

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL
FACULDADE DE AGRONOMIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM FITOTECNIA

MANEJO DO pH DE SUBSTRATO ORGÂNICO ALCALINO VISANDO A
PRODUÇÃO DE MUDAS CÍTRICAS

Vinicius Boaro
Engenheiro Agrônomo/UFRGS

Dissertação apresentada como um dos requisitos
à obtenção do Grau de Mestre em Fitotecnia
Ênfase Horticultura

Porto Alegre (RS), Brasil
Março de 2013

VINICIUS BOARO
Engenheiro Agrônomo - UFRGS

DISSERTAÇÃO

Submetida como parte dos requisitos
para obtenção do Grau de

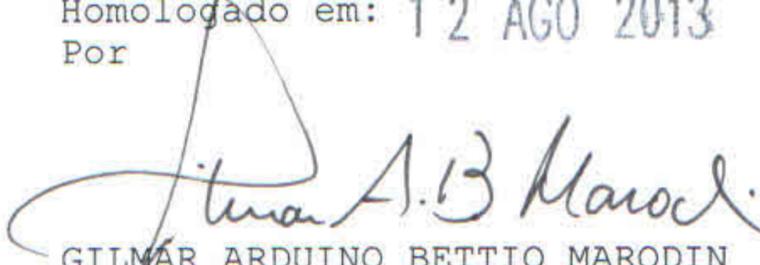
MESTRE EM FITOTECNIA

Programa de Pós-Graduação em Fitotecnia
Faculdade de Agronomia
Universidade Federal do Rio Grande do Sul
Porto Alegre (RS), Brasil

Aprovado em: 15.03.2013
Pela Banca Examinadora

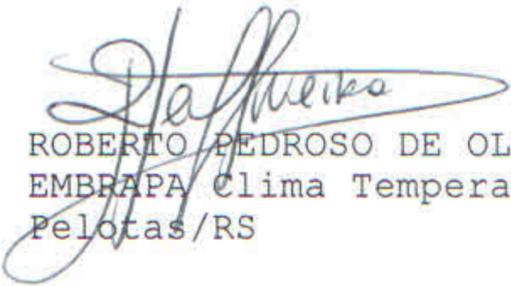
Homologado em: 12 AGO 2013
Por


SERGIO FRANCISCO SCHWARZ
Orientador - PPG Fitotecnia


GILMAR ARDUINO BETTIO MARODIN
Coordenador do Programa de
Pós-Graduação em Fitotecnia


GILMAR SCHÄFER
PPG Fitotecnia


CARLOS ALBERTO BISSANI
PPG Ciência do Solo/UFRGS


ROBERTO PEDROSO DE OLIVEIRA
EMBRAPA Clima Temperado
Pelotas/RS


PEDRO ALBERTO SELBACH
Diretor da Faculdade de
Agronomia

AGRADECIMENTOS

Aos meus pais, João Boaro e Isete Casarotto Boaro, e irmão, Guilherme Boaro, maiores referências e influências ao longo da minha jornada pessoal e acadêmica.

À minha noiva, Joana Kirchner Benetti, pelo incentivo, amor e companheirismo.

Ao professor Sergio Francisco Schwarz, pelo seu apoio, orientação e amizade.

Ao professor Paulo Vitor Dutra de Souza, pela amizade e colaboração neste trabalho e em minha formação acadêmica.

Aos professores Gilmar Schäfer, Carlos Alberto Bissani e Claudimar Sidnei Fior, ao amigo e colega Wagner Soares, e aos bolsistas Gil Vicente Lourosa, Marina Martinello Back, Ângelo Lopes e Leonardo Schneider, pela contribuição neste trabalho.

Aos colegas e professores do DHS/UFRGS, pelos ótimos momentos de convívio durante o curso de pós-graduação.

Aos funcionários Antônio Nunes e Idenir José de Conto, do DHS/UFRGS, e aos funcionários da Estação Experimental Agronômica da UFRGS, em especial Mateus Pereira Gonzato, Arlindo Koller e Adelar, pelo apoio.

Ao CNPq pelo auxílio financeiro.

Aos demais colegas, amigos, professores e funcionários que contribuíram durante a execução deste trabalho.

MANEJO DO pH DE SUBSTRATOS ORGÂNICOS ALCALINOS VISANDO A PRODUÇÃO DE MUDAS CÍTRICAS¹

Autor: Vinicius Boaro

Orientador: Sergio Francisco Schwarz

RESUMO

Embora existam recomendações agronômicas consolidadas para a elevação do pH de substratos orgânicos, poucas são as informações disponíveis para a redução do mesmo. Porém, a crescente utilização de matérias-primas alternativas às tradicionais torna necessário o emprego de métodos para diminuição do pH, já que alguns materiais com boas características físicas e biológicas, são alcalinos e incompatíveis com o cultivo da maioria das espécies. Os objetivos deste trabalho foram verificar a influência da mistura entre um condicionador ácido e um alcalino no pH do substrato resultante e no desenvolvimento de porta-enxertos cítricos, e a eficiência do enxofre elementar (S^0) na diminuição do pH de um substrato alcalino. Para tanto, foram desenvolvidos dois estudos. No primeiro testou-se substratos resultantes de cinco misturas (relação massa:massa) entre dois substratos comerciais, sendo um composto por casca de eucalipto compostada (E) e outro composto por turfa (T): 100%E:0%T, 85%E:15%T, 66%E:34%T, 40%E:60%T, 0%E:100%T; e três porta-enxertos cítricos: citrumeleiro 'Swingle', citrangeiro 'Fepagro C 13' e *Poncirus trifoliata*. No segundo, que compreendeu dois experimentos, avaliou-se a adição ou não de lixiviado de solo para inoculação de *Thiobacillus* sp. (experimento 1) e a mistura de cinco doses de S^0 a um substrato comercial composto por casca de eucalipto compostada (0, 4, 8, 12 e 16 g S^0 L⁻¹ de substrato) (experimentos 1 e 2). Avaliou-se o pH e a condutividade elétrica (CE) dos substratos, a emergência de plântulas e o seu desenvolvimento vegetativo. Observou-se que a mistura entre condicionadores é uma alternativa eficiente para o manejo do pH de substratos orgânicos, sendo que a influência da casca de eucalipto compostada é superior à da turfa. O substrato composto por 40%E:60%T é o que mais se aproxima da faixa de pH recomendada para a produção de porta-enxertos cítricos. O citrumeleiro 'Swingle' e o citrangeiro 'Fepagro C 13', apresentam maior tolerância a valores extremos de pH em comparação ao *Poncirus trifoliata*. O S^0 é eficiente na redução do pH de substratos orgânicos, mas acarreta aumento da CE. Visando a produção de porta-enxertos cítricos no substrato com casca de eucalipto compostada, a dose mais adequada de S^0 a ser adicionada encontra-se entre 12 e 16 g L⁻¹.

¹ Dissertação de Mestrado em Fitotecnia, Faculdade de Agronomia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, RS, Brasil. (116 p.) Março, 2013.

pH MANAGEMENT OF ALKALINE ORGANIC SUBSTRATES FOR THE PRODUCTION OF CITRUS SEEDLINGS²

Author: Vinicius Boaro

Adviser: Sergio Francisco Schwarz

ABSTRACT

Although agronomic recommendations for raising the pH of organic substrates are consolidated, little information is available for its reduction. The increasing use of alternative raw materials, however, makes it necessary to develop methods for decreasing pH, since some materials with good physical and biological properties are alkaline and not recommended for the majority of species. The objectives of this work were to determine the influence of mixing two conditioners (acid and alkaline) in the resulting substrate pH and in the development of citrus rootstocks, and the efficiency of elemental sulfur (S^0) in decreasing the pH of an alkaline substrate. Two studies were therefore developed. In the first, substrates tested were made with five mixtures (weight:weight) between a substrate consisting by composted eucalyptus bark (E) and another compound of peat (T): 100%E:0%T, 85%E:15%T, 66%E:34%T, 40%E:60%T, 0%E:100%T; and three citrus rootstocks: 'Swingle' citrumelo, 'Fepagro C 13' citrange and *Poncirus trifoliata*. In the second, which was comprised of two experiments, the addition of soil leachate for inoculation of *Thiobacillus* sp. (1st Experiment) and the mixture of five doses of S^0 to a commercial substrate compound of composted eucalyptus bark (0, 4, 8, 12 and 16 g S^0 L⁻¹ substrate) were evaluated (1st and 2nd experiments). The pH and electrical conductivity (EC) of the substrates, the seedling emergence and the plants vegetative development were assessed. The mixture of conditioners is effective for the management of organic substrates pH, and the influence of the composted eucalyptus bark is greater than the peat. The substrate compound of 40%E:60%T is the closest to the recommended pH range for growth of citrus rootstocks. 'Swingle' citrumelo and 'Fepagro C 13' citrange showed higher tolerance to extreme pH values when compared to *Poncirus trifoliata*. The S^0 is effective in reducing the pH of organic substrates, but causes EC to increase. For rootstocks growing in composted eucalyptus bark substrate, the most appropriate dose of S^0 to be added is between 12 and 16 g L⁻¹.

²Master of Science dissertation in Agronomy, Faculdade de Agronomia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, RS, Brazil. (116 p.) March, 2013.

SUMÁRIO

	Página
1 INTRODUÇÃO.....	1
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	7
2.1 Produção de mudas cítricas em ambiente protegido.....	7
2.2 Porta-enxertos cítricos.....	9
2.3 Substratos para plantas.....	12
2.3.1 Características biológicas.....	15
2.3.2 Características físicas.....	15
2.3.3 Características químicas.....	17
2.3.3.1 Potencial hidrogeniônico (pH).....	18
2.3.3.2 Poder de tamponamento da acidez ou alcalinidade.....	20
2.3.3.3 Salinidade ou teor total de sais solúveis (TTSS).....	22
2.3.3.4 Método não destrutivo para monitoramento do pH e CE: <i>PourThru</i>	23
2.3.3.5 Capacidade de troca de cátions (CTC).....	25
2.4 Enxofre elementar na correção do pH de substratos orgânicos alcalinos.....	25
2.4.1 Fatores que afetam a taxa de oxidação do enxofre elementar.....	27
2.4.1.1 Microrganismos.....	27
2.4.1.2 Características físico-químicas do substrato.....	28
2.4.1.2.1 Aeração e umidade.....	28
2.4.1.2.2 pH.....	29
2.4.1.2.3 Temperatura.....	30
2.4.1.2.4 Matéria orgânica.....	31
2.4.1.3 Características da fonte de S elementar.....	32

3 MATERIAL E MÉTODOS.....	33
3.1 Estudo 1. Mistura entre condicionadores: influência no pH dos substratos e no desenvolvimento de porta-enxertos cítricos	34
3.2 Estudo 2. Enxofre elementar no manejo do pH de substrato alcalino.....	40
3.2.1 Experimento 1: Doses de enxofre elementar associadas ou não a lixiviado de solo para redução do pH de substrato alcalino.....	40
3.2.1.1 Etapa 1.....	41
3.2.1.2 Etapa 2.....	43
3.2.2 Experimento 2: Manejo do pH de substrato alcalino com o uso de enxofre elementar	45
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO	48
4.1 Estudo 1. Mistura entre condicionadores: influência no pH dos substratos e no desenvolvimento de porta-enxertos cítricos	48
4.1.1 Características físicas dos substratos	48
4.1.2 Potencial hidrogeniônico (pH).....	50
4.1.3 Condutividade elétrica (CE).....	61
4.1.4 Emergência dos porta-enxertos cítricos	65
4.1.5 Desenvolvimento vegetativo dos porta-enxertos cítricos.....	70
4.2 Estudo 2. Enxofre elementar no manejo do pH de substrato alcalino.....	78
4.2.1 Experimento 1: Doses de enxofre elementar associadas ou não a lixiviado de solo para redução do pH de substrato alcalino.....	78
4.2.1.1 Potencial hidrogeniônico (pH)	78
4.2.1.2 Condutividade elétrica (CE)	87
4.2.1.3 Desenvolvimento vegetativo de porta-enxerto cítrico.....	91
4.2.2 Experimento 2: Manejo do pH de substrato alcalino com o uso de enxofre elementar	92
5 CONCLUSÕES.....	98
6 CONSIDERAÇÕES FINAIS	100

7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	104
8 APÊNDICES	115

RELAÇÃO DE TABELAS

	Página
1. Características químicas dos substratos (condicionadores) utilizados nas misturas do Estudo 1: casca de eucalipto compostada e turfa. Porto Alegre/RS, 2011.....	35
2. Características físicas dos substratos (condicionadores) utilizados nas misturas do Estudo 1: casca de eucalipto compostada e turfa. Porto Alegre/RS, 2011.....	36
3. Características físicas dos substratos logo após a mistura (0 dias após a mistura) entre os condicionadores casca de eucalipto compostada (E) e turfa (T). Eldorado do Sul/RS, 2011.....	49
4. Características físicas dos substratos resultantes das misturas entre os condicionadores casca de eucalipto compostada (E) e turfa (T), ao final do experimento (111 dias após a mistura). Eldorado do Sul/RS, 2012.....	50
5. Valor de pH de cinco substratos em função da porcentagem de cada condicionador (E= casca de eucalipto compostada; T= turfa) na massa total, e da variedade de porta-enxerto ou ausência do mesmo, aos 111 dias após a mistura entre os condicionadores e semeadura (média de 4 repetições; pH determinado pelo método <i>PourThru</i>). Eldorado do Sul/RS, 2012.....	59
6. Condutividade elétrica de cinco substratos em função da porcentagem de cada condicionador (E= casca de eucalipto compostada; T= turfa) na massa total, e da variedade de porta-enxerto ou ausência do mesmo, aos 111 dias após a mistura entre os condicionadores e semeadura (Substrato = média de 16 repetições; Porta-enxerto = média de 20 repetições; CE determinada pelo método <i>PourThru</i>). Eldorado do Sul/RS, 2012.....	65

7. Percentual de emergência final de porta-enxertos cítricos, cultivados em diferentes substratos compostos por diversas proporções de casca de eucalipto compostada (E) e turfa (T), aos 111 dias após a semeadura, em casa de vegetação (Substrato = média de 12 repetições; Porta-enxerto = média de 20 repetições). EEA-UFRGS, Eldorado do Sul, 2012..... 68
8. Diâmetro final do caule de porta-enxertos cítricos, cultivados em diferentes substratos compostos por diversas proporções de casca de eucalipto compostada (E) e turfa (T), aos 111 dias após a semeadura, em casa de vegetação (Substrato = média de 12 repetições; Porta-enxerto = média de 20 repetições). EEA-UFRGS, Eldorado do Sul/RS, 2012..... 71
9. Altura final, área foliar por planta e massa seca da parte aérea e da raiz por planta de porta-enxertos cítricos, cultivados em diferentes substratos compostos por diversas proporções de casca de eucalipto compostada (E) e turfa (T), aos 111 dias após a semeadura, em casa de vegetação (média de 4 repetições). EEA-UFRGS, Eldorado do Sul, 2012..... 74
10. Valor de pH do substrato em função da presença (com) ou ausência (sem) de lixiviado de solo e de diferentes doses de enxofre elementar, em diferentes dias após a mistura, contemplando as Etapas 1 e 2 (Lixiviado = média de 15 repetições; Dose de S⁰ = média de 6 repetições; pH determinado pelo método *PourThru*). EEA/UFRGS, Eldorado do Sul/RS, 2012..... 80
11. Condutividade elétrica (CE) do substrato em função da presença (com) ou ausência (sem) de lixiviado de solo e de diferentes doses de enxofre elementar, em diferentes dias após a mistura, contemplando as Etapas 1 e 2 (Lixiviado = média de 15 repetições; Dose de S⁰ = média de 6 repetições; CE determinada pelo método *PourThru*). EEA/UFRGS, Eldorado do Sul/RS, 2012..... 91

RELAÇÃO DE FIGURAS

	Página
1. Variações nas temperaturas decendiais mínimas, máximas e médias do ar, ao longo dos 111 dias após a mistura entre os condicionadores e sementeira dos porta-enxertos (02/12/2011 a 22/03/2012). EEA/UFRGS, Eldorado do Sul/RS. Fonte: Departamento de Plantas Forrageiras e Agrometeorologia/Faculdade de Agronomia/UFRGS, 2013.....	40
2. Variações nas temperaturas decendiais mínimas, máximas e médias do ar, ao longo dos 261 dias após a mistura entre as doses de S elementar e o substrato (17/01/2012 a 31/10/2012). Porto Alegre/RS; Fonte: Instituto Nacional de Meteorologia (INMET), 2013. EEA/UFRGS, Eldorado do Sul/RS; Fonte: Departamento de Plantas Forrageiras e Agrometeorologia/Faculdade de Agronomia/UFRGS, 2013.....	45
3. Variações nas temperaturas decendiais mínimas, máximas e médias do ar, ao longo dos 80 dias após a mistura entre as doses de S elementar e o substrato (28/09/2012 a 17/12/2012). Porto Alegre/RS..	47
4. Variação do pH do substrato em função de diferentes teores do condicionador turfa, em porcentagem da massa total do substrato, logo após a mistura (0 dias após a mistura) com o condicionador casca de eucalipto compostada (média de 16 repetições; pH determinado pelo método <i>PourThru</i>). Eldorado do Sul/RS, 2011.....	51
5. Evolução do pH de cinco substratos, em função da porcentagem de cada condicionador (E= casca de eucalipto compostada; T= turfa) na massa total, ao longo de 111 dias após a mistura (média de 16 repetições; pH determinado pelo método <i>PourThru</i>). Eldorado do Sul/RS, 2012.....	57

6. Variação da condutividade elétrica do substrato em função de diferentes teores do condicionador turfa, em porcentagem da massa total do substrato, logo após a mistura (0 dias após a mistura) com o condicionador casca de eucalipto compostada (média de 16 repetições; CE determinada pelo método <i>PourThru</i>). Eldorado do Sul/RS, 2011.....	62
7. Evolução da condutividade elétrica (CE) média de 5 substratos, ao longo de 111 dias após a mistura entre os condicionadores turfa e casca de eucalipto compostada (média de 80 repetições; CE determinada pelo método <i>PourThru</i>). Eldorado do Sul/RS, 2012.....	63
8. Velocidade de emergência de três porta-enxertos cítricos em cinco substratos (média dos tratamentos), compostos por diversas proporções de turfa e casca de eucalipto compostada, ao longo de 111 dias após a semeadura (média de 20 repetições). EEA-UFRGS, Eldorado do Sul/RS, 2012.....	66
9. Evolução do pH do substrato após a mistura com diferentes doses de enxofre elementar (g L^{-1}), contemplando as Etapas 1 (A) – 0 a 98 dias, e 2 (B) – 122 a 261 dias (média de 6 repetições; pH determinado pelo método <i>PourThru</i>). EEA/UFRGS, Eldorado do Sul/RS, 2012.....	79
10. Evolução da condutividade elétrica (CE) do substrato após a mistura com diferentes doses de enxofre elementar (g L^{-1}), contemplando as Etapas 1 (A) – 0 a 98 dias, e 2 (B) – 122 a 261 dias (média de 6 repetições; CE determinada pelo método <i>PourThru</i>). EEA/UFRGS, Eldorado do Sul/RS, 2012.....	87
11. Representação gráfica da correlação entre o pH e a condutividade elétrica (CE) do substrato ($r = -0,72$ e $p < 0,0001$), aos 8 dias após a mistura com as diferentes doses de enxofre elementar (pH e CE determinados pelo método <i>PourThru</i>).....	88
12. Evolução do pH (A) e da condutividade elétrica (CE) (B) do substrato ao longo de 80 dias após a mistura com as diferentes doses de enxofre elementar (média de 3 repetições; pH e CE determinados pelo método 1:5 – v:v). Porto Alegre/RS, 2012.....	93
13. Representação gráfica da correlação entre o pH e a condutividade elétrica (CE) do substrato ($r = -0,85$ e $p < 0,0001$), aos 80 dias após a mistura com as diferentes doses de enxofre elementar (pH determinado pelo método 1:5 – v:v).....	94

14. Valor de pH (A) e condutividade elétrica (CE) (B) do substrato em função da dose de enxofre elementar (DSE) adicionada, aos 80 dias após a mistura (média de 3 repetições; pH e CE determinados pelo método 1:5 – v:v). Porto Alegre/RS, 2012..... 95

1 INTRODUÇÃO

Com uma produção anual de cerca de 20 milhões de toneladas, o Brasil, juntamente com a China e os Estados Unidos, destaca-se no cenário mundial como um dos maiores produtores de frutas cítricas, sobretudo laranja, voltadas, principalmente, à produção de suco (FAO, 2013). Trata-se de uma cadeia altamente organizada e competitiva, de modo que cerca de 60% da produção do suco de laranja no mundo é atribuída à agroindústria citrícola brasileira. Essa característica consagra o Brasil como o maior exportador do produto e contribui para a geração de riqueza e empregos no país (Moraes *et al.*, 1998; Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento, 2013).

No âmbito nacional, o Estado de São Paulo supera largamente a produção das demais regiões, sendo responsável por cerca de 16,5 milhões de toneladas de frutas cítricas no ano de 2011, principalmente laranjas destinadas à indústria de suco, que representa mais de 90% desse montante (IBGE, 2013). Entretanto, quando se trata apenas do mercado *in natura* de frutas cítricas, o Rio Grande do Sul tem grande importância, com destaque para as tangerinas. Essa característica está relacionada, principalmente, às condições climáticas do Estado, que contribuem para o desenvolvimento de frutos com características físico-químicas adequadas para o consumo (Schäfer *et al.*, 2001).

Essa expressividade da citricultura nacional está diretamente associada à área ocupada por pomares comerciais de frutas cítricas no território brasileiro, bem como à qualidade e potencial produtivo dos mesmos, sendo que ambos os fatores dependem de um processo que antecede a implantação dos referidos pomares: a produção das mudas.

Entretanto, o Brasil ainda tem muito a evoluir no que diz respeito ao processo produtivo de frutas cítricas para consumo *in natura*. Neste sentido, o emprego de mudas de qualidade, com identificação adequada do material genético utilizado em sua formação (porta-enxerto e borbulha), bom desenvolvimento radicular e garantia de sanidade, constituem-se em fatores fundamentais a serem considerados no momento da implantação de um pomar de citros, tendo em vista sua grande influência sobre o já mencionado potencial produtivo e vida útil do mesmo (Schäfer *et al.*, 2001). Além disso, deve-se atentar para a correta escolha do porta-enxerto, pois este pode afetar mais de 20 características hortícolas e patológicas da cultivar copa e seus frutos (Pompeu Jr., 1991; Castle *et al.*, 1992), podendo ser um fator crucial para o sucesso produtivo.

O sistema de produção de mudas cítricas no Estado do Rio Grande do Sul encontra-se um momento de transição, passando do sistema tradicional, a campo, para o cultivo em ambiente protegido. No sistema a campo, as plantas são conduzidas diretamente sobre o solo, ficando bastante vulneráveis a possíveis intempéries climáticas e incidência de pragas e doenças, com destaque para a clorose variegada dos citros (CVC) (*Xylella fastidiosa*) (Boaventura, 2003), cancro-cítrico (*Xanthomonas axonopodis* pv. *citri*) e doenças associadas ao solo (Schäfer *et al.*, 2002). Os viveiristas modernos, que conduzem a produção das mudas em

ambiente protegido, por sua vez, seguem diversas exigências definidas pela Comissão Estadual de Sementes e Mudas da Secretaria de Agricultura, Pecuária e Abastecimento do Governo do Estado do Rio Grande do Sul, que estão disponíveis na publicação intitulada “Normas e Padrões de Produção de Mudas de Fruteiras para o Estado do Rio Grande do Sul” (Rio Grande do Sul, 2004). Sendo assim, neste sistema de produção, que segundo Castle & Ferguson (1982) iniciou-se na Flórida, nos Estados Unidos, ainda no final dos anos setenta, os porta-enxertos são, normalmente, cultivados em tubetes preenchidos com substratos orgânicos, com posterior transplântio para recipientes maiores, onde é realizada a enxertia e a formação da muda (Carvalho, 1998). Todo o processo ocorre no interior de ambiente telado, à prova de insetos vetores de doenças, acarretando em redução no tempo de produção da muda (Koller, 1994; Schäfer, 2004), melhor desenvolvimento do sistema radicular e minimização de problemas de ordem fitossanitária (Schäfer, 2004).

De acordo com Azevedo *et al.* (2009), essa citricultura moderna demanda grande quantidade de substratos, pois todas as fases do processo de produção das mudas são realizadas em recipientes. Desta forma, o substrato deve prover suporte às plantas nele cultivadas (Fermino, 1996; Kämpf, 2000; Röber, 2000), além de regular a disponibilidade de nutrientes e de água (Fonteno, 1996). Entretanto, segundo Menezes Júnior & Fernandes (1998) *apud* Schäfer (2004), diversos substratos estão disponíveis no mercado nacional, obtidos a partir de misturas de diferentes materiais, orgânicos e inorgânicos e, apesar das grandes diferenças entre eles, são empregados na produção de uma ampla gama de

espécies, sem que haja o devido conhecimento a respeito das formulações e características, bem como do desempenho destes como meio de cultivo.

No Rio Grande do Sul há uma escassez de substratos recomendados para a produção de mudas de citros. Desta forma, muitos viveiristas recorrem a materiais provenientes de outros Estados, o que eleva o custo de produção em função do alto custo com frete, aliado ao fato de muitos desses materiais apresentarem um preço bastante elevado e incompatível com o sistema de produção em questão. Além disso, a correta escolha do mesmo é fundamental para a produção de uma muda de qualidade (Schäfer, 2004). Frente a esta problemática, considera-se importante o desenvolvimento de pesquisas envolvendo materiais com disponibilidade próxima aos locais de demanda e com preço mais acessível, devendo-se avaliar o desempenho dos mesmos como meio de cultivo para a produção de mudas cítricas.

Nesse contexto, o conhecimento das características químicas, físicas e biológicas dos substratos é imprescindível (Fermino *et al.*, 2000; Schmitz *et al.*, 2002), pois, além de possibilitar uma escolha mais adequada do substrato a ser utilizado, viabiliza a eventual adequação deste por meio da adição de outros materiais e/ou de substâncias que alterem as características iniciais, de tal forma que atenda às necessidades das plantas a serem neles cultivadas. Além disso, tratam-se de informações importantes no sentido de balizar o emprego de práticas de manejo adequadas durante o desenvolvimento das plantas, tanto no que se refere ao suprimento hídrico quanto nutricional.

Com relação ao pH do meio de cultivo, embora existam recomendações agronômicas consolidadas para elevação do seu valor em solos e substratos,

poucas são as informações disponíveis para redução do mesmo (Magalhães *et al.*, 2005). Entretanto, devido à crescente utilização de substratos com diferentes matérias-primas, torna-se necessário o emprego de corretivos que atuem na diminuição do pH, já que alguns materiais, ao mesmo tempo que apresentam boas características físicas e biológicas, são alcalinos e incompatíveis com o cultivo da maioria das espécies, com destaque para as mudas cítricas.

Uma alternativa passível de ser empregada consiste na mistura entre materiais e/ou substratos com características químicas distintas, conhecidos como condicionadores, de modo que o pH resultante se ajuste à faixa requerida pela espécie em questão. Contudo, deve-se atentar para o fato de que esta prática culmina na alteração de inúmeras outras características dos materiais originais, tanto químicas quanto físicas e biológicas, havendo a necessidade de se considerar este aspecto.

Outra possibilidade é a adição de enxofre elementar (S^0) ao substrato. Trata-se de um corretivo muito utilizado para diminuição do pH em solos minerais em regiões com problemas de alcalinidade, como é o caso de muitos países europeus. O seu efeito está associado à oxidação do mesmo por bactérias presentes no local, com conseqüente formação de ácido sulfúrico e posterior liberação de íons de hidrogênio na solução (Bissani *et al.*, 2008). No entanto, existe uma grande carência de informações que balizem a utilização do enxofre elementar como corretor do pH de substratos orgânicos, principalmente quando se trata da produção de mudas cítricas, sendo importante o desenvolvimento de estudos que estabeleçam parâmetros para a adoção correta desta prática.

Frente ao exposto, o presente trabalho buscou verificar a influência da mistura entre um condicionador ácido e um alcalino no pH do substrato resultante, bem como a eficiência do enxofre elementar na diminuição do pH de um substrato alcalino, e avaliar a influência destas práticas no desenvolvimento de porta-enxertos cítricos conduzidos em ambiente protegido.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 Produção de mudas cítricas em ambiente protegido

A muda cítrica pode ser considerada o insumo mais importante no que tange o processo de implantação de um pomar. Portanto, deve-se atentar para a qualidade da mesma, já que o máximo potencial produtivo desta será revelado somente alguns anos após o seu plantio. A qualidade mencionada está relacionada, principalmente, à adequada identificação do material genético utilizado em sua formação (porta-enxerto e borbulha), ao bom desenvolvimento radicular e à garantia de sanidade (Lima, 1986; Schäfer *et al.*, 2001), constituindo-se em requisitos mínimos que devem ser considerados no momento de sua aquisição.

O atendimento a tais requisitos está diretamente associado ao sistema de produção das mudas no viveiro, sendo que aquelas produzidas em ambiente protegido apresentam, potencialmente, maior qualidade (Souza & Schäfer, 2009). Esse sistema de produção oferece maiores garantias de qualidade genética e fitossanitária e, normalmente, acarreta em um maior pegamento e desenvolvimento inicial da planta, o que justifica o seu emprego por parte dos agricultores, mesmo que o seu custo seja significativamente maior do que o

daquelas produzidas a campo (Oliveira & Scivittaro, 2004). Esta diferença de preço pode ser atribuída ao elevado investimento inicial por parte dos viveiristas, em função da tecnologia empregada na construção do viveiro protegido, bem como ao maior custo de produção da muda, já que o processo envolve a utilização de recipientes apropriados, sementes certificadas, sistema de irrigação e substratos (Schäfer, 2004; Fochesato, 2005).

Neste sistema, o processo de produção das mudas de citros é dividido em duas etapas conhecidas, como “fase de sementeira” e “fase de viveiro”, e possibilita uma redução significativa no tempo de produção das mudas, que pode chegar a cerca de 50% (Koller, 1994; Fochesato, 2005). A fase de sementeira é aquela em que ocorre a semeadura dos porta-enxertos, com a posterior emergência das plântulas e o desenvolvimento inicial. Durante este período, a condução ocorre, normalmente, em tubetes plásticos ou bandejas multicelulares, com volume entre 50 e 120 cm³, preenchidos com substrato. Ao atingirem entre 10 e 15 cm de altura, essas plantas são, então, repicadas para sacos de polietileno ou citropotes, com volume entre 4 e 5 dm³, também preenchidos com substrato, dando início à fase de viveiro. No momento do transplante, deve-se atentar para que as raízes não fiquem enroladas ou mal posicionadas, o que pode vir a comprometer o desenvolvimento da planta. Quando os porta-enxertos atingem um diâmetro de cerca de 0,7 cm a uma altura de 10 cm acima da superfície do substrato, é realizada a enxertia, em geral, pelo método de borbulhia em “T” invertido. A partir de então, procede-se a condução do desenvolvimento do enxerto até que a muda esteja apta para o comércio (Souza & Schäfer, 2006; Teixeira, 2008).

2.2 Porta-enxertos cítricos

Na propagação comercial dos citros, o porta-enxerto é obtido de forma sexuada, através de semente, e a variedade-copa é propagada assexuadamente, retirando-se uma porção do material vegetal de uma planta adulta contendo uma gema (Carvalho *et al.*, 2005). Neste método de propagação, é de fundamental importância o conhecimento a cerca da viabilidade da associação entre o enxerto e o porta-enxerto, que, quando combinados, devem resultar em uma planta com características interessantes do ponto de vista fitotécnico (Souza *et al.*, 2010).

Dentre as características influenciadas pelos porta-enxertos, pode-se destacar o porte da planta, período de juvenilidade, época de maturação, quantidade e qualidade da produção, peso dos frutos, coloração da casca e do suco, teor de açúcares e ácidos dos frutos, tempo de permanência dos frutos na planta, conservação dos frutos após a colheita, transpiração das folhas, capacidade de absorção de nutrientes, tolerância à salinidade, resistência à seca e ao frio e resistência e tolerância a pragas e doenças (Schäfer *et al.*, 2001; Souza *et al.*, 2010).

O principal porta-enxerto cítrico utilizado no Brasil é o limoeiro 'Cravo' (*Citrus limonia* Osb.) (Schäfer *et al.*, 2001). No Rio Grande do Sul, por sua vez, destaca-se o Trifoliata [*Poncirus trifoliata* (L.) Raf.], em função de algumas características que conferem à copa uma maior adaptação às condições climáticas do Estado. Trata-se de porta-enxertos com particularidades interessantes e que têm contribuído para o bom desempenho produtivo dos pomares nacionais, tanto em termos de quantidade como de qualidade. Entretanto, essa baixa diversidade genética confere elevada vulnerabilidade à

citricultura nacional, já que o possível surgimento de moléstias que afetem estes porta-enxertos, como ocorreu na década de 40 com a tristeza dos citros em plantas enxertadas sobre laranjeira azeda e, mais recentemente, com a morte súbita dos citros (MSC), pode vir a inviabilizar a produção e dizimar grande parte dos pomares (Schäfer, 2004).

Alguns materiais alternativos a esses porta-enxertos, como a tangerineira ‘Sunki’ (*C. sunki* Hort. ex. Tan.), o citrumeleiro ‘Swingle’ [*P. trifoliata* x *C. paradisi* Macf.] e o citrangeiro ‘Troyer’ [*P. trifoliata* x *C. sinensis* (L.) Osb.], já vêm sendo utilizados comercialmente e abrangendo uma parcela significativa dos pomares, podendo ser opções interessantes para a diversificação. Somado a isso, durante a década de 1970, inúmeros experimentos foram implantados na Estação Experimental Fitotécnica de Taquari – FEPAGRO, no intuito de determinar os porta-enxertos mais adequados para as cultivares de citros empregadas no Rio Grande do Sul. Dentre eles, pode-se destacar alguns citrangeiros obtidos através de cruzamentos controlados realizados na própria Estação Experimental, como os ‘Fepagro C 13’ e ‘Fepagro C 37’ [*P. trifoliata* x *C. sinensis*], que também podem vir a ser utilizados comercialmente, principalmente no Rio Grande do Sul, em função das características que apresentam (Schäfer, 2004; Souza *et al.*, 2010).

Esses porta-enxertos apresentam diferentes características genéticas, imprimindo diferentes características à planta. Com relação ao Trifoliata, pode-se dizer que sua grande aceitação deve-se ao fato de que, além de proporcionar alta qualidade à fruta, confere tolerância ao frio e a solos ácidos, resistência ao vírus da tristeza, à gomose e ao nematoide *Tylenchulus semipenetrans*, bem como tolerância à morte súbita dos citros (Castle, 1987; Herrero *et al.*, 1996). Entretanto,

trata-se de um porta-enxerto pouco vigoroso e que induz menor porte à copa, o que reflete negativamente na produtividade, devendo ser realizados plantios mais adensados (Oliveira *et al.*, 2001; Souza *et al.*, 2010). Apesar de seu baixo vigor em fase de viveiro, o que implica em atraso no processo de formação da muda quando comparado a outros porta-enxertos tradicionais, os frutos de Trifoliata apresentam um grande número de sementes por fruto e uma alta taxa de poliembrionia (Schäfer *et al.*, 2001; Guerra *et al.*, 2012), que consistem em características interessantes do ponto de vista da produção de mudas.

O limoeiro 'Cravo' é bastante vigoroso e com sistema radicular agressivo, o que confere ao mesmo maior capacidade de absorção da água do solo. Por esse motivo, destaca-se por sua capacidade em induzir tolerância à seca às copas nele enxertadas, além da rápida entrada em produção, alta produtividade e precocidade na maturação (Pompeu Júnior, 2005). Quanto à produção de mudas, o seu elevado vigor e rápido desenvolvimento secundário no viveiro contribuem para a aceleração do processo (Schäfer, 2004). Apresenta alta susceptibilidade ao declínio dos citros, à morte súbita dos citros e à verrugose, sendo tolerante ao vírus da tristeza dos citros e medianamente resistente à gomose (Schäfer *et al.*, 2001).

O citrumeleiro 'Swingle' apresenta características satisfatórias quanto à resistência ao frio e resistência a patógenos, como a gomose e o nematoide dos citros. Além disso, é tolerante à morte súbita, ao vírus da tristeza e ao declínio dos citros (Schäfer *et al.*, 2001). Uma limitação para o uso do citrumeleiro 'Swingle' é sua incompatibilidade com diversas variedades comerciais, como é o caso da laranjeira 'Pera', limoeiro 'Siciliano' e tangoreiro 'Murcott' (Souza *et al.*, 2010). As

plantas enxertadas em 'Swingle' são mais vigorosas do que as enxertadas em Trifoliata. Os frutos produzidos são de boa qualidade, sendo, entretanto, inferiores àqueles obtidos em plantas enxertadas sobre Trifoliata (Carlos *et al.*, 1997)

A tangerineira 'Sunki', por sua vez, pertence ao grupo das pequenas tangerinas. Plantas enxertadas neste porta-enxerto apresentam médio porte, alta resistência ao frio, indução à produção tardia, resistência à nematoides e tolerância à tristeza, morte súbita e declínio dos citros. O grande problema deste porta-enxerto é sua alta susceptibilidade à gomose (Souza *et al.*, 2010).

Já o citrangeiro 'Fepagro C 13', apesar de apresentar baixa resistência à seca quando comparado ao limoeiro 'Cravo', induz à planta características interessantes para as condições do Rio Grande do Sul, como resistência ao frio, precocidade de produção, boa qualidade de fruto e alta produtividade. Além disso, trata-se de um porta-enxerto com elevada tolerância à tristeza e morte súbita dos citros, média tolerância à gomose e suscetibilidade ao declínio dos citros (Schäfer *et al.*, 2001; Souza *et al.*, 2010). Em fase de viveiro, apresenta vigor médio, sendo superior ao Trifoliata, mas inferior ao limoeiro 'Cravo'.

2.3 Substratos para plantas

Em se tratando da produção de mudas, o substrato pode ser definido como o meio em que se desenvolvem as raízes das plantas cultivadas fora do solo *in situ* (Kämpf, 2000). Dentre as suas funções, pode-se destacar o provimento de suporte às plantas (Fermino, 1996; Kämpf, 2000; Röber, 2000), atuando como um regulador da disponibilidade de nutrientes e de água para as mesmas (Fonteno, 1996).

Azevedo *et al.* (2009) expõem que os substratos devem possuir características adequadas para utilização no sistema em questão e, ao mesmo tempo, apresentar um custo compatível com a atividade, pois o aumento do custo de produção de mudas cítricas observado nos viveiros modernos (Oliveira & Scivittaro, 2004) pode ser atribuído, dentre outras causas, à grande demanda por este insumo. No mesmo sentido, Schäfer (2004) aponta que esforços devem ser realizados com o objetivo de prover tecnologias capazes de maximizar o desenvolvimento das plantas e, principalmente, reduzir custos, o que é reforçado por Lima *et al.* (2006) ao afirmar que o substrato deve ser composto por materiais abundantes na região de produção e apresentar baixo custo, razão pela qual, segundo os autores, geralmente se utilizam resíduos agroindustriais.

O manejo das plantas cultivadas em recipientes demanda práticas de irrigação e fertilização frequentes, tornando necessário que se conheça as características químicas, físicas e biológicas do meio de cultivo (Schmitz *et al.*, 2002). Entretanto, apesar do conhecimento a cerca da problemática, a baixa qualidade dos substratos e a falta de conhecimento e de informações a respeito das características mencionadas constituem-se em consideráveis entraves a serem enfrentados pelos viveiristas.

Historicamente, o material mais utilizado para a elaboração de substratos hortícolas foi a turfa, a qual apresenta alto teor de matéria orgânica, baixo valor de pH, baixa disponibilidade de nutrientes, alto poder tampão, alta capacidade de retenção de água e boa aeração (Fermino, 1996). Trata-se de um material consagrado internacionalmente, sendo utilizado como padrão de comparação no

estudo de novos materiais em função de suas excelentes características físicas (Schmitz *et al.*, 2002).

Atualmente, além da turfa, inúmeros materiais alternativos estão presentes no mercado, sejam eles de origem mineral ou orgânica, natural ou sintética, e que apresentam uma ampla diversidade de características químicas e físicas. As matérias-primas mais empregadas para a formulação dos mesmos são a casca de pinos compostada, a serragem de madeira, a vermiculita, a perlita, a fibra de coco, a casca de acácia e a casca de arroz pura, carbonizada ou queimada, entre outros (Oliveira *et al.*, 2001; Zanetti *et al.*, 2001). Quando utilizados isoladamente, esses materiais constituem-se em substratos. Porém, ao serem misturados para a formação de um novo substrato, cada constituinte consiste em um condicionador. Contudo, deve-se ressaltar que não existe um material ou uma mistura de materiais considerada universalmente válida como substrato para todas as espécies (Abad, 1991), devendo-se atentar para o conhecimento de suas características e seu desempenho como meio de cultivo. De modo geral, um substrato deve reunir características físicas e químicas que promovam, respectivamente, adequadas retenção de umidade e disponibilidade de nutrientes, de modo que atendam às necessidades da planta (Cunha *et al.*, 2006).

As principais características químicas que determinam a qualidade de um substrato são o pH, a capacidade de troca de cátions (CTC) e a salinidade. As físicas são a densidade, a porosidade e a disponibilidade de ar e água (Silva *et al.*, 2000; Jabur & Martins., 2002; Schäfer 2004; Kämpf, 2005). Já as biológicas estão associadas à presença ou não de organismos patogênicos e de sementes e/ou propágulos de plantas daninhas (Oliveira *et al.*, 2001).

O conhecimento de tais características é fundamental (Fermino *et al.*, 2000; Schmitz *et al.*, 2002) e possibilita uma escolha mais adequada do substrato a ser utilizado ou, até mesmo, uma adequação deste por meio da adição de outros materiais e/ou de substâncias que alterem as características iniciais, de tal forma que atenda as necessidades das plantas a serem nele cultivadas. Além disso, esse conhecimento é importante no sentido de balizar o emprego de práticas de manejo adequadas durante o desenvolvimento das plantas, tanto no que se refere ao suprimento hídrico quanto nutricional.

2.3.1 Características biológicas

As características biológicas do substrato relacionam-se, principalmente, à presença ou ausência de organismos patogênicos e de sementes e/ou propágulos de plantas daninhas (Oliveira *et al.*, 2001). Neste sentido, é necessário que o substrato seja isento dos referidos organismos, já que a produção de mudas saudáveis, especialmente livres de patógenos veiculados pelo solo, a exemplo da *Phytophthora* sp., constitui um dos mais importantes métodos preventivos de controle de doenças de plantas (Ghini, 2004).

2.3.2 Características físicas

Do ponto de vista físico, de acordo com Burés (1997), existem dois fatores principais que distinguem os substratos dos solos. Um deles é o fato de que os substratos apresentam, em geral, uma maior porosidade. O outro é que nos substratos, de modo geral, existe uma proporção mais elevada de poros de maior tamanho. Segundo o autor, essas características são as que conferem aos substratos a adequação para o cultivo em recipientes.

Para manejar corretamente um substrato e empregá-lo no cultivo de plantas, é preciso conhecer, além das propriedades químicas já mencionadas, as suas características físicas.

A densidade é definida como a relação entre a massa e o volume do substrato, normalmente expressa em quilograma por metro cúbico (kg m^{-3}) ou em grama por litro (g L^{-1}), sendo que quanto menor o recipiente, menos denso deve ser o substrato. Neste sentido, para propagação em células e bandejas, recomenda-se que a densidade esteja entre 100 e 300 kg m^{-3} . Já para vasos de até 15, entre 20 e 30, e maiores que 30 cm de altura, trabalha-se com uma faixa de 200 a 400, 300 a 500 e 500 a 800 kg m^{-3} , respectivamente. Trata-se de uma propriedade importante, pois auxilia na interpretação de outras características (Kämpf, 2005), a exemplo da porosidade, espaço de aeração e disponibilidade de água (Giuliani, 2012).

A porosidade é a quantificação do espaço ocupado por poros em um substrato (Burés, 1997). De Boodt & Verdonck (1972) consideram como ideal que o substrato tenha 85% de seu volume em poros. Esse volume, também chamado de porosidade total (PT), é uma informação importante na caracterização dos materiais.

White & Mastalerz (1966) estudaram a retenção de água em recipientes e, a partir disso, introduziram o termo conhecido como “capacidade de recipiente”, que descreve o máximo volume de água retido pelo substrato no recipiente após a drenagem natural. Entretanto, nem toda a água retida é disponibilizada para as plantas e, para a determinação da capacidade de liberação da água em diferentes

materiais, pode-se submeter amostras de substratos a crescentes tensões, provocando a drenagem (Kämpf, 2005).

Desta forma, a porosidade total (PT) corresponde à umidade presente nas amostras saturadas (tensão 0 hPa); o espaço de aeração (EA) é igual à diferença entre a PT e o volume de água na tensão de 10 hPa; a água disponível (AD) é o volume de água entre 10 e 100 hPa; e a água remanescente (AR) corresponde ao volume de água que permanece no material após ser submetido à tensão de 100 hPa (De Boodt & Verdonck, 1972; Schmitz *et al.*, 2002).

Somado a isso, existem alguns estudos que definiram padrões e faixas de valores que caracterizam as condições consideradas “ideais” para um substrato empregado na produção de mudas de flores e/ou frutíferas em recipientes: o espaço de aeração deve representar cerca de 20 a 30% do volume do substrato, a água disponível deve preencher de 24 a 40% do total e, a água remanescente, por sua vez, de 25 a 30% (De Boodt & Verdonck, 1972; Bilderback *et al.*, 1982; Verdonck & Gabriels, 1988; Kämpf, 2000; Schmitz *et al.*, 2002).

2.3.3 Características químicas

As características químicas como o pH, que refere-se à reação de alcalinidade ou acidez do meio de cultivo, a salinidade, expressa através da condutividade elétrica (CE) ou pelo teor total de sais solúveis (TTSS), e a capacidade de troca de cátions (CTC) (Kämpf, 2005), podem ser considerados os parâmetros mais importantes no sentido de conduzir a correta intervenção prática para adequação das propriedades químicas do substrato e otimizar o desenvolvimento das plantas. Entretanto, outra propriedade dos substratos,

conhecida como “poder tampão”, também deve ser considerada em situações em que se deseja modificar as propriedades químicas do mesmo, pois esta exerce grande influência sobre o seu pH (Burés, 1997).

2.3.3.1 Potencial hidrogeniônico (pH)

Dentre as reações ácido-base, existe uma reação de especial importância nos substratos, conhecida como autoionização da água. As moléculas de água possuem leve tendência de se dissociarem em íons hidrogênio (H^+) e hidróxido (OH^-). Desta forma, uma solução é caracterizada como ácida quando a concentração de íons H^+ excede a de OH^- , sendo básica quando ocorre o contrário. No caso de estas concentrações se equivalerem, a solução é considerada neutra (Burés, 1997).

Neste contexto, alguns materiais são hidrolisados por reação com a água, e os íons não combinados contribuem para acidificar ou alcalinizar a solução do mesmo (Burés, 1997). Deste modo, os diferentes materiais empregados na formulação de substratos apresentam amplas variações de pH, dentro de uma escala que varia entre 1 a 14, podendo ser extremamente baixos, como no caso das turfas, até extremamente altos, a exemplo da vermiculita, casca de arroz e casca de acácia (Kämpf, 2005). Frente a isso, considerando as necessidades nutricionais das plantas, normalmente é necessário que se corrija o pH do substrato de cultivo, seja para elevá-lo ou para reduzi-lo, o que pode ser feito por meio de calcário, fertilizantes ácidos ou básicos, enxofre elementar ou condicionadores específicos.

Em se tratando de substratos orgânicos, as pesquisas a respeito da faixa ideal de pH para o cultivo de plantas cítricas são raras ou inexistentes. Porém, inúmeras informações disponibilizadas pelo setor que abrange o cultivo das plantas ornamentais podem ser adequadas para o cultivo de mudas cítricas. Desta forma, para substratos com predominância de matéria orgânica, recomenda-se que o pH situe-se entre 5,0 e 5,8. A importância do conhecimento desta propriedade está relacionada com sua influência na disponibilidade de nutrientes, bem como no efeito sobre processos fisiológicos da planta. Meios de cultivo com pH menor do que 5,0 estão associados à deficiência de nutrientes como N, K, Ca e Mg nas plantas, enquanto que, quando o pH encontra-se acima de 6,5, tendem a ocorrer problemas de disponibilidade de P e micronutrientes, como Fe, Mn, Zn e Cu (Kämpf, 2000; Kämpf, 2005; Souza & Schäfer, 2009).

Apesar do conhecimento a cerca do comportamento dos substratos em termos de disponibilidade de nutrientes em função do seu pH, a escassez de informações que auxiliem na manutenção do seu valor, de modo a adequar às necessidades das plantas, pode ser considerada um fator limitante e que acarreta a necessidade de novos estudos.

Em solos de regiões com elevada precipitação pluviométrica, como no caso do Brasil, cátions básicos solúveis, como Na^+ , K^+ , Ca^+ e Mg^+ , são facilmente lixiviados e, quando essa remoção é maior que a sua taxa de liberação pelo processo de intemperização, o pH do solo normalmente diminui, o que também dependerá do material de origem do mesmo. Além disso, o aporte de H^+ no solo, proveniente da dissolução parcial do gás carbônico do ar na água da chuva, também contribui para esse processo. Portanto, para a maioria dos cultivos

agrícolas em nosso país, faz-se necessária a adequação do pH do solo através da elevação do mesmo. Isto é feito, normalmente, por meio da aplicação de calcário (CaCO_3) no solo, levando em consideração alguns possíveis critérios, como o índice SMP, o teor de Al^{3+} trocável e a saturação da capacidade de troca de cátions (CTC) por bases no solo (Bissani *et al.*, 2008).

Apesar de ser uma metodologia desenvolvida para meios de cultivo com predomínio de materiais minerais, muitos trabalhos demonstram a eficiência desses mesmos corretivos no que diz respeito à elevação de pH de substratos orgânicos, sendo amplamente empregados para tal finalidade.

Contudo, muitas matérias-primas que vêm sendo empregadas na formulação de substratos têm apresentado pH elevado e problemas de alcalinidade, necessitando correção para otimizar o desenvolvimento da plantas. Trata-se de uma problemática que requer novas pesquisas, tendo em vista que, para a redução do pH de solos e substratos, há uma grande carência de informações que balizem a prática (Magalhães *et al.*, 2005).

2.3.3.2 Poder de tamponamento da acidez ou alcalinidade

Esta propriedade indica a capacidade do substrato em neutralizar variações rápidas de pH provocados pela adição de fertilizantes ou substâncias de caráter ácido ou básico ao mesmo e, normalmente, é maior em materiais com elevada capacidade de troca de cátions, o que justifica o maior poder tampão verificado em materiais orgânicos frente aos inorgânicos. Desta forma, o substrato pode deslocar os íons H^+ dos ácidos adicionados ou neutralizar os grupos OH^- das bases adicionadas, por troca catiônica ou por neutralização (Burés, 1997).

Em substratos ácidos, o valor de pH verificado na sua solução constitui a acidez ativa do mesmo. Se um íon H^+ presente na solução é neutralizado pela adição de OH^- , grupos funcionais das moléculas orgânicas se dissociam, liberando H^+ , o que constitui a parte da acidez potencial deste substrato, e o pH não se modifica sensivelmente (Silva *et al.*, 2000). Portanto, a resistência de um solo ácido em modificar seu pH quando são adicionados compostos básicos é devida à acidez potencial do mesmo, de modo que o pH começa a aumentar apenas quando o composto responsável pela acidez potencial não consegue liberar íons H^+ para a solução na mesma proporção em que estes são neutralizados (Bissani *et al.*, 2008).

Esta forma de acidez deve-se, principalmente, ao Al^{3+} trocável e à matéria orgânica (cujos grupos funcionais liberam H^+ ao se dissociarem), sendo expressa, nos laudos de análise, pela soma dos teores de $H+Al$, em $cmol_c\ dm^{-3}$, de modo que, quando maior este valor, maior será a acidez potencial (Bissani *et al.*, 2008).

O mesmo ocorre para substratos alcalinos. Neste caso, porém, o OH^- é que será liberado para a solução para neutralizar os íons H^+ resultantes da adição de substâncias acidificantes ao substrato. Essa capacidade de um substrato alcalino em tamponar variações do pH pode ser quantificada através do poder de neutralização (PN), que consiste em um índice, expresso em porcentagem (%) de equivalente de carbonato de cálcio ($CaCO_3$) (relação massa:massa), determinado em laboratório através da reação do material *in natura* com ácido diluído, simulando a reação que ocorre no solo. Neste caso, o $CaCO_3$ é tomado como padrão, sendo atribuído ao mesmo um PN de 100% (Volkweiss & Tedesco, 1984; Bissani *et al.*, 2008).

Portanto, pode-se considerar a acidez potencial e o poder de neutralização como indicadores confiáveis do poder tampão de substratos ácidos e alcalinos, respectivamente. Porém, para que possam ser comparados, é interessante que um deles seja convertido para que seja expresso na mesma unidade do outro.

2.3.3.3 Salinidade ou teor total de sais solúveis (TTSS)

A salinidade ou teor total de sais solúveis (TTSS) de um substrato está associada à fração de constituintes inorgânicos solúveis em água (Kämpf, 2005; Souza & Schäfer, 2009). De fato, a fase líquida do substrato consiste em uma solução aquosa com diversos sais de composição e concentração não homogêneas. A composição a concentração da solução dependem dos materiais que constituem o substrato e das possíveis adições de fertilizantes realizadas, bem como do teor e distribuição da umidade no espaço poroso, de modo que, quanto menor o seu teor, maior a concentração (Burés, 1997).

Os íons dissolvidos na solução do meio de cultivo conduzem corrente elétrica de maneira diretamente proporcional à sua concentração. Desta forma, através da medida da condutividade elétrica (CE), expressa em dS m^{-1} , mS cm^{-1} ou $\mu\text{S cm}^{-1}$, obtêm-se uma indicação aproximada da concentração total de íons dissolvidos no substrato (Souza & Schäfer, 2009), sendo que, nesta avaliação, leva-se em conta todos os íons, nutrientes e não-nutrientes (Kämpf, 2005).

A sensibilidade à concentração de sais varia conforme a espécie e a idade da planta, sendo que, quanto mais jovem, mais sensível (Kämpf, 2005). Na produção de mudas de citros, durante a fase de sementeira os valores de TTSS (g L^{-1}) não devem ultrapassar 1,0, já que as plantas são bastante sensíveis e, após

isso, na fase de viveiro, esses valores devem situar-se entre 1,0 e 2,0, pois o grau de sensibilidade diminui (Kämpf, 2000; Souza & Schäfer, 2009).

2.3.3.4 Método não destrutivo para monitoramento do pH e CE:

PourThru

Existem diversos meios para determinação do pH e da salinidade de substratos. As análises realizadas em laboratórios normalmente apresentam resultados mais precisos. Nesses casos, utiliza-se extratores líquidos, como água ou ácidos, fazendo-se diluições em diferentes proporções de substrato e extrator, com base em peso:volume ou volume:volume (Röber & Schaller, 1985; Tedesco *et al.*, 1995; Kämpf, 2005).

Entretanto, tratam-se de métodos relativamente dispendiosos e demorados, e podem ser considerados destrutivos, já que acarretam na retirada de amostras de todo o perfil do vaso, eliminando, conseqüentemente, inúmeras plantas do cultivo, ou comprometendo o seu desenvolvimento (Schäfer, 2004). Frente a isso, Wright (1986) descreveu um procedimento de extração de solução, chamado de *Pour-through*, com o objetivo de determinar o pH, os sais solúveis e os nutrientes do meio de cultivo.

O teste *PourThru*, descrito por pesquisadores da Universidade da Carolina do Norte, adaptado de Wright (1986), busca monitorar o pH e a CE de substratos, quantificando-os por meio da coleta de lixiviados nos vasos de cultivo. Tal método consiste na realização de uma irrigação até a saturação do substrato, seguida de uma hora de intervalo para que o mesmo atinja a capacidade de vaso, e posterior aplicação de uma quantidade de água destilada que varia de acordo com o

tamanho do recipiente. Então, coleta-se o lixiviado em um outro recipiente colocado abaixo do meio de cultivo e, imediatamente, faz-se a leitura do pH e da CE (Cavins *et al.*, 2000; Schäfer, 2004).

Schäfer (2004), ao analisar o pH e a CE/salinidade de um substrato, comparou os resultados obtidos na leitura realizada com um método tradicional de laboratório com aqueles resultantes do teste *PourThru*. Para a variável pH, o autor observou correlação altamente significativa ($r = 0,98$ e $p < 0,0001$), indicando uma relação linear positiva entre os dois métodos. Outros autores também chegaram a esta conclusão (Wright *et al.*, 1990).

A relação entre a CE mensurada pelo teste *PourThru* e o TTSS mensurado em laboratório também apresentou uma correlação altamente significativa ($r = 0,97$ e $p < 0,0001$), indicando uma relação linear positiva (Schäfer, 2004). Entretanto, para essa variável, a interpretação do valor obtido na leitura da amostra deve levar em consideração o método de análise empregado, pois as extrações ocorrem com diferentes proporções de água e substrato. Segundo Cavins (2000), valores de CE determinados pelo teste *PourThru* são maiores que os obtidos pelos métodos 1:5 e 1:2 (relação substrato:água; v:v) em um mesmo substrato, por exemplo.

Neste sentido, para o método *PourThru*, os níveis de salinidade de um substrato, com base na leitura da CE (mS cm^{-1}), compreendem as seguintes faixas: muito baixo (0,0 a 1,0), baixo (1,0 a 2,6), normal (2,6 a 4,6), alto (4,6 a 6,5), muito alto (6,6 a 7,8) e extremo ($>7,8$) (Cavins, 2000). O autor ainda compara esses valores àqueles obtidos a partir de outros métodos, sendo que os níveis

normais do teste *PourThru* (2,6 a 4,6) equivalem à faixa ente 0,36 e 0,65 no teste de laboratório 1:5 (método oficial brasileiro), e entre 0,76 a 1,25 no método 1:2.

A partir de seus resultados, Schäfer (2004) concluiu que o método *PourThru* é apropriado para a análise do pH e CE de substratos, podendo a leitura dos valores ser realizada até 72 horas após a coleta das amostras, sem comprometimento da confiabilidade.

2.3.3.5 Capacidade de troca de cátions (CTC)

Nas interfaces entre as fases sólida e líquida dos substratos ocorre uma série de reações, com destaque para a adsorção de substâncias nas superfícies coloidais. Neste sentido, a capacidade apresentada pelas partículas sólidas em adsorver e trocar cátions, como Ca^{2+} , Mg^{2+} , K^+ , Na^+ e NH_4^+ , é conhecida como capacidade de troca de cátions (CTC), expressa em $\text{cmol}_c \text{L}^{-1}$, e sua magnitude está relacionada com a natureza das partículas do substrato. Turfas fibrosas, por exemplo, apresentam menor tempo de decomposição que turfas pretas, o que reflete nos valores de CTC, que são próximos a 24,5 e 59,3 $\text{cmol}_c \text{L}^{-1}$, respectivamente. Esta propriedade confere aos nutrientes retidos nos pontos de troca uma certa proteção contra a fácil lixiviação (Burés, 1997; Gauland, 1997; Kämpf, 2005).

2.4 Enxofre elementar na correção do pH de substratos orgânicos

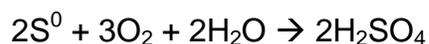
alcalinos

Um corretivo muito utilizado para baixar o pH de solos minerais em regiões com problemas de alcalinidade, como é o caso de inúmeros países europeus, é o enxofre elementar (S^0). Trata-se de um material de relativo baixo custo, elevada

capacidade relativa de correção e passível de ser empregado em larga escala, quando comparado a outros corretivos acidificantes, como o sulfato de ferro (II) ($\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$), o sulfato de alumínio [$\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 18\text{H}_2\text{O}$], o ácido sulfúrico (98%) (H_2SO_4), o sulfato de amônio [$(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$] e a pirita (FeS_2) (Varenes, 2003).

Informações a respeito da eficiência do enxofre elementar na redução do pH de substratos orgânicos são escassas. Porém, alguns estudos a respeito do tema, desenvolvidos para aplicação em solos com predomínio de materiais de origem mineral, apresentam informações interessantes e que podem ser estendidas e adaptadas para a utilização do enxofre elementar como corretor do pH de substratos com predomínio de materiais de origem orgânica.

De acordo com Bissani *et al.* (2008), em se tratando de solos minerais bem drenados, a adição de 1 kg de enxofre elementar (S^0) pode neutralizar a alcalinidade de 3 kg de calcário (CaCO_3), tamanho o seu potencial de acidificação. O referido efeito acidificante resultante da aplicação do enxofre elementar em solos bem drenados está associado à oxidação do mesmo, que pode ocorrer de forma abiótica, que é menos frequente, ou por atividade biológica, quando a reação é catalisada por microrganismos, que por sua vez consiste no tipo predominante (Varenes, 2003; Horowitz & Meurer, 2007; Bissani *et al.*, 2008). Esse processo tem como consequência a formação de ácido sulfúrico, como pode ser observado na equação:



(Bissani *et al.*, 2008)

Entretanto, a intensidade desta reação depende de inúmeros fatores que afetam a taxa de oxidação do S elementar pelos microrganismos. Dentre estes,

pode-se destacar a biomassa microbiana, as características químicas e físicas do substrato, como aeração, umidade, pH, textura, fertilidade e teor de matéria orgânica, e as características da fonte de S⁰ utilizada, com destaque para a área superficial específica das partículas (Germida & Janzen, 1993; Scherer, 2001; Horowitz, 2003).

2.4.1 Fatores que afetam a taxa de oxidação do enxofre elementar

2.4.1.1 Microrganismos

A oxidação do S elementar ocorre a partir da colonização da superfície da partícula pelos microrganismos e, dependendo das características químicas e físicas do solo, diferentes grupos de microrganismos podem predominar como agentes oxidantes (Horowitz, 2003).

A ocorrência de tal oxidação depende da especificidade dos microrganismos e do tamanho de sua população. Neste sentido, algumas pesquisas apontam que existe uma elevada correlação entre o aumento da oxidação do S elementar com a biomassa microbiana (Horowitz, 2003). Outros autores verificaram que, após as primeiras adições de S⁰ ao solo, houve um efeito estimulante na taxa de oxidação das aplicações posteriores, o que, provavelmente, deve-se ao aumento da população de microrganismos (Novell & Wainwright, 1987; Solberg *et al.*, 2003; Li *et al.*, 2005; César, 2012), o que indica a importância da presença dos mesmos.

Inúmeros grupos de microrganismos são capazes de desempenhar este papel. Porém, aqueles conhecidos como quimioautotróficos, a exemplo das bactérias do gênero *Thiobacillus*, e os heterotróficos, que incluem inúmeras

bactérias e fungos, são considerados os mais importantes em meios aeróbicos (Germida & Janzen, 1993; Horowitz, 2003).

O gênero *Thiobacillus* sempre foi considerado como sendo o mais importante para a ocorrência da oxidação do S elementar em solos (Horowitz, 2003). Porém, há poucos estudos sobre o assunto, e a dificuldade de se isolar estes microrganismos em solos agrícolas dificulta a mensuração da eficiência oxidativa dos diferentes gêneros e espécies. De qualquer maneira, outros grupos de microrganismo têm apresentado importância, com destaque para as espécies heterotróficas (Germida & Janzen, 1993).

De acordo com Watkinson & Blair (1993), os microrganismos heterotróficos encontram-se em grande número no solo, e caracterizam-se por colonizar rapidamente a superfície das partículas de S elementar, apesar de apresentarem uma baixa taxa de oxidação. Já os *Thiobacillus* levam mais tempo para colonizar as referidas partículas, pois necessitam se multiplicar após a adição do S elementar. Entretanto, isso é compensado pelo fato de apresentarem uma maior taxa de oxidação do S elementar (Watkinson & Blair, 1993).

2.4.1.2 Características físico-químicas do substrato

2.4.1.2.1 Aeração e umidade

A aeração e a umidade de um determinado solo ou substrato são fatores que estão inversamente relacionados. Normalmente, o aumento do espaço ocupado pelo ar acarreta, inevitavelmente, na diminuição do espaço ocupado pela água, e vice-versa.

Com relação à oxidação do enxofre elementar, a maior parte das espécies de microrganismos responsáveis pela taxa de oxidação são aeróbicas obrigatórias e, portanto, não atuam em ambiente saturado (Germida & Janzen, 1993). Deste modo, a taxa de oxidação é relacionada com o potencial da água no solo ou substrato, ocorrendo uma relação parabólica até as taxas máximas (Janzen & Bettany, 1987b), sendo que estas são verificadas ao redor da capacidade de campo, diminuindo em potenciais mais altos ou mais baixos (Horowitz, 2003). Solberg *et al.* (2005) observaram uma taxa de oxidação do S elementar elevada em solos com umidade equivalente a 40 a 90% da capacidade de campo, de modo que em solos com teor de umidade muito elevado, a oxidação é limitada pela falta de aeração.

Porém, alguns trabalhos apontam que a condição de seca temporária parece não exercer grande efeito a longo prazo sobre a taxa de oxidação do S elementar (Germida & Janzen, 1993), o que pode ser um indicativo de que a baixa aeração é mais limitante do que o baixo teor de umidade.

2.4.1.2.2 pH

A capacidade de oxidação das diferentes espécies de bactérias está relacionada com o pH do meio, sendo que, segundo Lawrence & Germida (1988), até um determinado limite, quando o pH inicial é mais elevado, a taxa de oxidação do S elementar é maior. Entretanto, trata-se de uma relação mais complexa e que envolve diferentes grupos de microrganismos. Neste sentido, as espécies *Thiobacillus thioparus* e *T. neapolitanus* oxidam o S elementar quando o pH está próximo da neutralidade, enquanto que a *T. thiooxidans* predomina em pH abaixo

de 5, podendo se desenvolver em pH muito ácido, ao redor de 2 (Wainwright, 1984; Horowitz, 2003).

Segundo Vitolins & Swabi (1969), a oxidação do S elementar envolve uma sucessão de grupos de microrganismos. Em solos alcalinos, segundo os mesmos, os heterotróficos são os primeiros. À medida que o pH decresce, os *Thiobacillus thioparus* passam a ser predominantes e, quando o pH atinge valores inferiores a 5, as bactérias da espécie *Thiobacillus thiooxidans* são os principais agentes da oxidação (Horowitz, 2003).

Entretanto, apesar da adaptação das diferentes espécies de microrganismos às variações de pH, a capacidade do solo ou substrato em tamponar o ácido sulfúrico formado na oxidação pode ser determinante para a continuidade do processo, pois elevadas concentrações do ácido podem vir a inibir a atividade dos microrganismos oxidantes (Barrow, 1971).

2.4.1.2.3 Temperatura

Assim como na maioria dos processos catalisados por microrganismos, a temperatura afeta significativamente a taxa de oxidação do S elementar, de modo que é considerado um dos principais fatores que influenciam no desempenho do processo (Horowitz, 2003).

A faixa de temperatura em que a oxidação do S elementar pode ocorrer encontra-se entre 4 e 45° C, sendo que a faixa ideal é entre 25 e 40° C (Deng & Dick, 1990; Miyamoto, 1998). De fato, em regiões mais frias, com temperaturas inferiores a 15 °C, a eficiência de fertilizantes com S⁰ é baixa (Janzen & Bettany, 1987b). Essa importância da temperatura para a taxa de oxidação do S elementar

também foi verificada em solos da Nova Zelândia, quando, em 80 diferentes solos da região, a temperatura foi o fator que mais afetou a média anual de oxidação (Watkinson & Lee, 1994). Portanto, em regiões frias, a viabilidade da utilização do S elementar é questionável, tendo em vista a baixa eficiência do processo de oxidação.

Considerando esta variação da taxa de oxidação do S⁰ em função da temperatura do solo, deve-se atentar para o fato de que os fatores que alteram, com maior ou menor intensidade, tal característica do solo, como a sua cor, o manejo de resíduos e a época de aplicação da fonte de S elementar, influenciarão na taxa de oxidação (Horowitz, 2003). Tais características devem ser consideradas e, na medida do possível, adequadas através de práticas de manejo, de modo a otimizar o desempenho do processo em substratos.

2.4.1.2.4 Matéria orgânica

O teor de matéria orgânica do solo ou do substrato consiste em um dos fatores determinantes da taxa de oxidação do S elementar. A sua importância está relacionada a utilização da mesma como fonte de energia e carbono pelos microrganismos responsáveis pelo processo.

Neste sentido, Janzen & Bettany (1987a) observaram correlação positiva entre o teor de matéria orgânica de 39 solos e a oxidação do S elementar, o que também foi observado por Lawrence & Germida (1988).

2.4.1.3 Características da fonte de S elementar

Alguns fatores relacionados às características da fonte de S elementar influenciam na eficiência e na taxa de oxidação do mesmo. Dentre estes fatores, pode-se destacar a área superficial específica das partículas, bem como a dose aplicada e a dispersão das mesmas no solo ou substrato (Horowitz, 2003).

Com relação à área superficial específica, sabe-se que esta é maior à medida que o diâmetro das partículas diminui e, quanto maior o seu valor, maior a taxa de oxidação (Horowitz, 2003). Donald & Chapman (1998) verificaram uma maior taxa de oxidação para partículas com diâmetro inferior a 0,048 mm quando comparado a partículas com diâmetro inferior a 0,125 mm, o que também foi observado por Sholeh *et al.* (1997) ao comparar grupos de partículas com tamanhos de 0,05 mm a 0,15 mm e 0,15 mm a 0,25 mm.

Além disso, maiores doses de S elementar adicionados ao solo ou substrato resultam em maior oxidação. Entretanto, a relação linear entre esses fatores apresenta um limite, além do qual a taxa de oxidação pode diminuir, possivelmente devido ao efeito inibitório dos produtos da oxidação, como o ácido sulfúrico, sobre os microrganismos (Deng & Dick, 1990; Horowitz, 2003). Somado a tal fator, a dispersão das partículas do S elementar adicionado ao solo deve ser levada em consideração, já que, segundo Horowitz (2003), o aumento progressivo da dispersão das partículas de S elementar no solo acarreta em um aumento na taxa de oxidação.

3 MATERIAL E MÉTODOS

O presente trabalho englobou dois estudos, conduzidos entre dezembro de 2011 e dezembro de 2012. No Estudo 1, avaliou-se a influência da mistura entre dois diferentes condicionadores nas características dos substratos resultantes, bem como no desenvolvimento de porta-enxertos cítricos. Já no Estudo 2, avaliou-se a eficiência da adição de enxofre elementar na redução do pH de um substrato alcalino, visando a produção de porta-enxertos cítricos.

Para ambos estudos, nos experimentos que envolveram semeadura de porta-enxertos cítricos, utilizou-se sementes coletadas de frutos maduros de plantas matrizes de porta-enxertos da empresa Panoramas Citrus, situada no município de Butiá/RS. A metodologia adotada para a extração das sementes é descrita por Koller (1994), sendo que, posteriormente, estas permaneceram em geladeira (4 a 6 °C), dentro de sacos plásticos, tratadas com fungicida Captan[®], até o momento da semeadura. Após a emergência das plântulas, fez-se um desbaste deixando apenas uma planta por tubete ou célula, mantendo-se aquela que apresentou maior vigor. Este desbaste foi realizado quando as plântulas estavam com aproximadamente 3 a 4 cm de altura.

3.1 Estudo 1. Mistura entre condicionadores: influência no pH dos substratos e no desenvolvimento de porta-enxertos cítricos

O Estudo 1 foi conduzido entre 02 de dezembro de 2011 e 22 de março de 2012 (111 dias), em casa de vegetação situada na Estação Experimental Agrônômica da Universidade Federal do Rio Grande do Sul (EEA/UFRGS), localizada no km 146 da BR 290, no município de Eldorado do Sul/RS, e nos laboratórios do Departamento de Horticultura e Silvicultura (DHS), localizados no Campus da Faculdade de Agronomia (UFRGS), em Porto Alegre/RS.

O experimento englobou a fase de sementeira para produção de porta-enxertos cítricos. A semeadura foi realizada em tubetes cônicos de polietileno (volume de 120 cm³), preenchidos com substrato e vazados na parte basal, colocando-se uma semente por tubete, à profundidade de 1 cm. Os tubetes foram submetidos a um sistema de subirrigação por capilaridade, descrito por Schäfer (2004), em que cerca de 30% do volume dos mesmos foi mantido imerso em água, a partir da base, por uma hora, duas vezes ao dia.

O delineamento experimental adotado foi o de blocos ao acaso, em esquema de parcelas subdivididas, com quatro blocos e cada subparcela constituída por dez tubetes/plantas. Foram testadas cinco misturas entre dois condicionadores, que constituíram as parcelas principais, e as subparcelas constituíram-se de três variedades de porta-enxertos cítricos, além de uma subparcela com ausência de plantas.

Os condicionadores empregados foram dois substratos comerciais, sendo um composto basicamente por casca de eucalipto compostada (E), com pH alcalino, proveniente de uma empresa situada em Eldorado do Sul/RS, e outro

composto por turfa (T), sem correção de pH e, portanto, com pH ácido, proveniente de uma empresa situada em Criciúma/SC. As características químicas e físicas desses condicionadores encontram-se nas Tabelas 1 e 2. Entretanto, existe uma carência de metodologias para análise nutricional de substratos orgânicos. Por isso, com relação aos teores de nutrientes e acidez potencial, deve-se ressaltar que as metodologias de análise empregadas foram desenvolvidas para solos e aplicadas em substratos.

TABELA 1. Características químicas dos substratos (condicionadores) utilizados nas misturas do Estudo 1: casca de eucalipto compostada e turfa. Porto Alegre/RS, 2011.

Determinação	Casca de eucalipto compostada	Turfa
Ph	7,80	2,94
CE (mS cm ⁻¹)	2,65	2,09
P extraível (mg kg ⁻¹)	14,3	6,6
K extraível (mg kg ⁻¹)	2105	101
Al trocável (cmol _c kg ⁻¹)	0,0	3,1
Ca trocável (cmol _c kg ⁻¹)	61,9	14,0
Mg trocável (cmol _c kg ⁻¹)	10,7	4,8
S-SO ₄ ²⁻ extraível (mg kg ⁻¹)	601	644
Zn extraível (mg kg ⁻¹)	1,1	4,0
Cu extraível (mg kg ⁻¹)	0,2	0,3
B extraível (mg kg ⁻¹)	5,4	1,7
Mn trocável (mg kg ⁻¹)	36,0	39,0
Carbono orgânico (%)	8,2	34
Sat. da CTC por bases (%)	98	nd
PN (%)	7	nd
Al + H (cmol _c kg ⁻¹)	1,2	97

pH e CE (condutividade elétrica) determinados pelo método *PourThru*; P e K pelo método Mehlich I; C.O. por combustão úmida; Ca, Mg, Al, Mn trocáveis extraídos com KCl 1 mol/L; S-SO₄²⁻ extraído com CaHPO₄ 500 mg/L de P; Zn e Cu extraídos com HCl 0,1 mol/L; B extraído com água quente; PN = poder de neutralização, em equivalente a CaCO₃; Al+H = acidez potencial; nd = não determinado.

TABELA 2. Características físicas dos substratos (condicionadores) utilizados nas misturas do Estudo 1: casca de eucalipto compostada e turfa. Porto Alegre/RS, 2011.

Determinação	Casca de eucalipto compostada	Turfa
DU (kg m ⁻³)	1057	836
DS (kg m ⁻³)	664	338
MS (g 100g ⁻¹)	63	40
PT (m ³ m ⁻³)	0,78	0,83
EA (m ³ m ⁻³)	0,27	0,18
AFD (m ³ m ⁻³)	0,07	0,10
AT (m ³ m ⁻³)	0,04	0,06
AD (m ³ m ⁻³)	0,10	0,15

DU = densidade úmida; DS = densidade seca; MS = matéria seca (sólidos); PT = porosidade total; EA = espaço de aeração; AFD = água facilmente disponível; AT = água tamponante; AD = água disponível.

As misturas entre os condicionadores foram feitas no momento que antecedeu o enchimento dos tubetes, manualmente, numa relação de volume por volume, em três proporções de casca de eucalipto compostada e turfa (3:1; 1:1 e 1:3), além de cada material individualmente, totalizando cinco diferentes substratos testados. Considerando a densidade seca dos materiais, a relação de massa por massa dos cinco diferentes substratos em proporções de casca de eucalipto compostada (E) e turfa (T) ficou assim constituída: 100%E:0%T; 85%E:15%T; 66%E:34%T; 40%E:60%T; 0%E:100%T.

Os três porta-enxertos cítricos avaliados foram o Trifoliata (*Poncirus trifoliata*); o citrangeiro 'FEPAGRO C 37' (*P. trifoliata* x *C. sinensis*); e o citrumeleiro 'Swingle' (*P. trifoliata* x *C. paradisi*), sendo que uma das subparcelas foi mantida sem plantas.

Foram realizadas seis avaliações no período decorrente entre a mistura dos substratos e semeadura dos porta-enxertos até 111 dias após os mesmos, contemplando as seguintes características:

1. Características físicas dos substratos, antes e depois do cultivo, determinadas no Laboratório de Análise de Substratos para Plantas do Departamento de Horticultura e Silvicultura, utilizando-se três repetições, segundo metodologia descrita por Hoffman (1970) e De Boodt & Verdonck (1972), adotada por Fermino (1996), que consiste em:

1.1. Densidade de volume (seca e úmida);

1.2. Porosidade total (PT);

1.3. Espaço de aeração (EA);

1.4. Água facilmente disponível (AFD);

1.5. Água tamponante (AT);

1.6. Água remanescente (AR).

2. Valor de pH e condutividade elétrica (CE) dos substratos, obtidos aos 0, 19, 41, 61, 88 e 111 dias após a mistura, através do método não destrutivo *PourThru*, adaptado de Wright (1986) e descrito por Cavins *et al.* (2000), conduzido da seguinte forma:

2.1. Irrigou-se o substrato até a sua saturação;

2.2. Esperou-se por uma hora e colocou-se recipientes plásticos abaixo de dois tubetes por tratamento, com capacidade para coletar aproximadamente 50 mL cada;

2.3. Colocou-se 50 mL de água destilada na superfície do substrato de cada tubete, totalizando 100 mL adicionados em cada tratamento (volume adequado para o tamanho do recipiente de cultivo);

2.4. Coletou-se o lixiviado quando cada recipiente apresentou entre 25 e 35 mL (50 a 70 mL por tratamento), e transferiu-se o conteúdo coletado em cada tratamento para um recipiente de vidro com tampa;

2.5. As amostras foram armazenadas em geladeira (4 a 6 °C) e a leitura dos valores de pH e condutividade elétrica foram realizadas até 48 horas após a coleta do lixiviado. Para as leituras, utilizou-se um condutímetro de bancada (Digimed DM 31[®]) e um peagômetro de bancada (Digimed DM 20[®]).

3. Velocidade de emergência e emergência final das plantas;

4. Vigor das plantas ao final do experimento através de:

4.1. Diâmetro do caule, a 1 cm da superfície do substrato, em mm, medido com um paquímetro digital;

4.2. Comprimento da parte aérea, medida com uma trena graduada, da superfície do substrato até o ápice do caule, em cm;

4.3. Massa fresca da raiz e da parte aérea, em gramas;

4.4. Massa seca da raiz e da parte aérea, em gramas, após secagem em estufa, a 65 °C, até peso constante;

4.5. Área foliar por planta, em cm², medida através da passagem das folhas por um medidor de área foliar da marca LI-Cor, modelo LI – 3100;

As avaliações de emergência de plântulas, altura e diâmetro das plantas, bem como a coleta do lixiviado para avaliação do pH e condutividade elétrica do substrato por meio do método *PourThru*, foram realizadas na EEA/UFRGS. As

demais avaliações, por sua vez, foram conduzidas no Laboratório de Horticultura e no Laboratório de Análise de Substratos para Plantas, ambos do Departamento de Horticultura e Silvicultura da Faculdade de Agronomia da UFRGS, ao final do experimento.

Os resultados obtidos foram submetidos à análise de variância (ANOVA), sendo a significância das diferenças entre as médias avaliadas pelo teste de Tukey, ao nível de 5% de probabilidade de erro e, quando necessário, procedeu-se a análise de regressão polinomial. As regressões significativas serão representadas graficamente através da curva de tendência e presença da equação junto à legenda. Para as regressões não significativas, por sua vez, os pontos da curva serão unidos.

A Figura 1 ilustra a variação da temperatura do ar na Estação Experimental Agronômica (EEA-UFRGS), no ambiente externo às estufas, durante o período correspondente à condução do experimento.

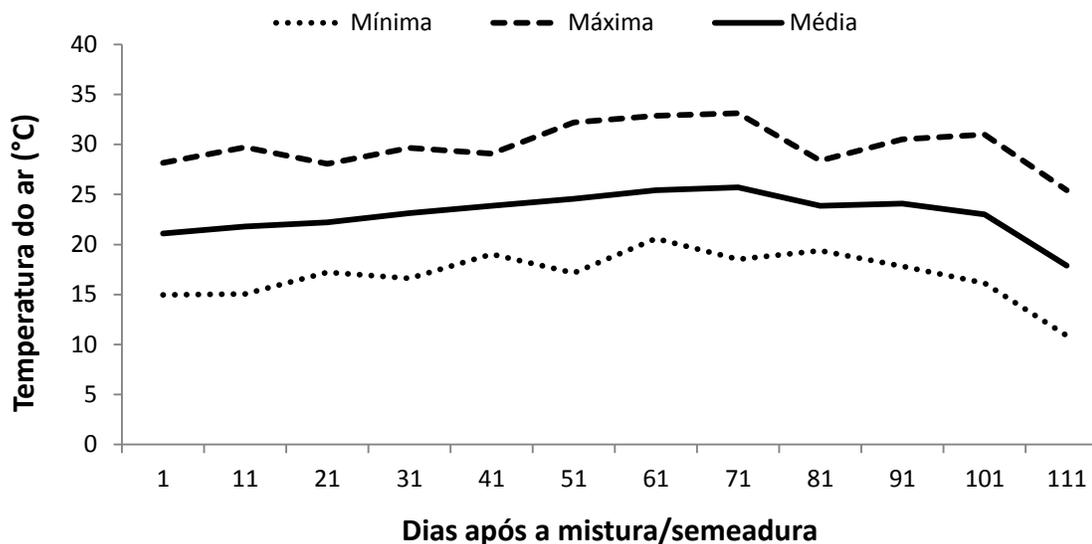


FIGURA 1. Variações nas temperaturas decendiais mínimas, máximas e médias do ar, ao longo dos 111 dias após a mistura entre os condicionadores e semeadura dos porta-enxertos (02/12/2011 a 22/03/2012). EEA/UFRGS, Eldorado do Sul/RS. Fonte: Departamento de Plantas Forrageiras e Agrometeorologia/Faculdade de Agronomia/UFRGS, 2013.

3.2 Estudo 2. Enxofre elementar no manejo do pH de substrato alcalino

Este estudo englobou dois experimentos visando verificar a eficiência do enxofre elementar na redução do pH de um substrato alcalino e, em um deles, também o desenvolvimento de um porta-enxerto cítrico.

3.2.1 Experimento 1: Doses de enxofre elementar associadas ou não a lixiviado de solo para redução do pH de substrato alcalino

O Experimento 1 foi conduzido entre 17 de janeiro de 2012 e 04 de outubro de 2012 (261 dias), sendo dividido em duas etapas. A Etapa 1 foi realizada em casa de vegetação situada na Faculdade de Agronomia da UFRGS e, a Etapa 2,

em casa de vegetação situada na Estação Experimental Agronômica da Universidade Federal do Rio Grande do Sul (EEA/UFRGS).

3.2.1.1 Etapa 1

Na Etapa 1 foram utilizados recipientes com volume de um litro, preenchidos na sua totalidade com substrato e vazados na parte basal, submetidos a um sistema de irrigação por aspersão, acionado duas vezes ao dia, durante 10 minutos por turno.

O delineamento experimental foi inteiramente casualizado, em esquema fatorial 5x2, contemplando cinco doses de enxofre elementar e ausência ou presença de lixiviado de solo (análise do solo no Apêndice 1), com três repetições por tratamento.

As diferentes doses de enxofre elementar (0,0; 4,0; 8,0; 12,0 e 16,0 g S⁰ L⁻¹ de substrato), obtidas através de um produto comercial com 99% de pureza, foram misturadas manualmente e de forma homogênea a um substrato comercial alcalino, composto basicamente por casca de eucalipto compostada e cujas características químicas e físicas são apresentadas nas Tabelas 1 e 2. No tratamento com lixiviado de solo, adicionou-se 100 mililitros por recipiente, na superfície do substrato, logo após a mistura com o enxofre elementar, visando avaliar o efeito da inoculação de *Thiobacillus* sp.

Para a obtenção do lixiviado, procedeu-se da seguinte maneira:

- a) Coletou-se um volume de 20 dm³ de solo;
- b) Adicionou-se o volume de solo coletado a um recipiente contendo 10 pequenos orifícios na superfície inferior;

c) Posicionou-se um recipiente plástico abaixo do recipiente perfurado contendo o solo;

d) Adicionou-se 15 litros de água destilada à superfície do solo presente no recipiente perfurado;

e) Coletou-se o lixiviado resultante da percolação da água destilada no solo.

A determinação das doses de enxofre a serem testadas ocorreu da seguinte forma (cálculos no Apêndice 2):

a) Determinou-se o poder de neutralização (PN), em porcentagem de equivalente a CaCO_3 , do substrato, no Laboratório de Solos do Departamento de Solos da UFRGS;

b) A partir do valor do PN, calculou-se a quantidade de íons H^+ , em gramas, necessária para neutralizar todos os íons OH^- que o substrato é capaz de liberar para a solução;

c) Conhecendo-se a quantidade, em gramas, de íons H^+ que cada grama de S elementar forma após o processo de oxidação, calculou-se a dose exata de S elementar para total neutralização dos OH^- do substrato;

d) A partir dos dados obtidos, estabeleceu-se a curva das doses de S elementar a serem adicionadas ao substrato;

As doses e as misturas foram determinadas e realizadas com base na densidade seca do substrato.

Foram realizadas cinco avaliações no período decorrente entre a mistura do substrato com o enxofre elementar até 98 dias após a mistura (DAM).

As variáveis analisadas foram o valor do pH e da condutividade elétrica (CE) do substrato. Para tanto, foi utilizado o método *PourThru*, descrito no item 2

do Estudo 1, alterando-se apenas o volume de água destilada adicionada a cada recipiente (100 mL), em função do tamanho do mesmo, de modo que unidade amostral foi o volume lixiviado (cerca de 70 mL) coletado de cada recipiente.

Os resultados foram submetidos à análise de variância, sendo as médias diferenciadas estatisticamente pelo teste de Tukey ($p > 0,05$) e, quando necessário, procedeu-se a análise de correlação e regressão polinomial. As regressões significativas serão representadas graficamente através da curva de tendência e presença da equação junto à legenda. Para as regressões não significativas, por sua vez, os pontos da curva serão unidos.

3.2.1.2 Etapa 2

Passados 98 dias da instalação do experimento, o substrato foi retirado dos recipientes de um litro, sendo revolvido e mantido em local abrigado por 24 dias, dentro de recipientes abertos para redução da umidade, dando início à Etapa 2. Aos 122 DAM (dias após a mistura) o material foi, então, transferido para bandejas de isopor contendo 72 células cada (volume de $120 \text{ cm}^3 \cdot \text{célula}^{-1}$), mantendo-se três repetições por tratamento.

No mesmo dia do enchimento das bandejas com o substrato, realizou-se a semeadura do porta-enxerto citrumeleiro 'Swingle'. Foram semeadas 36 sementes (uma por célula) por repetição.

Nesta etapa, que novamente foi conduzida em ambiente protegido (estufas com filme plástico aditivado, com espessura de 150 micras), a irrigação foi efetuada através de um sistema de subirrigação por capilaridade (Schäfer 2004),

em que cerca de 30% do volume das bandejas foi mantido imerso em água, a partir da base, por um período de uma hora, duas vezes ao dia.

Foram realizadas oito avaliações no período entre a semeadura do porta-enxerto até 139 dias após os mesmos, que corresponde ao período entre 146 e 261 dias após a mistura do substrato com o S elementar. As variáveis analisadas foram os valores de pH e condutividade elétrica (CE) do substrato ao longo do experimento. Para tanto, assim como na Etapa 1, foi empregado o método *PourThru*, conforme descrito no item 2 do Estudo 1. Porém, nesta etapa passou-se a adicionar 50 mL de água destilada em cada recipiente (célula da bandeja) (volume adaptado ao tamanho do mesmo), e a unidade amostral foi o volume de lixiviado (cerca de 70 mL) coletado em cada duas células, com três repetições. Essas avaliações foram realizadas aos 146, 163, 185, 204, 224, 241 e 261 dias após a mistura (DAM).

Ao final do experimento (04 de outubro de 2012 - 261 dias após a mistura com S⁰ e 139 dias após a semeadura) avaliou-se a emergência final das plantas, a altura da parte aérea (cm), da superfície do substrato até o ápice da planta, com auxílio de uma trena graduada, e o diâmetro do caule, através de um paquímetro digital, a 1 cm de altura a partir da superfície do substrato. Além disso, verificou-se a área foliar por planta (medida em cm², no equipamento da marca LI-Cor AREA METER, modelo LI-3100C), a massa fresca de raiz e parte aérea (g) (pesada em balança analítica no momento da chegada do material ao laboratório) e a massa seca de raiz e parte aérea (g) (obtidas após secagem em estufa à temperatura de 65°C, até peso constante).

Os resultados foram submetidos à análise de variância, sendo as médias

diferenciadas estatisticamente pelo teste de Tukey ($p>0,05$) e, quando necessário, procedeu-se a análise de correlação e regressão polinomial.

A Figura 2 ilustra a variação da temperatura do ar, no ambiente externo às estufas, durante todo o período de condução do experimento (etapas 1 e 2).

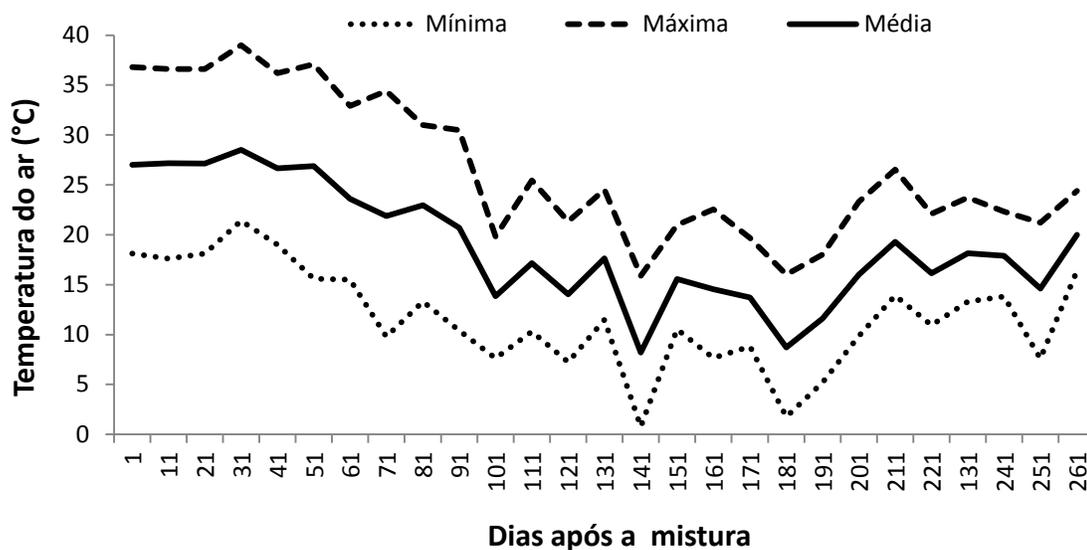


FIGURA 2. Variações nas temperaturas decendiais mínimas, máximas e médias do ar, ao longo dos 261 dias após a mistura entre as doses de S elementar e o substrato (17/01/2012 a 31/10/2012). Porto Alegre/RS; Fonte: Instituto Nacional de Meteorologia (INMET), 2013. EEA/UFRGS, Eldorado do Sul/RS; Fonte: Departamento de Plantas Forrageiras e Agrometeorologia/Faculdade de Agronomia/UFRGS, 2013.

3.2.2 Experimento 2: Manejo do pH de substrato alcalino com o uso de enxofre elementar

O Experimento 2 foi conduzido entre 28/09/2012 e 17/12/2012 (80 dias), em casa de vegetação situada na Faculdade de Agronomia da UFRGS.

Foram testadas cinco doses de enxofre elementar, com três repetições por tratamento. As diferentes doses de enxofre elementar (0,0; 4,0; 8,0; 12,0 e 16,0 g

S⁰ L⁻¹ de substrato) foram determinadas com o mesmo critério empregado no Experimento 1, sendo misturadas manualmente e de forma homogênea a um substrato comercial alcalino, composto basicamente por casca de eucalipto compostada e cujas características químicas e físicas encontram-se nas Tabelas 1 e 2.

O volume de substrato utilizado foi de 20 litros por tratamento, aos quais foram misturadas as diferentes doses de enxofre elementar. Esse material foi disposto em bandejas com capacidade para 22,5 litros (15x30x50 cm), contendo dez pequenos orifícios na superfície inferior, a qual foi coberta com uma tela para evitar a perda de substrato. Então, realizou-se a correção da umidade inicial do substrato (37%) para 50%, através da adição de 4,794 litros de água destilada a cada tratamento (bandeja).

O substrato presente em cada recipiente foi revolvido a cada 7 dias, de modo a aumentar a aeração na porção inferior do substrato no recipiente e, logo em seguida, era realizada a correção da umidade para 50%, tendo em vista a redução do seu teor ao longo dos 7 dias. A conferência do teor de umidade do substrato foi realizada com base na medição da massa do mesmo.

Foram realizadas dez avaliações no período decorrente entre a mistura do substrato com o enxofre elementar e 80 dias após a mistura (DAM).

As variáveis analisadas foram o valor do pH e a condutividade elétrica (CE) do substrato. Para tanto foram retiradas amostras de cada tratamento aos 0, 4, 11, 18, 29, 39, 45, 55, 66 e 80 DAM e enviadas para o Laboratório de Análise de Substratos para Plantas do Departamento de Horticultura e Silvicultura, onde foi realizada análise através do método 1:5 (relação substrato:água; v:v).

Durante todo o período do experimento, a temperatura e a umidade relativa do ar no interior da casa de vegetação foram monitorados através de um termohigrômetro digital (marca TFA; modelo 303180), sendo que as variações podem ser observadas na Figura 3.

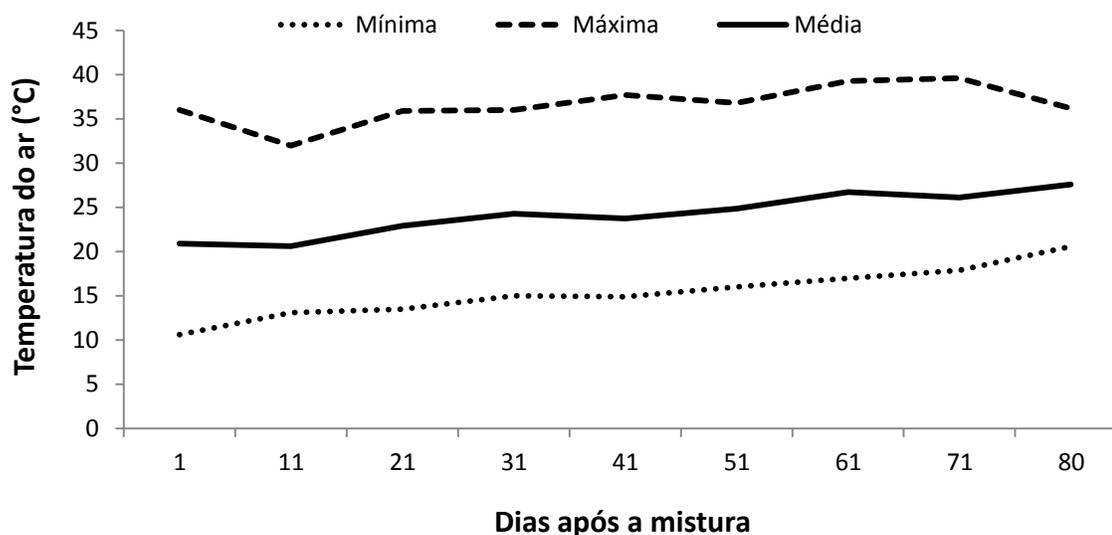


FIGURA 3. Variações nas temperaturas decendiais mínimas, máximas e médias do ar, ao longo dos 80 dias após a mistura entre as doses de S elementar e o substrato (28/09/2012 a 17/12/2012). Porto Alegre/RS.

Os resultados foram submetidos à análise de variância, sendo as médias diferenciadas estatisticamente pelo teste de Tukey ($p > 0,05$) e, quando necessário, procedeu-se a análise de regressão polinomial. As regressões significativas serão representadas graficamente através da curva de tendência e presença da equação junto à legenda. Para as regressões não significativas, por sua vez, os pontos da curva serão unidos.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Estudo 1. Mistura entre condicionadores: influência no pH dos substratos e no desenvolvimento de porta-enxertos cítricos

4.1.1 Características físicas dos substratos

Com relação às características físicas dos substratos, no dia da instalação do experimento, pode-se perceber que existem diferenças entre os valores de densidade seca (DS) dos diferentes tratamentos (Tabela 3), porém, nenhum substrato se enquadra na faixa recomendada para o cultivo em tubetes, que é entre 100 e 300 kg m⁻³ (Kämpf, 2005). O tratamento composto apenas por casca de eucalipto compostada, com DS de 664 kg m⁻³, é o que mais se distancia desta faixa. Percebe-se que o mesmo apresenta uma DS bastante elevada para um substrato, sendo superior àquela verificada na grande maioria dos materiais utilizados comercialmente. O tratamento composto apenas por turfa, cuja DS é 338 kg m⁻³ é, por sua vez, o que mais se aproxima da DS ideal. Essas diferenças se refletem em disparidades, apesar de pequenas, em algumas propriedades com influência sobre o desenvolvimento das plantas, como o espaço de aeração (EA), que variou de 18 a 27%, e a água disponível (AD), que variou entre 11 e 17%. A porosidade total (PT), por sua vez, foi semelhante em todos os substratos,

variando entre 78 e 83% e estando próxima do considerado ideal (85%) (Verdonck & Gabriels, 1988). Apesar das diferenças de EA entre os substratos, apenas aquele composto unicamente por turfa, com 18% de EA, não está dentro da faixa recomendada para a maioria das culturas, que é entre 20 e 30% (Penningsfeld, 1983). Porém, percebe-se que se aproxima bastante do limite inferior recomendado, não devendo comprometer significativamente o desenvolvimento das plantas, assim como os demais. Entretanto, para a característica AD, todos os substratos apresentaram valores inferiores à faixa ideal, que é entre 24 e 40% (De Boodt & Verdonck, 1972), podendo ser um fator limitante ao desenvolvimento das plantas.

TABELA 3. Características físicas dos substratos logo após a mistura (0 dias após a mistura) entre os condicionadores casca de eucalipto compostada (E) e turfa (T). Eldorado do Sul/RS, 2011.

	100% E 0% T	85% E 15% T	66% E 34% T	40% E 60% T	0% E 100% T
DU (kg m ⁻³)	1057	912	995	807	836
DS (kg m ⁻³)	664	556	508	393	338
MS (g 100g ⁻¹)	63	61	51	49	40
PT (m ³ m ⁻³)	0,78	0,78	0,81	0,82	0,83
EA (m ³ m ⁻³)	0,27	0,23	0,22	0,22	0,18
AFD (m ³ m ⁻³)	0,07	0,10	0,06	0,11	0,10
AT (m ³ m ⁻³)	0,04	0,05	0,04	0,06	0,06
AD (m ³ m ⁻³)	0,11	0,15	0,10	0,17	0,16

DU = densidade úmida; DS = densidade seca; MS = matéria seca (sólidos); PN = poder de neutralização; Al+H = acidez potencial; PT = porosidade total; EA = espaço de aeração; AFD = água facilmente disponível; AT = água tamponante; AD= água disponível.

Apesar das pequenas diferenças entre os substratos observadas no dia da mistura entre os condicionadores, estas diminuíram ao longo do cultivo, tornando-se praticamente insignificantes. Desta forma, aos 111 dias após a mistura, os

valores de EA, AD e PT variaram entre 20 e 25%, 13 e 17%, e 79 e 83%, respectivamente, de acordo com o substrato (Tabela 4).

TABELA 4. Características físicas dos substratos resultantes das misturas entre os condicionadores casca de eucalipto compostada (E) e turfa (T), ao final do experimento (111 dias após a mistura). Eldorado do Sul/RS, 2012.

	100% E 0% T	85% E 15% T	66% E 34% T	40% E 60% T	0% E 100% T
DU (kg m ⁻³)	988	952	923	836	754
DS (kg m ⁻³)	592	551	512	402	326
MS (g 100g ⁻¹)	60	58	56	50	43
PT (m ³ m ⁻³)	0,79	0,79	0,80	0,82	0,83
EA (m ³ m ⁻³)	0,25	0,24	0,24	0,24	0,20
AFD (m ³ m ⁻³)	0,10	0,12	0,11	0,12	0,13
AT (m ³ m ⁻³)	0,03	0,03	0,03	0,03	0,04
AD (m ³ m ⁻³)	0,13	0,15	0,14	0,15	0,17

DU = densidade úmida; DS = densidade seca; MS = matéria seca (sólidos); PN = poder de neutralização; Al+H = acidez potencial; PT = porosidade total; EA = espaço de aeração; AFD = água facilmente disponível; AT = água tamponante; AD= água disponível.

Apesar da diminuição das diferenças entre as características físicas dos substratos ao longo do tempo, não houve grandes mudanças em termos qualitativos dos mesmos, de modo que o EA e a PT mantiveram-se adequadas e a AD permaneceu com valores aquém do recomendado. Esse baixo percentual de AD pode ser um fator limitante à emergência e desenvolvimento das plantas, pois, segundo Schmitz *et al.* (2002), essa característica induz à baixa disponibilidade de água.

4.1.2 Potencial hidrogeniônico (pH)

Para a leitura do valor do pH realizada no dia da mistura entre os condicionadores (0 DAM), a análise de variância mostrou diferença estatística

significativa entre as médias dos tratamentos do fator substrato, unicamente. Na Figura 4, pode-se observar a variação do pH em função dos diferentes teores do condicionador turfa, em porcentagem da massa total do substrato, logo após a mistura com o condicionador casca de eucalipto compostada.

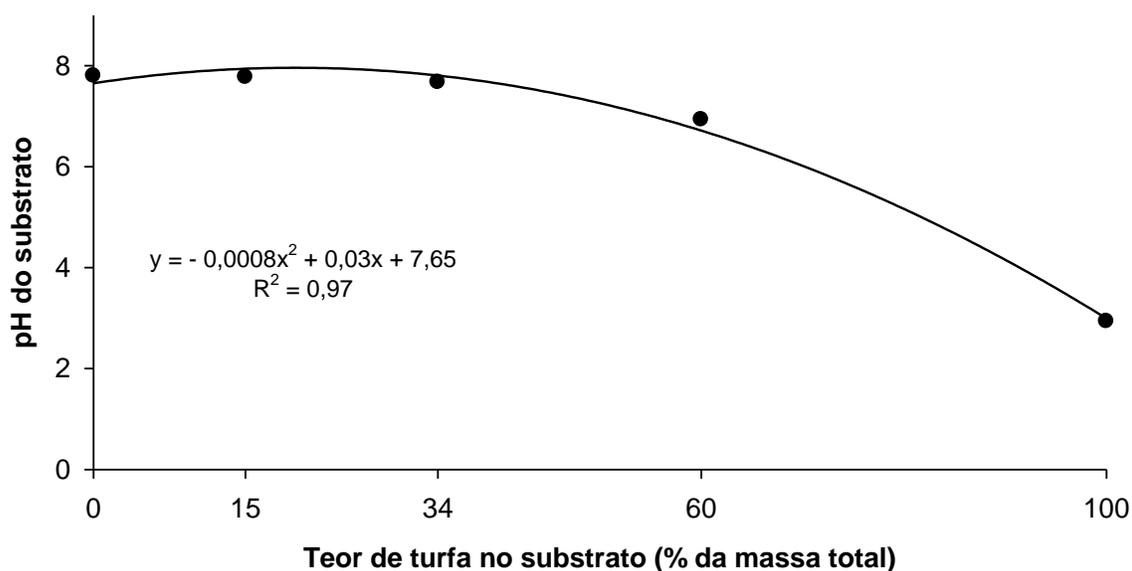


FIGURA 4. Variação do pH do substrato em função de diferentes teores do condicionador turfa, em porcentagem da massa total do substrato, logo após a mistura (0 dias após a mistura) com o condicionador casca de eucalipto compostada (média de 16 repetições; pH determinado pelo método *PourThru*). Eldorado do Sul/RS, 2011.

Considerando-se o pH inicial dos condicionadores utilizados (Tabela 1), percebe-se que, imediatamente após a mistura dos mesmos, já pode ocorrer uma alteração do pH de alguns dos substratos resultantes, dependendo das proporções empregadas. Isto fica explícito no tratamento com 60% de turfa, que apresentou pH diferente daqueles verificados nos dois condicionadores antes da

mistura, que era 7,80 e 2,94, para casca de eucalipto compostada e turfa, respectivamente. Entretanto, apesar de o condicionador turfa corresponder a mais da metade da composição do substrato neste tratamento, o pH resultante distancia-se bastante daquele observado neste condicionador originalmente, e aproxima-se mais do que foi constatado no condicionador casca de eucalipto compostada. Além disso, para os tratamentos com 15 e 34% de turfa na mistura, não houve diferença no valor do pH quando comparados ao tratamento sem adição do mesmo (100%E:0%T), indicando que a magnitude da influência do condicionador casca de eucalipto compostada sobre o pH do substrato é superior à do condicionador turfa.

Esse comportamento deve-se, principalmente, às diferenças químicas entre os dois condicionadores, sobretudo com relação ao poder tampão de pH que eles apresentam. Isso pode ser estimado através da acidez potencial (Al+H) e do poder de neutralização (PN), que se constituem em indicativos desta característica para o condicionador ácido e o condicionador alcalino, respectivamente. Conforme apresentado na Tabela 1, a acidez potencial da turfa é de $97 \text{ cmol}_c \text{ kg}^{-1}$, enquanto que o poder de neutralização da casca de eucalipto compostada é de 7%, o que equivale a $140 \text{ cmol}_c \text{ kg}^{-1}$ de equivalente a CaCO_3 . A partir desses indicativos, pode-se inferir que o condicionador alcalino (casca de eucalipto compostada) apresenta maior poder tampão que o condicionador ácido (turfa), o que acarreta em uma maior capacidade de liberação de OH^- para a solução quando comparado à capacidade do outro componente do substrato em liberar íons H^+ .

Esta característica dos condicionadores pode ser considerada o principal fator que justifica o comportamento do pH verificado nos diferentes substratos

resultantes das misturas, fazendo com que, mesmo com teores de 60% de turfa, o pH seja pouco alterado quando comparado ao tratamento sem esse condicionador (100%E:0%T). Portanto, tratam-se de características que devem ser consideradas no momento de estabelecer a proporção de cada condicionador na mistura a ser realizada.

Apesar de os resultados do presente estudo apontarem uma baixa capacidade da turfa em alterar o pH do substrato, alguns autores verificaram o contrário. Backes & Kampf (1991), por exemplo, ao avaliar substratos a base de composto de lixo urbano para a produção de plantas ornamentais, concluíram que, dentre diversos condicionadores testados, a turfa, com pH 3,3, foi o único que corrigiu a alcalinidade do referido composto, cujo pH inicial era 8,6. Após a mistura entre os materiais, observaram um pH intermediário (6,8). Cabe ressaltar que, no referido trabalho, a mistura foi realizada em uma relação de volume, com 50% de cada material e, mesmo a turfa apresentando uma densidade bastante inferior à do composto de lixo urbano e, portanto, com menor quantidade de seu material para reagir na mistura, a sua interferência no pH foi bastante significativa. Neste caso, diferentemente do que foi observado no condicionador casca de eucalipto compostada, o PN do material alcalino, certamente, não era tão elevado e, portanto, apresentava uma menor capacidade de tamponar as variações do pH da solução após a mistura com a turfa, culminando em alteração significativa do mesmo.

Pagliarini *et al.* (2012) caracterizaram quimicamente substratos resultantes de misturas de diversos condicionadores com resíduo de celulose. Os autores relatam que o referido resíduo é formado por resto de casca de eucalipto de uma

indústria de papel e celulose, tendo, portanto, o mesmo tipo de matéria-prima que o condicionador alcalino utilizado no presente estudo. Os resultados obtidos demonstraram que, independentemente do material que foi misturado ao resíduo de celulose, não houve redução do seu pH, que permaneceu em torno de 7,8, certamente em função de seu elevado PN e, conseqüentemente, alto poder tampão, ou, possivelmente, devido ao baixo poder tampão dos outros condicionadores.

Segundo Barbaro *et al.* (2010), ao final do processo de compostagem de resíduos vegetais, o pH varia, normalmente, entre 6,0 e 8,0, dependendo da matéria prima utilizada, com exceção de algumas madeiras e cascas, como as de pinos, que podem apresentar valores ligeiramente ácidos. Baratta-Júnior (2007), por sua vez, afirma que, geralmente, o composto curado apresenta valores de pH em torno de 8,0. De fato, assim como verificado no condicionador casca de eucalipto compostada, muitos autores relatam valores elevados de pH em resíduos vegetais após a compostagem. Para Barbaro *et al.* (2010), esse valor foi de 7,4. Baratta-Júnior (2007), utilizando compostos de resíduos de poda da arborização urbana como substratos para produção de mudas, verificou um pH de 8,07 após a prática. Já para Péres *et al.* (2011), o pH observado em resíduos de poda de amoreira (*Morus alba* L.) e fresno (*Fraxinus americana* L.), após a compostagem, foi de 8,4 e 7,6, respectivamente.

Entretanto, independentemente do processo de compostagem, que contribui para a elevação do valor do pH em água, o alto poder tampão verificado no substrato composto por casca de eucalipto compostada deve estar associado às características químicas da matéria-prima utilizada para a sua produção.

Andrade *et al.* (2011), ao comparar a constituição nutricional da madeira e casca de espécies e clones de eucalipto, verificaram que os principais elementos inorgânicos presentes na casca foram o Ca (13.900 a 34.400 mg kg⁻¹), o Mg (3.500 a 9.300 mg kg⁻¹) e o K (1.494 a 2.323 mg kg⁻¹). Os autores ainda relatam que as amostras da casca apresentaram valores muito mais elevados de Ca, K e Mg que a madeira correspondente, coincidindo com a conclusão de Allison *et al.* (2000). Corroborando, Fengel & Wegener (1984) afirmam que a casca possui muito mais componentes minerais que a madeira correspondente, tendo o cálcio como elemento predominante, seguido pelo magnésio e pelo potássio.

De fato, a análise química do substrato composto por casca de eucalipto compostada apontou teores elevados de K, Ca e Mg trocáveis (Tabela 1), expressos em mg kg⁻¹ ou cmol_c kg⁻¹. Entretanto, para fins de interpretação, os mesmos foram convertidos para mg dm⁻³ ou cmol_c dm⁻³, a partir da densidade seca do substrato. Deste modo, os teores de K foram superiores a 400 mg dm³, e os de Ca_{troc} e Mg_{troc} iguais a 41,1 e 7,1 cmol_c dm⁻³, respectivamente. Esses valores são considerados elevados, já que os teores de Ca e Mg, por exemplo, são cerca de 10 e 7 vezes superiores, respectivamente, aos níveis considerados “Altos” em solos (Comissão de Química e Fertilidade do Solo - RS e SC, 2004). O teor de K, da mesma forma, é interpretado como “Muito alto” (> 180 mg dm⁻³). A acidez total, por sua vez, é considerada “Muito baixa” (< 2,0 cmol_c dm⁻³), pois o teor de H+Al no substrato é de apenas 0,8 cmol_c dm⁻³ (1,2 cmol_c kg⁻¹).

Esses altos teores de cátions básicos trocáveis conferem ao substrato uma elevada saturação da CTC por bases (98%) e uma baixa saturação por Al (0%). Tais cátions básicos ligam-se às cargas negativas da fração sólida do substrato,

ocupando os sítios que seriam ocupados por íons H^+ e Al^{3+} , no caso de o substrato ser ácido, o que contribuiria para o aumento da acidez potencial. Ao mesmo tempo, atribui-se a resistência do mesmo a mudanças de pH à provável presença de ânions associados ao cálcio, ao magnésio e ao potássio, cuja hidrólise forma íons OH^- que neutralizam os H^+ adicionados ou liberados na solução (Bohnen *et al.*, 2000). Portanto, as características químicas da matéria-prima do substrato composto por casca de eucalipto compostada, principalmente com relação ao alto teor de substâncias alcalinizantes associadas ao Ca, Mg e K, justificam o alto valor de pH em água encontrado no mesmo, bem como seu alto poder tampão, fazendo com que ocorra uma grande resistência à mudança no pH, mesmo com a adição de grande quantidade de turfa ao mesmo.

Conforme a Comissão de Química e Fertilidade do Solo - RS e SC (2004), recomenda-se, para o cultivo de plantas em solo, que o pH seja mantido em torno de 6,0, otimizando a disponibilidade de nutrientes. Porém, quando se trata de substratos orgânicos, outras recomendações devem ser consideradas. Neste sentido, apesar de não existirem recomendações específicas para o cultivo de mudas cítricas, em vaso e com substrato (Cavins *et al.*, 2000; Schäfer, 2004), algumas informações disponibilizadas para o setor que abrange o cultivo de plantas ornamentais podem ser adaptadas. Segundo Kämpf (2000), o pH de substratos orgânicos deve estar na faixa de 5,0 a 5,8. Já Bailey *et al.* (2004a) e Bailey *et al.* (2004b) recomendam a faixa de 5,4 até 6,2 para a maioria das culturas. Portanto, dentre as diferentes misturas de condicionadores testadas, nenhuma resulta em um substrato com valor de pH dentro da faixa adequada para a produção de porta-enxertos cítricos, logo após a mistura.

Na Figura 5 encontram-se as curvas de regressão para o comportamento do pH dos substratos, em função da porcentagem de cada condicionador na massa total, ao longo dos 111 dias após a mistura (DAM) entre os mesmos.

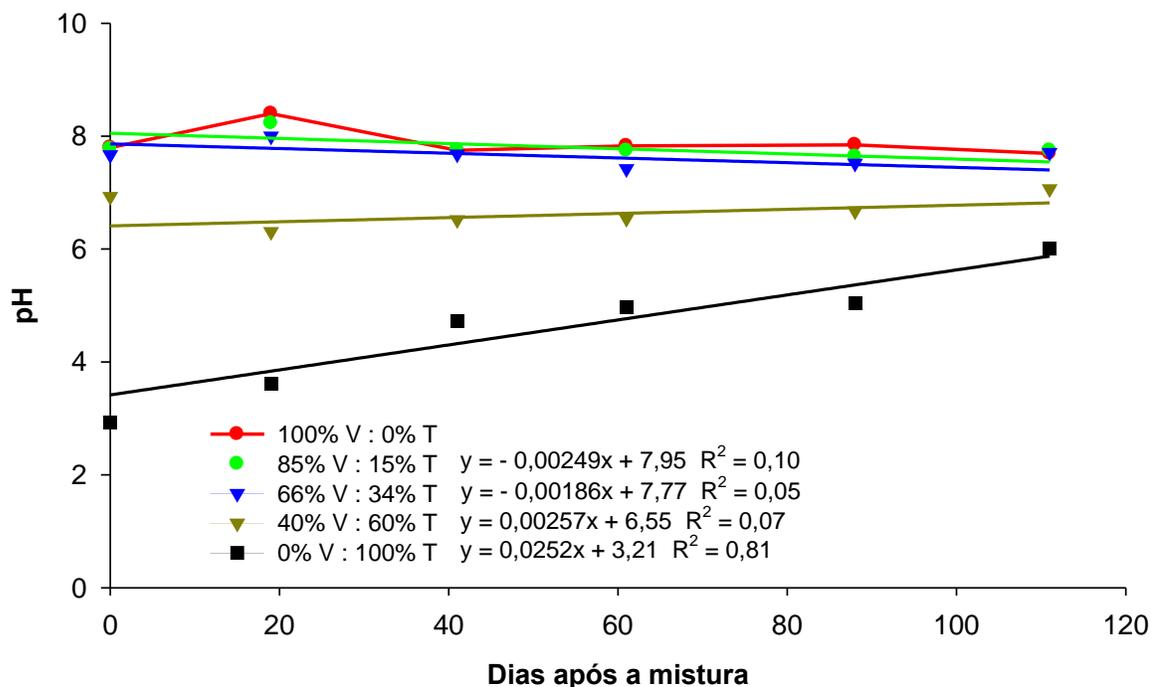


FIGURA 5. Evolução do pH de cinco substratos, em função da porcentagem de cada condicionador (E= casca de eucalipto compostada; T= turfa) na massa total, ao longo de 111 dias após a mistura (média de 16 repetições; pH determinado pelo método *PourThru*). Eldorado do Sul/RS, 2012.

A regressão não foi significativa para o tratamento contendo apenas casca de eucalipto compostada, e nos demais tratamentos em que este condicionador estava presente na mistura, apesar de a regressão ser significativa, observa-se que a variação do pH ao longo do tempo foi muito pequena. No tratamento

contendo apenas turfa, por sua vez, a variação do pH foi bastante ampla, indo de 2,9 (0 DAM) até 6,0 (111 DAM).

Segundo Schäfer (2004), mudanças no pH do substrato ao longo do cultivo são frequentes e, geralmente, são causadas pela decomposição do material de origem, pela alcalinidade da água de irrigação, pelos fertilizantes e, também, pela espécie que está sendo cultivada.

O fato de ocorrer uma grande variação no pH apenas no tratamento composto por somente um dos condicionadores, que é o caso do 0%E:100T, exclui a possibilidade de a alteração se dar em decorrência do poder tamponante do outro condicionador utilizado na mistura. Neste caso, atribui-se o referido comportamento, principalmente, à possível alcalinidade da água de irrigação, cujo pH variou entre 7,4 e 7,8 durante a condução do experimento. Fochesato (2005), ao avaliar o desenvolvimento de porta-enxertos em diferentes substratos, verificou um aumento de 6,13 para 7,03 no pH de um substrato composto por turfa ao longo da condução do experimento, atribuindo esse comportamento à alcalinidade da água de irrigação. Da mesma forma, Schäfer (2004), trabalhando com porta-enxertos cítricos cultivados em diferentes substratos, também atribuiu as variações no pH do substrato a tal fator, o que é reforçado por Bailey *et al.* (2004b), ao afirmar que a alcalinidade da água de irrigação constitui-se em um dos principais fatores que afetam o pH da solução do substrato.

Essas constatações indicam que o manejo do pH do substrato através da água de irrigação consiste em uma alternativa interessante, dependendo de sua composição química, podendo ser adotada por produtores e viveiristas. Neste sentido, para redução do pH do substrato, pode-se adicionar produtos com reação

ácida à água, a exemplo de muitos fertilizantes nitrogenados, fazendo-se o contrário para que o pH seja elevado (Bailey *et al.*, 2004a).

Ao final do experimento (111 DAM), a análise de variância foi significativa para a interação Substrato x Porta-enxerto (Tabela 5). Percebe-se que as diferenças de pH em função da variedade de porta-enxerto ou ausência de planta ocorrem apenas no tratamento 0%E:100%T, que se caracteriza pela ausência do condicionador alcalino.

TABELA 5. Valor de pH de cinco substratos em função da porcentagem de cada condicionador (E= casca de eucalipto compostada; T= turfa) na massa total, e da variedade de porta-enxerto ou ausência do mesmo, aos 111 dias após a mistura entre os condicionadores e sementeira (média de 4 repetições; pH determinado pelo método *PourThru*). Eldorado do Sul/RS, 2012.

Porta-enxerto	pH				
	Substrato (massa : massa)				
	100%E 0%T	85%E 15%T	66%E 34%T	40%E 60%T	0%E 100%T
'Fepagro C 13'	7,59 aA ¹	7,68 aA	7,65 aA	7,22 aA	6,19 aB
Trifoliata	7,69 aAB	7,81 aA	7,68 aAB	7,07 aB	5,82 bC
'Swingle'	7,81 aA	7,74 aA	7,87 aA	6,98 aB	6,17 aC
Sem planta	7,68 aAB	7,75 aA	7,65 aAB	7,01 aB	5,83 bC
C.V. (%) – Substrato	7,90				
C.V. (%) - Porta-enxerto	2,24				

¹Médias seguidas por letras distintas, maiúsculas na linha e minúsculas na coluna, diferem entre si pelo Teste de Tukey, ao nível de 5% de probabilidade de erro.

Novamente, diferenças nas características químicas apresentadas pelos condicionadores podem estar associadas a este comportamento. Nos substratos com a presença de casca de eucalipto compostada, a possível alteração de pH provocada pela presença da planta pode ter sido rapidamente tamponada pelo substrato, não ocorrendo mudanças significativas do seu valor na solução. Por

outro lado, havendo apenas turfa, o substrato parece ter apresentado menor capacidade de neutralizar os compostos resultantes da interação com a planta, alterando o pH da solução. Portanto, a alteração do pH do meio de cultivo em função da presença dos porta-enxertos 'Fepagro C 13', Trifoliata e 'Swingle' pode ou não ocorrer, dependendo do substrato empregado para o seu desenvolvimento.

No substrato 0%E:100%T, percebe-se que a presença dos porta-enxertos 'Fepagro C 13' e 'Swingle' está associada a uma elevação do pH no meio de cultivo, quando comparado ao tratamento sem planta. O porta-enxerto Trifoliata, por sua vez, não acarretou em alteração do pH. Entretanto, apesar de a análise estatística ter apontado diferença significativa entre o pH dos tratamentos, pode-se considerar que, do ponto de vista prático, essas diferenças são muito pequenas e, possivelmente, não resultam em variação na disponibilidade de nutrientes para as plantas cultivadas.

Schäfer (2004), avaliando o desenvolvimento de porta-enxertos cítricos em diferentes substratos, descreve que a ação dos porta-enxertos pode ter sido um dos fatores que contribui para a elevação do pH do meio de cultivo. Bailey *et al.* (2004a) afirmam que diversas espécies conduzidas em recipientes apresentam a capacidade de alterar o pH do substrato durante o seu desenvolvimento. Segundo os autores, plantas de tomateiro (*Lycopersicum esculentum*), por exemplo, tendem a reduzir o pH do meio de cultivo, ao passo que as flores da espécie *Zinnia elegans* e do gênero *Vinca* tendem a elevá-lo. Kochian (1995), por sua vez, menciona o aumento do pH da rizosfera como um possível mecanismo apresentado por algumas espécies de plantas para tolerar a toxidez por alumínio. Já segundo Kämpf *et al.* (2009), a presença de plantas jovens de *Vriesea*

philippocoburgii não se constituiu em causa de variação do pH do substrato de cultivo. Portanto, a possível interferência da planta no pH do substrato depende da espécie em questão e, certamente, de inúmeros fatores associados ao sistema de produção, como o substrato, a idade da planta, fertilidade, entre outros.

No presente estudo, o aumento do pH do substrato composto por turfa pode ser decorrente de diferenças entre os porta-enxertos quanto à absorção dos nutrientes. Segundo Bohnen *et al.* (2000), durante o processo de absorção dos nutrientes, as plantas liberam, na rizosfera, íons H^+ ou OH^- , conforme realizam a absorção de um cátion ou de um ânion, respectivamente, para manter a eletroneutralidade.

4.1.3 Condutividade elétrica (CE)

Com relação à condutividade elétrica dos substratos, no dia da mistura entre os condicionadores (0 DAM), a análise de variância mostrou diferença estatística significativa entre as médias dos tratamentos do fator substrato. Na Figura 6 pode-se observar a variação da CE em função dos diferentes teores do condicionador turfa, em porcentagem da massa total do substrato, logo após a mistura com o condicionador casca de eucalipto compostada.

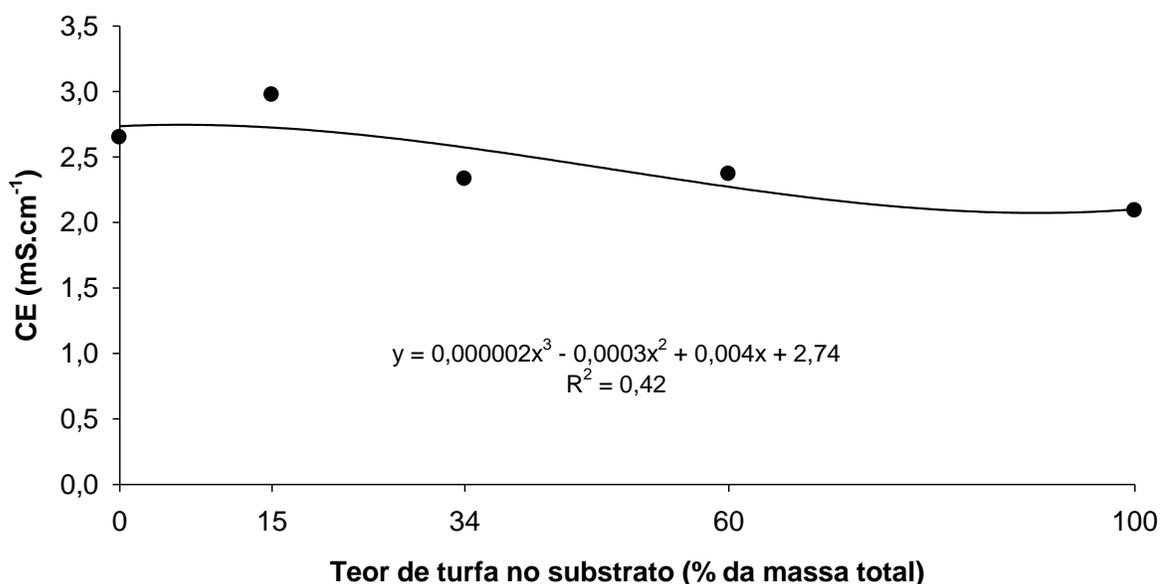


FIGURA 6. Variação da condutividade elétrica do substrato em função de diferentes teores do condicionador turfa, em porcentagem da massa total do substrato, logo após a mistura (0 dias após a mistura) com o condicionador casca de eucalipto compostada (média de 16 repetições; CE determinada pelo método *PourThru*). Eldorado do Sul/RS, 2011.

A condutividade elétrica inicial dos substratos variou entre 2,1 e 3,0 mS cm⁻¹. Esta variável consiste em um indicativo confiável do teor total de sais solúveis (TTSS) do meio de cultivo (Souza & Schäfer, 2009), sendo que para o método de análise utilizado (*PourThru*), são considerados adequados para a maioria das espécies produzidas em recipientes valores entre 2,6 e 4,6 mS cm⁻¹ (Cavins *et al.*, 2000). Portanto, apenas os substratos com 0% e 15% de turfa, com uma CE de 2,6 e 3,0 mS cm⁻¹, respectivamente, apresentavam valores considerados adequados ao cultivo de plantas. De modo geral, valores menores de CE estão diretamente relacionados à maior proporção de turfa na mistura. A casca de eucalipto compostada, por sua vez, está associada a maiores valores de

CE. Associado a isso, a partir da Tabela 1, pode-se perceber que o condicionador alcalino apresenta um maior teor de nutrientes e, conseqüentemente, de íons em solução, em comparação ao condicionador ácido, o que justifica o seu maior valor de CE.

Na Figura 7, encontra-se a curva de regressão para o comportamento da CE dos substratos, ao longo dos 111 dias após a mistura (DAM). Para tanto, considerou-se a média dos cinco tratamentos, já que não houve interação entre os fatores substrato e DAM.

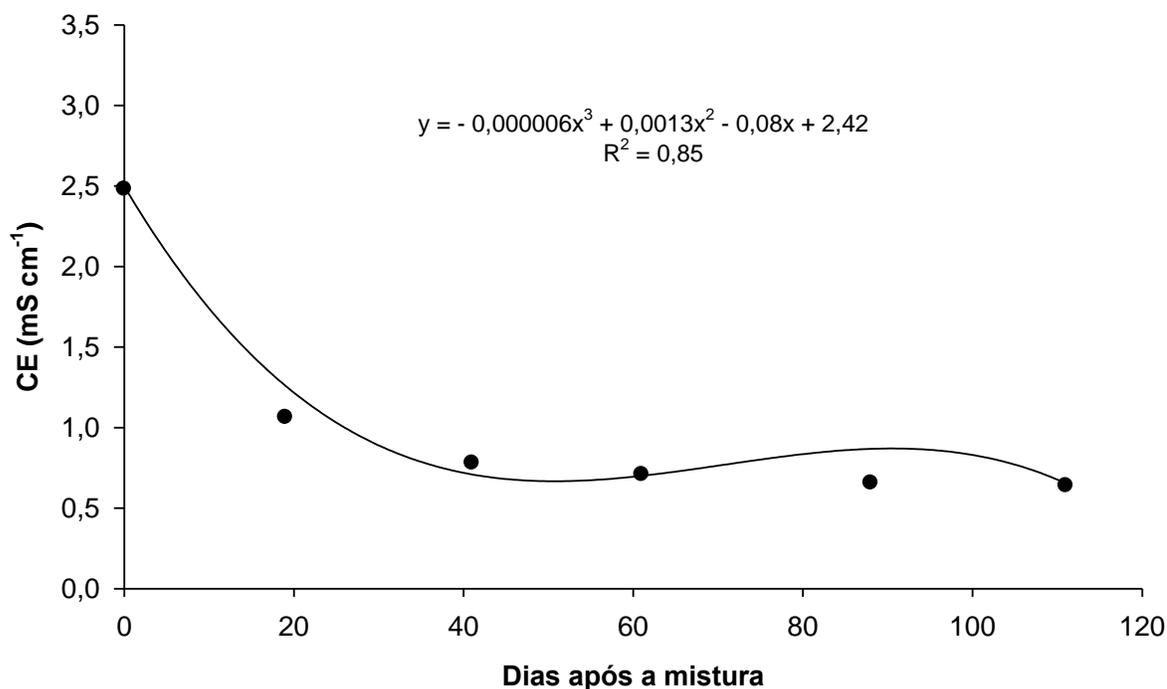


FIGURA 7. Evolução da condutividade elétrica (CE) média de 5 substratos, ao longo de 111 dias após a mistura entre os condicionadores turfa e casca de eucalipto compostada (média de 80 repetições; CE determinada pelo método *PourThru*). Eldorado do Sul/RS, 2012.

A CE dos substratos apresentou comportamento semelhante ao longo do tempo, independentemente do tratamento empregado. Deste modo, até os 40 DAM, observou-se uma redução acentuada da CE, passando a haver uma estabilização a partir de então.

Essa redução inicial da condutividade elétrica deve-se, principalmente, à lixiviação dos íons presentes na solução do substrato, devido à irrigação. Apesar da absorção de nutrientes pelas plantas também influenciar na diminuição da CE do meio de cultivo, a magnitude da mesma parece ter sido pequena quando comparado a outros fatores. Essa inferência deve-se ao fato de que aos 111 DAM, não foi observada diferença significativa para essa variável entre os tratamentos com ou sem planta (Tabela 6). Esses resultados corroboram parcialmente o comportamento do TTSS observado por Schäfer (2004) em diferentes substratos utilizados na produção de porta-enxertos cítricos. Segundo o autor, a salinidade foi maior no início do cultivo, sendo bastante reduzida no final, apontando ter ocorrido lixiviação dos elementos constituintes e/ou absorção destes pelas plantas. Fochesato (2005), avaliando o desenvolvimento vegetativo de porta-enxertos cítricos em três diferentes substratos, também observou uma forte redução da salinidade durante o cultivo, em todos substratos testados, também atribuindo esse comportamento à absorção de nutrientes pelas plantas e à lixiviação dos mesmos durante a irrigação.

Ao final do experimento (111 DAM), a análise de variância mostrou diferença significativa apenas para o fator substrato, isoladamente (Tabela 6). Os tratamentos que apresentavam maiores valores de CE no dia da mistura mantiveram esta característica. Nesta data, não houve diferença estatística

significativa entre os tratamentos com até 34% de turfa, sendo estes superiores aos demais para esta variável. O tratamento composto por 100% de turfa, por sua vez, apresentou a menor CE.

TABELA 6. Condutividade elétrica de cinco substratos em função da porcentagem de cada condicionador (E= casca de eucalipto compostada; T= turfa) na massa total, e da variedade de porta-enxerto ou ausência do mesmo, aos 111 dias após a mistura entre os condicionadores e semeadura (Substrato = média de 16 repetições; Porta-enxerto = média de 20 repetições; CE determinada pelo método *PourThru*). Eldorado do Sul/RS, 2012.

Tratamento	CE (mS cm ⁻¹)	
Substrato (m:m)	100%E : 0%T	0,751 ab ¹
	85%E : 15%T	0,864 a
	66%E : 34%T	0,660 abc
	40%E : 60%T	0,489 bc
	0%E : 100%T	0,438 c
C.V. (%)	37,45	
Porta-enxerto	'Fepagro C 13'	0,600 ^{ns}
	Trifoliata	0,690
	'Swingle'	0,629
	Sem planta	0,642
C.V. (%)	19,80	

¹Médias seguidas por letras minúsculas distintas na coluna diferem entre si pelo Teste de Tukey, ao nível de 5% de probabilidade de erro; ns = dados não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey, ao nível de 5% de probabilidade de erro.

4.1.4 Emergência dos porta-enxertos cítricos

Na Figura 8 são apresentadas as curvas de regressão para a velocidade de emergência dos porta-enxertos, ao longo de 111 dias após a semeadura, já que a análise de variância mostrou diferença significativa apenas para o efeito simples do fator porta-enxerto.

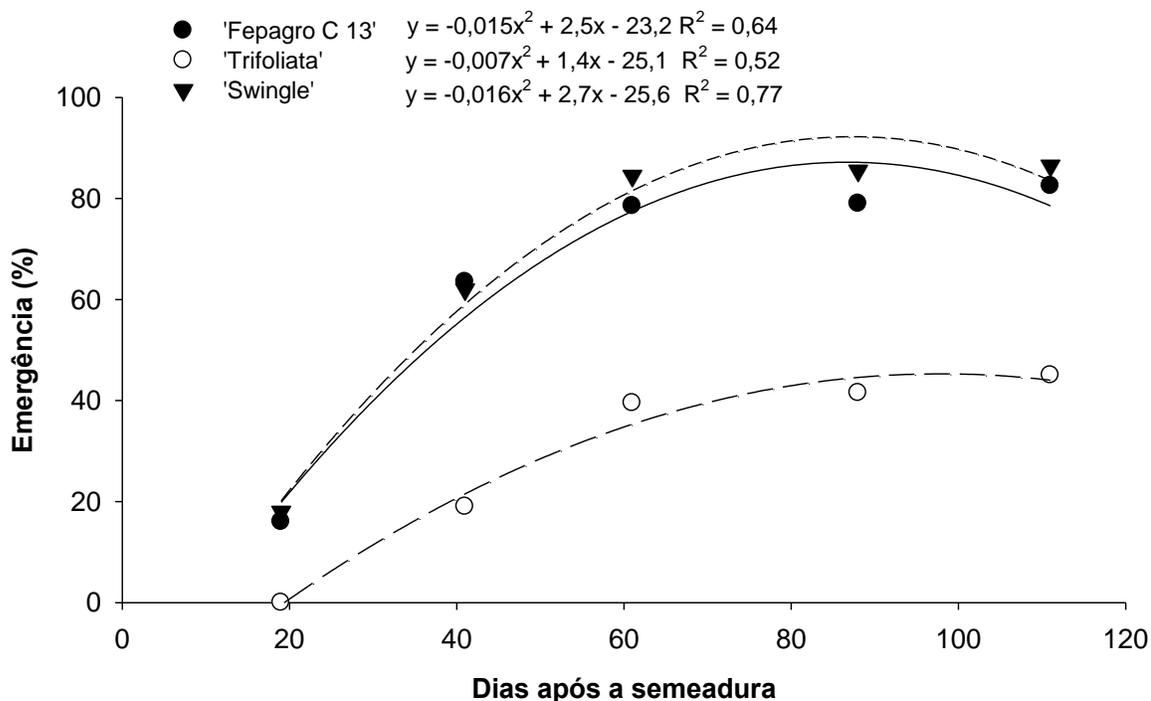


FIGURA 8. Velocidade de emergência de três porta-enxertos cítricos em cinco substratos (média dos tratamentos), compostos por diversas proporções de turfa e casca de eucalipto compostada, ao longo de 111 dias após a semeadura (média de 20 repetições). EEA-UFRGS, Eldorado do Sul/RS, 2012.

Esses resultados corroboram o que foi descrito por outros autores como Schmitz *et al.* (1998), onde a emergência de sementes de Trifoliata não foi afetada pelo substrato. O mesmo foi evidenciado por Schäfer (2004), que observou este comportamento para o citrangeiro 'Fepagro C 13' e, também, para outros porta-enxertos, como o citrangeiro 'Fepagro C 37' e o limoeiro 'Cravo'. Para Giuliani (2012), por sua vez, o substrato influenciou na velocidade de emergência e emergência final dos porta-enxertos. O autor atribui a menor emergência em um dos materiais à sua menor umidade e ao elevado teor de sais, o que pode ter colaborado para a maior desidratação das sementes, prejudicando a germinação e emergência. Sabe-se que o excesso de sais no solo ou substrato diminui a

disponibilidade de água para as plantas e pode causar desequilíbrios nutricionais (Gurgel *et al.*, 2005). Como observado (Figura 6), os substratos testados apresentaram valores de CE dentro ou abaixo da faixa recomendada, indicando que não ocorreu um excesso de salinidade. Já o pH parece não afetar significativamente a emergência dos porta-enxertos cítricos.

Os porta-enxertos 'Fepagro C 13' e 'Swingle' tiveram uma maior velocidade de emergência, não diferindo entre si, atingindo cerca de 20% já aos 19 DAS. O Trifoliata na primeira avaliação ainda não havia começado a emergir, obtendo índice de 20% apenas aos 41 DAS. Essa menor velocidade de emergência do Trifoliata pode ser atribuída ao fato de o mesmo apresentar um tegumento mais coriáceo, dificultando a embebição (Oliveira *et al.*, 2003). Entretanto, aos 61 DAS, todos os porta-enxertos já haviam atingido, praticamente, a emergência final. Após essa data, os incrementos foram de apenas 4%, 5% e 2% para o 'Fepagro C 13', Trifoliata e 'Swingle', respectivamente.

Com relação à emergência final, a diferença entre os porta-enxertos pode ser observada na Tabela 7. O Trifoliata apresentou emergência final de 45%, valor considerado muito baixo para essa variedade em condições de cultivo adequadas, sendo inferior àquela apresentada pelo 'Fepagro C 13' e 'Swingle' que, por sua vez, apresentaram índices satisfatórios e não diferiram entre si.

TABELA 7. Percentual de emergência final de porta-enxertos cítricos, cultivados em diferentes substratos compostos por diversas proporções de casca de eucalipto compostada (E) e turfa (T), aos 111 dias após a semeadura, em casa de vegetação (Substrato = média de 12 repetições; Porta-enxerto = média de 20 repetições). EEA-UFRGS, Eldorado do Sul, 2012.

Tratamento		Emergência final (%)
Substrato (m:m)	100%E : 0%T	66 ^{ns}
	85%E : 15%T	72
	66%E : 34%T	69
	40%E : 60%T	80
	0%E : 100%T	70
C.V. (%)		24,20
Porta-enxerto	'Fepagro C 13'	83 a ¹
	Trifoliata	45 b
	'Swingle'	87 a
C.V. (%)		18,81

¹Médias seguidas por letras minúsculas distintas na coluna diferem entre si pelo Teste de Tukey, ao nível de 5% de probabilidade de erro; ns = dados não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey, ao nível de 5% de probabilidade de erro.

Quanto ao comportamento do Trifoliata, os resultados assemelham-se ao que foi encontrado por Teixeira (2008), ao avaliar o desenvolvimento inicial de porta-enxertos cítricos em função da escarificação química das sementes. O autor verificou que, em ausência de escarificação, a germinação final dessa variedade foi de apenas 43,3%. Porém, os resultados do presente estudo divergem daqueles obtidos por Rieth (2012), que observou emergência superior a 80% em diferentes substratos para esse porta-enxerto. Da mesma forma, Schäfer (2004), ao avaliar o desempenho de diferentes substratos no desenvolvimento de porta-enxertos cítricos, verificou uma emergência próxima a 70% para o Trifoliata, sendo esta, porém, inferior à emergência apresentada pelas outras variedades testadas, assim como observado no presente trabalho.

Segundo Schäfer (2000), a temperatura e a cultivar são os fatores que mais influenciam na velocidade de germinação dos porta-enxertos cítricos, principalmente quando fatores como umidade são adequados. Portanto, a época do ano em que a sementeira é realizada é um fator muito importante. Embora a germinação ocorra na faixa de temperatura de 12°C a 40°C, o desenvolvimento dos porta-enxertos é otimizado em temperaturas de 26°C a 28°C (Oliveira *et al.*, 2001; Oliveira & Scivittaro, 2007). Oliveira & Scivittaro (2007), comparando épocas de sementeira do porta-enxerto Trifoliata, verificaram que este apresentou uma emergência das plântulas significativamente mais rápida e em maior porcentagem quando a sementeira foi realizada no início da primavera, em comparação ao início do inverno.

No presente experimento, a sementeira foi realizada no início do verão e, a partir dos dados de temperatura apresentados na Figura 1, percebe-se que esse não foi um fator limitante à germinação e emergência. Com relação à umidade, apesar de o substrato ter sido submetido diariamente ao sistema de irrigação, o baixo percentual de AD apresentado por todos os materiais pode ter influenciado na menor emergência do Trifoliata, que apresenta um tegumento mais coriáceo e, conseqüentemente, maior dificuldade de embebição que os demais porta-enxertos, favorecendo o apodrecimento de sementes durante a germinação (Oliveira *et al.*, 2003; Oliveira *et al.*, 2006). Apesar disso, o principal fator que pode explicar essa menor emergência do Trifoliata em todos os substratos testados é o tempo e a forma de armazenamento das sementes.

As sementes foram coletadas em abril de 2011, permanecendo em geladeira durante cerca de 240 dias, até a sementeira, que ocorreu em dezembro

de 2011. Porém, as sementes de Trifoliata são mais sensíveis ao armazenamento do que as sementes dos demais porta-enxertos utilizados na produção de mudas de citros, sendo consideradas recalcitrantes e perdendo rapidamente a viabilidade durante o armazenamento (Oliveira *et al.*, 2003). Estes autores observaram que, independentemente das condições de armazenamento, as sementes de Trifoliata perderam completamente a capacidade germinativa após 240 dias.

4.1.5 Desenvolvimento vegetativo dos porta-enxertos cítricos

Em termos de desenvolvimento vegetativo dos porta-enxertos, o diâmetro final (111 DAS) ao nível do colo somente revelou diferenças significativas para os efeitos simples dos substratos e dos porta-enxertos (Tabela 8), corroborando os resultados de Schäfer *et al.* (2002), que também observaram diferenças no diâmetro do caule das plantas em função do substrato e do porta-enxerto. Com relação a esta variável, cabe ressaltar que se trata de uma característica de grande importância, pois, após a repicagem, a mesma determinará o momento da enxertia, a qual deve ser realizada quando o caule da planta atinge cerca de 7 mm de diâmetro (Fochesato *et al.*, 2007; Rieth, 2012).

As plantas cultivadas no substrato composto apenas por turfa obtiveram menor diâmetro do que as cultivadas nos demais substratos, que por sua vez, não diferiram entre si. Nos substratos com pelo menos 40% de casca de eucalipto compostada na mistura, as plantas atingiram um diâmetro médio superior a 2,2 mm aos 111 dias após a semeadura, enquanto que com a ausência desse condicionador (0%E:100%T), a média dos porta-enxertos foi de apenas 1,37 mm.

TABELA 8. Diâmetro final do caule de porta-enxertos cítricos, cultivados em diferentes substratos compostos por diversas proporções de casca de eucalipto compostada (E) e turfa (T), aos 111 dias após a semeadura, em casa de vegetação (Substrato = média de 12 repetições; Porta-enxerto = média de 20 repetições). EEA-UFRGS, Eldorado do Sul/RS, 2012.

Tratamento		Diâmetro (mm)
Substrato (m:m)	100%E : 0%T	2,23 a ¹
	85%E : 15%T	2,25 a
	66%E : 34%T	2,21 a
	40%E : 60%T	2,29 a
	0%E : 100%T	1,37 b
C.V. (%)		7,90
Porta-enxerto	'Fepagro C 13'	2,06 b
	Trifoliata	1,73 c
	'Swingle'	2,42 a
C.V. (%)		7,96

¹Médias seguidas por letras minúsculas distintas na coluna diferem entre si pelo Teste de Tukey, ao nível de 5% de probabilidade de erro.

Conforme observado e discutido a partir das Tabelas 3 e 4, as diferenças entre as principais características físicas dos substratos, que determinam o desempenho dos mesmos, são muito pequenas e, portanto, não devem ter influenciado as diferenças em diâmetro do caule das plantas. Desta forma, apesar de existirem diferenças entre os substratos com relação à fertilidade, atribui-se o desempenho inferior do tratamento composto somente por turfa para todos os porta-enxertos, principalmente, à sua acidez elevada. Na Figura 5, pode-se perceber que, até 60 DAS, o pH do mesmo era inferior a 5,0, o que leva à deficiência de nutrientes como N, K, Ca, Mg (Kämpf, 2005; Souza & Schäfer, 2009). Maust & Williamson (1994) afirmam que o N participa dos principais processos metabólicos da planta, sendo um dos nutrientes requeridos em maior quantidade pelos porta-enxertos de citros. Corroborando, Teixeira (2008), ao

avaliar o desempenho de porta-enxertos cítricos cultivados em tubetes sob diferentes substratos, identificou que o N, o K e o Ca são os nutrientes exigidos em maior quantidade pelos porta-enxertos cítricos. Portanto, a baixa disponibilidade desses nutrientes devido ao pH reduzido foi, certamente, um fator limitante neste tratamento, comprometendo o desenvolvimento secundário das plantas. O pH acima da faixa considerada ideal, verificado nos demais tratamentos, parece ter sido menos limitante ao desenvolvimento vegetativo, já que as plantas atingiram diâmetros do caule que podem ser considerados satisfatórios para o período de 111 dias, assemelhando-se aos resultados de outros autores. Para Schäfer *et al.* (2002), aos 120 dias após a semeadura, os porta-enxertos atingiram diâmetros médios de 2,09, 2,35 e 2,41 mm quando conduzidos em três diferentes substratos. Giuliani (2012), por sua vez, verificou diâmetros médios dos porta-enxertos de 1,63 e 2,10 mm em dois substratos testados, 175 dias após a semeadura.

Entre as variedades de porta-enxerto também houve diferença. O 'Swingle', que atingiu 2,42 mm, foi superior aos demais, seguido pelo 'Fepagro C 13', com 2,06 mm. Já o Trifoliata foi o que apresentou o menor incremento em termos de crescimento secundário, atingindo apenas 1,73 mm, em média. Outros autores também relatam um menor diâmetro final do caule do Trifoliata quando comparado a outros porta-enxertos, em fase de sementeira. Teixeira *et al.* (2010) observaram que o Trifoliata' foi inferior ao 'Swingle', assim como no presente trabalho. Frente ao 'Fepagro C 37', Teixeira (2008) também verificou valores menores para o Trifoliata para esta variável. Porém, ao comparar o Trifoliata com o 'Fepagro C 13', Schäfer *et al.* (2002) não encontraram diferenças significativas para o diâmetro do

caule, diferindo do presente estudo, em que o 'Fepagro C 13' foi superior. Da mesma forma, para Giuliani (2012), o Trifoliata não diferiu do 'Swingle' aos 175 dias após a semeadura.

Para as demais variáveis (altura, área foliar por planta e massa seca da parte aérea e da raiz), houve interação entre os fatores substrato e porta-enxerto (Tabela 9).

Constata-se que os porta-enxertos comportaram-se de maneira diferente frente aos substratos testados. Para os porta-enxertos 'Fepagro C 13' e 'Swingle', todos os substratos que apresentavam o condicionador casca de eucalipto compostada na sua composição, independentemente da porcentagem, obtiveram um desempenho semelhante para as variáveis altura, área foliar por planta e massa seca da parte aérea e da raiz, não diferindo entre si e sendo superiores ao tratamento 0%E:100%T, que apresentou o pior desempenho. Já no caso do Trifoliata, o substrato composto por 40% de casca de eucalipto compostada e 60% de turfa (40%E:100%T) se destacou, sendo superior aos demais para todos os parâmetros de desenvolvimento vegetativo mencionados. Para este porta-enxerto, os demais tratamentos contendo o condicionador casca de eucalipto compostada, que foram inferiores ao 40%E:60%T, não diferiram significativamente entre si. Já o substrato composto apenas por turfa (0%E:100%T) apresentou, novamente, o pior desempenho.

TABELA 9. Altura final, área foliar por planta e massa seca da parte aérea e da raiz por planta de porta-enxertos cítricos, cultivados em diferentes substratos compostos por diversas proporções de casca de eucalipto compostada (E) e turfa (T), aos 111 dias após a semeadura, em casa de vegetação (média de 4 repetições). EEA-UFRGS, Eldorado do Sul, 2012.

Porta-enxerto	Substrato (m:m)				
	100%E 0%T	85%E 15%T	66%E 34%T	40%E 60%T	0%E 100%T
Altura da planta (cm)					
'Fepagro C 13'	10,26 ab A ¹	11,74 ab A	10,10 b A	12,04 b A	7,01 a B
Trifoliata	9,31 b B	10,08 b B	10,56 b B	14,43 a A	4,21 b C
'Swingle'	12,34 a A	13,29 a A	13,54 a A	14,21 ab A	6,81 a B
C.V. (%) – Substrato	12,28				
C.V. (%) - Porta-enxerto	12,26				
Área foliar (cm ² planta ⁻¹)					
'Fepagro C 13'	20,38 b A	26,24 b A	21,82 b A	25,24 b A	10,50 a B
Trifoliata	11,31 c B	12,13 c B	10,56 c B	20,76 b A	2,71 b C
'Swingle'	31,44 a A	34,52 a A	33,56 a A	37,72 a A	14,11 a B
C.V. (%) – Substrato	15,64				
C.V. (%) - Porta-enxerto	16,70				
Massa seca - Parte aérea (g planta ⁻¹)					
'Fepagro C 13'	0,26 b A	0,33 b A	0,27 b A	0,32 b A	0,11 ab B
Trifoliata	0,16 c B	0,19 c B	0,16 c B	0,28 b A	0,05 b C
'Swingle'	0,39 a A	0,43 a A	0,43 a A	0,47 a A	0,15 a B
C.V. (%) – Substrato	15,99				
C.V. (%) - Porta-enxerto	17,11				
Massa seca - Raiz (g planta ⁻¹)					
'Fepagro C 13'	0,19 b A	0,24 b A	0,21 b A	0,25 b A	0,08 a B
Trifoliata	0,08 c BC	0,11 c AB	0,09 c B	0,16 c A	0,02 b C
'Swingle'	0,28 a B	0,31 a AB	0,29 a B	0,36 a A	0,11 a C
C.V. (%) – Substrato	17,40				
C.V. (%) - Porta-enxerto	17,76				

¹Médias seguidas por letras distintas, maiúsculas na linha e minúsculas na coluna, diferem entre si pelo Teste de Tukey, ao nível de 5% de probabilidade de erro.

Assim como para o diâmetro do caule, as diferenças verificadas para todas as outras variáveis de desenvolvimento vegetativo em função do substrato devem-se, sobretudo, ao pH que estes possuíam. Todos os porta-enxertos avaliados

parecem apresentar elevada sensibilidade à acidez do substrato, tendo em vista o seu desempenho inferior para todas as variáveis analisadas no substrato composto apenas por turfa, cujo pH foi menor que 5,0 até os 60 DAS.

Conforme apresentado na Figura 5, o pH dos substratos que continham casca de eucalipto compostada na mistura variou entre 7,0 e 8,0, aproximadamente. Apesar dessa diferença de pH, para os porta-enxertos 'Fepagro C 13' e 'Swingle' não houve diferença no desenvolvimento vegetativo das plantas em função desses substratos, para todas as variáveis mencionadas. Além disso, ao comparar com resultados de outros autores, percebe-se que as plantas atingiram índices satisfatórios para o período de 111 dias após a semeadura nesses tratamentos. Para Teixeira (2008), aos 180 dias após a semeadura em substratos com pH entre 5,2 e 5,5, as plantas de 'Swingle' apresentaram médias de 14,73 cm de altura, 36,85 cm² de área foliar e 0,45 e 0,63 g planta⁻¹ de massa seca da raiz e parte aérea, respectivamente. Esses valores foram pouco acima do verificado no presente trabalho, o que se justifica pelo menor tempo de cultivo. Em outro experimento, obteve-se médias de 12,23 cm de altura, 27,73 cm² de área foliar e 0,20 e 0,33 g planta⁻¹ de massa seca da raiz e parte aérea, respectivamente, para o 'Fepagro C 13', 120 dias após a semeadura (Schäfer, 2004), assemelhando-se ao encontrado neste trabalho. Portanto, trata-se de um indício de que o 'Swingle' e o 'Fepagro C13' apresentam uma certa tolerância à alcalinidade do meio de cultivo, podendo ser cultivados em uma ampla faixa de pH, sem maiores prejuízos em termos de desenvolvimento vegetativo. Substratos ácidos, com pH inferior a 5,0, entretanto, mostraram-se bastante prejudiciais aos mesmos.

Comparativamente aos demais porta-enxertos, o Trifoliata apresentou uma maior sensibilidade aos extremos de pH do substrato. Para esta variedade, o tratamento 40%E:60%T, com pH em torno de 7,0, foi superior aos demais para as variáveis altura, área foliar por planta e massa seca da parte aérea e raiz, obtendo valores satisfatórios para 111 dias de cultivo. A altura média neste tratamento foi de 14,43 cm e a área foliar por planta foi de 20,75 cm². Já a massa seca da raiz e parte aérea foram 0,16 e 0,28 g planta⁻¹, respectivamente. Com certa semelhança aos resultados obtidos por Schäfer (2004), onde o Trifoliata, 120 dias após a semeadura, atingiu 15,63 cm de altura, 18,05 cm² planta⁻¹ de área foliar e 0,19 e 0,34 g planta⁻¹ para massa seca da raiz e parte aérea, respectivamente; e Teixeira (2008), que aos 180 DAS, esses valores foram de 14,86 cm, 24,10 cm² planta⁻¹ e 0,38 e 0,44 g planta⁻¹.

Quando cultivadas nos demais substratos com o condicionador casca de eucalipto compostada em sua composição, porém com proporções mais elevadas e com pH em torno de 8,0, as plantas de Trifoliata tiveram o desenvolvimento comprometido, no entanto ainda com índices superiores ao verificado no substrato composto apenas por turfa, cujo pH foi inferior a 5,0 até os 60 DAS.

As diferenças de vigor entre as variedades de porta-enxerto acentuaram-se nos tratamentos com valores mais extremos de pH, o que reforça a existência de diferentes níveis de sensibilidade à essas condições. Para a variável altura, por exemplo, nota-se que o Trifoliata foi inferior ou igual ao 'Swingle' e o 'Fepagro C 13' nos substratos com 66% ou mais do condicionador casca de eucalipto compostada (pH ~ 8,0) ou com ausência do mesmo (pH < 5,0 até 60 DAS). No substrato com 40% deste condicionador (pH ~ 7,0), por sua vez, o Trifoliata foi

superior ao 'Fepagro C 13' e não diferiu do 'Swingle'. De qualquer maneira, considerando-se que a altura mínima indicada para se realizar a repicagem das mudas é de 10 cm (Oliveira & Scivittaro, 2003), todos os porta-enxertos estavam aptos para esta prática nos substratos que continham o condicionador alcalino, à exceção do Trifoliata quando conduzido no tratamento composto apenas pelo referido condicionador.

No tratamento 40%E:60%T, em que as limitações para o desenvolvimento, considerando todos porta-enxertos, foram menores, é possível atribuir as diferenças de vigor entre os mesmos a outros fatores, com destaque para as características genéticas (Schäfer, 2004), as quais influenciam na capacidade de uso da luz e CO₂, afetando a absorção, o transporte e a interação dos nutrientes dentro da planta (Fochesato *et al.*, 2006). O 'Swingle' apresentou maior área foliar que os demais, que não diferiram entre si, o que também ocorreu para a massa seca da parte aérea. Com relação à massa seca da raiz, o 'Swingle' também foi superior, seguido pelo 'Fepagro C 13' que, por sua vez, superou o Trifoliata nesta característica.

O comportamento dos porta-enxertos nos diferentes substratos, em termos de desenvolvimento vegetativo, pode explicar as diferenças na influência do pH do substrato no tratamento 0%E:100%T. Conforme apresentado na Tabela 5 (item 4.1.2), a presença dos porta-enxertos 'Fepagro C 13' e 'Swingle', nesse substrato, está associada a uma elevação do pH quando comparado ao tratamento sem planta, ao passo que o porta-enxerto Trifoliata não modificou o mesmo. Isso deve-se, possivelmente, à grande inferioridade do Trifoliata em relação aos demais, sobretudo neste substrato, em termos de porcentagem de emergência e

desenvolvimento vegetativo. O baixo percentual de plantas emergidas (Tabela 7) e o posterior pequeno crescimento das mesmas, visualizado através da massa seca da parte aérea e raiz (Tabela 9), não foi suficiente para interagir e alterar significativamente o pH do substrato. Neste caso, a absorção de nutrientes, certamente, foi pouco expressiva, resultando em um pH estatisticamente igual ao do tratamento sem planta. Para os demais porta-enxertos, apesar de ocorrer um menor desenvolvimento vegetativo quando comparado aos outros substratos, este foi suficiente para interferir no pH do substrato, diferindo do tratamento sem planta. Esses porta-enxertos parecem ter absorvido maior quantidade de nutrientes, sobretudo ânions, a exemplo do NO_3^- , acarretando em aumento do pH do substrato (Bohnen *et al.*, 2000).

4.2 Estudo 2. Enxofre elementar no manejo do pH de substrato alcalino

4.2.1 Experimento 1: Doses de enxofre elementar associadas ou não a lixiviado de solo para redução do pH de substrato alcalino

4.2.1.1 Potencial hidrogeniônico (pH)

O S elementar foi eficiente na redução do pH do substrato. Na Figura 9 pode-se observar a evolução do pH ao longo dos 261 dias de condução do experimento, contemplando as Etapas 1 (A) e 2 (B), em função da dose de S elementar. A análise de variância apontou interação significativa apenas para dose de S elementar (DSE) x dias após a mistura (DAM), para ambas as etapas. Já o fator lixiviado não influenciou no pH do substrato ao longo do tempo, o que indica

a ocorrência natural de bactérias do gênero *Thiobacillus* neste substrato, não sendo necessária a inoculação.

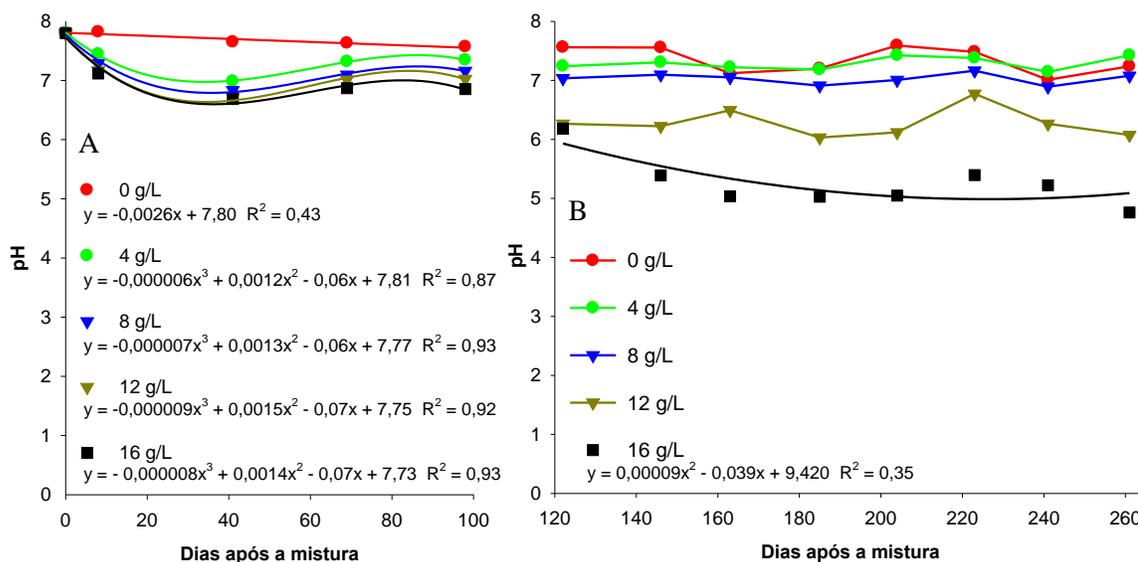


FIGURA 9. Evolução do pH do substrato após a mistura com diferentes doses de enxofre elementar (g L^{-1}), contemplando as Etapas 1 (A) – 0 a 98 dias, e 2 (B) – 122 a 261 dias (média de 6 repetições; pH determinado pelo método *PourThru*). EEA/UFRGS, Eldorado do Sul/RS, 2012.

Na Etapa 1 (0 a 98 DAM), a regressão foi significativa para todos os tratamentos. Houve redução do pH do substrato independentemente da DSE adicionada, mas a magnitude de redução está diretamente associada ao aumento da mesma. Aos 41 DAM, o substrato apresentou valores médios de pH iguais a 6,99, 6,84, 6,71 e 6,69 nos tratamentos com 4, 8, 12 e 16 $\text{g S}^0 \text{ L}^{-1}$, respectivamente, sendo inferiores ao pH original, que era 7,80, bem como ao da testemunha (0 $\text{g S}^0 \text{ L}^{-1}$), com pH 7,65. Entretanto, a partir dessa data, nos tratamentos com adição de S elementar, o pH do substrato voltou a subir, atingindo valores entre 6,87 (maior dose) e 7,32 (menor dose) aos 69 DAM e

mantendo-se estável a partir de então, não ocorrendo variações até o final da primeira etapa (98 DAM) (Figura 9A e Tabela 10).

TABELA 10. Valor de pH do substrato em função da presença (com) ou ausência (sem) de lixiviado de solo e de diferentes doses de enxofre elementar, em diferentes dias após a mistura, contemplando as Etapas 1 e 2 (Lixiviado = média de 15 repetições; Dose de S^0 = média de 6 repetições; pH determinado pelo método *PourThru*). EEA/UFRGS, Eldorado do Sul/RS, 2012.

Tratamento	pH						
	Etapa 1 (DAM)			Etapa 2 (DAM)			
	0	41	98	122	163	261	
Lixiviado	Sem	7,80 ^{ns}	6,94 ^{ns}	7,15 ^{ns}	6,85 ^{ns}	6,58 ^{ns}	6,43 ^{ns}
	Com	7,80	6,98	7,23	6,87	6,59	6,60
C.V. (%)		1,52			3,54		
Dose de S^0 (g L⁻¹)	0	7,80 ^{ns}	7,65 a ¹	7,57 a	7,56 a	7,12 a	7,24 a
	4	7,80	6,99 b	7,35 b	7,24 ab	7,22 a	7,43 a
	8	7,80	6,84 c	7,16 c	7,03 b	7,05 a	7,08 a
	12	7,80	6,71 c	7,03 c	6,27 c	6,49 b	6,07 b
	16	7,80	6,63 d	6,85 d	6,18 c	5,03 c	4,76 c
C.V. (%)		1,26			5,56		

¹Médias seguidas por letras minúsculas distintas na coluna diferem entre si pelo Teste de Tukey, ao nível de 5% de probabilidade de erro; ns = dados não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey, ao nível de 5% de probabilidade de erro.

Já na primeira avaliação da Etapa 2 (122 DAM), os tratamentos com 12 e 16 g S^0 L⁻¹ apresentaram forte redução do pH em comparação à última avaliação da Etapa 1 (98 DAM), passando de 7,03 para 6,27 e 6,85 para 6,18, respectivamente (Figura 9 e Tabela 10). A partir de então, não houve mais variação do pH para o tratamento com 12 g S^0 L⁻¹, bem como para 0, 4 e 8 g S^0 L⁻¹. Deste modo, para a variável pH, a regressão foi significativa na etapa 2 apenas para o tratamento com 16 g S^0 L⁻¹, cujo substrato apresentou pH 5,03 aos

163 DAM, adequado para a produção de mudas cítricas (entre 5,0 e 5,8), chegando a 4,76 ao final do experimento (261 DAM) (Figura 9B e Tabela 10).

Muitos autores relatam que o enxofre elementar exerce um efeito significativo sobre a redução do pH do solo ou substrato (Lawrence & Germida, 1988; Kaplan & Omran, 1998). Kämpf *et al.* (2009), ao testar doses de S⁰ entre 0,5 e 4,0 gramas por litro de substrato, observaram grande acidificação do meio, de modo que o pH do substrato, cujo valor inicial era 7,0, variou entre 1,5 (maior dose) e 6,1 (menor dose), passadas 10 semanas da mistura. O S⁰ também mostrou-se uma alternativa interessante para corrigir o pH de um composto de resíduos de poda, cujo pH inicial era 7,4 (Barbaro *et al.*, 2010). Corroborando, Heydarnezhad *et al.* (2012), ao avaliar a influencia do S⁰ na disponibilidade de nutrientes em dois solos calcários do Iran, concluíram que o incremento de P, Fe e Zn verificado está associado à redução do pH do meio.

Em todas as situações supracitadas, a intensidade da redução do pH foi dependente da dose. Besharati (1998) afirma que, após a sua oxidação, cada mol de S elementar gera dois moles de íons H⁺ no substrato, reduzindo o pH do meio. Portanto, como verificado no presente estudo, a magnitude da redução do pH depende da DSE adicionada, e as diferenças na variação do pH, tanto em intensidade como no tempo, em função dos diferentes tratamentos, estão associadas à disponibilidade de S elementar no substrato para a ocorrência da oxidação por parte das bactérias e consequente formação do H₂SO₄.

Neste sentido, observa-se que quanto maior a DSE adicionada, maior a redução do pH e maior o tempo necessário para a estabilização do mesmo (Figura 9). Corroborando, Carrión *et al.* (2008) afirmam que, ao utilizar enxofre elementar

como corretor de pH, a diminuição através do tempo é lenta e gradual. Bunt (1988) expõe que com maiores doses de S^0 , o tempo necessário para a estabilização do pH é maior por haver maior quantidade de S^0 para ser oxidado a ácido sulfúrico mediante as bactérias *Thiobacillus* sp. Horowitz (2003) também observou que a diminuição do pH em um Argissolo foi se intensificando ao longo do tempo, sendo mais pronunciada com o aumento da DSE. Da mesma forma, Barbaro *et al.* (2010) descreve que o tempo demandado para estabilizar o pH do material em questão dependerá da DSE incorporada ao mesmo.

Além da presença de S elementar no substrato, a oxidação deste por parte das bactérias depende de fatores do meio, como umidade/aeração e temperatura adequados, presença de matéria orgânica, entre outros (Germida & Janzen, 1993; Scherer, 2001; Horowitz, 2003). Com relação à temperatura, a oxidação ocorre na faixa entre 4 e 45° C, apesar de considerar-se ideal entre 25 e 40° C (Deng & Dick, 1990; Miyamoto, 1998). Portanto, de modo geral, a temperatura foi adequada durante a maior parte do período de condução do experimento (Figura 2). Além disso, observou-se redução significativa do pH tanto em momentos em que a temperatura média foi mais elevada (0 a 41 DAM), quanto a mesma foi relativamente baixa (122 a 163 DAM), o que indica que este não foi um fator limitante.

Quanto à presença de matéria orgânica, o teor de carbono orgânico no substrato era de 8,2% no dia da instalação do experimento (Tabela 1), havendo, portanto, energia disponível para o metabolismo dos microrganismos. Frente a isso, considerando-se que a disponibilidade de S elementar não foi um fator limitante, a elevação e estabilização do pH entre 41 e 98 DAM é atribuída ao alto

grau de encharcamento do substrato durante esse período, em função da irrigação abundante, resultando em baixa aeração, o que compromete a oxidação do enxofre pelos microrganismos, já que tratam-se de bactérias aeróbicas. Os íons OH^- , por sua vez, continuaram sendo liberados na solução do substrato, contribuindo para a elevação do pH.

Até os 41 DAM, período em que houve redução do pH, a aeração do substrato era maior, pois o aumento da umidade em função do sistema de irrigação foi lento e gradual, não comprometendo a oxidação do S elementar nesta fase inicial. Da mesma forma, a diminuição acentuada do pH nos tratamentos com 12 e 16 g $\text{S}^0 \text{L}^{-1}$ verificada já na primeira avaliação da Etapa 2 (122 DAM) pode ser, novamente, atribuída à redução natural da umidade do substrato durante o período de 24 dias em que ficou armazenado (entre 98 e 122 DAM), além da aeração promovida pelo revolvimento no momento da retirada dos recipientes para colocação nas sacolas para armazenamento.

O sistema de irrigação empregado na Etapa 2 permitiu uma maior aeração do substrato em comparação à Etapa 1, de modo que a umidade/aeração não foi um fator limitante à oxidação do S elementar. De fato, no tratamento com 16 g $\text{S}^0 \text{L}^{-1}$, observa-se que o pH continuou reduzindo durante um longo período. Nos demais tratamentos, a indisponibilidade de S elementar constituiu-se no fator limitante, não ocorrendo, portanto, a formação de quantidades significativas de H_2SO_4 após 122 DAM, acarretando em estabilidade do pH durante toda esta etapa.

Esses resultados demonstram a complexidade do processo de acidificação do substrato através da oxidação do S^0 , indicando que a inadequação de algum

dos fatores envolvidos no mesmo, como foi o caso da umidade/aeração no presente estudo, pode comprometer a eficiência da técnica. Da mesma forma, a falta de matéria orgânica, temperatura inadequada e o baixo teor de enxofre, dentre outros fatores, podem se constituir em limitações para a correção do pH de substratos orgânicos alcalinos por meio do S elementar (Germida & Janzen, 1993).

Alguns autores condicionam a eficiência do S^0 na redução do pH à algumas características do solo ou substrato. Orman & Kaplan (2011), para um solo calcário, relatam que a resposta à aplicação de S^0 depende do teor de $CaCO_3$ presente no meio, que confere ao solo ou substrato um maior ou menor poder tampão. Lindermann *et al.* (1991), ao adicionar S^0 a um solo da região do Novo México, Estados Unidos, verificou que o H_2SO_4 produzido após a oxidação foi rapidamente neutralizado pelo $CaCO_3$, não ocorrendo alteração no pH. Entretanto, de modo geral, ao testar o S^0 na redução do pH de solos ou substratos, os autores não descrevem o critério utilizado para determinação das doses de enxofre empregadas. Isso sugere que os mesmos baseiam-se, sobretudo, em doses empregadas em trabalhos anteriores, contemplando uma ampla faixa de DSE adicionadas, dentro da qual, possivelmente, encontra-se aquela que resulta no pH mais adequado. Kämpf *et al.* (2009), por exemplo, concluiu que a dose de $0,5 \text{ g } S^0 \text{ L}^{-1}$ foi a mais adequada, ao testar uma faixa entre $0,0$ e $4,0 \text{ g } S^0 \text{ L}^{-1}$. Em outro trabalho, utilizando doses entre $0,0$ e $8,0$ gramas de S^0 por litro de substrato, a mais adequada parece estar entre $3,0$ e $4,0$ (Barbaro *et al.*, 2010). Já no presente estudo, a dose que resulta no pH mais adequado para a produção da maioria das espécies (entre $5,0$ e $5,8$) (Kämpf, 2000), dentre as quais as mudas cítricas,

encontra-se entre 12 e 16 g S⁰ L⁻¹. Horowitz (2003), por sua vez, comparou a taxa de oxidação do S elementar em dois tipos de solo, e verificou que, apesar de ocorrer o aumento no teor de S-sulfato em ambos, devido à oxidação do enxofre, houve significativa redução do pH do latossolo, ao passo que o pH do argissolo manteve-se inalterado, mesmo com 12 g S⁰ kg⁻¹ de solo e 70 dias após a mistura, atribuindo esse comportamento ao poder tampão de pH do segundo. Portanto, a determinação da DSE a ser adicionada ao solo ou substrato, visando a correção do pH, deve levar em consideração as características do mesmo, não devendo ser generalizada para todas as situações, e a ineficiência da técnica relatada em alguns trabalhos deve-se, possivelmente, à utilização de doses inadequadas de S elementar.

Neste sentido, o poder de neutralização (PN) do substrato mostrou-se um critério confiável para determinação da DSE demandada para correção do pH. Trata-se de um indicativo do poder tamponante de acidez do material, expresso em equivalente de CaCO₃, a partir do qual se pode calcular a quantidade de íons H⁺ necessária para neutralizar toda a quantidade de íons OH⁻ passível de ser formada no substrato. No substrato utilizado, composto por casca de eucalipto compostada e cujo PN (%) é 7, são necessárias 14,87 gramas de S⁰ por litro de substrato para formação dessa quantidade de íons H⁺ (Apêndice 2). Como já relatado e discutido no item 4.1.2, os teores de Ca, Mg e K no referido substrato podem ser considerados altos (Tabela 1), sendo que a presença de ânions ligados à esses cátions básicos pode ser considerado o principal fator que confere ao mesmo a característica alcalina e um alto PN.

Os resultados encontrados por Sierra *et al.* (2007), ao avaliar o efeito da aplicação de S elementar como corretor de pH e na disponibilidade de nutrientes em seis solos de duas regiões do Chile, colaboram com o presente estudo. Os autores testaram duas DSE (0,5 e 1,0 g S⁰ kg⁻¹), além da testemunha sem adição enxofre, com avaliações aos 60 e 120 dias, e observaram interação significativa entre os fatores solo x DSE x tempo, indicando que os diferentes solos apresentaram comportamentos distintos em função do S⁰ aplicado. Segundo eles, as características dos solos que mais influenciaram sobre a magnitude do efeito acidificante do S⁰ foram os teores de CaCO₃, matéria orgânica e areia. Deste modo, as maiores reduções de pH ocorreram nos solos com menor capacidade tamponante, como consequência do menor teor de CaCO₃ e matéria orgânica, sendo o efeito mais intenso com o passar do tempo. Os mesmos ainda concluem que a definição da DSE deve ser realizada mediante a análise de algumas características do solo, como o pH e teor de carbonatos e de matéria orgânica.

Portanto, a quantidade de equivalente a CaCO₃ no substrato é, de fato, uma característica que pode ser utilizada como parâmetro para determinação da necessidade de produto acidificante a ser adicionada ao mesmo. Todavia, deve-se atentar para o fato de que nem todos os íons OH⁻ potencialmente formados serão realmente liberados na solução do substrato, e que o enxofre adicionado não será oxidado em sua totalidade, já que dependem de inúmeros fatores que estão envolvidos nestes processos. Frente ao exposto, considera-se que a DSE a ser adicionada, calculada a partir do PN do substrato, consiste em um parâmetro para balizar o emprego desta técnica, devendo-se testar uma curva, com doses acima e abaixo da calculada, para cada material a ser corrigido.

4.2.1.2 Condutividade elétrica (CE)

Para a variável condutividade elétrica, a análise de variância mostrou interação significativa apenas entre DSE x DAM, para ambas as etapas. Já o fator lixiviado não influenciou na CE do substrato, assim como já havia sido observado para a variável pH. O efeito das DSE sobre a CE do substrato ao longo dos 261 dias de condução do experimento pode ser visualizado na Figura 10. Na Etapa 1 (0 a 98 DAM), a regressão foi significativa para todos os tratamentos, tendo comportamento cúbico naqueles com adição de S elementar. Para a testemunha (0 g S⁰ L⁻¹), a regressão foi linear (Figura 10A).

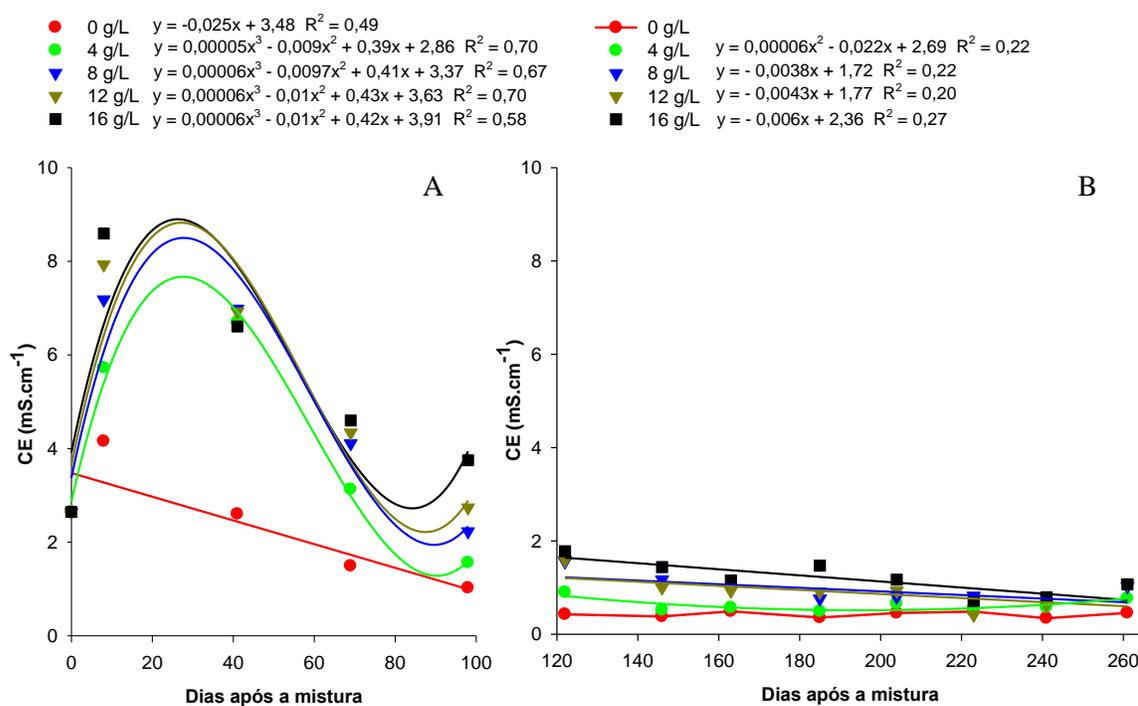


FIGURA 10. Evolução da condutividade elétrica (CE) do substrato após a mistura com diferentes doses de enxofre elementar (g L⁻¹), contemplando as Etapas 1 (A) – 0 a 98 dias, e 2 (B) – 122 a 261 dias (média de 6 repetições; CE determinada pelo método *PourThru*). EEA/UFRGS, Eldorado do Sul/RS, 2012.

A adição de S elementar resultou em incremento da CE dos substratos nos primeiros dias após a mistura (até 8 DAM), sendo que as maiores doses resultaram em maiores valores de CE nesta data de avaliação (Tabela 11). Muitos autores relataram este comportamento da CE em função da adição de S⁰ (Sierra *et al.*, 2007; Kämpf *et al.*, 2009; Barbaro *et al.*, 2010; Heydarnezhad *et al.*, 2012;), e alguns observaram uma correlação altamente significativa e inversa entre o pH e a CE nessas condições (Barbaro *et al.*, 2010; Sierra *et al.*, 2007). Da mesma forma, no presente estudo, a análise de correlação entre o pH e a CE mostrou-se significativa ($r = -0,72$ e $p < 0,0001$) aos 8 DAM, indicando uma relação linear negativa entre as variáveis (Figura 11). Doses crescentes de S elementar provocaram a redução do pH, com o conseqüente aumento da CE.

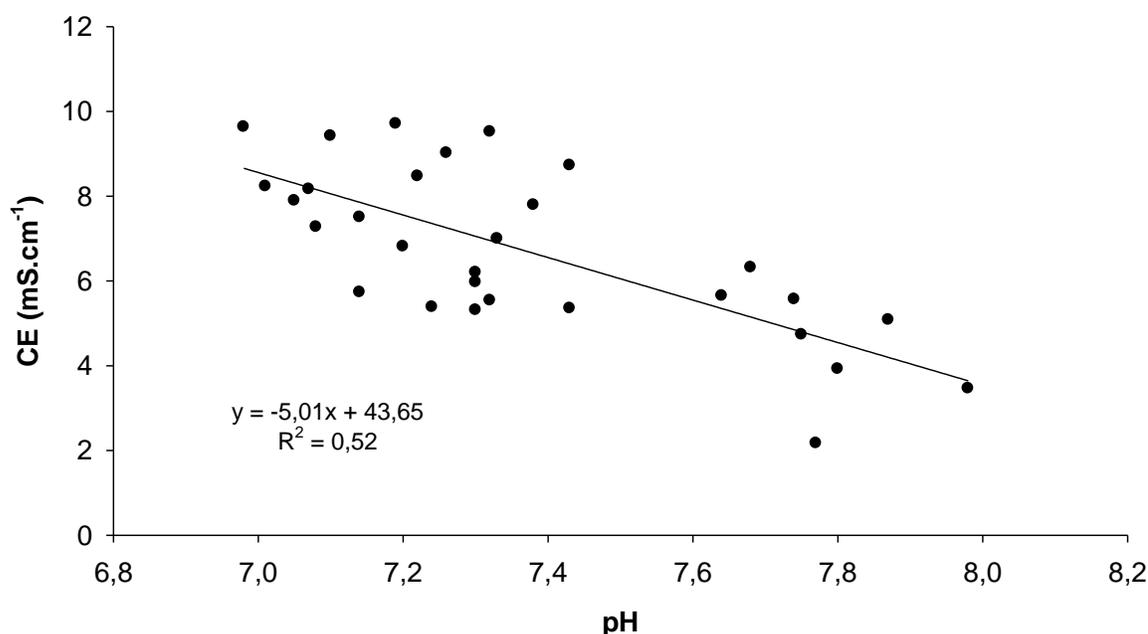


FIGURA 11. Representação gráfica da correlação entre o pH e a condutividade elétrica (CE) do substrato ($r = -0,72$ e $p < 0,0001$), aos 8 dias após a mistura com as diferentes doses de enxofre elementar (pH e CE determinados pelo método *PourThru*).

Esse aumento da CE em função da aplicação de S^0 deve-se, principalmente, à reação do H_2SO_4 com os compostos de reação alcalina presentes no substrato, com o conseqüente aumento de íons em solução, a exemplo do Ca^{2+} , Mg^{2+} e K^+ (Lindemann *et al.*, 1991; Miyamoto, 1998). Isso é reforçado por Sierra *et al.* (2007), que relataram um acréscimo significativo no teor de cálcio e magnésio solúveis com o aumento da dose de enxofre aplicada em solos provenientes de duas regiões do Chile. Ainda de acordo com os referidos autores, houve uma correlação altamente significativa e positiva entre a CE e os teores de Ca ($r = 0,94$) e Mg ($r = 0,95$), após a adição do S elementar. Isso indica que o incremento da CE, ao diminuir o pH, está relacionado ao conteúdo desses elementos. Esses resultados também coincidem com os trabalhos conduzidos por Lucas & Davis (1961), em que a disponibilidade de Ca e Mg aumentou com a diminuição do pH do solo.

Além do cálcio e do magnésio, existem outros elementos que também podem estar contribuindo para o aumento da condutividade elétrica, por se tornarem mais solúveis com a diminuição do pH, com destaque para o ferro, manganês, boro, cobre e zinco (Lucas & Davis, 1961; Peterson, 1982; Raviv & Lieth, 2008; Barbaro *et al.*, 2010). De fato, Sierra *et al.* (2007) observaram uma correlação linear significativa e positiva entre alguns desses nutrientes e a CE do solo, após a aplicação de diferentes doses de S^0 em solos, como é o caso do Fe ($r = 0,84$), do Mn ($r = 0,83$) e do Cu ($r = 0,73$).

A elevação da CE observada no tratamento sem adição de S elementar, até os 8 DAM, pode estar associada à solubilização de alguns sais presentes no substrato, aumentando a sua concentração na solução, devido ao aumento da

umidade proveniente do sistema de irrigação, pois a umidade inicial do substrato era bastante baixa.

Após os 8 DAM passou a haver uma redução contínua da CE dos substratos, independentemente da DSE adicionada, até o final da Etapa 1. Esse comportamento se manteve ao longo da Etapa 2 para todos os tratamentos com adição de S^0 , porém com menor intensidade de redução. Para a Testemunha, entretanto, a regressão não foi significativa na segunda etapa, o que indica a estabilidade da CE nesse tratamento durante o referido período.

A redução da CE após os 8 DAM é atribuída, principalmente, à lixiviação dos íons presentes na solução do substrato, em consequência da irrigação abundante. Aparentemente, durante os primeiros dias após a mistura, a formação e liberação de novos sais na solução do substrato em decorrência da reação com o S^0 foi superior à remoção dos mesmos pela lixiviação, sendo que após os 8 DAM passou a ocorrer o contrário, culminando na redução da CE ao longo do tempo.

Muitos autores atribuem a redução da condutividade elétrica do substrato à lixiviação dos sais durante a irrigação (Schäfer, 2004; Fochesato, 2005). Frente a isso, apesar de ocorrer uma perda de nutrientes, o manejo da irrigação pode se constituir em uma alternativa interessante para a adequação da CE em substratos com valores acima do recomendado, como ocorre em muitas situações em que se utiliza o S^0 como corretor do pH. No presente trabalho, a CE inicial do substrato encontrava-se dentro da faixa recomendada para a maioria das espécies cultivadas em substratos orgânicos (entre 2,6 e 4,6 $mS\ cm^{-1}$ para o método *PourThru*). Após a adição do S^0 , a CE sofreu um incremento demasiado, atingindo

níveis prejudiciais à maioria das espécies, voltando a apresentar valores adequados apenas aos 69 DAM (Tabela 11). A aceleração da redução da CE pode ser obtida aumentando-se a frequência dos turnos de irrigação e/ou o tempo por turno.

TABELA 11. Condutividade elétrica (CE) do substrato em função da presença (com) ou ausência (sem) de lixiviado de solo e de diferentes doses de enxofre elementar, em diferentes dias após a mistura, contemplando as Etapas 1 e 2 (Lixiviado = média de 15 repetições; Dose de S⁰ = média de 6 repetições; CE determinada pelo método *PourThru*). EEA/UFRGS, Eldorado do Sul/RS, 2012.

Tratamento	CE (mS cm ⁻¹)						
	Etapa 1 (DAM)				Etapa 2 (DAM)		
	0	8	69	98	122	261	
Lixiviado	Sem	2,65 ^{ns}	6,59 ^{ns}	3,65 ^{ns}	2,22 ^{ns}	1,24 ^{ns}	0,83 ^{ns}
	Com	2,65	6,84	3,43	2,30	1,26	0,93
C.V. (%)		89,73				54,44	
Dose de S⁰ (g L⁻¹)	0	2,65 ^{ns}	4,15 c ¹	1,49 b	1,02 c	0,43 b	0,46 b
	4	2,65	5,73 b	3,13 a	1,56 bc	0,90 b	0,77 ab
	8	2,65	7,18 ab	4,11 a	2,23 bc	1,56 a	1,03 a
	12	2,65	7,93 a	4,34 a	2,74 ab	1,59 a	1,09 a
	16	2,65	8,59 a	4,60 a	3,75 a	1,78 a	1,07 a
C.V. (%)		22,98				46,90	

¹Médias seguidas por letras minúsculas distintas na coluna diferem entre si pelo Teste de Tukey, ao nível de 5 % de significância; ns = dados não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey, ao nível de 5% de probabilidade de erro.

4.2.1.3 Desenvolvimento vegetativo de porta-enxerto cítrico

A umidade relativamente elevada do substrato no momento do enchimento das bandejas, associada à alta densidade do mesmo, resultaram em um aumento na densidade de empacotamento do substrato em grande parte das células preenchidas. Isso prejudicou e atrasou a germinação e o desenvolvimento inicial das plantas, sobretudo em algumas parcelas, o que foi agravado ainda mais em

função da falta de água pelo período de 7 dias em decorrência de problemas no fornecimento de energia no local do experimento. Esse agravamento ocorreu, principalmente, nas células que apresentavam maior densidade de empacotamento, onde se formou uma crosta superficial. Esses fatores comprometeram a avaliação da emergência e desenvolvimento vegetativo das plantas em função dos tratamentos aplicados e, por isso, esses dados não serão analisados e discutidos no presente trabalho.

4.2.2 Experimento 2: Manejo do pH de substrato alcalino com o uso de enxofre elementar

Na Figura 12 pode-se observar a evolução do pH (Figura 12A) e da CE (Figura 12B) ao longo dos 80 dias após a mistura entre o substrato e as diferentes DSE, já que a análise de variância mostrou interação significativa para DSE x DAM para ambas as variáveis.

Assim como verificado no Experimento 1, a adição de S^0 ao substrato reduziu significativamente o seu pH, com conseqüente aumento da condutividade elétrica, sendo a intensidade e magnitude desse efeito dependente da DSE utilizada. A análise de correlação entre o pH e a CE confirma essa relação, sendo significativa e inversa ($r = -0,85$ e $p < 0,0001$) (Figura 13). E estando de acordo com o que foi observado por outros autores (Sierra *et al.*, 2007; Barbaro *et al.*, 2010).

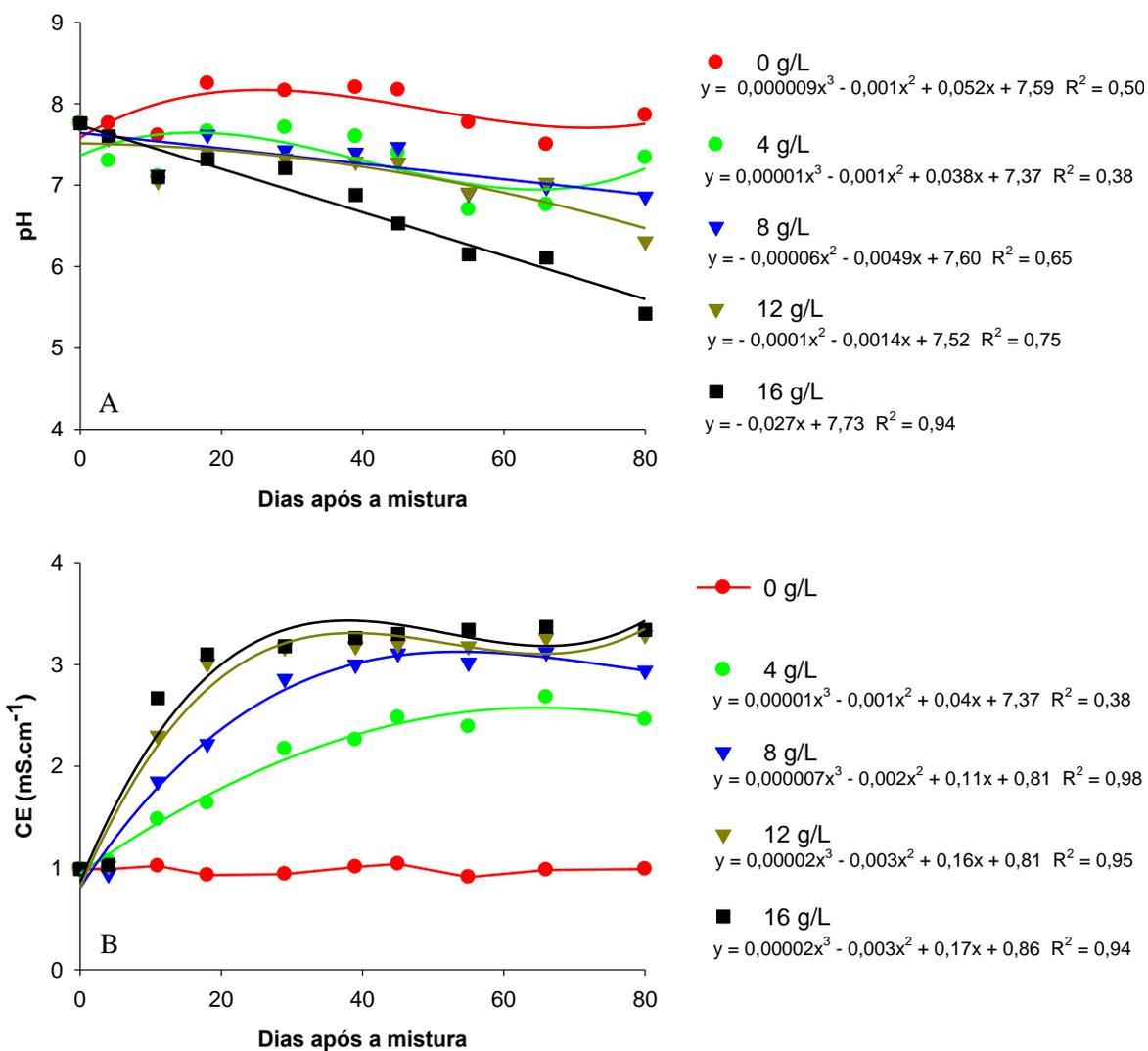


FIGURA 12. Evolução do pH (A) e da condutividade elétrica (CE) (B) do substrato ao longo de 80 dias após a mistura com as diferentes doses de enxofre elementar (média de 3 repetições; pH e CE determinados pelo método 1:5 – v:v). Porto Alegre/RS, 2012.

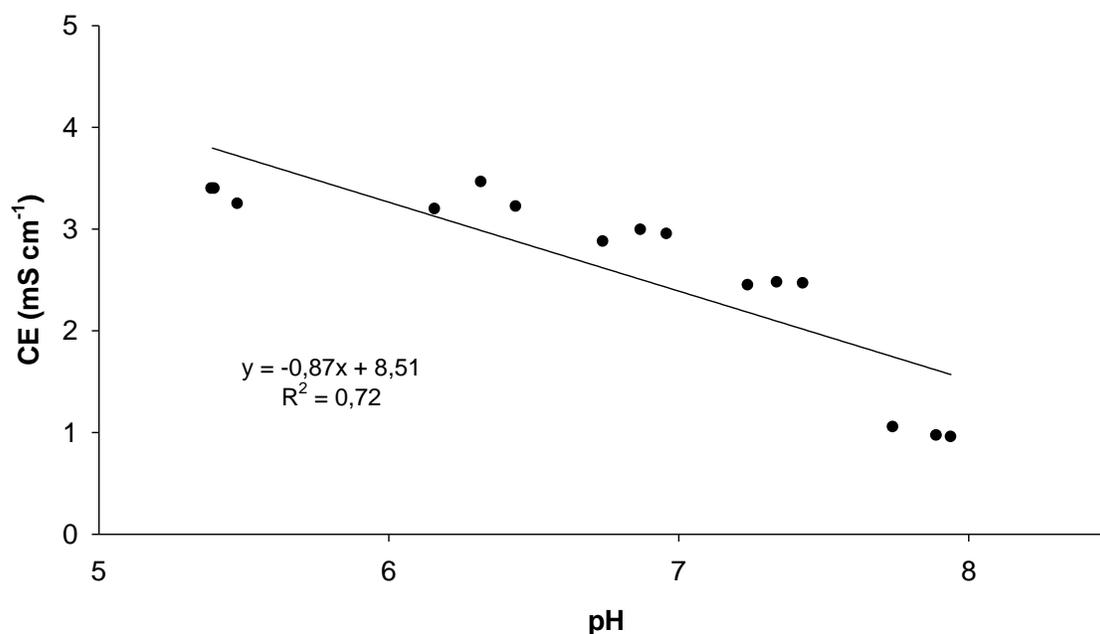


FIGURA 13. Representação gráfica da correlação entre o pH e a condutividade elétrica (CE) do substrato ($r = -0,85$ e $p < 0,0001$), aos 80 dias após a mistura com as diferentes doses de enxofre elementar (pH determinado pelo método 1:5 – v:v).

Quanto ao pH, percebe-se que a regressão foi significativa para todos os tratamentos, e que quanto maior a DSE adicionada, maior a velocidade e magnitude de redução do pH do substrato, corroborando os resultados de Kämpf *et al.* (2009) e Barbaro *et al.* (2010). As variações observadas no tratamento testemunha são atribuídas à possível instabilidade do material testado. O elevado teor de matéria orgânica, associado às temperaturas elevadas durante o período de condução do experimento, bem como a presença de umidade adequada e manuseio do material, podem ter promovido a acentuação da atividade microbiana no substrato, com conseqüente mineralização de carbono e nitrogênio, resultando na alteração de algumas características químicas do mesmo.

Ao final do experimento (80 DAM), a análise de regressão foi significativa para as variáveis pH e CE, em função da DSE misturada ao substrato. Na Figura 14, pode-se observar a variação do pH (Figura 14A) e da CE (Figura 14B) em função das diferentes DSE testadas.

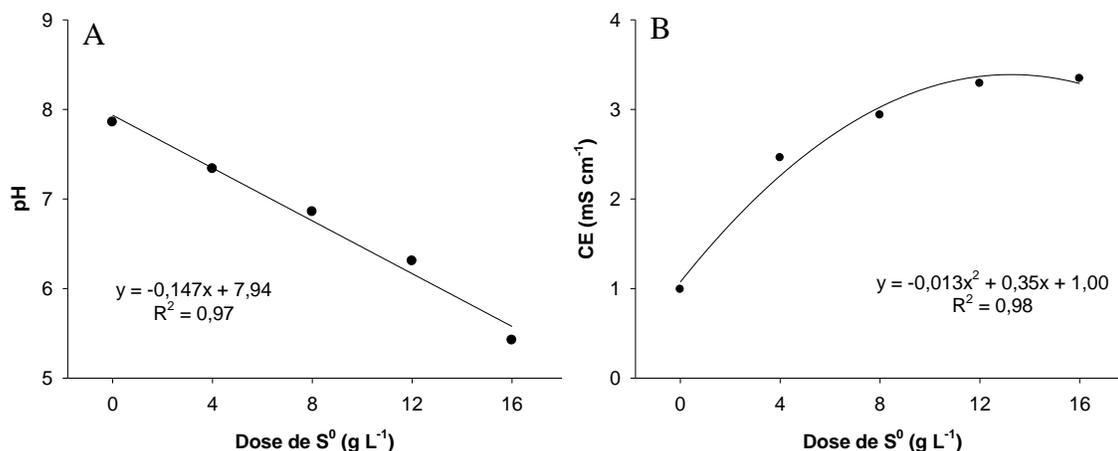


FIGURA 14. Valor de pH (A) e condutividade elétrica (CE) (B) do substrato em função da dose de enxofre elementar (DSE) adicionada, aos 80 dias após a mistura (média de 3 repetições; pH e CE determinados pelo método 1:5 – v:v). Porto Alegre/RS, 2012.

No tratamento com 16 g S⁰ L⁻¹ de substrato, o pH atingiu níveis adequados para a maioria das espécies (Figura 14A), que é entre 5,0 e 5,8 (Kämpf, 2000). Com 12 g S⁰ L⁻¹ de substrato, os valores se aproximaram bastante da faixa ideal. Já para os demais tratamentos, o pH não reduziu suficientemente, distanciando-se significativamente da referida faixa aos 80 DAM. Porém, é possível que um maior tempo de condução do experimento revelasse uma redução ainda maior do pH em função dos tratamentos, pois, como observado na Figura 12A, houve diminuição do pH até a última avaliação, principalmente no tratamentos com maior dose de S⁰, o que indica que ainda não havia ocorrido a estabilização do pH.

No presente experimento, a velocidade da redução do pH foi superior àquela observada no Experimento 1 (item 4.2.1.1). Considerando-se que, em ambos, empregou-se o mesmo substrato e a mesma fonte de S elementar, e que a temperatura não se constituiu em um fator limitante, pois foi adequada à atividade dos microrganismos (Figuras 2 e 3) (Deng & Dick, 1990; Miyamoto, 1998), a manutenção da umidade do substrato em níveis mais baixos parece ter contribuído para a aceleração do processo. No Experimento 1, em que verificou-se um teor de umidade elevado, sobretudo, entre 41 e 98 DAM, como já relatado no item 4.2.1.1, o pH atingiu valores adequados para a maioria das espécies somente cerca de 140 DAM (Figura 9) no tratamento com a maior DSE. No presente experimento, por sua vez, em que a umidade do substrato foi mantida em níveis mais baixos (entre 40 e 50%), os valores adequados já foram obtidos aos 80 DAM, certamente em função da ocorrência de maiores taxas de oxidação do S^0 .

Neste sentido, Germida & Janzen (1993) afirmam que a maior parte das espécies de microrganismos responsáveis pela oxidação do S^0 são aeróbicas obrigatórias e, portanto, não atuam em ambiente saturado, situação esta em que se encontrava o substrato do Experimento 1 entre 41 e 98 DAM. Além disso, os autores expõem que a condição de seca temporária parece não exercer grande efeito a longo prazo sobre a taxa de oxidação do S elementar, o que pode ser um indicativo de que a baixa aeração é mais limitante do que o baixo teor de umidade.

Com relação à CE, a regressão não foi significativa para a Testemunha, indicando que não houveram variações ao longo dos 80 dias de avaliação. Para os tratamentos com adição de S elementar, por sua vez, a regressão foi significativa ($p < 0,0001$), sendo que maiores doses resultaram em incrementos

mais expressivos da CE (Figura 12B). Neste caso, porém, diferentemente do que foi verificado no Experimento 1 (item 4.2.1.2), não houve uma posterior redução da CE do substrato, independentemente do tratamento. Isso se deve ao fato de que a umidade do mesmo foi mantida entre 40 e 50%, não atingindo a saturação e, portanto, não havendo lixiviação dos sais formados após a oxidação do S^0 .

Ao final do experimento (80 DAM), a análise de regressão foi significativa para a variável CE, apontando diferença significativa entre as médias de CE dos substratos, em função da DSE adicionada (Figura 14B). Essas médias variaram entre 0,989 (sem S^0) e 3,343 ($16 \text{ g } S^0 \text{ L}^{-1}$ de substrato). Para o método de análise utilizado, valores normais de CE encontram-se na faixa entre 0,36 e 0,65 mS cm^{-1} . Valores acima de 1,10 mS cm^{-1} são considerados extremos, devendo causar injúrias à maioria das plantas cultivadas em recipientes (Cavins, 2000). Frente a isso, percebe-se que o substrato utilizado já apresentava uma salinidade acima da recomendada, mesmo sem a adição de enxofre, no dia da instalação do experimento. Esse problema foi agravado após a mistura com S^0 , de tal forma que todos os tratamentos resultaram em níveis de salinidade muito acima do considerado extremo para substratos destinados ao cultivo de plantas.

A comparação entre os resultados do Experimento 1 e 2 reforça a eficiência da irrigação como forma de ajustar a salinidade do substrato. Trata-se de uma técnica necessária em situações em que se utiliza o S^0 como método para redução do pH do meio de cultivo, principalmente quando se trabalha com materiais com elevado PN, que necessitam doses mais elevadas e que resultam em aumento demasiado da CE.

5 CONCLUSÕES

Nas condições do presente estudo, conclui-se que:

- a mistura entre diferentes condicionadores é uma alternativa eficiente para o manejo do pH de substratos orgânicos;
- a influência do condicionador à base de casca de eucalipto compostada é superior a do condicionador composto por turfa;
- o poder de neutralização e a acidez potencial são indicadores confiáveis do poder tampão de pH de condicionadores alcalinos e ácidos, respectivamente, devendo ser considerados para determinação da mistura;
- o substrato composto por 40% de casca de eucalipto compostada e 60% de turfa (relação massa:massa) é o que mais se aproxima da faixa de pH recomendada para a produção de porta-enxertos cítricos;
- as variedades de porta-enxertos utilizadas na produção de mudas cítricas apresentam diferentes níveis de tolerância a valores extremos de pH do substrato;
- o S elementar é eficiente na redução do pH de substratos orgânicos, mas acarreta aumento da condutividade elétrica dos mesmos;

- o poder de neutralização do substrato é um critério confiável para balizar a determinação da dose de S elementar a ser utilizada;
- visando a produção de porta-enxertos cítricos no substrato composto por casca de eucalipto compostada, a dose mais adequada de S elementar a ser adicionada encontra-se entre 12 e 16 g L⁻¹.

6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A mistura entre condicionadores para formulação de substratos é algo difundido e bastante utilizado no Brasil. Isso é realizado tanto a nível de produtores e viveiristas, como em escala comercial pelas empresas fabricantes de substratos. Entretanto, são raras as pesquisas que buscam compreender as causas dos efeitos gerados por esta prática sobre as características químicas dos substratos resultantes, com destaque para o pH. Da mesma forma, o uso do enxofre elementar como forma de acidificar substratos orgânicos é algo pouco estudado no país. Isso se deve, certamente, ao fato de o problema da alcalinidade ser relativamente recente, associado a materiais alternativos, que passaram a ser empregados a menos tempo como substratos para plantas. Portanto, o presente trabalho teve caráter introdutório no sentido de balizar o emprego de métodos para redução do pH de substratos alcalinos, com o objetivo de, no futuro, proporcionar o estabelecimento de parâmetros quantitativos para utilização dos mesmos.

Neste sentido, a execução dos experimentos e a análise dos resultados obtidos permitiram observar outros fatores que podem ser considerados e testados em futuros trabalhos, no intuito de elucidar aspectos ligados à manutenção do pH de substratos orgânicos alcalinos e ao desenvolvimento

vegetativo de porta-enxertos cítricos. Essas observações são apresentadas a seguir.

A mistura entre diferentes condicionadores é realizada, normalmente, numa proporção de volume para volume, devido à facilidade da técnica em comparação àquela realizada na relação de massa para massa. Porém, nesta situação, além das características químicas (poder de neutralização e acidez potencial), deve-se considerar a densidade seca dos materiais empregados, já que o volume é ocupado, também, por espaços vazios, e não apenas pelo material que, de fato, interage com o outro condicionador.

É importante realizar novos experimentos que avaliem a influência de diferentes condicionadores sobre o pH do substrato, buscando relacionar a magnitude desta influência com as características químicas que estes apresentam.

Não existe uma metodologia estabelecida especificamente para a determinação dos teores nutricionais e de outras características químicas de substratos orgânicos, dentre as quais a acidez potencial. Esse fator pode se constituir em um fator limitante ao emprego do critério proposto para a determinação das proporções na mistura entre condicionadores.

Em sistemas de produção irrigados ou em experimentos que utilizem a prática da irrigação, é importante que se determine a alcalinidade da água utilizada. A partir dessa caracterização tem-se subsídio para adequar o pH da mesma de forma eficiente.

Devem ser realizados novos estudos para avaliar o comportamento de diferentes porta-enxertos cítricos em função do pH do substrato, a fim de confirmar

a existência de diferentes níveis de tolerância/sensibilidade entre as variedades, como concluído no presente estudo. Essa constatação aponta para a necessidade de recomendações de pH mais específicas, já que a recomendação atual considera uma única faixa para uma ampla gama de espécies do gênero *Citrus* e espécies de gêneros afins, como o *Poncirus trifoliata*.

A utilização de sementes com muito tempo de armazenamento pode comprometer a emergência das plantas, devendo-se programar semeaduras para períodos próximos da coleta dos frutos. Para tanto, é importante conhecer a época de maturação destes nos diversos porta-enxertos.

A eficiência do enxofre elementar na redução do pH de substratos orgânicos está condicionada à oxidação do mesmo por microrganismos. Portanto, deve-se atentar para o manejo adequado do substrato após a mistura, a fim de otimizar e acelerar o processo. Neste sentido, é interessante que se estabeleça o teor de umidade mais adequado, bem como se caracterize a relação entre os aspectos nutricionais do substrato com a taxa de oxidação.

A determinação periódica do teor de S-sulfato, produto da oxidação, no substrato, pode auxiliar na quantificação da taxa de oxidação do enxofre elementar. Tal avaliação é interessante no sentido de estabelecer as causas de um determinado comportamento do pH. A não ocorrência de variação do pH, por exemplo, não necessariamente está associada à falta de oxidação do enxofre elementar, mas ao poder tamponante de pH do substrato.

Devido ao aumento da salinidade do substrato em função da adição do enxofre elementar, muitas vezes a níveis prejudiciais às plantas, é importante que se busque alternativas para a redução da mesma. A adição de um grande volume

de água, de modo a atingir a saturação e proporcionar a lixiviação dos sais, apresenta boas perspectivas. Portanto, diferentes métodos e regimes de irrigação devem ser testados, visando acelerar a diminuição da salinidade.

7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABAD, M. Los sustratos hortícolas y técnicas de cultivo sin suelo. In: RALLO, L.; NUEZ, F. (Eds). **La horticultura Española en la C.E.**. Reus: Horticultura S.L, 1991. p.271-280.

ALLISON, L. et al. Metal profiling of southeastern U.S. softwood and hardwood furnish. **TAPPI Journal**, Peachtree Corners, v.83, n.8, p.97, 2000.

ANDRADE, M. C. N. et al. Estudo comparativo da constituição nutricional da madeira e casca de espécies e clones de Eucalipto visando o cultivo de Shiitake em toras. **Revista Árvore** (online), v.35, n.2, p. 183-192, 2011.

AZEVEDO, E. B. et al. Substratos fertilizados com uréia revestida e o crescimento e estado nutricional da muda de citros. **Acta Scientiarum. Agronomy** (Online), Maringá, v.31, n.1, p. 129-137, 2009.

BACKES, M. A.; KÄMPF, A. N. Substratos à base de composto de lixo urbano para a produção de plantas ornamentais. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.26, n.5, p.753-758, 1991.

BAILEY, D. A.; FONTENO, W. C. NELSON, P. V. **Greenhouse substrates and fertilization**. Raleigh: North Caroline State University, 2004a. Disponível em: <<http://www.ces.ncsu.edu/depts/hort/floriculture/plugs/ghsubfert.pdf>> Acesso em: 04 dez. 2012.

BAILEY, D. A.; FONTENO, W. C. NELSON, P. V. **Substrate pH and water quality**. Raleigh: North Caroline State University, 2004b. Disponível em: <<http://www.ces.ncsu.edu/depts/hort/floriculture/plugs/ph.pdf>> Acesso em: 04 dez. 2012.

BARATTA-JÚNIOR, A. P. **Utilização do composto de resíduos da poda da arborização urbana em substratos para produção de mudas**. 2007. 53 f. Dissertação (Mestrado Ciências Ambientais e Florestais) – Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica.

BARBARO, L. A.; KARLANIAN, M. A.; MORISIGUE, D.. Utilización de azufre micronizado en la corrección del pH de compost de residuos de poda. **Agriscientia** [online]. v.27, n.2, p. 125-13, 2010.

BARROW, N. J. Slowly available sulphur fertilizers in southwestern Australia. I.Elemental sulphur. **Australian Journal of Experimental Agriculture and Animal Husbandry**, 2:211-216, 1971.

BESHARATI, H. **The Effect of Sulfur with Thiobacillus species to increase absorbs some soil elements**. 1998. 176 f. (Thesis Soil Science) - Faculty of Agriculture, Tehran University, 1998.

BILDERBACK, T. E.; FONTENO, W. C.; JOHSON, D. R. Physical properties of media composed of peanut hulls, pine bark and peatmoss and their effects on azalea growth. **Journal of the American Society of Horticultural Science**, Alexandria, v.107, n.3, p.522-525, 1982.

BISSANI, C. A. et al. **Fertilidade dos solos e manejo da adubação de culturas**. 2. ed. Porto Alegre: Metrópole, 2008. v. 1. 344 p.

BOAVENTURA, P. S. R. **Demanda por nutrientes de porta-enxertos e mudas cítricas produzidas em substrato em ambiente protegido**. 2003. 61f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) - Instituto Agronômico de Campinas, Campinas, 2003.

BOHNEN, H.; MEURER, E.J.; BISSANI, C.A. Solos ácidos e solos afetados por sais. In: MEURER, E.J. (Ed.) **Fundamentos de química do solo**. Porto Alegre: Genesis, 2000. p.109-125.

BUNT, A. C. **Media and mixes for container grown plants**. London: Ed. Unwin Hyman, 1988. 309 p.

BURÉS, S. **Sustratos**. Madri: Agrotécnicas, 1997. 342 p.

CARLOS, E. F.; STUCHI, E. S.; DONADIO, L. C. **Porta-enxertos para a citricultura paulista**. Jaboticabal: Funep, 1997. 47p. (Boletim citrícola n. 1).

CARRIÓN, C. et al. Acidification of compost from agricultural wastes to prepare nursery potting mixtures. **Acta Horticulturae**, Wageningen, v.779, p.333-340, 2008.

CARVALHO, S. A. Estratégias para estabelecimento e manutenção de matrizes, borbulheiras e viveiro de citros em ambiente protegido. In: SEMINÁRIO INTERNACIONAL DE CITROS-TRATOS CULTURAIS, 5., Bebedouro, 1998. **Anais**. Bebedouro: Fundação Cargill, 1998. p.67-101.

CARVALHO, S. A.; GRAF, C. C.; VIOLANTE, A. R. Produção de material básico e propagação. In: MATTOS JUNIOR, D. et al. (Ed.) **Citros**. Campinas: Instituto Agrônômico; FUNDAG, 2005. cap. 10, p. 281.

CASTLE, W. S.; FERGUSON, J. J. Current status of greenhouse and container production of citrus nursery trees. **Proceedings of the Florida State Horticultural Society**, Winter Haven, p. 42-46, 1982.

CASTLE, W. S. Citrus rootstocks. In: ROM, R. C.; CARLSON, R. F. (Ed.). **Rootstocks for fruit crops**. New York: J. Wiley, 1987. p. 361-399.

CASTLE, W. S., TUCKER, D. P. H., KREZDORN, A. H. **Rootstocks**. Gainesville: University of Florida. Disponível em: <<http://www.hammock.ifas.ufl.edu>>. 1992. Acesso em: 27 mar. 2012.

CAVINS, T. J. et al. **Monitoring and managing pH and EC using PourThru Extraction Method**. Raleigh: North Caroline State University, 2000. 17 p. (Horticulture Information Leaflet 590, New 7/2000)

CÉSAR, F. R. C. F. **Efeito do enxofre elementar na eficiência de fosfatos naturais**. 2012. 90 f. Dissertação (Mestrado) – Programa de Pós-Graduação em Solos e Nutrição de Plantas, Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, SP, 2012.

COMISSÃO DE QUÍMICA E FERTILIDADE DO SOLO – RS E SC. **Manual de adubação e calagem para os Estados do Rio Grande do Sul e Santa Catarina**. 10.ed. Porto Alegre, 2004. 400 p.

CUNHA, A. M. et al. Efeito de diferentes substratos sobre o desenvolvimento de mudas de Acacia sp. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 30, n. 2, p. 207-214, 2006.

DE BOODT, M.; VERDONCK, O. The physical properties of the substrates in horticulture. **Acta Horticulturae**, Wageningen, v.26, p.37-44, 1972.

DENG, S.; DICK, R. P. Sulfur oxidation and Rhodanese activity in soils. *Soil Science*, 1990, v.150, p.552-560.

DONALD, D.; CHAPMAN, S. J. Use of powdered elemental sulphur as a sulphur source for grass and clover. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, Madison, v. 29, n. 9-10, p. 1315-1328, 1998.

FAO. Organização das Nações Unidas para a Agricultura e Alimentação. **Base de dados estatísticos**. Disponível em: <<http://faostat.fao.org>>. Acesso em: 27 nov. 2012.

FENGEL, D.; WEGENER, G. **Wood, chemistry, ultrastructure, reactions**. New York: Walter de Gruyter, 1984. 613 p.

FERMINO, M. H. **Aproveitamento de resíduos industriais e agrícolas como alternativas de substratos hortícolas**. 1996. 90 f. Dissertação (Mestrado em Fitotecnia) – Programa de Pós-Graduação em Agronomia. Faculdade de Agronomia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 1996.

FERMINO, M. H; TRENTIN, A. L.; KÄMPF, A. N. Caracterização física e química de materiais alternativos para composição de substratos para plantas: 1. resíduos industriais e agrícolas. In: KÄMPF, A. N.; FERMINO, M. H. (Eds.). **Substratos para plantas**. Porto Alegre: Gênese, 2000, p. 241-248.

FOCHESATO, M. L. **Substratos e porta-enxertos na produção de mudas cítricas em ambiente protegido**. 2005. 102 f. Dissertação (Mestrado) - Programa de Pós-Graduação em Fitotecnia, Faculdade de Agronomia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2005.

FOCHESATO, M. L. et al. Produção de mudas cítricas em diferentes porta-enxertos e substratos comerciais. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 36, n. 5, p. 1397-1403, 2006.

FOCHESATO, M. L. et al. Crescimento vegetativo de porta-enxertos de citros produzidos em substratos comerciais. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 37, n. 4, p. 970-975, 2007.

FONTENO, W. C. Growing media: types and physical/chemical properties. In: REED, D. W. (Ed.) **A growers guide to water, media, and nutrition for greenhouse crops**. Batavia: Ball, 1996. p.93-122.

GAULAND, D. C. S. P. **Relações hídricas em substratos à base de turfas sob o uso dos condicionadores casca de arroz carbonizada ou queimada**. 1997. 107 f. Dissertação (Mestrado) - Programa de Pós-Graduação em Agronomia, Faculdade de Agronomia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, RS, 1997.

GERMIDA, J. J.; JANZEN, H. H. Factors affecting the oxidation of elemental sulfur in soils. **Fertilizer Research**, Saskatoon, v.35, p.101- 114, 1993

GHINI, R. **Coletor solar para desinfestação de substratos para produção de plantas sadias**. Jaguariúna: Embrapa Meio Ambiente, 2004. 5 p. (Circular técnica)

GIULIANI, J. C. **Avaliação de substratos e recipientes para a produção de porta-enxertos de citros**. 2012. 74 f. Dissertação (Mestrado) - Programa de Pós-Graduação em Fitotecnia, Faculdade de Agronomia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, RS, 2012.

GUERRA, D. et al. Caracterização morfológica, determinação do número de embriões e taxa de poliembrião em três porta-enxertos híbridos de citros. **Bragantia** [online]. Campinas, v.71, n.2, p. 196-201, 2012.

GURGEL, M. T. et al. Análise econômica do uso de água salina no cultivo de meloeiro. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 9, Suplemento, p. 258-262, 2005.

HERRERO, R. et al. Genetic diversity in the orange subfamily Aurantioideae. I. Intraspecies and intragenus genetic variability. **Theoretical and Applied Genetics**, Berlin, v. 92, p. 599-906, 1996.

HEYDARNEZHAD, F. et al. Influence of elemental sulfur and sulfur oxidizing bacteria on some nutrient deficiency in calcareous soils. **International Journal of Agriculture and Crop Sciences**, v.4, n.12, p.735-739, 2012.

HOFMANN, G. Verbindliche methoden zur untersuchung von TKS und gartnerischen erden. **Mitteilungen der VSLUFA**, Heft, v. 6, p. 129-153, 1970.

HOROWITZ, N. **Oxidação e eficiência agronômica do enxofre elementar em solos do Brasil**. 2003. 111 f. Tese (Doutorado em Ciência do Solo) –Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo, Faculdade de Agronomia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2003.

HOROWITZ, N.; MEURER, E. J. Relação entre atributos de solos e oxidação de enxofre elementar em quarenta e duas amostras de solos do Brasil. **Revista Brasileira de Ciência do Solo** [online], Viçosa, v.31, n.3, p. 455-463, 2007

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Produção Agrícola Estadual. Disponível em: <<http://www.ibge.gov.br>>. Acesso em: 7 jan. 2013.

INMET. Instituto Nacional de Meteorologia. **Banco de dados meteorológicos para ensino e pesquisa**. Disponível em: <<http://www.inmet.gov.br/portal/index.php?r=bdmep/bdmep>>. Acesso em: 12 jan. 2013.

JABUR, M. A.; MARTINS, A. B. G. Influência de substratos na formação dos porta enxertos: Limoeiro 'Cravo' (*Citrus limonia* Osbeck) e Tangerineira-Cleópatra (*Citrus reshni* Hort. Ex Tanaka). **Revista Brasileira de Fruticultura**, Jaboticabal, v. 24, n. 2, p. 514-518, 2002.

JANZEN, H. H.; BETTANY, J. R. Oxidation of elemental sulfur under field conditions in Central Saskatchewan. **Canadian Journal of Soil Science.**, v.67, p.609-618, 1987a.

JANZEN, H. H.; BETTANY, J. R. The effect of temperature and water potential on sulfur oxidation in soils. **Soil Science**, Baltimore, v.144, n.2, p.81-89, 1987b.

KÄMPF, A. N. Seleção de materiais para uso como substrato. In: KÄMPF, A. N.; FERMINO, M. H. (Eds.) **Substratos para plantas: a base da produção vegetal em recipientes**. Porto Alegre: Gênese, 2000. p.139-145.

KÄMPF, A. N. Preparo do substrato para a produção de plantas ornamentais. In: KÄMPF, A. N. (Coord.). **Produção comercial de plantas ornamentais**. Guaíba: Agropecuária, 2005. 256 p.

KÄMPF, A. N.; FIOR, C. S.; LEONHARDT, C. Lowering pH value with elemental sulfur in the substrate for *ex vitro* acclimatization. **Acta Horticulture**, Wageningen, v.812, p.15-420, 2009.

KAPLAN, M.; ORMAN, S. Effect of elemental sulfur and sulfur containing waste in a calcareous soil in turkey. **Journal of Plant Nutrition**, Antalya. v.21, n.8, p.1655-1665, 1998.

KOCHIAN, L. V. Cellular mechanisms of aluminium toxicity and resistance in plant. **Plant Physiology and Plant Molecular Biology**, New York, v. 46, p. 237-260, 1995.

KOLLER, O. C. (Org.). **Citricultura: laranja, limão e tangerina**. Porto Alegre: Ed. Rígel, 1994. 446p.

LAWRENCE, J. R.; GERMIDA, J. J. Relationship between microbial biomass and elemental sulfur oxidation in agricultural soils. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v.52, p.672-677, 1988.

LI, S.; LIN, B.; ZHOU, W. Effects of previous elemental sulfur applications on oxidation of additional applied elemental sulfur in soils. **Biology and Fertility of Soils**, Berlim, v. 42, p. 146-152, 2005.

LIMA, J. E. O. de. Novas técnicas de produção de mudas cítricas. **Laranja**, Corderópolis, v.7, n.2, p.463-468, 1986.

LIMA, R. L. S. et al. Substratos para produção de mudas de mamoneira compostos por misturas de cinco fontes de matéria orgânica. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 30, n. 3, p. 474-479, 2006.

LINDEMANN, W. et al. Effect of sulfur source on sulfur oxidation. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v.55, p.85-90, 1991.

LUCUS, R. E.; DAVIS, J. K. Relationships between pH values of organic soil and availabilities of 12 plant nutrients. **Soil Science**, Michigan, v.92, p.172-182, 1961.

MAGALHÃES, R.; LEONHARDT, C.; FIOR, C. S. **Uso de enxofre para correção do pH de composto orgânico**. In: SALÃO DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA, 13, Porto Alegre. **Resumos**. Porto Alegre: UFRGS-PROPESQ, 2005.

MAPA. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. **Citros**. Disponível em: <<http://www.agricultura.gov.br/vegetal/culturas/citrus>>. Acesso em: 10 jan. 2013.

MAUST, B. E.; WILLIAMSON, J. G. Nitrogen nutrition of containerized citrus nursery plants. **Journal of the American Society for Horticultural Science**, Alexandria, v.119, n.1, p.195-201, 1994.

MENEZES JÚNIOR, F. O. G.; FERNANDES, H. S. Substratos formulados com vermicomposto e comerciais na produção de mudas de couve-flor. **Revista Brasileira de Agrociência**, Pelotas, v. 4, n. 3, p. 191-196, 1998.

MORAES, L. A. H.; SOUZA, E. L. de S.; BRAUN, J. **Cadeia produtiva da laranja no Rio Grande do Sul**. Porto Alegre: Secretaria da Ciência e Tecnologia - Fundação Estadual de Pesquisa Agropecuária, 1998. 49 p. (Boletim Técnico, 5).

MIYAMOTO, S. Use of acids and acidulants on Alkali soils and water. p. 217-255. In: WALLACE, A.; TERRY, R. E. (Eds.) **Handbook of soil conditioners substances that enhance the physical properties of soil**. Part III. Mineral soil conditioners., New York, USA: Marcel Dekker, 1998.

NOVELL, W.; WAINWRIGHT, M. Influence of soil moisture on sulphur oxidation in brown earth soils exposed to atmospheric pollution. **Biology and Fertility of Soils**, Berlin, v. 5, p. 209-214, 1987.

OLIVEIRA, R. P. de. et al. **Mudas de citros**. Pelotas: Embrapa Clima Temperado, 2001. 32 p. (Embrapa Clima Temperado. Sistemas de produção, 1).

OLIVEIRA, R. P. de; SCIVITTARO, W. B.; RADMANN, E. B. Procedimentos para o armazenamento de sementes de *Poncirus trifoliata* (L.) Raf. **Revista Brasileira de Fruticultura**, Cruz das Almas, v.25, p.461- 463, 2003.

OLIVEIRA, R. P. de; SCIVITTARO, W. B. **Normas e padrões para produção de mudas certificadas de citros em parceria com a Embrapa**. Pelotas: Embrapa Clima Temperado, 2003. 18 p. (Embrapa Clima Temperado. Documentos, 114).

OLIVEIRA, R. P. de; SCIVITTARO, W. B. **Infra-estrutura e custo de produção de mudas certificadas de citros**. Pelotas: Embrapa Clima Temperado, 2004. 27p. (Embrapa Clima Temperado. Documentos, 118).

OLIVEIRA, R. P. de; SCIVITTARO, W. B.; RADMANN, E. B. Escarificação química da semente para favorecer a emergência e o crescimento do porta-enxerto Trifoliata. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.41, n.9, p.1429-1433, 2006.

OLIVEIRA, R. P. de; SCIVITTARO, W. B. Formação do porta-enxerto trifoliata: época de semeadura e tegumento na emergência de plântulas. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 37, n. 1, p. 281-283, 2007.

OLIVEIRA, R. P. de. et al. Porta-enxertos. In: OLIVEIRA, R. P.; SCIVITTARO, W. B. (Ed.). **Cultivo de Citros sem Sementes**. Pelotas: Embrapa Clima Temperado, 2011. v. 1, p. 51-63. (Embrapa Clima Temperado. Sistema de produção, 21).

ORMAN, S.; KAPLAN, M. 2011. Effects of elemental sulphur and farmyard manure on pH and salinity of calcareous sandy loam soil and some nutrient elements in tomato plant. **Journal of Agricultural Science and Technology**, Tehran, v.5, n.1, p.20-26.

PAGLIARINI, M. K.; CASTILHO, R. M. M.; ALVES, M. C. Caracterização físico-química de misturas de componentes de substrato com resíduo de celulose para fins de produção de mudas. **Revista Brasileira de Agroecologia**, Porto Alegre, v.7, n.2, p.160-169, 2012.

PENNINGSFELD, F. Kultursubstrate für den gartenbau, besonders in Deutschland: ein kritischer Überblick. **Plant and Soil**, The Hague, v.75, p.269-281, 1983.

PÉREZ, V. et al. Caracterización y acondicionamiento de diferentes compost de restos de poda para su uso como componente de sustrato en la producción de especies florales. **Revista de la Facultad de Agronomía y Ciencias Agroalimentarias**, Morón, v.2, n.4, p.35-64, 2011.

PETERSON, J. C. **Effects of pH upon nutrient availability in a commercial soilless roots medium utilized for floral crop production**. Ohio State University and Ohio Research and Development Center.. p.1-19, 1982.(Cir.268)

POMPEU JUNIOR, J. Porta-enxertos. In: RODRIGUEZ, O. et al. (Ed.). **Citricultura brasileira**. 2. ed. Campinas: Fundação Cargill, 1991. v. 1, p. 265-280.

POMPEU JÚNIOR, J. Porta-enxertos. In: MATTOS JUNIOR, D. et al. (Org.). **Citros**. Campinas: Instituto Agrônômico/FUNDAG, 2005. p. 63-104.

RAVIV, M.; LIETH, H. J. 2008. **Soilless culture: theory and practice**. Ed. Elsevier. 587 p.

RIETH, S. **Desinfestação de substratos e fungos micorrízicos na produção de porta-enxertos de citros**. 2012. 104 f. Dissertação (Mestrado) - Programa de Pós-Graduação em Fitotecnia, Faculdade de Agronomia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, RS, 2012.

RIO GRANDE DO SUL. Secretaria da Agricultura e Abastecimento. **Normas e padrões de produção de mudas de fruteiras para o Estado do Rio Grande do Sul**. Porto Alegre: Secretaria da Agricultura e Abastecimento, 2004.

RÖBER, R.; SCHALLER, K. **Planzenernährung im Gertambau**. 3.ed. Stuttgart: Ulmer, 1985.352 p.

RÖBER, R. Substratos hortícolas: possibilidades e limites de sua composição e uso; exemplos da pesquisa, da indústria e do consumo. In: KÄMPF, A. N.; FERMINO, M. H. (Ed.). **Substratos para plantas: a base da produção vegetal em recipientes**. Porto Alegre: Genesis, 2000. p 209-215.

SCHÄFER, G. **Caracterização molecular, diagnóstico e avaliação de porta-enxertos na citricultura gaúcha**. 2000. 81 f. Dissertação (Mestrado) - Programa de Pós-Graduação em Fitotecnia, Faculdade de Agronomia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, RS, 2000.

SCHÄFER, G.; BASTIANEL, M.; DORNELLES, A. L. C.. **Porta-enxertos utilizados na citricultura**. *Ciencia Rural* [online], Santa Maria, v.31, n.4, p. 723-733, 2001

SCHÄFER, G. et al. **Desenvolvimento vegetativo de porta-enxertos cítricos cultivados em diversos substratos**. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE FRUTICULTURA, 17., 2002, Belém, Pará. **Anais...** Belém: Sociedade Brasileira de Fruticultura, 2002. 1 CD-ROM.

SCHÄFER, G. **Produção de porta-enxertos cítricos em recipientes e ambiente protegido no Rio Grande do Sul**. 2004. 129 f. Tese (Doutorado) - Programa de Pós-Graduação em Fitotecnia, Faculdade de Agronomia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, RS, 2004.

SCHERER, H. W. Sulphur in crop production. **European Journal of Agronomy**, Bonn, v.14, p.81-111, 2001.

SCHMITZ, J. A. K. **Cultivo de Poncirus trifoliata (L.) Raf. em recipientes: influência de substratos e de fungos micorrízicos arbusculares**. 1998. 144 f. Dissertação (Mestrado) - Programa de Pós-Graduação em Fitotecnia, Faculdade de Agronomia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 1998.

SCHMITZ, J. A. K.; SOUZA, P. V. D; KÄMPF, A. N. Propriedades químicas e físicas de substratos de origem mineral e orgânica para o cultivo de mudas em recipientes. **Ciência Rural**, Santa Maria, v.32, n.6, p. 937-944, 2002.

SHOLEH, R. D.; LEFROY, B.; BLAIR, G. J. Effect of nutrients and elemental sulfur particle size on elemental sulfur oxidation and the growth of *Thiobacillus thiooxidans*. **Australian Journal of Agricultural Research**, Collingwood, v.48, p.497-501, 1997.

SIERRA, C. B.; LANCELOTI, A. M.; VIDAL, I. P. Azufre elemental como corrector del pH y la fertilidad de algunos suelos de la III y IV región de Chile. **Agricultura Técnica**, Chillán, v.67, n.2, p.173-181, 2007.

SILVA, L.; PORTO, M. D. M.; KÄMPF, A. N. Características químicas e físicas de substratos à base de turfa e casca de arroz carbonizada. In: KÄMPF, A. N.;

FERMINO, M. H. **Substrato para Plantas: a base da produção vegetal em recipientes.** Porto Alegre: Gênese. 2000, p.235-240.

SOLBERG, E. D. et al. Fertilizer type, tillage, and application time effects on recovery of sulfate-s from elemental sulfur fertilizers in fallow field soils. **Communications on Soil Science and Plant Analysis**, New York, v.34, n.5, p.815-830, 2003.

SOLBERG, E. D. et al. Temperature, soil moisture, and antecedent sulfur application effects on recovery of elemental sulfur as so_4^- in incubated soils. **Communications on Soil Science and Plant Analysis**, New York, v.36, p.863-874, 2005.

SOUZA, P. V. de S.; SCHÄFER, G. Produção de mudas de laranjeiras. In: KOLLER, O. C. (Org.) **Citricultura: 1. laranja: tecnologia de produção, pós-colheita, industrialização e comercialização.** Porto Alegre, Ed. Cinco Continentes, 2006. cap. 5, p.55-87.

SOUZA, P. V. D.; SCHÄFER, G. Produção de mudas de tangerineiras. In: KOLLER, O. C. (Org.). **Citricultura: cultura de tangerineiras: tecnologia de produção, pós-colheita e industrialização.** Porto Alegre: Editora Rígel, 2009. p. 63-89.

SOUZA, E. L. S.; SCHWARZ, S. F.; OLIVEIRA, R. P. Porta-enxertos para citros no Rio Grande do Sul. In: SCHÄFER, G. (Ed.). **Indicações Técnicas para a Citricultura no Rio Grande do Sul.** Porto Alegre: FEPAGRO, 2010. p. 19-26.

TEDESCO, M. J. et al. **Análises de solo, plantas e outros materiais.** 2 ed. Porto Alegre, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 1995. 174p. (Boletim Técnico de Solos)

TEIXEIRA, P. T. L. **Tecnologias para a produção de porta-enxertos cítricos em ambiente protegido.** 2008. 131 f. Tese (Doutorado) - Programa de Pós-Graduação em Fitotecnia, Faculdade de Agronomia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2008.

TEIXEIRA, P. T. L. et al. Desenvolvimento vegetativo e acúmulo de massa seca com a adubação de porta-enxertos cítricos cultivados em tubetes. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 40, n. 12, p. 2603-2607, 2010.

VARENNE, A. **Produtividade dos solos e ambiente.** Lisboa: Escolar Editora, 2003. 490p.

VERDONCK, O., GABRIELS, R. Substrate requirements for plants. **Acta Horticulturae**, Wageningen, v.221, p.19-23, 1988.

VITOLINS, M. I.; SWABY, R. J. Activity of sulphur-oxidizing microorganisms in some Australian soils. **Australian Journal of Soil Research**, Collingwood, v. 7, p. 171-183, 1969.

VOLKWEISS, S. J.; TEDESCO, M. J. **A calagem dos solos ácidos: práticas e benefícios**. Porto Alegre: Depto Solos da UFRGS, 1984. 28p. (Boletim Técnico nº 1).

WAINWRIGHT, M. Sulfur oxidation in soils. **Advances in Agronomy**, v.37, p.346-396. 1984.

WATKINSON, J. H.; BLAIR, G. J. Modelling the oxidation of elemental sulfur in soils. **Fertilizer Research**, Saskatoon, v.35, p.115-126, 1993.

WATKINSON, J. H.; LEE, A. Kinetics of field oxidation of elemental sulfur in New Zealand pastoral soils and the effects of soil temperature and moisture. **Fertilizer Research**, Saskatoon, v.37, p.59-68, 1994.

WHITE, J. W.; MASTALERZ, J. W. Soil moisture related to "container capacity". **Proceedings of the American Society for Horticultural Science**, Beltsville, v.89, n.1, p.758-765. 1966.

WRIGHT, R. D. The pour-through nutrient extraction procedure. **HortScience**, Alexandria, v.21, n.2, p.227-229, 1986.

WRIGHT, R. D.; GRUEBER, K. L.; LEDA, C. Medium nutrient extraction with the pour-through and saturated medium extract procedures for poinsettia. **HortScience**, Alexandria, v. 25, n. 6, p. 658-660, 1990.

ZANETTI, M. et al. Caracterização física de substratos para produção de mudas e porta-enxertos cítricos sob telado. **Revista Laranja**. 2001. Disponível em: <http://www.citrograf.com.br/artigos_tecnicos.html>. Acesso em: 12 jul. 2011.

8 APÊNDICES

APÊNDICE 1. Análise do solo de origem do lixiviado utilizado no Experimento 1 do Estudo 2. Porto Alegre/RS, 2012.

Determinação	
Argila (%)	18
pH H ₂ O	5,1
Índice SMP	5,6
P (mg dm ⁻³)	15
K (mg dm ⁻³)	92
M.O. (%)	2,6
Al troc. (cmol _c dm ⁻³)	0,4
Ca troc. (cmol _c dm ⁻³)	3,0
Mg troc. (cmol _c dm ⁻³)	1,1
Al+H (cmol _c dm ⁻³)	6,9
CTC (cmol _c dm ⁻³)	11,4
Sat. da CTC por bases (%)	38
Sat. da CTC por Al (%)	8,2
Relação Ca/Mg	2,7
Relação Ca/K	13
Relação Mg/K	4,7
S (mg dm ⁻³)	46
Zn (mg dm ⁻³)	13
Cu (mg dm ⁻³)	1,5
B (mg dm ⁻³)	0,4
Mn (mg dm ⁻³)	71

Argila determinada pelo método do densímetro; pH em água 1:1; P e K pelo método Mehlich I; M.O. por digestão úmida; Ca, Mg, Al, Mn trocáveis extraídos com KCl 1 mol.L⁻¹; S-SO₄²⁻ extraído com CaHPO₄ 500 mg L⁻¹ de P; Zn e Cu extraídos com HCl 0,1 mol.L⁻¹; B extraído com água quente; CTC a pH 7,0.

APÊNDICE 2. Cálculos para determinação das doses de S elementar adicionadas ao substrato composto por casca de eucalipto compostada, a partir do poder de neutralização.

Densidade seca do substrato = 664 g dm⁻³

664 g de substrato → 1 dm⁻³
1000 g de substrato → x

$$x = (1000 \text{ g} * 1 \text{ dm}^{-3}) / 664 \text{ g} = \mathbf{1,506 \text{ dm}^{-3}}$$

Poder de neutralização = 7%

100 g de substrato → 7 g de CaCO₃
x → 100 g de CaCO₃

$$x = (100 \text{ g de CaCO}_3 * 100 \text{ g de substrato}) / 7 \text{ g de CaCO}_3 = \mathbf{1429 \text{ g de substrato}}$$

1000 g de substrato → 1,506 dm⁻³
1429 g de substrato → x

$$x = (1429 \text{ g de substrato} * 1,506 \text{ dm}^{-3}) / 1000 \text{ g de substrato} = \mathbf{2,152 \text{ dm}^{-3}}$$

100 g de CaCO₃ → Formação de 2 g de OH⁻
32 g de S⁰ → Formação de 2 g de H⁺

Se: 2,152 dm⁻³ de substrato é equivalente a 100 g de CaCO₃
Então: 2,152 dm⁻³ de substrato necessita de 32 g de S⁰

2,152 dm⁻³ de substrato → 32 g de S⁰
1,000 dm⁻³ de substrato → x

$$x = (1,000 \text{ dm}^{-3} \text{ de substrato} * 32 \text{ g de S}^0) / 2,152 \text{ dm}^{-3} \text{ de substrato}$$

x = 14,87 g S⁰ dm⁻³ de substrato