte energética nos processos de secagem e parboilização do arroz são resíduos com boa disponibilidade, ricos em sílica e fonte de outros nutrientes dentre eles P, K, Ca, Mg e Si (ISLABÃO, 2013; OLIVEIRA, 2013).

A casca de arroz tem como maior constituinte a celulose e a remoção desta e da lignina durante o processo de queima resulta numa estrutura porosa e rica em sílica (DELLA; KÜHN; HOTZA, 2005).

Em milho, Lima (2012) avaliou o fornecimento de Si pelo silicato de cálcio em quatro diferentes resíduos agroindustriais, inclusive a casca de arroz carbonizada e observou que não houve influência no teor de massa seca das plantas. No entanto, a casca de arroz carbonizada foi o resíduo com maior eficiência no fornecimento de Si para a planta, superior inclusive ao silicato de Ca. O Si proveniente da casca de arroz carbonizada ainda favoreceu a maior absorção e o acúmulo de P, K e S.

A aplicação de doses crescentes de cinza de casca de arroz como fonte de Si na cultura da soja, via recobrimento de sementes (0 a 120 g por 100 kg de sementes) e via solo (0, 1, 2, 3, e 4 Mg ha⁻¹) nas cultivares BMX Turbo RR e NA 5909 RR aumentou a produtividade da cultura na aplicação via solo quando comparada na aplicação via tratamento de sementes. Ainda, Oliveira (2013) observou que doses crescentes de Si melhoraram a qualidade fisiológica das sementes no cultivar BMX Turbo RR e influenciaram positivamente na massa de mil sementes das duas cultivares, e ainda no cultivar BMX Turbo RR, a aplicação de Si via solo promoveu aumento do rendimento por planta.

Efeitos positivos do uso de cinza de casca de arroz (CCA), no controle de *Meloidogyne javanica* também são relatados por Sen e Dasgupta (1981). Quando a população de nematoides foi baixa ou intermediária a CCA incrementou o rendimento de frutos, a altura das plantas e reduziu a incidência de nematoides de 46% a 100%.

Já Gergon et al. (2001) estudaram o efeito de CAQ sobre a população de *Meloidogyne graminicola* na produção de bulbos de cebola (*Allium cepa* L.) e observaram que a incorporação da CAQ ao solo promoveu um rendimento de 44,2% na produção de bulbos em relação ao solo sem adição de CAQ, com 37,7% de bulbos maiores, com padrão para exportação.

Esta pesquisa foi realizada com os objetivos de: (i) avaliar o efeito da incubação da casca de arroz queimada e do silicato de cálcio e magnésio como fontes de silício (Si), nos atributos químicos do solo, no estado nutricional e componentes biométricos em plantas de cenoura e (ii) caracterizar os efeitos da casca de arroz queimada e do silicato de cálcio e magnésio, como fontes de silício (Si), na redução do dano por *Meloidogyne javanica* em raízes de cenoura.

3.2 Material e Métodos

O experimento foi realizado em casa de vegetação, no Departamento de Produção Vegetal da ESALQ, em Piracicaba (SP), no período de março à outubro de 2012. Durante o período do experimento a temperatura e a umidade relativa do ar médias mensais registradas na casa de vegetação foram de 27,48° C ($\pm 5^\circ$ C) e 65,56 % (± 15 %), respectivamente.

Foi instalado em blocos casualizados com cinco tratamentos com inoculação de nematoides *Meloidogyne javanica*, na dose de 10.000 ovos + J2 por planta/vaso: CAQ90AS-CN= solo + casca de arroz queimada – CAQ - incubada por 90 dias antes da semeadura - das; CAQ45AS-CN = solo + CAQ incubada por 45 das; CAQ00DS-CN = solo + CAQ incorporada ao solo no dia da semeadura; SILIC-CN = solo + silicato de Ca e Mg; TEST-CN = Solo (testemunha relativa). E mais cinco tratamentos sem inoculação de nematoides: CAQ90AS-SN= solo + CAQ incubada por 90 das; CAQ45AS-SN = solo + CAQ incubada por 45 das; CAQ00DS-SN = solo + CAQ incorporada ao solo no dia da semeadura; SILIC-SN = solo + silicato de Ca e Mg; TEST-SN = Solo (testemunha absoluta).

Cada tratamento teve quatro repetições, cada uma composta por três vasos com volume de 3,7 dm³ de solo + a dose de CAQ ou silicato de Ca e Mg + dose de nematoides.

Para a instalação do experimento, coletou-se solo da camada de zero a 20 cm de um Argissolo Vermelho-Amarelo Distrófico típico (VIDAL-TORRADO; SPAROVEK, 1993). O solo foi escolhido, especialmente, por apresentar textura arenosa, a qual oportuniza maior mobilidade e facilita o parasitismo pelos nematoides (NOÉ; BARKER, 1985; PEIXOTO ET

AL., 2011). O material foi peneirado (peneira de malha 2 mm) e após foram coletadas amostras para análise laboratorial nematológica e também para análise física (EMBRAPA, 2009) e química, conforme Raij et al. (2001).

O solo apresentou 300 g kg⁻¹ de areia grossa e 510 g kg⁻¹ de areia fina; 48 g kg⁻¹ de silte e 142 g kg⁻¹ de argila. Os resultados da análise química são apresentados na Tabela 5.

Tabela 5 – Composição química do solo usado no experimento antes da aplicação de hidróxido de cálcio

pH ¹	pH ²	MO	P	K	Ca	Mg	H+Al	SB	CTC	V	S
		g dm ⁻³	mg dm ⁻³	-----		mmolc dm ⁻³	-----			%	mg dm ⁻³
4,7	5,5	20	7	0,8	12	6	22	19	41	46	11

Extrator/Métodos: pH¹ em CaCl₂: CaCl₂ 0,01 mol L⁻¹ e pH² em H₂O /Titulação potenciométrica; MO: Dicromato de Sódio/Colorimetria; fósforo (P): Resina trocadora de íons/Colorimetria, potássio (K), cálcio (Ca) e magnésio (Mg) - Resina trocadora de íons/Espectrofotometria de absorção atômica; hidrogênio mais alumínio (H+Al) SMP/Titulação potenciométrica; Enxofre (S-SO₄)⁻²: Ca(H₂PO₄)₂ 0,01 mol L⁻¹/ Turbidimetria

No dia 29/03/2012, 20 dias antes do início do experimento, foram aplicados 0,38 g dm⁻³ de corretivo, para elevar a saturação por bases (V%) a 70% no solo usado em todos os tratamentos. O produto utilizado tinha: 52,2% de CaO, 13,9% de MgO, com PN e PRNT igual a 128% (ALCARDE, 2005).

A análise nematológica do solo foi realizada em triplicata e seguiu a metodologia de Jenkins (1964). Foi encontrado apenas um indivíduo em uma das três amostras analisadas e desta forma optou-se por não realizar a esterilização do solo.

Para a aplicação de Si foram utilizadas duas fontes: o silicato de Ca e Mg e a casca de arroz queimada (CAQ). Nos tratamentos com casca de arroz queimada (CAQ) utilizou-se dose de matéria seca de 13 g dm⁻³ de solo e nos tratamentos com silicato de cálcio e magnésio dose de 5 g dm⁻³ de solo.

O silicato de Ca e Mg utilizado continha 22,4% de SiO₂; 10,5% de silício (Si); 25% de cálcio (Ca) e 6% de magnésio (Mg).

A CAQ teve analisadas a composição química e a densitométrica, conforme Tedesco et al. (1995). Os resultados destas análises são apresentados na Tabela 6, juntamente com as quantidades totais de: carbono (C), nitrogênio (N), fósforo (P), cálcio (Ca), magnésio (Mg) e silício (Si) total e solúvel, aplicadas no solo de cada um dos tratamentos cuja fonte de silício (Si) foi a casca de arroz queimada. O teor de silício (Si) total na CAQ foi determinado por fluorescência de raios X de energia dispersiva (EDXRF), em aparelho modelo EDX-720 Shimadzu, conforme metodologia descrita por Tezotto et al. (2013), e o de silício (Si) solúvel conforme Pereira et al. (2003).

Tabela 6 - Composição química e densitométrica da casca de arroz queimada e quantidades totais de carbono (C), nitrogênio (N), fósforo (P), cálcio (Ca), magnésio (Mg), silício (Si) total e silício (Si) solúvel, adicionadas por dose (13 gramas de matéria seca de casca de arroz queimada por decímetro cúbico de solo) nos tratamentos em que a fonte de silício (Si) foi o referido resíduo

Du ¹	Ds ²	pH	C	N	P	K	Ca	Mg	Si ³	Si ⁴
----- kg m ⁻³ -----										
286	157	9,4	5,5	0,06	0,08	0,28	0,25	0,05	41	4,6
Tratamentos		g dm ⁻³		mg dm ⁻³		mg dm ⁻³		mg kg ⁻¹		
CAQ90AS-CN, CAQ45AS-CN, CAQ00DS-CN, CAQ90AS-SN, CAQ45AS-SN e CAQ00DS-SN		9,4	0,715	7,80	10,40	36,40	32,50	6,50	3.948,2	442,9

Extrator/método: pH em H₂O 1:5 - potenciometria; carbono (C) - combustão úmida/Walkey Black; nitrogênio (N) - Kjeldahl; fósforo (P), potássio (K), cálcio (Ca) e magnésio (Mg) - digestão úmida nítrico-perclórica/espectrometria de emissão atômica com plasma acoplado indutivamente (ICP-OES); ³Si: silício total - fluorescência de raios X de energia dispersiva; ⁴Si: silício solúvel - extraído após cinco dias em contato com o extrator (carbonato de sódio + nitrato de amônio)/espectrofotometria ¹Densidade úmida. ²Densidade seca

Nos dias 17/04, 31/05 e 14/07 de 2012 foram coletadas, após homogeneização, três amostras de solo para determinar a umidade média e com esta aferir a massa de solo para cada vaso, de acordo com o volume a ser utilizado (3,7 dm³). Determinou-se a umidade das amostras em relação a massa seca (MS), por secagem em estufa, conforme Tedesco et al. (1995). A média de umidade das amostras foi de: (i) 11% nas coletadas dia 17/04/12, relativa ao solo usado nos tratamentos com 90 dias de incubação da CAQ (CAQ90AS-CN e CAQ90AS-SN); (ii) 12,2% nas coletadas dia 31/05/12, relativa ao solo usado nos tratamentos com 45 dias de incubação da CAQ (CAQ45AS-CN e CAQ45AS-SN) e (iii) 10,8% nas coletadas dia 14/07/12, relativa ao solo usado nos tratamentos com zero dias de incubação da CAQ (CAQ00DS-CN e CAQ00DS-SN), tratamentos com silicato de Ca e Mg (SILIC-CN e SILIC-SN) e Testemunhas (TEST-CN e TEST-SN). Após se calculou a massa úmida do solo (MU), considerando para tal: a umidade média do solo em relação à massa seca (MS), o volume de solo a ser utilizado em cada vaso e a densidade do solo. Como valor da densidade do solo considerou-se 1,35g dm⁻³, estimado no experimento do Capítulo I desta tese.

A mistura das doses de CAQ ao solo dos tratamentos com 90 dias de incubação (CAQ90AS-CN e CAQ90AS-SN) e 45 dias de incubação (CAQ45AS-CN e CAQ45AS-SN) foi feita, respectivamente em 19/04 e 02/06. No dia 01/07 foram coletadas quatro amostras de 500g do solo dos tratamentos testemunha, para análise química do solo com a finalidade de definir a adubação de plantio e cobertura. A média dos resultados das análises químicas do solo é apresentada na Tabela 7.

Tabela 7 – Composição química do solo utilizado no experimento¹, considerada na definição da adubação de plantio e cobertura²

pH	MO	P	K	Ca	Mg	H + Al	SB	CTC	V	S
	g dm ³	mg dm ³	-----	-----	mmol _c dm ³	-----	-----	-----	%	mg dm ³
5,6	10	4	0,9	14	7	16	22	39	58	7
	B	Cu	Zn	Mn	Fe	Si				
	-----	-----	mg dm ⁻³	-----	-----	-----				
	0,12	0,7	1,4	11,9	17	4,9				

¹Conforme Raij et al. (2001). ²Média de 4 amostras. Extrator/método: pH: CaCl₂ 0,01 Mol L⁻¹/Titulação potenciométrica; matéria orgânica (MO) - Dicromato de Sódio/Colorimetria; fósforo (P): Resina trocadora de íons/Colorimetria; potássio (K), cálcio (Ca) e magnésio (Mg): Resina trocadora de íons/Espectrofotometria de absorção atômica; hidrogênio mais alumínio (H+Al) SMP/Titulação potenciométrica; Enxofre (S-SO₄)⁻² : Ca(H₂PO₄)₂ 0,01 mol L⁻¹ / Turbidimetria; boro (B): água quente-microondas/colorimetria; cobre (Cu), zinco (Zn), manganês (Mn) e ferro (Fe): DTPA/ Espectrofotometria de absorção atômica; e silício (Si): CaCl₂ 0,01 mol L⁻¹/Colorimetria

No dia 17/07 de 2012 procedeu-se com a mistura das doses de CAQ ao solo dos tratamentos com zero dias de incubação (CAQ00DS-CN e CAQ00DS-SN) e das doses de silicato de Ca e Mg ao solo dos tratamentos com o produto (SILIC-CN e SILIC-SN). E, foi preparado o volume de solo relativo aos tratamentos testemunha. De acordo com Trani e Raij (1997) e o resultado da análise química do solo (Tabela 7) fez-se a adubação de plantio no solo de todos os tratamentos. Foram usados: 19 mg dm⁻³ de ureia (45% de N), 865 mg dm⁻³ de superfosfato simples (17% de P₂O₅) e 140,59 mg dm⁻³ cloreto de potássio (52,4% de K). Os adubos foram misturados homogeneamente a porção de solo relativa a cada vaso. Procedeu-se então com o envase do material de todos os tratamentos. Todos os vasos foram postos sobre bancada telada. Após o envase aplicou-se 2,38 mg de ácido bórico dm⁻³, através de solução preparada com ácido bórico (17,48% de B) e água deionizada.

A cultura utilizada foi a da cenoura (*Daucus carota* L.), cultivar Nantes. Optou-se pelo uso da cultivar Nantes por ser susceptível aos nematoides.

No dia 18/07/2012 foram semeadas 6 a 8 sementes por vaso, em dois orifícios equidistantes e centralizados, com 1 cm de profundidade. Após a semeadura os orifícios foram tapados com solo do próprio tratamento e irrigados. A emergência plena das plantas deu-se nos dias 25 e 26/07/2012. Aos 15 dias após a semeadura fez-se um desbaste deixando as 2 plantas mais vigorosas por vaso (Figura 11).

Figura 11- Vista geral do tratamento com silicato de Ca e Mg (A) e com CAQ incubada por 90 dias antes da semeadura (B), no dia do 1º desbaste e antes da inoculação do *Meloidogyne javanica*
 Fonte: Rosemari Kerber Aires (2012)

Aos 24 dias após a semeadura, no dia 10/08/12 deixou-se uma planta por vaso e fez-se a inoculação dos nematoides nos tratamentos CAQ90AS-CN, CAQ45AS-CN, CAQ00DS-CN, SILIC-CN e TEST-CN. Para evitar a possível perda de nematoides utilizou-se em todos os vasos sistema de drenagem e estrutura para coleta da solução drenada.

Os nematoides foram obtidos no Departamento de Fitopatologia e Nematologia da ESALQ. O inoculante foi preparado a partir de raízes de soja anteriormente inoculadas com *Meloidogyne javanica*. As raízes foram lavadas, picadas em pedaços de aproximadamente um cm e processadas em liquidificador por um minuto, com uma solução de 0,5% de hipoclorito de sódio e água, em quantidade suficiente para tapar as raízes. A suspensão foi vertida sobre conjunto de peneiras de 60, 200 e 500 *mesh* (malha com abertura de 0,250 mm, 0,075 mm e 0,025 mm, respectivamente). O material depositado nas peneiras foi lavado com água corrente e o que ficou depositado na peneira de 500 *mesh* (malha com abertura de 0,025 mm) foi bem lavado com água corrente e após, com a água de uma pisseta foi passado para um becker. Da suspensão contendo os nematoides, após agitação, extraiu-se 1 mL, que foi diluído em 9 mL de água deionizada, esta suspensão foi então agitada e passou-se, por pipetagem, 1 mL para lâmina de Peters. A contagem do número de ovos + J2 em cada lâmina de Peters foi feita em microscópio com aumento de quarenta vezes. A contagem de cada lâmina foi repetida por mais 2 vezes, e após achou-se a média do número de ovos+ J2 contidos no total da suspensão.

Com base nos dados calculou-se que seriam necessários 1,1 mL de suspensão para a população a ser inoculada por planta. A inoculação foi realizada aos 15 dias após a emergência das plantas, após o segundo desbaste e no final da tarde. O inoculante foi mantido em agitador automático e o volume a ser aplicado por vaso foi medido em pipeta automática, calibrada para o volume de inoculante a ser utilizado. Foram feitos dois orifícios no solo, um com 3 cm e outro com 5 cm de profundidade, à aproximadamente 2 cm do colo da planta. Aplicou-se em cada orifício 550 µL do inoculante com estimativa de 5.000 ovos + J2 de *Meloidogyne javanica*.

A 1ª e a 2ª adubações de cobertura foram feitas respectivamente aos 15 e 30 dias após a emergência, nos dias 10/08 e 25/08 de 2012. Foram aplicados 10 cm³ vaso⁻¹ de solução nutritiva preparada com água deionizada e adubos, na seguinte concentração: 2,38 mg de ácido bórico (17,48% de B), 36,41 mg de ureia (45% de N) e 15,63 mg de cloreto de potássio (52,43% de K) por dm⁻³ de solo. Até esta etapa a umidade do solo foi mantida na capacidade de campo.

Do momento da inoculação dos nematoides até a colheita a umidade de todos os tratamentos foi mantida em 50% da capacidade de campo. Foram feitas reposições diárias da lâmina evapotranspirada, estimada através do método de Ivanov (JENSEN, 1973), conforme equ. (2).

$$ETc = 0,0006kc (25 + T)^2 \left(1 - \frac{UR}{100}\right) \quad (2)$$

Em que: ETc corresponde a evapotranspiração da cultura, em mm dia⁻¹; T corresponde a temperatura média do ar em °C; UR corresponde a umidade relativa do ar, em % e kc corresponde ao coeficiente de cultura, adimensional.

Os kc utilizados foram: 0,7 até os 30 dias do ciclo; 0,85 de 31 até 45 dias do ciclo; 1,1 de 46 dias até a colheita (MAROUELLI; SILVA; SILVA, 2010). Os dados de temperatura e umidade relativa do ar foram coletados diariamente, com intervalo de 30 minutos, através de Datalogger, instalado a 1,5 m de altura junto ao dossel de plantas. Periodicamente eram feitas pesagens do conjunto vaso/planta.

Aos 45 dias após a emergência, no dia 9/09/2012 fez-se a terceira adubação de cobertura. Aplicou-se um volume de 10 cm³ por vaso, de solução nutritiva preparada com ureia (45% de N), cloreto de potássio (52,43% de K) e água deionizada. Foram aplicados 36,41 mg de ureia e 15,63 mg de cloreto de potássio por dm⁻³ de solo.

No dia 21/10/2012, aos noventa e seis dias do ciclo cultural, foram cortadas, no colo da planta, as folhas de todos os tratamentos. Após fez-se a contagem das mesmas, mediu-se altura

com régua milimetrada e determinou-se a área foliar através do scanner de área foliar Licor, modelo LI - 3100. As folhas foram então lavadas com água deionizada e postas para secar sobre papel absorvente por vinte e quatro horas.

No dia 22/10/2012 foram coletadas dezoito subamostras de solo, por repetição, utilizando trado específico para coleta em vasos. As subamostras foram misturadas formando uma amostra composta de aproximadamente 200 gramas de solo por repetição, para caracterização química do solo ao final do experimento. Tomou-se o cuidado de coletar as amostras próximo do perímetro dos vasos para não comprometer as raízes. As amostras foram acondicionadas e enviadas ao laboratório para análise química.

No mesmo dia foram colhidas as raízes de todos os tratamentos. As raízes dos tratamentos sem inoculação de nematoides (CAQ90AS-SN, CAQ45AS-SN, CAQ00DS-SN, SILIC-SN e TEST-SN) foram separadas do solo e lavadas sobre peneira, para preservar as raízes secundárias, postas sobre papel absorvente para secagem inicial e, após tiveram a massa de matéria seca determinada em balança de precisão. As raízes secundárias foram destacadas da raiz principal. As raízes principais foram medidas com régua milimétrica, lavadas com água deionizada, fatiadas e voltaram a ser colocadas junto com as raízes secundárias sobre papel absorvente, onde permaneceram por 24 horas.

As raízes dos tratamentos com inoculação de nematoides (CAQ90AS-CN, CAQ45AS-CN, CAQ00DS-CN, SILIC-CN e TEST-CN) foram analisadas primeiramente, no laboratório de nematologia do Departamento de Fitopatologia e Nematologia da ESALQ. As raízes foram separadas do solo, lavadas cuidadosamente em água corrente sobre peneira e postas sobre papel absorvente para secagem inicial. Logo após foram colocadas em sacos plásticos com identificação dos tratamentos e acondicionadas em geladeira onde permaneceram até o momento das análises.

Primeiramente avaliou-se o número de digitamentos da raiz principal de cada planta. As raízes foram imersas por quinze minutos em solução de água mais Floxina B, conforme Taylor e Sasser (1978), para colorir e destacar as massas de ovos. Após, foram contados, sob lupa de bancada, o número de galhas e de massas de ovos na raiz principal e nas raízes secundárias de cada planta. Na Figura 12 (A) é apresentado parte do sistema radicular de uma planta de cenoura após imersão na solução com floxina B e na (B) galhas e massas de ovos vistas no microscópio.

(A)

(B)

Figura 12- (A) parte do sistema radicular de uma planta de cenoura após imersão na solução com floxina B; (B) galhas e massas de ovos vistas no microscópio após imersão em solução com floxina B

Fonte: Rosemari Kerber Aires (2012)

Em função da grande quantidade de massas de ovos em algumas amostras, o índice de massa de ovos (IMO) nas raízes, segundo Huang, Miranda e Maluf (1986) foi modificado, ficando a categorização com escala de 1 a 7, sendo: 1 = raízes sem massa de ovos; 2 = raízes com 1 a 4 massas de ovos; 3 = raízes com 5 a 10 massas de ovos; 4 = raízes com 11 a 30 massas de ovos; 5 = raízes com 31 a 60 massas de ovos; 6 = raízes com 61 a 120 massas de ovos e; 7 = raízes com mais de 120 massas de ovos. Para a determinação do índice de galhas foram contadas as galhas da raiz principal e das raízes secundárias de cada planta. Após o número de galhas foi categorizado, segundo Huang e Charchar (1982): 0 = raiz sem galhas; 1 = raiz principal sem galhas e raízes secundárias com ≤ 10 galhas pequenas; 2 = ≤ 10 galhas pequenas em ambas as raízes; 3 = raiz principal com ≤ 10 galhas pequenas e raízes secundárias com $>$ de 10 galhas; 4 = raiz principal e raízes secundárias com $>$ de 10 galhas cada; e 5 = raiz principal e raízes secundárias com $>$ de 10 galhas cada, além de deformações na raiz principal.

As raízes foram então lavadas com água deionizada, secadas e separadas das raízes secundárias. Cada raiz principal foi medida com régua milimetrada, teve determinada a massa de matéria fresca em balança de precisão e, após fatiada foi posta sobre papel absorvente por vinte e quatro horas. As raízes secundárias de cada planta foram picadas em pedaços de aproximadamente um centímetro, e homogeneizadas para determinação da matéria fresca, em balança de precisão. Do total de raízes secundárias de cada planta, retirou-se uma alíquota de um grama, para extração e determinação do número de nematoides (BONETTI; FERRAZ, 1981). O restante das raízes secundárias foi colocado junto com a raiz principal para secagem.

Os nematoides foram extraídos das amostras de raízes secundárias pelo método do liquidificador, seguido pela passagem da suspensão por peneiras de 60, 200 e 500 *mesh* (malha

com abertura de 0,250 mm, 0,075 mm e 0,025 mm, respectivamente). O material retido na peneira de 500 *mesh* (0,025 mm) foi recolhido em recipiente de vidro ao qual se acrescentou 2,5 mL de formaldeído, para conservar os nematoides e propiciar maior período de contagem dos mesmos. Após igualou-se o volume de suspensão de cada amostra para 50 mL. Antes do início das contagens dos nematoides, fez-se a aleatorização das amostras. Foram feitas três contagens por repetição, uma de cada planta. Para cada contagem o volume de suspensão foi agitado e retirou-se uma alíquota de 1 mL, que foi misturada a 9 mL de água. Desta suspensão, após agitação, pipetou-se 1 mL que foi colocado em lâmina de Peters para contagem do número de nematoides em microscópio, com aumento de 40 vezes.

Todo o material vegetal coletado passou por: secagem em estufa com circulação forçada de ar, a 65° C por 72 horas; moagem em moinho tipo Willey e acondicionamento em pequenos sacos de papel, para posterior análise. Os teores de nutrientes na massa de matéria seca da parte aérea e das raízes das plantas, exceto silício (Si), foram determinados por fluorescência de raios X de energia dispersiva (EDXRF), em aparelho modelo EDX-720 Shimadzu, conforme metodologia descrita por Tezotto et al. (2013). A concentração de silício (Si) total de todo material vegetal foi determinada no Laboratório de Fertilidade da Universidade Federal de Uberlândia-LAFER, pelo método amarelo (ELLIOTT; SNYDER, 1991).

As raízes principais de cada repetição foram classificadas, de forma unitária, em comercializáveis e não comercializáveis. Como raízes comercializáveis foram consideradas as com comprimento maior que 12 cm, livres de danos mecânicos, podridões, rachaduras, bifurcações ou com presença de galhas insignificantes que retiradas não deixassem marcas perceptíveis na raiz. As demais raízes foram classificadas como não comercializáveis. Após a classificação fez-se a determinação da massa de matéria fresca por raiz principal comercializável e não comercializável.

Todos os dados foram analisados considerando a média das três plantas de cada repetição, exceto os das massas de matéria fresca de raízes comercializáveis e não comercializáveis, analisou-se a massa de matéria fresca média por raiz principal. Na massa de matéria fresca comercializável e não comercializável foram calculadas e analisadas as médias das massas por raiz, em cada categoria, na repetição, considerando a massa de matéria fresca total de cada categoria, dividida pelo número de raízes classificadas na categoria (comercializável ou não comercializável).

Foram avaliados em todos os tratamentos:

- Do sistema radicular e da parte aérea: (i) teor de nutrientes na massa de matéria seca; (ii) massa de matéria fresca e massa de matéria seca;

- Somente do sistema radicular: (iii) comprimento da raiz principal; (iv) massa de matéria fresca de raízes comercializáveis; (v) massa de matéria fresca de raízes não comercializáveis; (vi) relação: massa de matéria fresca comercializável/massa de matéria fresca total e;
- somente da parte aérea: (vii) área foliar total.

Nos tratamentos com inoculação dos nematoides também avaliaram-se: (viii) o número de digitamentos na raiz principal; (ix) índice de galhas; (x) índice de massa de ovos na raiz principal; (xi) índice de massa de ovos nas raízes secundárias (xii) número de nematoides por grama de raízes secundárias.

As análises estatísticas foram feitas por meio do programa estatístico SAS (STATISTICAL ANALYSIS SYSTEM, 2000) e, para os dados relativos aos nematoides e massa de matéria fresca de raízes comercializáveis e não comercializáveis utilizou-se o programa estatístico R (R DEVELOPMENT CORE TEAM, 2011). Procedeu-se com a análise de variância (ANOVA), verificou-se a normalidade dos resíduos (Teste de Shapiro-Wilk) e a homogeneidade de variâncias (Teste de Bartlett). As médias entre tratamentos com inoculação de nematoides (CN) e sem inoculação de nematoides (SN) foram comparadas pelo teste de Tukey (5%), exceto as variáveis: índice de galhas (IG), índice de massa de ovos da raiz principal (IMORP) e índice de massa de ovos das raízes secundárias (IMORS), que foram comparadas pelo teste de Duncan (5%). Não foram feitas análises da interação entre tratamentos com e sem inoculação de nematoides.

3.3 Resultados e Discussão

Da Composição química do solo no final do experimento foram analisados: pH, teores de matéria orgânica (MO), fósforo (P), potássio (K), cálcio (Ca), magnésio (Mg), enxofre (S) e saturação de bases (V) e teores dos micronutrientes: cobre (Cu), zinco (Zn), manganês (Mn), ferro (Fe), boro (B) e silício (Si),

Os resultados das análises destes atributos estão apresentados nas Tabelas 8 e 9.

De modo geral, o tempo de incubação da casca de arroz queimada (CAQ) não interferiu nos atributos químicos avaliados, quando comparados com a testemunha.

Tabela 8 - Composição química do solo¹: pH, teores de matéria orgânica (MO), fósforo (P), potássio (K), cálcio (Ca), magnésio (Mg), enxofre (S) e saturação de bases (V) no final do experimento²

Tratamento	pH	MO	P	K	Ca	Mg	S	V
		g dm ³	mg dm ³	----- mmolc dm ³ -----			mg dm ³	%
CAQ90AS-CN	5,4b	16ns	38b	1,3abc	30bc	7b	11ab	73,2b
CAQ45AS-CN	5,4b	16ns	35b	1,1bc	28bc	6b	10bc	70,6b
CAQ00DS-CN	5,4b	17ns	33b	1,2bc	33b	7b	12a	73,6b
SILIC-CN	7,2a	17ns	59a	1,7a	78a	17a	6c	92,6a
TEST-CN	5,4b	17ns	37b	1,0c	32bc	6b	11ab	71,2b
CAQ90AS-SN	5,4b	16ns	35b	1,3bc	23c	6b	9bc	68b
CAQ45AS-SN	5,4b	16ns	34b	1,3bc	26bc	7b	11ab	71b
CAQ00DS-SN	5,3b	17ns	30bc	1,3bc	27bc	7b	11ab	69b
SILIC-SN	7,1a	17ns	67a	1,4bc	77 ^a	16a	6c	93a
TEST-SN	5,3b	17ns	20c	1,5bc	29bc	6b	10ab	70b

Médias seguidas da mesma letra na coluna não diferem entre si (Tukey - 5% de probabilidade); ^{ns} não significativo a nível de 5% de probabilidade. ¹Conforme Raij et al. (2001). ²Média de 4 repetições. Extrator/método: pH: CaCl₂ 0,01 Mol L⁻¹/Titulação potenciométrica; matéria orgânica (MOS) - Dicromato de Sódio/Colorimetria; fósforo (P): Resina trocadora de íons/Colorimetria; potássio (K), cálcio (Ca) e magnésio (Mg): Resina trocadora de íons/Espectrofotometria de absorção atômica; Enxofre (S-SO₄)⁻²: Ca(H₂PO₄)₂ 0,01 mol L⁻¹ / Turbidimetria.

Tabela 9 - Composição química do solo¹: teores de cobre (Cu), zinco (Zn), manganês (Mn), ferro (Fe), boro (B) e silício (Si) no final do experimento

Tratamento ²	Cu	Zn	Mn	Fe	B	Si
	----- mg dm ³ -----					mg kg ⁻¹
CAQ90AS-CN	0,7abc	2,3ab	49,1a	23ab	0,38c	4,9b
CAQ45AS-CN	0,7abc	2,6a	48,3a	23ab	0,49bc	3,8b
CAQ00DS-CN	0,7abc	2,2b	49,5a	24ab	0,56abc	4,2b
SILIC-CN	0,6bc	1,3d	18,8b	12c	0,36c	9,5a
TEST-CN	0,8a	2,1b	49,1a	25a	0,49bc	3,3bc
CAQ90AS-SN	0,7abc	2,2b	50,0a	24ab	0,62ab	3,5bc
CAQ45AS-SN	0,7abc	2,2b	47,4a	23b	0,72a	3,4bc
CAQ00DS-SN	0,7abc	2,1b	49,1a	24ab	0,66ab	3,2bc
SILIC-SN	0,6c	1,6cd	17,1b	12c	0,46bc	9,1a
TEST-SN	0,8bc	1,9bc	51,1a	24ab	0,47bc	2,5c

Médias seguidas da mesma letra na coluna não diferem entre si (Tukey - 5% de probabilidade); ^{ns} não significativo a nível de 5% de probabilidade. ¹De acordo com Raij et al. (2001). ² Média de 4 repetições. Métodos: cobre (Cu), zinco (Zn), manganês (Mn) e ferro (Fe): DTPA/Espectrometria de absorção atômica; boro (B): água quente /microondas- Colorimétrico e silício (Si): CaCl₂ 0,01 mol L⁻¹/Colorimétrico

Diferente da aplicação da CAQ, o fornecimento de silicato de Ca e Mg aumentou em 33,6% o pH, 91% o teor de P, 177% o teor de Ca e 59% o teor de Mg. Em consequência do aumento desses nutrientes (Ca e Mg), a saturação por bases aumentou 30%. Com relação ao teor de S, houve uma redução da ordem de 50% quando forneceu o silicato de Ca e Mg (SILIC). O aumento do pH promovido pelo silicato, aumentou a disponibilidade de P no solo, pela redução da fixação e precipitação. A redução da fixação do P nos colóides do solo deve-se à

diminuição das cargas positivas, enquanto a precipitação foi menor em razão da queda dos teores de micronutrientes metálicos, principalmente Fe e Mn, conforme pode ser observado na Tabela 9.

No complexo coloidal do solo, a ordem de preferência de fixação é do P, seguido do molibdato e por último do sulfato, pois a energia de ligação do íon fosfato é mais forte, comparativamente a do molibdato e do sulfato (YU, 1997; POZZA et al., 2009). O aumento da carga negativa e do teor de P no solo, explica o teor menor de S no solo, o qual provavelmente tenha percolado para camada abaixo da amostrada nos vasos (0,2 m). Tiecher et al. (2012), em trabalho realizado em vasos, com o objetivo de avaliar a resposta das plantas de diferentes culturas, em nove cultivos sucessivos e quatro diferentes tipos de solos, submetidos à aplicação de quatro doses de S, concluíram que os teores de S disponível no solo da camada de 0 - 10 cm não foram indicativos de resposta das culturas. Atribuíram os resultados, à alta percolação do íon sulfato para as camadas inferiores nos solos dos vasos, predominantemente nos de textura mais arenosa.

O teor de Si aumentou, em média, três vezes quando fornecido o silicato de Ca e Mg (SILIC). Com relação a CAQ, mesmo a incubação por 90 dias, não foi suficiente para elevar o teor deste nutriente no solo.

O uso de CAQ não alterou os atributos químicos do solo em razão de que a estrutura da mesma tenha se mantido preservada a ponto de oferecer resistência a solubilização dos nutrientes. Pelos valores densidade úmida (DU) e densidade seca (DS) apresentados na Tabela 6 (286 e 157 kg m⁻³, respectivamente), percebe-se que casca de arroz utilizada no experimento apresenta características que se assemelham mais as da casca carbonizada do que as da cinza de casca de arroz. Della, Kuhn e Hotza (2005) obtiveram cinza com densidade de 1300 kg m⁻³ e consideraram que a densidade da cinza do resíduo depende do tempo e da temperatura da queima, ou seja, densidade bem superior à da CAQ utilizada na presente pesquisa. Souza (1993) destaca que a queima total do resíduo produz cinza, com volume até 20 vezes menor que o da casca de arroz carbonizada, cuja densidade seca é, aproximadamente, 150 kg m⁻³, valor próximo ao da CAQ utilizada neste experimento.

3.3.1 Concentração de nutrientes nas raízes de cenoura

As concentrações de micronutrientes nas raízes de cenoura estão apresentadas na Tabela 10. De maneira geral, nos tratamentos sem inoculação de nematoides (SN) as concentrações de micronutrientes foram semelhantes ou pouco menores que as do tratamento testemunha (TEST-

SN), exceto em relação à do tratamento com silicato de cálcio e magnésio (SILIC-SN). No SILIC-SN se observou aumento das concentrações de cobre (Cu) e ferro (Fe) e redução das de manganês (Mn) e zinco (Zn), micronutrientes que foram os mais prejudicados pela elevação do pH (Tabela 9). A concentração de silício (Si) na massa de matéria seca de raízes do tratamento SILIC-SN foi superior a dos demais tratamentos e, possível, efeito direto do teor mais elevado do nutriente no solo. Entre os tratamentos SN com CAQ foram verificadas concentrações menores de silício (Si) nos tratamentos com menor tempo de incubação do resíduo, comparativamente as do TEST-SN e CAQ90AS-SN.

Nas concentrações de cobre (Cu), ferro (Fe), manganês (Mn) e zinco (Zn) (Tabela 10) dos três tratamentos com inoculação de nematoides (CN) e CAQ, foram observados incrementos na ordem inversa ao tempo de incubação do resíduo ao solo. Houve incremento significativo nas concentrações de cobre (Cu), ferro (Fe) e zinco (Zn) dos tratamentos CAQ45AS-CN e CAQ00DS-CN em relação as do TEST-CN. As menores concentrações de manganês (Mn) e zinco (Zn) foram as do tratamento SILIC-CN, com diferença de respectivamente 50,76% e 45,68% em relação as do TEST-CN. Verificou-se também neste tratamento, as maiores concentrações de cobre (Cu) e ferro (Fe), com exceção da concentração de ferro (Fe), que foi menor que a do CAQ00DS-CN. A concentração de Si na massa de matéria seca de raízes dos tratamentos CN foi superior no SILIC, CAQ00DS e CAQ45AS, e diferiu das do tratamento com maior tempo de incubação da CAQ e do TEST.

Tabela 10 – Concentrações de cobre (Cu), ferro (Fe), manganês (Mn), zinco (Zn) e silício (Si), na massa de matéria seca de raízes de cenoura Nantes em solo + casca de arroz queimada com 90, 45 e zero dias de incubação (CAQ90AS; CAQ45AS e CAQ00DS), solo + silicato de cálcio de magnésio (SILIC) e somente solo (TEST), com inoculação de 10.000 ovos+J2 de *Meloidogyne javanica* por planta (CN) e sem inoculação (SN)

Tratamento	e sem inoculação (SN)									
	Cu		Fe		Mn		Zn		Si	
	----- mg kg ⁻¹ -----									
	SN	CN	SN	CN	SN	CN	SN	CN	SN	CN
CAQ90AS	4,1b	3,5d	598c	137d	132b	48d	95b	54d	0,30b	0,08b
CAQ45AS	3,7b	4,1c	388e	156c	84d	59c	66d	79b	0,23c	0,09ab
CAQ00DS	3,7b	4,6b	473d	239a	109c	74a	80c	102a	0,24c	0,09ab
SILIC	4,8a	5,7a	1390a	220b	71e	32e	27e	35e	0,52a	0,10a
TEST	4,1b	3,5d	871b	136d	230a	65b	101a	64c	0,32b	0,08b
CV %	6,6	2,4	4,8	2	2,8	3	2,8	2,8	5,0	13,0

Médias seguidas da mesma letra na coluna não diferem entre si de acordo com o teste de Tukey a nível de 5% de probabilidade. Cobre (Cu), ferro (Fe), manganês (Mn) e zinco (Zn) determinados por fluorescência de raios X de energia dispersiva (EDXRF), em aparelho modelo EDX-720 Shimadzu (TEZOTTO et al.,2013) e silício (Si) determinado pelo método amarelo, conforme Elliott e Snyder (1991)

Na Tabela 11 são apresentadas as concentrações de cobre (Cu), ferro Fe, manganês (Mn), zinco (Zn) e silício (Si) na massa de matéria seca da parte aérea das plantas de cenoura.

As concentrações de cobre (Cu) e silício (Si) na matéria seca da parte aérea das plantas de cenoura, nos tratamentos sem presença de nematoides (SN) foram maiores quando utilizou-se o silicato de Ca e Mg. Já nos tratamentos com CAQ não houveram diferenças positivas das concentrações destes nutrientes, em relação às do TEST-SN. As concentrações de ferro (Fe), manganês (Mn) e zinco (Zn) no SILIC-SN foram consideravelmente menores (respectivamente 39,35 %, 59,56 % e 64,4 %) as do TEST-SN e, também, menores que as dos demais tratamentos. A concentração de manganês (Mn) mais elevada foi a do CAQ90AS-SN (33,45 % maior que a do TEST-SN). Observou-se pequeno incremento na concentração de zinco (Zn) dos dois maiores tempos de incubação da CAQ.

Tabela 11 - Concentrações de cobre (Cu), ferro (Fe), manganês (Mn), zinco (Zn) e silício (Si), na matéria seca da parte aérea de cenoura Nantes em solo + casca de arroz queimada com 90, 45 e zero dias de incubação (CAQ90AS; CAQ45AS e CAQ00DS), solo + silicato de cálcio e de magnésio (SILIC) e somente solo (TEST), com inoculação de 10.000 ovos+J2 de *Meloidogyne javanica* por planta (CN) e sem inoculação (SN)

Tratamento	Cu		Fe		Mn		Zn		Si	
	----- mg kg ⁻¹ -----									
	SN	CN	SN	CN	SN	CN	SN	CN	SN	CN
CAQ90AS	3,1c	2,9c	206c	180b	275a	178c	62a	73a	0,19b	0,20b
CAQ45AS	3,0d	2,9c	220b	215a	195c	178c	64a	60b	0,20b	0,26a
CAQ00DS	2,8d	3,2b	189d	172c	215b	196a	53c	56c	0,20b	0,17c
SILIC	3,9a	3,9a	151e	157d	74e	88d	21d	21e	0,25a	0,19b
TEST	3,4b	2,8d	249a	184b	183d	187b	59b	46d	0,17b	0,17c
CV %	3,4	2,4	1,2	1,9	0,6	1,6	2,8	1,6	12,4	8,57

Médias seguidas da mesma letra na coluna não diferem entre si de acordo com o teste de Tukey a nível de 5% de probabilidade. Cobre (Cu), ferro (Fe), manganês (Mn) e zinco (Zn) determinados por fluorescência de raios X de energia dispersiva (EDXRF), em aparelho modelo EDX-720 Shimadzu (TEZOTTO et al., 2013) e silício (Si) determinado pelo método amarelo, conforme Elliott e Snyder (1991)

A concentração de cobre (Cu) na matéria seca da parte aérea dos tratamentos CN (Tabela 11) foi 28,2% maior no SILIC-CN que a do TEST-CN. Nos tratamentos com CAQ incubada o incremento foi menor e não influenciado pelo tempo de incubação. As concentrações de ferro (Fe), manganês (Mn) e zinco (Zn) no SILIC-CN mantiveram a mesma tendência já verificada nas da massa de matéria seca de raízes, e foram 14,67 %, 52,94 % e 54,35 % menores, respectivamente, que as do TEST-CN e menores, também, que as dos demais tratamentos. As concentrações de ferro (Fe), manganês (Mn) e silício (Si) nos tratamentos com CAQ não foram incrementadas em função do tempo de incubação do resíduo ao solo. No entanto observa-se que as concentrações de ferro (Fe) e silício (Si) no CAQ45AS-CN foram, respectivamente, 14,42 % e 34,62 % superiores às do TEST-CN. A concentração de zinco (Zn) variou de forma positiva e diretamente proporcional ao tempo de incubação da CAQ ao solo, sendo 36,99 % superior no tratamento com maior tempo de incubação, em relação a do TEST-CN. A concentração de silício (Si) no SILIC-CN foi 10,52 % superior a do TEST-CN.

As concentrações de manganês (Mn), zinco (Zn) nas raízes e também de ferro (Fe) na parte aérea foram menores em todos os tratamentos com silicato de cálcio e magnésio. Portanto não são efeito da infecção das raízes pelos nematoides e sim devidos aos menores teores dos mesmos no solo (Tabela 9), que diferiram significativamente em relação ao dos demais tratamentos, em decorrência da elevação do pH. Os maiores teores de cálcio (Ca) e magnésio (Mg) no solo, pelo efeito de concentração podem, também, terem contribuído para a menor absorção dos micronutrientes em questão, apesar de não diferirem na força de interação iônica com os transportadores da membrana plasmática (MALAVOLTA, 1980; HAFEEZ; KHANIF; SALEEM, 2013).

As concentrações de silício (Si) na planta em todos os tratamentos foram maiores que 1 g kg⁻¹ de massa seca, portanto dentro da faixa de normalidade para culturas não acumuladoras do nutriente (EPSTEIN; BLOOM, 2004). Porém foram consideravelmente menores nos tratamentos CN, e com maior concentração na parte aérea da planta (69,23% do total) e maiores nos tratamentos SN, nos quais a maior concentração ocorreu nas raízes (61,45 % do total).

Analisando-se as concentrações de silício (Si) nas plantas dos tratamentos SILIC CN e SN (Tabelas 10 e 11), e os respectivos teores de silício (Si) solúvel no solo ao final do experimento (Tabela 9), observa-se que o teor no solo foi maior que dos demais tratamentos, porém o incremento nas concentrações nas plantas foi pequeno e pouco superior ao dos demais tratamentos. Isto nos leva a supor que as diferenças nas concentrações de silício (Si) na massa de matéria seca dos tratamentos com nematoides (CN) não sejam devidas à baixa disponibilidade do nutriente no solo mas sim efeito da infestação do referido patógeno no solo. Possivelmente no início do ciclo cultural e antes da inoculação dos nematoides, os níveis de absorção tenham sido maiores, o que é característico nas plantas não acumuladoras de Si (OLIVEIRA, 2009). Supõe-se que com a infecção das raízes, os nematoides possam ter induzido a planta a reagir e desenvolver maior número de raízes secundárias que, inicialmente mantiveram o ritmo normal de absorção. Porém, com o aumento da população de nematoides e o desenvolvimento das galhas e massas de ovos em todo o sistema radicular, provavelmente, o mesmo tenha perdido parte de sua capacidade de absorção. Em pesquisa realizada com tomateiros infectados por *Meloidogyne javanica*, Oteifa e Elgindi (1962) citados por Carneiro e Mazaffera (2001) observaram semelhante reação das plantas, em relação a absorção de fósforo (P). O menor teor de água disponível no solo também pode ter contribuído para reduzir, em todos os tratamentos, ainda mais a taxa de absorção de Si, visto que nas culturas não acumuladoras de Si o mesmo é absorvido de forma passiva, por difusão ou fluxo de massa, em velocidade menor que a da absorção de água (OLIVEIRA, 2009).

3.3.2 Componentes biométricos

Os componentes biométricos analisados foram a massa de matéria fresca de raiz por planta (MMF), o comprimento da raiz principal e a área foliar.

A massa de matéria fresca de raiz por planta (MMF) e o comprimento da raiz principal nos tratamentos sem inoculação de nematoides (SN), (Tabela 12) apresentaram a mesma tendência. Em todos os tratamentos com CAQ destacaram-se positivamente em relação ao SILIC-SN. Apenas no tratamento CAQ90AS-SN observou-se, para as três variáveis, valores iguais ou superiores aos do TEST-SN.

A área foliar dos três tratamentos com CAQ SN não diferiram do TEST-SN, já no tratamento SILIC-SN o valor foi menor que o dos outros tratamentos.

Tabela 12 - Massa de matéria fresca da raiz¹ (MMF), comprimento da raiz principal² e Área foliar³ de cenoura Nantes em solo + casca de arroz queimada com 90, 45 e zero dias de incubação (CAQ90AS; CAQ45AS e CAQ00DS), solo + silicato de cálcio de magnésio (SILIC) e somente solo (TEST), com inoculação de 10.000 ovos+J2 de *Meloidogyne javanica* por planta (CN) e sem inoculação (SN)

Tratamento	MMF (g)		Comprimento (cm)		Área foliar (cm ²)	
	SN	CN	SN	CN	SN	CN
CAQ90AS	86,9ab	88,2a	16,0a	15,2a	347,1a	408,7a
CAQ45AS	61,9c	74,3ab	13,2c	14,1a	364,8a	397,1ab
CAQ00DS	76,3bc	69,0b	13,7c	14,1a	332,2ab	406,2a
SILIC	47,0d	33,4d	11,1d	10,4b	277,5b	266,4c
TEST	90,2a	62,4c	15,1b	9,9b	368,7a	374,9b
CV %	18,6	16,6	7,4	19,1	19,5	8,0

¹Média por planta na repetição; ²Média por repetição; ³ Determinada através do scanner de folhas Licor, modelo LI- 3100. Médias seguidas da mesma letra na coluna não diferem entre si de acordo com o teste de Tukey: 5%; ^{ns} não significativo a 5% de probabilidade

A MMF nos tratamentos com inoculação de nematoides (CN) e incubação de CAQ foi consideravelmente superior a do TEST-CN e SILIC-CN. Verifica-se em relação a variável comprimento de raízes, que as raízes dos tratamentos com incubação de CAQ cresceram, na média 29,84% mais em comprimento que as do SILIC-CN e TEST-CN, que não diferiram entre si.

A variável Área foliar nos três tratamentos CN com incubação de CAQ apresentou valores significativamente maiores que as do SILIC-CN e maiores que a do TEST-CN, exceto a do que foi equivalente a do TEST-CN.

Analisando os resultados relativos aos componentes biométricos das plantas dos tratamentos CN e SN com silicato de Ca e Mg (Tabela 12) conjuntamente com as concentrações de micronutrientes nas plantas nestes tratamentos (Tabelas 10 e 11) evidencia-se que o desequilíbrio nutricional e as baixas concentrações de Zn e Mn, essenciais à fotossíntese (MARSCHNER; ÇAKMAK, 1989; MARSCHNER, 1995) possam ter sido as causadoras do menor desenvolvimento das plantas, principalmente das raízes nestes tratamentos.

Nos tratamentos com CAQ CN verificou-se efeito positivo do uso da CAQ, independente do tempo de incubação nos componentes biométricos das raízes e da parte aérea. Como já discutido anteriormente, supõe-se que as plantas possam ter reagido à infecção inicial dos nematoides e desenvolvido maior número e/ou comprimento de raízes secundárias, que aliado a ausência de desequilíbrios nos teores de nutrientes disponíveis na solução do solo (Tabelas 8 e 9) propiciaram, em graus diversos uma absorção de nutrientes maior e mais equilibrada. Com o aumento do grau de infecção, no entanto as taxas podem ao longo do ciclo terem sido reduzidas. Efeitos positivos e diretamente proporcionais a aplicação de doses crescentes de casca de arroz queimada (zero a 100 Mg ha⁻¹) na altura, massa seca da parte aérea e diâmetro do colmo de plantas de milho, sem presença de nematoides, foram verificados por Donegá et al. (2011). Atribuíram tais efeitos as mudanças promovidas pela CAQ nos atributos químicos do solo, nos quais verificaram aumento no pH e disponibilidade de Ca, Mg, P e K.

Na Figura 13 são apresentadas imagens de duas raízes principais de cenoura de cada um dos tratamentos sem inoculação de nematoides (SN). Imagens de algumas raízes representativas dos tratamentos com inoculação de nematoides (CN) são apresentadas na Figura 14, junto aos dados relativos aos resultados da infecção pelo patógeno.

Figura 13 - Raízes de cenoura dos tratamentos sem inoculação de nematoides (SN) com: (A) casca de arroz queimada incubada 90 dias antes da semeadura, (B) casca de arroz incubada 45 dias antes da semeadura, (C) casca de arroz queimada aplicada no dia da semeadura, (D) silicato de cálcio e magnésio, (E) testemunha absoluta

Fonte: Rosemari Kerber Aires (2012)

3.3.3 Componentes de rendimento e qualidade das raízes

Os dados das massas de matéria fresca de raízes comercializáveis (MFCOM) e massas de matéria fresca de raízes não comercializáveis (MFNCOM) nos tratamentos sem inoculação de nematoides (SN) e com inoculação de nematoides (CN) são apresentados na Tabela 13.

Tabela 13 - Massa de matéria fresca¹ de raízes comercializáveis (MFCOM) e não comercializáveis (MFNCOM) de cenoura Nantes em solo + casca de arroz queimada com 90, 45 e zero dias de incubação (CAQ90AS; CAQ45AS e CAQ00DS), solo + silicato de cálcio de magnésio (SILIC) e somente solo (TEST), com inoculação de 10.000 ovos+J2 de *Meloidogyne javanica* por planta (CN) e sem inoculação (SN)

Tratamento	SN		CN	
	MFCOM	MFNCOM ^{ns}	MFCOM	MFNCOM
	----- g -----			
CAQ90AS	80,87a	6,06	88,22 a	0b
CAQ45AS	51,53ab	10,60	57,52ab	16,75ab
CAQ00DS	68,66ab	7,65	56,13ab	12,84ab
SILIC	25,57b	21,4	4,72c	28,69ab
TEST	90,24a	0	18,03bc	44,33a
CV %	40,42	86,07	74,64	81,83

¹ Média por planta na repetição. Médias seguidas da mesma letra na coluna não diferem entre si de acordo com o teste de Tukey a nível de 1%; ^{ns} não significativo a 5% de probabilidade

A massa de matéria fresca de raízes comercializáveis (MFCOM) nos tratamentos com incubação de CAQ sem inoculação de nematoides (SN) (Tabela 13), não diferiu da produzida no tratamento TEST-SN. A menor MFCOM entre os tratamentos SN, foi a do SILIC-SN, equivalente a apenas 28,34% da MFCOM da do TEST-SN. A massa de matéria fresca de raízes não comercializáveis (MFNCOM) entre os tratamentos SN não diferiu significativamente. A MFCOM nos tratamentos SN e com incubação de CAQ, em relação ao total de massa de matéria fresca (MMF) produzida nos referidos tratamentos (Tabela 12), atingiu percentuais superiores a 82%, chegando a 93% no CAQ90AS-SN. Já a relação MFCOM/MMF no SILIC-SN apresentou percentual de 54%, bem inferior aos apresentados pelos tratamentos com uso de CAQ, o que reforça que as plantas cuja fonte de silício (Si) foi o silicato de Ca e Mg tiveram o desenvolvimento, principalmente das raízes, comprometido.

A MFCOM nos tratamentos CN com CAQ incubada foram superiores a do tratamento SILIC-CN. O valor da variável neste tratamento foi 92,98% menor do que a média dos 3 tratamentos com incubação de CAQ. Quando a fonte de silício foi a CAQ, apenas a produção de MFCOM do tratamento CAQ90AS-CN foi maior que a do TEST-CN, com 79,56% de aumento efetivo (Tabela 13). Estes resultados evidenciam que o efeito do tempo de incubação da CAQ nos incrementos de MFCOM em plantas de cenoura possa ser, hipoteticamente maior, para períodos de incubação superiores a noventa dias. A MFNCOM do CAQ90AS-CN foi a única que apresentou diferença significativa em relação a MFNCOM dos demais tratamentos CN. A relação MFCOM/MMF alcançou percentual superior a 77% e chegou a 100% no CAQ90AS-CN. No tratamento SILIC-CN a presença dos nematoides fez com as plantas desenvolvessem as raízes com menores MFCOM e MMF. A relação entre as duas variáveis no SILIC-CN foi de 14,13%, menor inclusive que a do TEST-CN cujo percentual foi de 28,91%. O uso da CAQ nos três tempos de incubação incrementou significativamente os percentuais de

MFCOM em relação ao total de MMF. Os resultados observados nos tratamentos SILIC CN e SN se mostram coerentes com o menor desenvolvimento das plantas, principalmente raízes, conforme discutido anteriormente.

Em relação ao uso do SILIC notou-se que a dose utilizada limitou a produção de MFCOM e também a MMF. O silicato de Ca e Mg reduz a massa de raízes dependendo da dose aplicada, como observado nas raízes de hortaliças por Freire (2007), para a dose de 4 g dm⁻³ e nas raízes de cafeeiro por Ribeiro, Silva e Augusto (2011), com uso de silicato de Ca na dose de 3 g dm⁻³ de solo, ambas menores que a utilizada nesta pesquisa.

Os dados relativos ao Índice de massa de ovos da raiz principal (IMORP), índice de massa de ovos das raízes secundárias (IMORS), número de nematoides em 1 grama de raízes secundárias, número de digitamentos na raiz principal e índice de galhas (IG) são apresentados na Tabela 14.

O índice de massa de ovos na raiz principal (IMORP) foi superior a 2 em todos os tratamentos sem haver diferença significativa no IMORP dos tratamentos SILIC-CN e TEST-CN e do deste em relação ao do CAQ00DS-CN. O maior tempo de incubação da CAQ no solo promoveu redução no IMORP, no índice de massa de ovos nas raízes secundária (IMORS) e no número de nematoides por grama de raízes secundárias (NIRS). O número de digitamentos na raiz principal (NDIG) não diferiu entre os tratamentos com ambas as fontes de silício (Si), mas em todos estes tratamentos foi menor que o do testemunha.

Tabela 14- Índice de massa de ovos da raiz principal (IMORP), índice de massa de ovos das raízes secundárias (IMORS), número de nematoides nas raízes secundárias (NIRS), número de digitamentos na raiz principal (NDIG) e índice de galhas (IG) em cenoura Nantes com inoculação de 10.000 ovos+J2 de *Meloidogyne javanica* por planta em solo + casca de arroz queimada com 90, 45 e zero dias de incubação (CAQ90AS-CN; CAQ45AS-CN e CAQ00DS-CN), solo + silicato de cálcio e magnésio (SILIC-CN) e somente solo (TEST-CN)

Tratamento	IMORP*	IMORS*	NIRS(nº g raiz ⁻¹)**	NDIG**	IG**
CAQ90AS-CN	2,08c	5,67bc	4552d	0,00b	3,25a
CAQ45AS-CN	2,17bc	5,83ab	5703b	0,50b	3,08a
CAQ00DS-CN	2,33abc	6,25ab	5333c	0,75b	3,33a
SILIC-CN	2,92a	4,75c	4187e	1,00b	3,58a
TEST-CN	2,75ab	6,83a	12044a	8,25a	3,92a
CV %	15,11	10,97	2,7	164,66	9,93

Médias seguidas da mesma letra na coluna não diferem entre si de acordo com o teste de Tukey: * 5% e ** 1%, nas variáveis NIRS e NDIG e de acordo com Duncan (5%), no IMORP, IMORS e IG; IMO: 1= sem massa de ovos; 2= 1 a 4 massas de ovos; 3= 5 a 10 massas de ovos; 4= 11 a 30 massas de ovos; 5= 31 a 60 massas de ovos; 6= 61 a 120 massas de ovos e; 7= mais de 120 massas de ovos. IG: 0= raízes sem galhas; 1= raiz principal (rp) sem galhas e raízes secundárias (rs) com ≤ 10 galhas pequenas; 2= ≤ 10 galhas pequenas em ambas as raízes; 3= rp com ≤ 10 galhas pequenas e rs > 10 galhas; 4= rp e rs > de 10 galhas cada; e 5= rp e rs com > de 10 galhas cada, além de deformações na raiz principal

Observa-se que os menores IMORS e NIRS são os do SILIC-CN, o que é plenamente justificável em virtude de que neste tratamento houve menor desenvolvimento do sistema radicular, possivelmente efeito da dose de silicato de cálcio e magnésio utilizada, conforme já discutido. Verificou-se efeito redutivo do tempo de incubação da CAQ sobre o NIRS, que diferiu em todos os tratamentos. O IMORP do tratamento com CAQ incorporada na semente juntamente com o do TEST-CN e do SILIC-CN foram significativamente maiores que os observados nos dois tratamentos com CAQ incubada por mais tempo. Observa-se em relação ao número de digitamentos (NDIG) que não houve efeito diferenciado entre a CAQ e o silicato de cálcio e magnésio, no entanto, em todos os tratamentos foi bem menor que o do TEST. O índice de galhas (IG) não diferiu estatisticamente entre tratamentos, mas pela observação visual das raízes, por ocasião de sua classificação, eram visíveis as diferenças, nesta e nas demais variáveis do componente rendimento e qualidade das raízes.

Os resultados apresentados na Tabela 14 e as imagens apresentadas nas Figuras 14 e 15, representativas de cada um dos tratamentos com inoculação de nematoides (CN), evidenciam que o efeito positivo da CAQ em relação aos nematoides e os danos gerados pelos mesmos, depende do tempo de incubação. No tratamento com maior tempo de incubação de CAQ, os valores das variáveis IMORP, IMORS e NDIG foram significativamente menores, o que pode explicar, em parte, as maiores porcentagens de raízes comercializáveis em relação ao SILIC-CN e TEST-CN. Possivelmente o silício (Si) do silicato de Ca e Mg, assim como o da CAQ, presente no solo (Tabela 9), tenha inicialmente reduzido a população de nematoides no solo ou sua mobilidade, retardando a infecção inicial das raízes. Outra explicação é de que o Si absorvido, mesmo com pequena diferença em relação à testemunha, tenha diminuído a capacidade reprodutiva dos nematoides nas raízes. Silva et al. (2009) sugerem que o silício (Si) do silicato de cálcio pode aumentar a resistência à *Meloidogyne exigua* em cafeeiros, diminuindo a capacidade reprodutiva desse nematoide nas raízes, pelo aumento da produção de lignina e pela maior atividade das peroxidases, polifenoloxidasas e fenilalanina amonialiasas. Freire (2007), nas culturas de pepino, alface e tomate e *Meloidogyne javanica* verificou efeitos positivos do uso de silicato de cálcio e magnésio nas doses de um e dois gramas por dm^{-3} , na redução do número de galhas. Já a dose de quatro gramas por dm^{-3} promoveu maior redução no número de ovos, porém causou redução no desenvolvimento de raízes, principalmente finas. Resultados positivos do uso de CAQ na redução dos níveis populacionais de *Meloidogyne javanica* e incremento na produção, foram relatados por Sen e Dasgupta (1981), na cultura do tomate e por Gergon et al. (2001), na cultura da cebola. Mendonça et al. (2013) trabalhando com CAQ na cultura do trigo observaram aumento de fenóis totais e compostos de defesa da

planta na parte aérea do trigo, com comportamento linear crescente para doses de zero a 2.500 kg ha⁻¹ de CAQ, em função do acúmulo de silício (Si) nas folhas, que também apresentou comportamento linear crescente. Também observaram efeitos positivos no número de grãos por planta e matéria seca da planta.

Figura 14 – Raízes de cenoura dos tratamentos com inoculação de nematoides (CN) com: (A) casca de arroz queimada incubada 90 dias antes da semeadura, (B) casca de arroz incubada 45 dias antes da semeadura, (C) casca de arroz queimada aplicada no dia da semeadura, (D) silicato de cálcio e magnésio, (E) testemunha relativa

Fonte: Rosemari Kerber Aires (2012)

Figura 15 - Detalhes raízes de uma planta do tratamento testemunha com inoculação de nematoides: (A) principal com digitamentos, (B) secundárias com massas de ovos e galhas, inclusive gigantes, (C) galhas gigantes e massas de ovos ampliadas 70

Fonte: Rosemari Kerber Aires (2012)

3.4 Conclusões

A aplicação de 13 g dm^{-3} de matéria seca de casca de arroz queimada, incubada por 90 dias no solo mantém a produtividade da cenoura, em solo infestado por *Meloidogyne javanica*, com aumento da massa de matéria fresca das raízes comercializáveis equivalente a 3,9 vezes a do tratamento testemunha.

O silicato de cálcio e magnésio, na dose de 5 g dm^{-3} aumenta o pH do solo, o que diminui a absorção de Mn e Zn e, conseqüentemente o desenvolvimento das raízes da cenoura, reduzindo a massa de matéria fresca das raízes comercializáveis.

A casca de arroz queimada e o silicato de cálcio e magnésio, nas doses usadas na pesquisa, não aumentam a concentração de silício (Si) nas plantas de cenoura.

Referências

ALCARDE, J.C. **Corretivos da acidez dos solos:** características e interpretações técnicas. São Paulo: ANDA, 2005. 24 p. (Boletim Técnico, 6).

AGÊNCIA NACIONAL DE VIGILÂNCIA SANITÁRIA. **Programa de Análise de Resíduos de Agrotóxicos em Alimentos (PARA):** monitoramento de resíduos de agrotóxicos nos alimentos. Relatório de Atividades de 2011 e 2012. Brasília, 2013. 45 p. Disponível em: <http://portal.anvisa.gov.br/wps/wcm/connect/d480f50041ebb7a09db8bd3e2b7e7e4d/Relat%C3%B3rio%2BPARA%2B2011-12%2B-%2B30_10_13_1.pdf?MOD=AJPERES>. Acesso em: 20 dez. 2013.

BONETTI, J.I.S.; FERRAZ, S. Modificação do método de Hussey e Barker para extração de ovos de *Meloidogyne exigua* do cafeeiro. **Fitopatologia Brasileira**, Brasília, v. 6, n. 3, p. 553, out. 1981.

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. **AGROFIT:** Sistema de Agrotóxicos Fitossanitários. Brasília, 2013. Disponível em: <http://agrofit.agricultura.gov.br/agrofit_cons/principal_agrofit_cons>. Acesso em: 15 fev. 2013.

CARNEIRO, R.G. **Efeitos de *Meloidogyne incognita* raça 3 e *M. javanica* sobre a absorção e translocação de nitrogênio, fósforo e cálcio e sobre a partição de carbono em cultivares de soja.** 2000. 96 p. Tese (Doutorado em Fitopatologia) - Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiróz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2000.

CARNEIRO, R.G.; MAZAFFERA, P. Relação fonte-dreno e absorção e transporte de minerais em plantas infectadas por nematoides. In: SILVA, J.F.V. (Org.). **Relações parasito-hospedeiro nas meloidoginoses da soja.** Londrina: Embrapa Soja; Sociedade Brasileira de Nematologia, 2001. cap. 3, p. 67-93. Disponível em: http://livraria.sct.embrapa.br/liv_resumos/pdf/00075980.pdf. Acesso: 03 abr. 2014.

CHARCHAR, J.M. **Nematóides em hortaliças.** Brasília: Embrapa Hortaliças, 1999. 12 p. (Embrapa Hortaliças. Circular Técnica, 18).

CHARCHAR, J.M.; VIEIRA, J.V. **Metodologia para seleção de hortaliças com resistência a nematoides:** cenoura/*Meloidogyne* spp. Brasília: Embrapa Hortaliças, 2001. 4 p. (Embrapa Hortaliças. Comunicado Técnico, 16).

CHARCHAR, J.M.; GONZAGA, V.; VIEIRA, J.V. **Controle de nematóides em cenoura na região norte de Minas Gerais.** Brasília: Embrapa Hortaliças, 1999. 6 p. (Pesquisa em Andamento, 28). Disponível em <<http://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/bitstream/doc/769857/1/pa28.pdf>>. Acesso em: 18 nov. 2011.

DAVIS, R.M.; RAID, R.N. **Compendium of umbelliferous crop diseases.** St. Paul: American Phytopathological Society, 2002. 75 p.

DELLA, V.P.; KUHN, I.; HOTZA, D. Reciclagem de resíduos agro-industriais: cinza de casca de arroz como fonte alternativa de sílica. **Cerâmica Industrial**. São Paulo, v. 10, n. 2, p. 22-25, mar./abr. 2005. Disponível em: <http://www.ceramicaindustrial.org.br/pdf/v10n02/Publicado_v10n2a03.pdf>. Acesso em: 18 nov. 2012.

DONEGÁ, M.A.; VOLK, L.B.S.; NOLLA, A.; GAVIOLLI, T.O. Atributos químicos do solo e crescimento inicial de plantas de milho em latossolo arenoso com adição de cinza de casca de arroz. *Revista de Agricultura*, Piracicaba, v. 86, n. 3, p. 192 - 199, 2011.

DUTRA, M.R. **Controle de nematoides de galhas (*Meloidogyne* spp.) com silicatos, em feijoeiro (*Phaseolus vulgaris* L.), tomateiro (*Lycopersicon esculentum* Mill) e cafeeiro (*Coffea arabica* L.)**. 2004.110 p. Tese (Doutorado em Fitopatologia) - Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2004.

EMBRAPA. **Manual de análises químicas de solos, plantas e fertilizantes**. 2. ed. Brasília: EMBRAPA Informação Tecnológica, 2009. 627 p.

ELLIOTT, C.L.; SNYDER, G.H. Autoclave-induced digestion for the colorimetric determination of silicon in rice straw. *Journal of Agricultural Food Chemistry*, Washington. v. 39, n.6, p. 1118-1119, 1991.

EPSTEIN, E.; BLOOM, A.J. **Nutrição mineral de plantas: princípios e perspectivas**. Tradução de M.E.T. Nunes. Londrina: Planta, 2004. 403 p.

FERRAZ, S.; FREITAS, L.G de; LOPES, E.A.; DIAS-ARIEIRA, C.R. **Manejo sustentável de fitonematoides**. Viçosa: UFV, 2010. 304 p.

FREIRE, E.S. **Controle de nematoides de galhas (*Meloidogyne* spp.) e do cisto (*Heterodera glycines*) com silicato**. 2007. 90 p. Dissertação (Mestrado em Fitopatologia) - Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2007.

GERGON, E.B.; MILLER, S.A.; DAVIDE, R.G.; OPINA, O.S.; OBIEN, S.R. Evaluation of cultural practices (surface burning, deep ploughing, organic amendments) for management of rice root-knot nematode in rice-onion cropping system and their effect on onion (*Allium cepa* L.) yield. *International Journal of Pest Management*, London, v. 47, n. 4, p. 265–272, Oct./Dec. 2001. Disponível em: <<http://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/09670870110047118#.U1yLMvldVKU>>. Acesso em: 10 jan. 2012

HAFAEEZ, B.; KHANIF, Y.M.; SALEEM, M. Role of zinc in plant nutrition: a review. *American Journal of Experimental Agriculture*, New Castle, v. 3, n. 2, p. 374-391, Apr./June 2013. Disponível em: <<http://www.sciencedomain.org/issue.php?iid=203&id=2>>. Acesso em: 20 abr. 2014.

HUANG, C.S.; CHARCHAR, J.M. Preplanting inoculum densities of root-knot nematode related to carrot yield in greenhouse. *Plant Disease*, Beltsville, v. 66, n. 11, p. 1064-1066, 1982.

HUANG, S.P.; MIRANDA, J.E.C.; MALUF, W.R. Resistance to root-knot nematodes in a Brazilian sweet potato collection. *Fitopatologia Brasileira*, Brasília, v. 11, p. 761-767, 1986.

ISLABÃO, G.O. **Uso da cinza de casca de arroz como corretivo e condicionador do solo**. 2013. 84 p. Tese (Doutorado em Agronomia) - Faculdade de Agronomia, Universidade Federal de Pelotas, Pelotas, 2013.

JENSEN, M.E. (Ed.) **Consumptive use of water and irrigation water requirements**. New York: American Society of Civil Engineers, 1973. 215p.

JENKINS, WR. A rapid centrifugal-flotation technique for separating nematodes from soil. **Plant Disease Reporter**, New Brunswick, v. 48, n. 9, p. 692, 1964.

LAUGHLIN, C.W.; LORDELLO, L.G.E. Sistemas de manejo de nematóides: relações entre a densidade de população e os danos à planta. **Nematologia Brasileira**, Piracicaba, v. 2, p. 15-24, 1977.

LORDELLO, L.G.E. **Nematóides das plantas cultivadas**. 8. ed. São Paulo: Nobel, 1992. 314 p.

LIMA, P.H. de. **Resíduos agroindustriais como fonte de silício para a cultura do milho**. 2012. 47 p. Dissertação (Mestrado em Agroecologia e Desenvolvimento Rural) – Centro de Ciências Agrárias, Universidade Federal de São Carlos, Araras, 2012.

MALAVOLTA, E. **Elementos de nutrição mineral de plantas**. Piracicaba: Agronômica Ceres, 1980. 251 p.

MARQUELLI, W.A.; SILVA, H.R. da; SILVA, W.L.C. Procedimento simplificado para o manejo de água em hortaliças irrigadas por aspersão. In: PEREIRA, L.S.; VICTORIA, F.R.B.; PAREDES, P.; GARCÍA, M.; PALACIOS, E.; TORRECILLAS, A. (Ed.). **Tecnologias para o uso sustentável da água em regadio**. Lisboa: Edições Colibri; Centro de Engenharia dos Biosistemas, 2010. p. 73-75.

MARSCHNER, H. **Mineral nutrition of higher plants**. 2nd ed. London: Academic Press, 1995. 889 p.

MARSCHNER, H.; ÇAKMAK, I. High light intensity enhances chlorosis and necrosis in leaves of zinc, potassium and magnesium deficient bean (*Phaseolus vulgaris*) plants. **Journal of Plant Physiology**, Stuttgart, v. 134, p. 308-315, 1989.

MATOS, D.S.S.; PEDROSA, E.M.R.; RODRIGUES, C.V.M.A.; MEDEIROS, J.E.; BARBOSA, N.M.R. Relações entre comunidade de nematoides e características químicas do solo em áreas cultivada com cana-de-açúcar. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE NEMATOLOGIA, 28.; CONGRESSO INTERNACIONAL DE NEMATOLOGIA TROPICAL, 2., 2009, Maceió. **Anais eletrônicos...** Maceió: CECA; UFAL; Embrapa Recursos Genéticos e Biotecnologia, 2009 p. 337. Disponível em: <<http://docentes.esalq.usp.br/sbn/nbonline/ol%20334/286-436%20co.pdf>>. Acesso em: 12 jan. 2012.

MENDONÇA, A.O. de; TAVARES, L.C.; BRUNES, A.P.; MONZÓN, D.L.R.; VILLELA, F.A. Acúmulo de silício e compostos fenólicos na parte aérea de plantas de trigo após a adubação silicatada. **Bioscience Journal**, Uberlândia, v. 29, n. 5, p. 1154 –1162, set./out. 2013.

MICHEREFF, S.J.; DOMINGOS, E.G.T.; ANDRADE, M.M. (Ed.). **Ecologia e manejo de patógenos radiculares em solos tropicais**. Recife: UFRPE, Imprensa Universitária, 2005. 398 p.

MITKOWSKI, N.A.; ABAWI, G.S. **Nematoide das galhas**. Tradução de E.A. Lopes, R. Dallemole-Giaretta e B.S.Vieira. 2011. Disponível em: <<http://www.apsnet.org/edcenter/intropp/lessons/Nematodes/Pages/RootknotNematodePort.aspx>>. Acesso em: 17 jan. 2012.

NASU, E.G.C.; FORMENTINI, H.M.; CRUZ, M.I.F.; FURLANETTO, C. Effect of manipueira, liquid waste produced by the cassava industry, on the control of *Meloidogyne incognita* on tomato crop cultivate in the summer season. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE NEMATOLOGIA, 28.; CONGRESSO INTERNACIONAL DE NEMATOLOGIA TROPICAL, 2., 2009, Maceió. **Anais eletrônicos...** Maceió: CECA; UFAL; Embrapa Recursos Genéticos e Biotecnologia, 2009. p. 442. Disponível em: <<http://docentes.esalq.usp.br/sbn/nbonline/ol%20334/286-436%20co.pdf>>. Acesso em: 12 jan. 2012.

NEVES, W.S.; LOPES, E.A.; FERNANDES, R.H.; GIARETTA, R.D.; PARREIRA, D.F. **Nematoides na cultura da cenoura**: sintomas, disseminação e principais métodos de controle. Belo Horizonte: EPAMIG, 2011. 4 p. (EPAMIG, Circular Técnica, 133).

NOE, J.P.; BARKER, K.R. Relation of within-field spatial variation of plant-parasitic nematode population densities and edaphic factors. **Phytopathology**, Saint Paul, v. 75, p. 247-252, 1985.

OLIVEIRA, L.A. **Uso de silício em plantas de feijão e arroz**: absorção, transporte, redistribuição e tolerância ao cádmio. 2009. 157 p. Tese (Doutorado em Energia Nuclear na Agricultura e Ambiente) - Centro de Energia Nuclear na Agricultura, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2009.

OLIVEIRA, R.M.; RIBEIRO, R.C.F.; XAVIER, A.A.; PIMENTA, L.; KORNDÖRFER, G.H. Efeito do silicato de cálcio e magnésio sobre a reprodução de *Meloidogyne javanica* e desenvolvimento de mudas de bananeira prata-anã. **Revista Brasileira de Fruticultura**, Jaboticabal, v. 34, n. 2, p. 409-415, jun. 2012.

OLIVEIRA, S. de. **Silício oriundo da cinza de casca de arroz carbonizada como promotor do rendimento e da qualidade fisiológica de sementes de soja**. 2013. 69 p. Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia de Sementes) - Universidade Federal de Pelotas, Pelotas, 2013.

PEIXOTO, L.A.; ALVES, F.R.; MORAES, W.B.; BELAN, L.L. Quantificação de danos em alface causado por diferentes níveis de *Meloidogyne incognita* em diferentes tipos de solo. **Enciclopédia Biosfera**, Goiânia, v. 7, n. 12, p. 1-12, 2011.

PEREIRA, H.S.; KORNDÖRFER, G.H.; MOURA W.F.; CORRÊA, G.F. Extratores de silício disponível em escórias e fertilizantes. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.27, n.2, p.265-274. 2003.

PINHEIRO, J.B.; HENZ, G.P. **Manejo do nematoide-das-galhas (*Meloidogyne* spp.) na cultura da cenoura**. Brasília: Embrapa Hortaliças, 2008. 7 p. (Embrapa Hortaliças. Comunicado Técnico, 55).

PINHEIRO, J.B.; CARVALHO, A.D.F. de; PEREIRA, R.B. **Ocorrência e manejo de nematoides em apiáceas**. Brasília: Embrapa Hortaliças, 2012. 13 p. (Embrapa Hortaliças. Circular Técnica, 103). Disponível em: <<http://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/handle/doc/942354>>. Acesso em: 01 dez. 2012.

PINHEIRO, J.B.; CARVALHO, A.D.F. de; VIEIRA, J.V. **Manejo do nematoide-das-galhas (*Meloidogyne* spp.) em cultivos de cenoura na região de Irecê - BA**. Brasília: Embrapa Hortaliças, 2010. 6 p. (Embrapa Hortaliças. Comunicado Técnico, 77).

POZZA, A.A.A.; CURI, N.; GUILHERME, L.R.G.; MARQUES, J.J.G.S.M.; ENIO T. S.; COSTA, E.T.S.; ZULIANI, D.Q.; MOTTA, P.E.F.; MARTINS, R.S.; OLIVEIRA, L.C.A. Adsorção e dessorção aniônicas individuais por gibbsita pedogenética. **Química Nova**, v.32, n.1, p. 99-105, 2009.

R DEVELOPMENT CORE TEAM. **R: a language and environment for statistical computing**. Vienna: R Foundation for Statistical Computing, 2011. Disponível em: <<http://www.R-project.org>>. Acesso em: 12 mar. 2014.

RAIJ, B. van; ANDRADE, J.C.; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J.A.(org.) **Análise química para avaliação da fertilidade de solos tropicais**. Campinas: Instituto Agrônomo, 2001. 284p.

RIBEIRO, R.V.; SILVA, L. da; AUGUSTO, R. O alto teor de silício no solo inibe o crescimento radicular de cafeeiros sem afetar as trocas gasosas foliares. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 35, n. 3, p. 939-948, 2011.

ROSA, J.M.O.; WESTERICH, J.N.; WILCKEN, S.R.S. Nematoides das galhas em áreas de cultivo de olerícolas no estado de São Paulo. **Nematologia Brasileira**, Piracicaba, v. 37, n. (1/2), p. 15-19, mar./jun. 2013. Disponível em: <<http://docentes.esalq.usp.br/sbn/nbonline/ol%203712/15-19%20co.pdf>>. Acesso em: 20 fev. 2014.

SAS INSTITUTE. **SAS: user's guide**. 8th ed. Cary, 2000.

SEN, K.; DASGUPTA, M.K. Effect of rice hull ash on root-knot nematodes in tomato. **Tropical Pest Management**, London, v. 27, n. 4, p. 518, Dec. 1981.

SENA, E.S.; PONTE, J.J. da. A manipueira no controle da meloidoginose da cenoura. In: REUNIÃO BRASILEIRA DE NEMATOLOGIA, 6., 1982, Fortaleza. **Trabalhos apresentados...** Piracicaba: Sociedade Brasileira de Nematologia, 1982. p. 95-98.

SIKORA, R.A.; FERNÁNDEZ, E. Nematode parasites of vegetables. In: LUC, M.; SIKORA, R.A.; BRIDGE, J. (Ed.). **Plant parasitic nematodes in subtropical and tropical agriculture**. 2nd ed. London: CAB International, 2005. chap. 9, p. 319-392.

SILVA, M.G. **Efeito da solarização e da adubação do solo sobre artrópodes, nematoides, atributos do solo e na produtividade de alface em cultivo protegido**. 2006. 136 p. Dissertação (Mestrado em Ciências Agrárias) - Faculdade de Agronomia e Medicina Veterinária, Universidade de Brasília, Brasília, 2006.

SILVA, R.V.; OLIVEIRA, R.D.L.; NASCIMENTO, K.J.T.; RODRIGUES, F.Á. Biochemical responses of resistant coffee to *Meloidogyne exigua* mediated by silicone. = Respostas de defesa do cafeeiro a *Meloidogyne exigua* potencializadas pelo silício. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE NEMATOLOGIA, 28.; CONGRESSO INTERNACIONAL DE NEMATOLOGIA TROPICAL, 2., 2009, Maceió. **Anais eletrônicos...** Maceió: CECA; UFAL; Embrapa Recursos Genéticos e Biotecnologia, 2009. p. 324. Disponível: <<http://docentes.esalq.usp.br/sbn/nbonline/ol%20334/286-436%20co.pdf>>. Acesso em: 12 jan. 2012.

SILVEIRA, J.; GALENKAS, H.; TAPETTI, R.; LOURENCINI, I. Quem é o consumidor brasileiro de frutas e hortaliças? **Revista Hortifruti Brasil**, Piracicaba, n. 103, p. 8–23, 2011.

SOUZA, F.X. de. Casca de arroz carbonizada: um substrato para a propagação de plantas. **Revista Lavoura Arrozeira**, Porto Alegre, v. 46, n. 406, p. 11, 1993.

TAYLOR, A.L.; SASSER, J.N. **Biology identification and control of root-knot nematodes (*Meloidogyne species*)**. Raleigh: North Carolina State University, 1978. 111 p.

TEDESCO, M.J.; GIANELLO, C.; BISSANI, C.A.; BOHNEN, H.; VOLKWEISS, S.J. **Análises de solo, plantas e outros materiais**. 2 ed. Porto Alegre: UFRGS, Faculdade de Agronomia, Departamento de Solos, 1995. 174 p. (UFRGS. Boletim Técnico, 5).

TEZOTTO, T.; FAVARIN, J.L.; PAULA NETO, A.P.; GRATÃO, P.L.; AZEVEDO, R.A.; MAZZAFERA, P. Simple procedure for nutrient analysis of coffee plant with energy dispersive X-ray fluorescence spectrometry (EDXRF). **Scientia Agrícola**, Piracicaba, v.70, n. 4, p. 263-267, 2013.

TIECHER, T.; SANTOS, D.R.DOS; RASCHE, J.W.A. BRUNETTO, G.; MALLMANN, F.J.K.; PICCIN, R. Resposta de culturas e disponibilidade de enxofre em solos com diferentes teores de argila e matéria orgânica submetidos à adubação sulfatada. **Bragantia**, Campinas, v.71, n.4, p. 518-527, 2012.

TIHOHOD, D. **Nematologia agrícola aplicada**. Jaboticabal: FUNEP, 2000. 473 p.

TRANI, P.E.; RAIJ, B. van. Hortaliças. In: RAIJ, B. van; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J.A.; FURLANI, A.M.C. **Recomendações de adubação e calagem para o Estado de São Paulo**. 2 ed. Campinas: Instituto Agrônômico; Fundação IAC, 1997. 285 p. (Boletim Técnico, 100).

VIDAL-TORRADO, P.; SPAROVEK, G. **Mapa pedológico detalhado do campus Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo**. Piracicaba: ESALQ, 1993. Escala 1:10.000.

VOVLAS, N.; MIFSUD, D.; LANDA, B.B.; CASTILLO, P. Pathogenicity of the root-knot nematode *Meloidogyne javanica* on potato. **Plant Pathology**, St. Paul, v. 54, p. 657-664, 2005. Disponível em: <<http://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1111/j.1365-3059.2005.01244.x/pdf>>. Acesso em: 18 jan. 2012.

WALKER, G.E. Associations between carrot defects and nematodes in South Australia. **Australasian Plant Pathology**, Dordrecht, v. 33, n. 4, p. 579-584, 2004. Disponível em: <http://download.springer.com/static/pdf/506/art%253A10.1071%252FAP04059.pdf?auth66=1401029150_d228d1c477d001edbe5dcbbc77810a03&ext=.pdf>. Acesso: 10 abr. 2012.

YU, T.R. **Chemistry of variable charge soils**. 1ª ed. New York: Oxford University Press, 1997. 505 p.