

UNIVERSIDADE FEDERAL DE PELOTAS
Programa de Pós-Graduação em Fisiologia Vegetal



Tese

**Qualidade fisiológica de sementes, crescimento e partição de
assimilados em plantas de rabanete submetidas a diferentes
concentrações de metais**

Rita de Cássia Pinheiro de Moraes

Pelotas, 2012

Rita de Cássia Pinheiro de Moraes

Qualidade fisiológica de sementes, crescimento e partição de assimilados em plantas de rabanete submetidas a diferentes concentrações de metais

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Fisiologia Vegetal da Universidade Federal de Pelotas, como requisito parcial à obtenção do título de Doutor em Fisiologia Vegetal.

Orientador: Prof. Nei Fernandes Lopes, PhD

Pelotas, 2012

**Dados de catalogação na fonte:
(Marlene Cravo Castillo – CRB-10/744)**

M827q Moraes, Rita de Cássia Pinheiro de

Qualidade fisiológica de sementes, crescimento e partição de assimilados em plantas de rabanete submetidas a diferentes concentrações de metais / Rita de Cássia Pinheiro de Moraes; orientador Nei Fernandes Lopes - Pelotas, 2012.-89f. : il..- Tese (Doutorado) –Programa de Pós-Graduação em Fisiologia Vegetal. Instituto de Biologia. Universidade Federal de Pelotas. Pelotas, 2012.

1.Raphanus sativus L. 2.Alumínio 3.Manganês 4.Cobre
5.Germinação 6.Atributos morfológicos I.Lopes, Nei Fernandes(orientador) II.Título.

CDD 581.1

Banca Examinadora:

Prof. Dr. Nei Fernandes Lopes

Prof. Dr. José Antônio Peters

Prof^a. Dra. Claudete Miranda Abreu

Dra. Patrícia Marini Madruga

DEDICATÓRIA

À amiga Cristina,
parceira de todas as horas.

Às minhas filhas Aline e Bruna,
Com o “maior amor”.

Dedico.

AGRADECIMENTOS

À Deus !

Ao Programa de Pós-Graduação em Fisiologia Vegetal, pela oportunidade e em especial aos professores José Antônio **Peters** e **Eugênia** Bolacel Braga, que como Coordenadores, demonstraram amizade, compreensão e confiança possibilitando a finalização deste trabalho. Obrigada.

Ao meu “sempre” orientador **professor Nei** Fernandes Lopes, pelos valiosos ensinamentos, incentivo, estímulo, dedicação, confiança e amizade no desenvolvimento deste trabalho. Por seu empenho e apoio constantes, agradeço por ter tido no orientador, um amigo e, no amigo, um orientador que literalmente veste a camiseta do orientado. Muito lhe admiro!!!!

Aos colegas, professores de Anatomia Vegetal, **Juliana** Aparecida Fernando e Carlos **Frederico** N. Widholzer, pelo carinho, amizade, apoio e compreensão. E ainda, liberando-me das aulas, contribuíram de forma decisiva para a realização deste trabalho, pois ao contrário não teria conseguido. Obrigada.

A todos os colegas, professores e funcionários do Departamento de Botânica que de uma forma ou de outra, direta ou indiretamente, contribuíram, incentivaram e me apoiaram no transcorrer do curso, em especial à **Luiza** e ao **Rudinei** por representarem a “força-tarefa” imprescindível para a realização deste trabalho, meus braços direito e esquerdo no laboratório, além do agradável convívio durante o trabalho.

Aos amigos **Suzi** e **Ari** que sempre “quebraram todos os galhos” relativos a secretaria, demonstrando carinho e amizade, além do incentivo para ir adiante.

À **Sandra**, amiga e secretária do Programa de Pós-Graduação, pelas inúmeras vezes que solicitei tua ajuda com meu pen drive e sempre te mostravas solícita.

Às estagiárias **Mariana** e **Ketrin** pela ajuda indispensável na realização deste trabalho.

Aos colegas, **Tiago** Aumonde e **Tiago Pedó** pela amizade e imprescindível colaboração na elaboração deste trabalho. Vocês foram fundamentais, no auxílio com números, equações, gráficos, excel,... Enfim, sem a ajuda de vocês, ficaria muito complicado. Valeu! Obrigada!

Às colegas e amigas **Caroline** Moraes, **Cristina** Larré, **Patrícia** Marini Madruga, **Juliana** Bandeira, **Milene** Galho e **Márcia** Ribeiro pela amizade sincera, pelo carinho, apoio e pela oportunidade de conviver e compartilhar com vocês alguns “probleminhas”, mas muito mais momentos bons, divertidos, que fizeram com que eu me sentisse renovada. Com certeza não irei esquecer. Adorei este convívio!!!! Vou sentir saudade!!!!

À colega e amiga **Caroline**, agradeço especialmente, pela colaboração indispensável na realização deste trabalho. Não medistes esforços para ajudar e só desta forma foi possível a finalização deste trabalho. És uma amiga muito especial!!! Muito Obrigada!!!

"Na cegueira da ansiedade, confundimos os nossos passos e a nossa direção, porém, Deus sempre nos envia um anjo guia..."

...À **Cristina**, amiga de todas as horas, de todos os momentos. Tua contribuição a este trabalho foi inesgotável, inestimável, indispensável! Tornaste possível o que parecia impossível. Assumisses com tamanha seriedade o compromisso comigo, que por vezes nos confundíamos quem estava ajudando quem. Ajuda incondicional, renunciaste ao convívio da tua família em feriados, domingos, noites e a qualquer momento, pois “estávamos atrasadas” e precisávamos acabar o “nosso trabalho”. Aproveito para agradecer ao Valter, a Thais e a Julia, pela compreensão e paciência. É Cris, é sem palavras! Sem a tua parceria eu não teria conseguido. Além da ajuda, agradeço a convivência contigo, teu jeito tranquilo e alegre de ser, tua imensa sensibilidade, fazem com que sejas muito especial. Sinto-me abençoada por um dia ter te conhecido e poder ser tua amiga. És um anjo que Deus colocou em minha vida! Ou talvez uma fada madrinha?! Obrigada por TUDO!!!!

À todos os colegas do curso, pela agradável convivência e amizade.

Aos meus amigos de todo dia, **Rosilena, Wolmer, Ieda, Beto, Márcia, Curi, Annie e Enio**, por entenderem minha ausência e colaborarem neste momento, me deixando “quietinha”. O carinho de vocês foi sentido mesmo de longe. Às amigas Rosilena e Márcia que já conquistaram este título, pelo exemplo, disposição para auxiliar e incansável incentivo. Obrigada!!!! Valeu!!!!

Ao meu irmão “**Mano**”, minha cunhada e amiga **Ema**, sobrinhas **Helena e Celina**, pelo suporte familiar tão necessário para nossas vidas. O carinho, a amizade e a presença de vocês são muito importantes, me fortalecem.

Aos “agregados”, **Maia e Mateus** pela amizade, carinho e agradável convívio que nos proporcionam.

À **Maria**, fiel funcionária, que compensa toda a minha ausência em casa e ainda me “paparica”. Seria bem mais difícil sem o teu apoio. Obrigada!

Ao meu marido, **Dario** e minhas filhas, **Aline e Bruna**, o meu agradecimento especial, pelo grande incentivo, compreensão, paciência e apoio em todos os momentos. O amor e o carinho de vocês são fundamentais e me dão forças para vencer desafios. Vocês são “o motivo”, o que me impulsiona a corresponder às expectativas. Aline e Bruna, hoje “vocês” são exemplos para mim, de dedicação e responsabilidade, sem dúvida, as melhores filhas que uma mãe poderia querer. Amo vocês!!!!

À todas as pessoas que de alguma forma se fizeram presentes e contribuíram para a execução deste trabalho.

RESUMO

MORAES, Rita de Cássia Pinheiro de. **Qualidade fisiológica de sementes, crescimento e partição de assimilados em plantas de rabanete submetidas a diferentes concentrações de metais.** 2012. 89f. Tese (Doutorado) – Programa de Pós-Graduação em Fisiologia Vegetal. Universidade Federal de Pelotas, Pelotas.

Metais tóxicos ocorrem naturalmente em rochas, sendo liberados lentamente no solo por intemperismo mineral. Mesmo aqueles elementos que atendem os critérios de essencialidade à nutrição de plantas, quando em altas concentrações podem exercer efeitos danosos ao vegetal. O rabanete, hortaliça de ciclo curto, utilizada em rotação com outras culturas de importância econômica, foi escolhido, pois tem sido caracterizado por alguns autores como uma espécie modelo para estudos com metais pesados tais como Zn, Pb e Cd. Diante disso, o trabalho teve por objetivo avaliar a qualidade fisiológica das sementes, parâmetros de crescimento e partição de assimilados em plantas de rabanete (*Raphanus sativus* L.) crescidas em solo contendo diferentes concentrações de metais. A pesquisa foi realizada em três experimentos, sendo o primeiro desenvolvido no Laboratório de Fisiologia de Sementes do DB/UFPel avaliando-se a qualidade fisiológica de sementes de rabanete cv. Vip Crimson S Especial tratadas com diferentes concentrações de CuSO_4 (0; 35 e 70 mgL^{-1}), $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ (0; 10; 20 e 30 mgL^{-1}) e MnCl_2 (0; 270 e 540 mgL^{-1}), através de testes de viabilidade e vigor. O segundo e terceiro ensaios foram conduzidos em casa de vegetação do DB/UFPel, com o objetivo de determinar as características de crescimento e partição de assimilados ao longo da ontogenia das plantas de rabanete submetidas a três concentrações de cada metal, $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ (0; 20 e 40 mgL^{-1}) e MnCl_2 (0; 540 e 810 mgL^{-1}). O conteúdo de metais nas raízes e parte aérea, foi determinado, na coleta final. O delineamento experimental foi inteiramente casualizado em esquema fatorial (1 x 3 x 8), sendo uma cultivar, três concentrações e oito coletas. Os dados primários foram ajustados pela logística simples ou regressão polinomial. Em geral, a aplicação dos metais, nas concentrações testadas, incrementou o percentual de germinação, bem como, a velocidade deste processo nas sementes de rabanete da cultivar avaliada. Da mesma forma, todas as características de crescimento foram incrementadas pelos metais, porém, o manganês induziu maior crescimento do que o alumínio. Os parâmetros avaliados no terceiro experimento seguiram a mesma tendência dos anteriores, não apresentando efeitos de toxicidade por nenhum dos metais, sendo que o Mn acumulou preferencialmente na parte aérea, enquanto o Al prioritariamente nas raízes do rabanete. A cultivar de rabanete avaliada foi, portanto, tolerante aos metais testados nas concentrações utilizadas, sendo planta com potencial fitorremediador para solos com acidez nociva causada por Al e Mn.

Palavras-chave: *Raphanus sativus* L. Alumínio. Manganês. Cobre. Germinação. Atributos morfológicos.

ABSTRACT

MORAES, Rita de Cássia Pinheiro de. **Physiological quality of seeds, growth and assimilates partition in radish plants under different metals concentrations.** 2012. 89f. Tese (Doutorado) – Programa de Pós-Graduação em Fisiologia Vegetal. Universidade Federal de Pelotas, Pelotas.

Toxic metals are compound that settle naturally from the rocks and they are release slowly in the soil by mineral weathering. The essential elements for plant nutrition when in higher concentrations can produce harmful effects to vegetable. The radish is a short cycle vegetable, it was used because can be employed in rotation with other economic cultures, and also it has been characterized for several searchers that aim as a model species to study heavy metals such as: Zn, Pb and Cd. For that reason, the work was done in order to evaluate the seeds physiologic quality, characteristics of growth, and assimilate partition in radish plants grown under different concentrations of metals. The research was realized in three experiments, the first was conducted in the Seeds Physiological Laboratory of DB/UFPel, measuring the physiologic quality of the radish seeds cv. Vip Crimson S Special treated with different concentrations of CuSO_4 (0, 35 and 70 mgL^{-1}), $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ (0, 10, 20 and 30 mgL^{-1}) and MnCl_2 (0, 270 and 540 mgL^{-1}), through tests of viability and vigor. The second and third assays were conducted in greenhouse of DB/UFPel with objective to determine the growth characteristics and assimilate partition, during the ontogeny of the plants grown under three concentrations of each metal: $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ (0, 20 and 40 mgL^{-1}) and MnCl_2 (0, 540 and 810 mgL^{-1}). Also was determined the metals contain at the final harvest. The experimental design was entirely randomized in a factorial scheme (1 x 3 x 8), where one cultivar, three concentrations and eight harvest. The primary data were adjusted by logistic simple or polynomial regression. In general, the application of metal increased the percentage of germination as well as the rate of seeds germination. In addition, all characteristics of growth were augmented by metals. However, the manganese induced higher growth than the aluminum but both were always superior to plants control. The parameters evaluated on third assay following the same tendency and the metals did not showed phytotoxicity. The Mn accumulated preferentially on shoots while Al priority on roots of radish. Then, the radish was tolerant for both metals on concentrations tested, being plant with potential to remedy soil with harmful acidity caused by Al and Mn.

Key-words: *Raphanus sativus* L. Aluminum. Manganese. Copper. Germination. Morphological attribute.

ÍNDICE

INTRODUÇÃO GERAL	12
CAPÍTULO 1	22
QUALIDADE FISIOLÓGICA DE SEMENTES DE RABANETE SUBMETIDAS A DIFERENTES CONCENTRAÇÕES DE COBRE, ALUMÍNIO E MANGANÊS	22
1. INTRODUÇÃO	23
2. MATERIAL E MÉTODOS.....	25
3. RESULTADOS E DISCUSSÃO	26
4. CONCLUSÃO.....	36
CAPÍTULO 2	37
CRESCIMENTO DO RABANETE SOB DIFERENTES CONCENTRAÇÕES DE SULFATO DE ALUMÍNIO E CLORETO DE MANGANÊS DURANTE A ONTOGENIA DAS PLANTAS	37
1. INTRODUÇÃO	38
2. MATERIAL E MÉTODOS.....	40
3. RESULTADOS E DISCUSSÃO	41
4. CONCLUSÃO.....	54
CAPÍTULO 3	55
ATRIBUTOS MORFOLÓGICOS E PARTIÇÃO DE ASSIMILADOS EM PLANTAS DE RABANETE TRATADAS COM DIFERENTES CONCENTRAÇÕES DE ALUMÍNIO E MANGANÊS AO LONGO DA ONTOGENIA	55
1. INTRODUÇÃO	56
2. MATERIAL E MÉTODOS.....	59

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO	60
4. CONCLUSÕES	74
CONCLUSÕES FINAIS	75
REFERÊNCIAS	76

INTRODUÇÃO GERAL

Atualmente existe uma grande preocupação com relação aos efeitos que muitos poluentes químicos (orgânicos e inorgânicos) possam ter sobre a saúde humana, animal e meio ambiente, pois a crescente industrialização nas últimas décadas tem aumentado significativamente a liberação e a concentração desses compostos potencialmente tóxicos na biosfera (CRUVINEL, 2009). Entre os poluentes, os metais pesados representam o maior contaminante industrial de solos, plantas e animais no ecossistema (GHOSHROY et al., 1998).

Metais tóxicos ocorrem naturalmente em rochas, sendo liberados lentamente no solo por intemperismo mineral. Normalmente, só estão disponíveis para os organismos vivos em geral, ou plantas em particular, em baixas concentrações, embora alumínio e ferro sejam exceções a essa regra (AZEVEDO; LEA, 2005). No entanto, quantidades cada vez maiores de certos metais tóxicos são liberadas no meio ambiente por atividades humanas como mineração, siderurgia e aplicação de fertilizantes (SANTOS; RODELLA, 2007). Estes metais são acumulados no meio ambiente, afetando o equilíbrio dinâmico dos ecossistemas onde estão presentes, gerando problemas ambientais e econômicos.

Os metais pesados não apenas exercem efeitos negativos sobre o crescimento das plantas, mas também afetam os processos bioquímicos que ocorrem no solo. A decomposição do material orgânico adicionado ao solo, a mineralização do nitrogênio e a nitrificação podem ser inibidos em locais contaminados por metais pesados. Metais como cobre, manganês, ferro e zinco são nutrientes essenciais para as plantas, mas tornam-se tóxicos em altas concentrações. Outros, tais como alumínio, chumbo, cádmio e mercúrio não parecem ter qualquer papel essencial no metabolismo (MACEDO; MORRIL, 2008).

O cobre (Cu), por exemplo, é um elemento relativamente frequente na crosta terrestre e apesar de ser considerado elemento essencial à nutrição das plantas, teoricamente em concentrações acima de 10 mgL^{-1} pode vir a ser tóxico às plantas. Participa do metabolismo vegetal como componente de diversas enzimas que catalisam o fluxo de elétrons e as reações de oxidação-redução nas células e como cofator em outras tais como Cu/Zn superóxido dismutase (SOD), citocromo oxidase, amino oxidase, plastocianinas e polifenol oxidase (YRUELA, 2005), desempenhando papel fundamental em processos como fotossíntese, respiração, desintoxicação de radicais superóxido e lignificação. A deficiência de Cu diminui a atividade dessas enzimas levando, por exemplo, ao acúmulo de fenóis e à diminuição da lignificação. Por ser um micronutriente, sua deficiência causa perdas de produção em várias culturas, ocorrendo redução do crescimento, entrenós curtos, folhas necrosadas, morte descendente dos ramos e formação de gemas múltiplas (PONTES, 2000; TRANI, 2001). Por outro lado, seu excesso é altamente tóxico para as plantas e para os microrganismos do solo, afetando a mineralização de resíduos vegetais e a fixação de nitrogênio em leguminosas. O excesso de Cu pode estimular a formação de espécies reativas de oxigênio (EROs) que são consideradas como principais agentes causadores da injúria nos tecidos de plantas expostas aos metais pesados. As EROs desencadeiam reações peroxidativas, que causam danos significativos em membranas de macromoléculas essenciais, tais como os pigmentos fotossintéticos, proteínas e ácidos nucleicos. Os sintomas de toxidez do Cu podem variar entre as espécies vegetais, contudo, geralmente se observa alterações no crescimento das raízes de plantas cultivadas em solos com alto teor de cobre disponível. Entre estas, são citadas ramificações anormais, engrossamento, coloração escura e redução do

alongamento (MARSHNER, 1995; SHELDON; MENZIES, 2005; KOPPITKE; MENZIES, 2006; PAVLÍKOVÁ et al., 2007). O excesso de Cu na parte aérea das plantas afeta importantes processos, como o transporte de elétrons na fotossíntese (YRUELA, 2005), provocando também redução do conteúdo de clorofila e alterações na estrutura dos cloroplastos e na composição das membranas dos tilacóides (PÄTSIKKÄ et al., 1998; QUARTACCI et al., 2000). Como resultado, ocorre redução na biomassa e sintomas de clorose (BERNAL et al., 2006). Além disso, o excesso de Cu induz a redução da concentração de ferro na parte aérea, com consequente clorose internerval em plantas de trigo (MICHAUD et al., 2008) e de milho (McBRIDE, 2001).

Como outros metais, a toxicidade do cobre no solo é, também, influenciada pelo pH e pela quantidade de matéria orgânica contida no mesmo (PAGANINI et al., 2004). Vários tipos de substâncias orgânicas formam complexos solúveis e insolúveis com o Cu. Apesar de ser um dos metais pesados menos móvel, devido a sua forte adsorção, é abundante nas soluções de todos os tipos de solo, estando, principalmente na forma de quelatos orgânicos solúveis (KABATA-PENDIAS; PENDIAS, 2001). A mobilidade do Cu dentro das plantas é limitada e particularmente dependente do estado nutricional em termos de cobre e de nitrogênio. Devido a sua forte ligação com as paredes celulares, a translocação do Cu das raízes para a parte aérea é lenta (KABATA-PENDIAS; PENDIAS, 2001).

O alumínio (Al) é considerado como o terceiro elemento químico mais freqüente na crosta terrestre (LINDSAY, 1979). Os minerais de argila primários e secundários são, em grande parte, estruturalmente formados por Al_2O_3 , juntamente com SiO_2 (MACHADO, 1997). É um elemento classificado como tóxico, no entanto pode ser benéfico para algumas plantas ou até estimulante para outras. Alguns autores afirmam que plantas de arroz (SIVAGURU; PALIWAL, 1994), leguminosas tropicais (BALIGAR et al., 1988; BLAMEY et al., 1990; EDMEADES et al., 1991; MACKAY et al., 1991), chá (*Camellia sinensis* L.) (MATSUMOTO et al., 1976), beterraba, milho (MARSCHNER, 1995), soja (HANSON; KAMPRATH, 1979) e trigo (KERRIDGE et al., 1971) apresentaram maior desenvolvimento com concentrações adequadas de Al. Num experimento em vasos com a cultura do chá, Chenery (1955) indica a possibilidade do Al atuar como estimulante do crescimento de raízes. Em certas condições e para espécies

de plantas com alta tolerância ao alumínio, baixos níveis deste metal podem causar efeitos benéficos ao crescimento de plantas superiores (MARSCHNER, 1995). Entretanto, estes efeitos são considerados como exceção, onde a regra é o efeito negativo do alumínio no crescimento de plantas em solos com baixo pH (MACHADO,1997).

Geralmente, o efeito tóxico do Al é notado em raízes de plantas antes que qualquer sintoma possa ser evidente na parte aérea. Os sintomas de toxidez são também associados com deficiência de fósforo e com reduzida absorção e translocação de cálcio (FOY, 1974). Os mecanismos de ação fitotóxica do alumínio afetam a divisão e expansão celular e causam desorganização da membrana plasmática e inibição da absorção de íons. Alguns desses efeitos são visualizados pelo menor crescimento e engrossamento do sistema radical (KOCHIAN, 1995; DELHAIZE; RYAN, 1995), resultando em menor volume de solo explorado pelas raízes prejudicando a absorção de água e nutrientes (SCHLINDWEIN, 2003). A deficiência de Al não acarreta prejuízos significativos para a maioria das culturas, e ainda promove melhor desenvolvimento para outras. Ainda que as raízes apresentem teores mais altos de Al, e por isso sejam os órgãos mais prejudicados pela toxidez, ocorre transporte a longa distancia, presumivelmente no xilema, visto que os órgãos da parte aérea apresentam o elemento (MACHADO,1997).

Os mecanismos de tolerância ao Al conhecidos podem ser resumidos basicamente em duas classes: os que agem no sentido de expulsar o Al ou evitar a sua absorção e os mecanismos de desintoxicação, principalmente compartimentalizando-o nos vacúolos. Em inúmeras espécies, mecanismos fisiológicos têm sido descritos como responsáveis pela ativação e liberação de ácidos orgânicos, principalmente citrato e malato, os quais formam complexos ou quelatos com o alumínio evitando assim a sua absorção pelas raízes (KOCHIAN, 1995; DELHAIZE; RYAN, 1995). A exsudação de ácidos orgânicos radiculares pode ser o mecanismo das plantas mais eficiente para controlar a toxidez de alumínio nas raízes (DELHAIZE; RYAN, 1995; KOCHIAN, 1995). A produção de exsudatos é variável conforme a espécie de planta (OHWAKI; HIRATA, 1992; JONES, 1998; STROBEL et al., 1999) e condições de estresse (HORST et al., 1990; MARSCHNER, 1995; JONES, 1998), sendo estimulada por microorganismos que utilizam e produzem outros compostos orgânicos

(MARSCHNER, 1995; JONES, 1998). Atualmente, é melhor entendido o mecanismo de tolerância ao Al, que envolve a desintoxicação interna, por meio da complexação com ácidos orgânicos e o sequestro destes complexos pelos vacúolos. Outros mecanismos potenciais, tais como a imobilização nas paredes celulares, o aumento do pH na rizosfera, precipitando o alumínio em solução e, o transporte ativo para fora do citoplasma celular, são alvo de especulações e discussões (SCHLINDWEIN, 2003).

O manganês (Mn), por sua vez, é também um elemento amplamente distribuído na crosta terrestre, água e atmosfera. É considerado o quinto metal e o 12º elemento mais abundante na crosta terrestre e, sendo um micronutriente, desempenha importante papel no metabolismo das plantas (MARTINS, 2001). O Mn é componente integrante de enzimas, como a enzima que hidrolisa a molécula da água no Fotossistema II e a superóxido dismutase. Também, é ativador de aproximadamente 35 enzimas, atuando no metabolismo do nitrogênio, como precursor de aminoácidos, fitohormônios, fenóis e ligninas (MELARATO et al., 2002), estando envolvido também nos processos redox, tais como no transporte de elétrons na fotossíntese (MALAVOLTA et al., 1997) e síntese de clorofila (FAGERIA, 2001). O manganês desempenha papel fundamental no alongamento celular, e em situação de deficiência pode inibir a síntese de lipídeos ou metabólitos secundários como o ácido giberélico (MALAVOLTA et al., 1997). Até mesmo deficiências leves de Mn afetam a fotossíntese e diminuem o nível de carboidratos solúveis na planta, mas o resuprimento deste micronutriente reativa a evolução fotossintética de oxigênio. Com deficiência mais severa de Mn, entretanto, ocorre quebra na estrutura do cloroplasto que não pode ser revertida (MILLALEO et al., 2010). Em todos os trabalhos sobre absorção e distribuição de manganês nas plantas são encontradas amplas evidências de que a sua absorção é controlada metabolicamente. Entretanto, a absorção passiva deste elemento também pode ocorrer, principalmente quando o metal encontra-se em níveis elevados na solução. Da mesma forma que o ferro, o Mn é facilmente transportado através do xilema, das raízes até as brotações, mesmo as localizadas nos ápices da planta, enquanto a translocação no floema é limitada (MILLALEO et al., 2010).

Embora o Mn satisfaça o critério direto de essencialidade, quando em altas concentrações, na sua forma trocável e solúvel, pode levar os tecidos vegetais a

apresentarem quantidades tóxicas do nutriente, afetando severamente a parte aérea das plantas (SALVADOR et al., 2003).

Ao contrário do alumínio, o manganês não parece afetar diretamente as raízes, mas, indiretamente, mediante dano provocado na parte aérea. Os sintomas de toxicidade de manganês nas plantas são mais pronunciados nas folhas do que nas raízes, embora haja variação acentuada entre as espécies cultivadas. Geralmente ocorrem clorose marginal e enrugamento das folhas, clorose nas folhas mais novas semelhante à deficiência de ferro e manchas necróticas, principalmente nas folhas mais velhas (KOHNO; FOY, 1983b). Em situações de severa toxicidade, as raízes ficam de coloração castanha, porém esse sintoma geralmente ocorre quando a parte aérea já está bastante injuriada (SORATTO et al., 2005).

A disponibilidade do manganês, avaliada pela concentração na forma bivalente, é dependente do potencial de oxirredução, da atividade biológica e do pH do solo (MALAVOLTA; KLIEMANN, 1985), tendo relevante importância prática, porque nos solos muito ácidos o manganês está frequentemente presente em concentrações tóxicas (FOY, 1973), e sua disponibilidade pode ser reduzida mediante a elevação do pH, por meio da calagem, reduzindo sua absorção pela planta (MALAVOLTA; KLIEMANN, 1985).

O mecanismo de tolerância ao excesso de manganês está sob controle genético, havendo participação de um a quatro genes dependendo da espécie considerada (FOY et al., 1978). Os mesmos autores verificaram que os principais mecanismos relacionados com a tolerância ao excesso de manganês são: absorção quantitativa e velocidade de translocação, tolerância interna e interação com outros elementos. A maior tolerância de certas plantas é principalmente devida à capacidade de suportar elevada concentração de manganês no interior das folhas e não à menor absorção desse elemento das soluções nutritivas (CAMARGO; OLIVEIRA, 1983; KOHNO; FOY, 1983a).

Embora o alumínio (Al) não seja considerado um nutriente para os vegetais, como o manganês (Mn), ambos desempenham importante papel na nutrição das plantas cultivadas, principalmente em solos de regiões tropicais úmidas, bastante intemperizados, pois podem estar em concentrações tóxicas. Por meio das análises químicas do solo, sabe-se que existe correlação inversa

entre valores de pH e concentração desses elementos presentes nas formas trocáveis e solúveis (MASCARENHAS, 2004).

A maioria dos solos brasileiros apresenta altos teores de alumínio, e em algumas regiões, de manganês, produzindo a acidez nociva. Em virtude da sensibilidade das culturas à toxidez de alumínio e de manganês, é de fundamental importância o controle da acidez do solo, reduzindo a fitotoxicidade causada por esses elementos (VIEIRA, 1976).

O grau de acidez de um solo é expresso em termos de pH, que é a concentração do íon H^+ dissociado na solução do solo. Quanto mais hidrogênio (H^+) estiver presente no solo, menor será o pH e, conseqüentemente mais ácido será este solo (CHAVES, 2005). A grande maioria dos solos do cerrado brasileiro é ácida, com baixo pH, altas concentrações de alumínio, variando de 15 a 93% a saturação por esse elemento, e algumas vezes de ferro e manganês (OLIVEIRA et al., 2005), sendo um fator limitante a produtividade das culturas. O território brasileiro é composto por cerca de 70% de solos ácidos e, em 40% destes a produtividade das culturas é reduzida à metade (QUAGGIO, 2000).

A acidez dos solos pode ser dividida em dois tipos: acidez ativa e acidez potencial. A acidez ativa é o hidrogênio dissociado, ou seja, na solução do solo na forma de H^+ , sendo expressa em valores de pH (CHAVES, 2005). A acidez potencial, por sua vez, divide-se em acidez trocável e acidez não trocável. Acidez trocável, também chamada “acidez nociva” refere-se aos íons H^+ e Al^{3+} e/ou Mn^{2+} que estão retidos na superfície dos colóides do solo por forças eletrostáticas, ou seja, corresponde a concentração de Al^{3+} , Mn^{2+} e H^+ trocáveis e adsorvidos nos colóides. A quantidade de hidrogênio trocável em condições naturais parece ser pequena. Portanto, “acidez trocável” e “Al trocável” podem ser equivalentes. Solos com toxidez de alumínio são aqueles que apresentam altos índices de acidez trocável ou acidez nociva (<http://agronomiacomgismonti.blogspot.com>).

A acidez não trocável é a quantidade de acidez que ainda permanece no solo com a eliminação da acidez trocável. Na acidez não trocável, o H^+ está em ligação covalente com as frações minerais e orgânicas do solo, difícil de ser rompida. É prejudicial ao desenvolvimento das plantas e as necessidades de calagem são maiores, ocorrendo uma neutralização total ou parcial. A acidez potencial corresponde à soma da acidez trocável e da acidez não trocável do solo (OLIVEIRA et al., 2005).

Entre os problemas de um solo ácido, destacam-se a menor disponibilidade de alguns nutrientes, especialmente fósforo e molibdênio, e a toxidez de alumínio e manganês. A toxicidade de alumínio ou de manganês são os fatores que mais limitam o desenvolvimento das plantas em solos ácidos (CARNEIRO et al., 2001).

A presença de metais no solo limita não só a produção, mas também compromete a capacidade germinativa da cultura por alterar a permeabilidade das membranas e, conseqüentemente, a absorção de água pela semente, interferindo, diretamente, no potencial fisiológico.

A qualidade fisiológica da semente é avaliada por duas características fundamentais: viabilidade e vigor (POPINIGIS, 1977). A viabilidade, determinada pelo teste de germinação, procura avaliar a máxima germinação da semente. Enquanto, o vigor compreende um conjunto de características que determinam o potencial fisiológico das sementes, sendo influenciado pelas condições de ambiente e manejo durante as etapas de pré e pós-colheita (VIEIRA; CARVALHO, 1994). Sementes de alto vigor possuem maior velocidade nos processos metabólicos, propiciando emissão mais rápida e uniforme da raiz primária no processo de germinação e maior taxa de crescimento, produzindo plântulas com maior tamanho inicial (SCHUCH et al., 1999; MUNIZZI et al., 2010).

Além da avaliação do potencial fisiológico de sementes, as condições ambientais interferem diretamente no desenvolvimento das plantas. A interferência do ambiente sobre a produção das culturas pode ser evidenciada pelas alterações no crescimento dos vegetais. Portanto, a análise quantitativa de crescimento é uma técnica que pode ser empregada no estudo dos efeitos ambientais sobre o crescimento das plantas (SILVA, 2005). É uma técnica válida para pesquisar as bases fisiológicas da produção e, pôr em evidência, a influência exercida pelas variáveis ambientais, genéticas e agronômicas. Esta técnica descreve as condições morfofisiológicas da planta em diferentes intervalos de tempo, entre duas amostragens sucessivas e propõe-se a acompanhar a dinâmica da produção fotossintética determinada por meio do acúmulo de fitomassa seca e do tamanho do aparelho fotossintético ao longo da ontogenia das plantas (SILVA et al., 2000).

O rabanete (*Raphanus sativus* L.), da família Brassicaceae, é uma hortaliça de pequeno porte e, sua parte comestível é a raiz tuberosa, de formato globular, ovóide ou alongado (FILGUEIRA, 1982). Apesar de ser uma cultura de pequena

importância em termos de área plantada, é produzida em pequenas propriedades dos cinturões verdes das grandes metrópoles.

Uma característica da cultura do rabanete é poder ser usada entre outras de ciclo mais longo, com épocas definidas de semeadura, pois, além de ser relativamente rústica, apresenta ciclo muito curto (cerca de 30 dias), com retorno rápido (MINAMI et al., 1998). Esta cultura não é exigente quanto ao tipo de solo, desde que seja rico em húmus e ligeiramente úmido, porém sua produtividade comercial pode ser afetada por vários fatores, como desordens fisiológicas de origem nutricional, favorecendo também a perda de qualidade das raízes (CECÍLIO FILHO et al., 1998).

Alguns membros da família Brassicaceae são descritos como acumuladores de moderado a altos níveis de Pb, Cr, Cd, Ni, Zn e Cu (EBBS; KOCHIAN, 1997). Plantas de rabanete, por exemplo, crescidas em solo com altas concentrações de arsênico acumularam alta concentração deste metal nas raízes e parte aérea (CARBONELL-BARRACHINA et al., 1999), acumulando metais em suas raízes em maior proporção que outros membros desta família (VILLATORO-PULIDO et al., 2009).

Aparentemente, o rabanete é mais tolerante a metais, como o chumbo, quando comparado a *Brassica juncea* (LIU et al., 2000) e *Allium cepa* (LIU et al., 1994). Por outro lado, excesso de chumbo reduziu a massa fresca e seca de folhas de rabanete em 30 dias (GOPAL ; RIZVI, 2008). Também, decréscimo no crescimento foi mostrado em rabanete estressado com cádmio (ANURADHA; RAO, 2007) e em pepino com alumínio (PEREIRA et al., 2010).

O rabanete é considerado uma cultura modelo, sendo amplamente utilizado para estudos relacionados à poluição por metais pesados (KHAN; FRANKLAND, 1983; KOSTKA-RICK; MANNING, 1993). As vantagens de usar rabanete e outros membros da família Brassicaceae para estudos com metais pesados são relatadas por Máthé-Gáspár e Anton (2002) e Grispen et al. (2006). Além disso, a cultura tem valor nutritivo e econômico, e também é considerada rica fonte de dois importantes compostos medicinais peroxidases e isotiocianatos (CURTIS, 2003).

Diante do exposto, o trabalho teve por objetivo avaliar a qualidade fisiológica das sementes de rabanete tratadas com diferentes concentrações de sulfato de cobre - CuSO_4 , sulfato de alumínio - $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ e cloreto de manganês -

MnCl₂, bem como, características de crescimento, atributos morfológicos, partição de assimilados e quantificação dos metais em plantas de rabanete crescidas em solo contendo diferentes concentrações das soluções de Al₂(SO₄)₃ e MnCl₂.

CAPÍTULO 1

QUALIDADE FISIOLÓGICA DE SEMENTES DE RABANETE SUBMETIDAS A DIFERENTES CONCENTRAÇÕES DE COBRE, ALUMÍNIO E MANGANÊS

Physiological quality seeds of radish under different concentrations of copper, aluminum and manganese

RESUMO

O objetivo desta pesquisa foi avaliar os efeitos dos metais cobre, alumínio e manganês sobre a qualidade fisiológica de sementes de rabanete (*Raphanus sativus* L.) cv. Vip Crimson S Especial. O experimento foi realizado no Laboratório de Fisiologia de Sementes do Departamento de Botânica, o delineamento experimental foi inteiramente casualizado, com três repetições. As sementes foram tratadas com diferentes concentrações de soluções de sulfato de cobre (0; 35 e 70 mgL⁻¹), sulfato de alumínio (0; 10; 20 e 30 mgL⁻¹) e cloreto de manganês (0; 270 e 540 mgL⁻¹) e submetidas aos seguintes testes: germinação, primeira contagem da germinação, índice de velocidade de germinação, comprimento e massa seca da parte aérea e das raízes de plântulas e condutividade elétrica de sementes às três e 24 horas. Os resultados mostraram que a solução de sulfato de cobre na concentração de 35 mgL⁻¹, bem como as soluções de cloreto de manganês e sulfato de alumínio, nas concentrações testadas, influenciaram positivamente tanto a viabilidade como o vigor das sementes de rabanete da cv Vip Crimson S Especial. No entanto, o tratamento das sementes com a maior concentração da solução de sulfato de cobre não mostrou a mesma resposta.

Palavras-chave: *Raphanus sativus* L. Viabilidade. Vigor. Metais.

ABSTRACT

The objective of the research was evaluated the effects of metals cooper aluminum and manganese under physiological quality of radish seeds cv. Vip Crimson S Special. The experiment was realized in Seeds Physiology Laboratory of DB/UFPel, being experimental design entirely randomized, with three replications. The seeds were treated with different concentrations of copper sulfate (0, 35 and 70 mgL⁻¹), aluminum sulfate (0, 10, 20 and 30 mgL⁻¹) and manganese chloride (0, 270 and 540 mgL⁻¹) and submitted to follow tests: germination, first counting of germination, rate of germination index, length, dry mass of shoot and roots of seedlings and electric conductivity measured at 3 and 24 hours. The results showed that the solution of cooper sulfate in the concentration of 35 mgL⁻¹, as well as the solutions of manganese chloride and aluminum increased the vigor and viability of radish seeds. However, seeds treated with the greater level of copper sulfate did not show the same performance.

Key-words: *Raphanus sativus* L. Viability. vigor. Metals.

1. INTRODUÇÃO

Atualmente, como resultado da atividade humana, as plantas e sementes estão mais expostas a grandes quantidades de metais potencialmente tóxicos dispersos no solo. Altas concentrações de sais, próximas às sementes podem prejudicar a germinação e emergência das plântulas, como observaram Pessoa et al.(2000), tratando sementes de milho com boro.

O cobre (Cu) é um micronutriente e, como tal, tem papel importante na nutrição e fisiologia de plantas. No entanto, em altas concentrações no solo, pode ser absorvido em maior quantidade causando prejuízos ao vegetal como, por exemplo, redução no crescimento do sistema radical e parte aérea (YRUELA, 2005).

Da mesma forma, o manganês (Mn) é um micronutriente e, portanto participa de vários processos fisiológicos na vida das plantas e sementes. As funções de ativação enzimática, biossíntese, transferência de energia e regulação fitohormonal são fundamentais para a formação, desenvolvimento e maturação das sementes (MELARATO et al., 2002). Quando em altas concentrações, na sua forma trocável e solúvel, pode levar os tecidos vegetais a apresentarem quantidades tóxicas do nutriente, afetando principalmente a parte aérea das plantas (FOY, 1973; PAVAN; BINGHAM, 1981).

O alumínio (Al) é um elemento classificado principalmente como tóxico, no entanto pode ser benéfico para algumas plantas ou até estimulante para outras (MARSCHNER,1995). A toxicidade por alumínio é considerada o fator limitante mais importante para o crescimento das plantas em solos muito ácidos. O alumínio trocável dos solos interfere no desenvolvimento da planta, reduzindo a germinação de algumas espécies (CUSTÓDIO et al., 2002). O sintoma mais facilmente reconhecido da toxicidade de alumínio é a inibição do crescimento da raiz, sendo utilizado como indicativo do estresse da planta a esse elemento (DELHAIZE; RYAN, 1995). Porém, o efeito estimulante do alumínio em baixas concentrações foi descrito por Baligar et al. (1990).

A fitotoxicidade por metais depende da concentração, período de exposição, estágio de desenvolvimento, espécie vegetal, bem como do órgão e tecido da planta (BENAVIDES et al., 2005). Pesquisas relacionadas à germinação de sementes demonstram que os efeitos dos metais variam de acordo com as diferenças na estrutura da semente, principalmente no que diz respeito ao tegumento, considerado a principal barreira à entrada de substâncias potencialmente tóxicas nos tecidos internos, evitando a contaminação do embrião (WIERZBICKA; BIDZINISKA, 1998).

A qualidade fisiológica das sementes exerce fundamental importância na germinação e na emergência em solo, podendo ser avaliada por meio de duas características fundamentais: viabilidade e vigor (POPINIGIS, 1977). A viabilidade é determinada pelo teste de germinação, o qual é realizado sob condições ideais e artificiais e procura avaliar o máximo potencial de germinação (AOSA, 1983). No entanto, este teste não é capaz de prever o comportamento das sementes em campo, onde as condições nem sempre são favoráveis, por isso é interessante a complementação do teste de germinação com testes de vigor.

Dentre os testes de vigor pode ser destacado o teste de condutividade elétrica como um dos mais confiáveis devido a sua objetividade e rapidez. Este teste determina a quantidade de íons presentes na água de embebição e, indiretamente, o vigor das sementes, sendo que este está relacionado à integridade do sistema de membranas celulares (MARCOS FILHO et al., 1987). Além da condutividade elétrica, o vigor das sementes pode ser determinado por meio de testes que poderão prever as condições onde a cultura irá crescer e se desenvolver. Estas avaliações consistem nas determinações de parâmetros de

crescimento, acúmulo de matéria seca e velocidade de germinação ou emergência.

Embora a pesquisa com sementes de hortaliças venha apresentando evolução significativa no Brasil a partir dos anos 1990, os trabalhos são menos frequentes que os conduzidos com espécies de grandes culturas (MARCOS FILHO; KIKUTI, 2006).

O rabanete (*Raphanus sativus* L.) é uma espécie cultivada principalmente em propriedades relativamente pequenas, em áreas com acentuada diversidade no cultivo de hortaliças. Apresenta ciclo curto, aspecto interessante para a composição de sistemas de produção com espécies mais tardias, permitindo o aproveitamento racional do terreno (MARCOS FILHO; KIKUTI, 2006).

Baseado no exposto, a presente pesquisa teve como objetivo verificar o efeito de diferentes concentrações de sulfato de cobre, sulfato de alumínio e cloreto de manganês sobre a qualidade fisiológica das sementes de *Raphanus sativus* L.

2. MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi conduzido no Laboratório de Fisiologia de Sementes do Departamento de Botânica da Universidade Federal de Pelotas. Sementes de rabanete (*Raphanus sativus* L.) cv. Vip Crimson S Especial, adquiridas comercialmente, foram tratadas com diferentes concentrações de sulfato de cobre – CuSO_4 (0; 35 e 70 mgL^{-1}), sulfato de alumínio – $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ (0; 10; 20 e 30 mgL^{-1}) e cloreto de manganês – MnCl_2 (0; 270 e 540 mgL^{-1}). A qualidade fisiológica das sementes foi avaliada por meio dos seguintes testes:

Teste de germinação (G%): a determinação da porcentagem de germinação foi realizada utilizando 200 sementes (quatro subamostras de 50 sementes) por tratamento, semeadas sobre duas folhas de papel germitest previamente umedecidas com as diferentes concentrações das soluções testadas ($\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$, CuSO_4 e MnCl_2), em quantidade correspondente a 2,5 vezes a massa do papel seco e mantidas em germinador a 25 °C. A avaliação da germinação foi efetuada aos 10 dias após a semeadura (DAS) e os resultados expressos em porcentagem de germinação, conforme as Regras de Análise de Sementes (BRASIL, 2009).

Primeira contagem da germinação (PCG%): conduzida juntamente com o teste de germinação, sendo realizada aos quatro dias após a instalação do teste, conforme as Regras de Análise de Sementes (BRASIL, 2009) e os resultados expressos em porcentagem de sementes germinadas.

Índice de velocidade de germinação (IVG): determinado em conjunto com o teste de germinação, sendo efetuadas contagens diárias a partir da protrusão da radícula até a estabilização do estande, de acordo com Maguire (1962).

Comprimento da parte aérea e do sistema radical das plântulas (CPA e CR): os dados relativos ao comprimento da parte aérea e das raízes, efetuados com auxílio de régua graduada, foram obtidos pela média de 50 plântulas por repetição, ao final do teste de germinação, sendo os resultados expressos em mm plântula⁻¹.

Massa seca da parte aérea e do sistema radical das plântulas (MSPA e MSR): após determinação do comprimento da parte aérea e raiz, o material vegetal foi seco em estufa a 70 ± 1 °C, até massa constante. As massas secas de parte aérea e raízes foram aferidas em balança de precisão e os resultados expressos em mg plântula⁻¹.

Condutividade elétrica (CE): realizada conforme metodologia descrita por Krzyzanowski et al. (1991), utilizando quatro subamostras de 50 sementes por repetição, as quais foram previamente pesadas e embebidas por duas horas nas diferentes concentrações de sulfato de cobre, sulfato de alumínio e cloreto de manganês. Posteriormente, as sementes foram lavadas com água destilada, colocadas em béquer com 80 mL de água deionizada e mantidas em germinador com temperatura constante de 20 °C. A condutividade elétrica foi medida em condutímetro de bancada Digimed CD-21 após três e 24h e os resultados expressos em $\mu\text{S cm}^{-1}\text{g}^{-1}$ de sementes.

O delineamento experimental utilizado foi inteiramente casualizado, com três repetições e os dados foram submetidos à análise de variância e avaliados pelo teste de Tukey a 5 % de probabilidade.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

A porcentagem de germinação das sementes tratadas com CuSO_4 foi incrementada significativamente na concentração de 35 mgL^{-1} diferindo

estatisticamente das plantas controle. Entretanto, o aumento na concentração da solução de cobre (70 mgL^{-1}) não mostrou diferença significativa no percentual germinativo em relação ao tratamento controle, diferindo da menor concentração de Cu (Fig. 1A). Da mesma forma, a menor concentração de MnCl_2 estimulou a germinação atingindo valores estatisticamente superiores ao tratamento controle, porém na concentração mais elevada (540 mgL^{-1}) este incremento foi menor, não diferindo do tratamento controle (Fig. 1B).

As três concentrações de $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$, não diferiram estatisticamente entre si, porém quando comparadas ao tratamento controle promoveram aumento significativo na porcentagem de germinação (Fig. 1C).

De modo geral, os tratamentos com metais aumentaram o percentual de germinação, em relação às sementes que foram embebidas somente com água, com exceção da maior concentração de cobre (70 mgL^{-1}) que não diferiu significativamente do controle (Fig. 1A, 1B e 1C).

A primeira contagem de germinação foi efetuada no quarto dia após a semeadura, quando a maioria das sementes viáveis já está germinada e apresentam todas as estruturas desenvolvidas.

As sementes de rabanete da cv Vip Crimson S Especial germinaram mais rapidamente quando foram tratadas com a menor concentração da solução de CuSO_4 , mostrando resultados semelhantes aos obtidos na avaliação da porcentagem de germinação, sendo o processo retardado pela maior concentração utilizada (70 mgL^{-1}) (Fig. 1D). No entanto, a aplicação das soluções de MnCl_2 e $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$, em todas concentrações, estimularam significativamente o processo germinativo promovendo um incremento na velocidade inicial de germinação (Fig. 1E e 1F, respectivamente).

O teste de primeira contagem de germinação é utilizado como um teste de vigor, devido à sua simplicidade, por ser conduzido juntamente com o teste de germinação e por refletir a velocidade com que a semente germina (KRZYZANOWSKY et al., 1999). A velocidade de germinação pode ser utilizada para identificar cultivares com emergência mais rápida em campo ou em estufa, minimizando assim as condições adversas que ocorrem durante a germinação e estabelecimento de plântulas (STEINER et al., 2009).

A avaliação do índice de velocidade de germinação não mostrou diferença significativa em função das concentrações utilizadas para os três metais

testados. Logo, pode-se inferir que a aplicação dos metais foi eficiente em promover a aceleração inicial do processo germinativo, não contribuindo efetivamente na velocidade ao longo de todo o processo (Dados não apresentados).

Corroborando com estes resultados, Macedo e Lopes (2008) verificaram que concentrações de Al, até 45 mgL^{-1} não interferem no percentual de germinação de sementes de café, contribuindo ainda para o crescimento da raiz. De forma similar, o alumínio não afeta a germinação das sementes e a massa seca de raiz de plântulas de soja (CUSTÓDIO et al., 2002). Diferentes concentrações, também de sulfato de alumínio, foram aplicadas em sementes de *Vigna radiata*, sendo que a porcentagem da germinação de sementes diminui com o aumento da concentração de $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$, enquanto que efeito promotor ocorre com dosagens mais baixas (NEOGY et al., 2002). Em estudos com diferentes cultivares de café, foi verificado que a resposta ao tratamento com alumínio é variável de acordo com o genótipo. Algumas cultivares mostram tolerância a concentrações de até 60 mgL^{-1} , existindo considerável divergência genética entre as cultivares de café arábica em relação à sensibilidade ao alumínio na fase de germinação (MACEDO et al., 2008).

Luchese et al. (2004), estudando a resposta de sementes de milho frente a aplicação de cobre observaram que o aumento na concentração deste metal limita a capacidade de germinação das sementes quando comparadas as sementes não tratadas. Estes autores sugerem que possivelmente a absorção passiva do cobre, ocupando o volume da semente, definido pelos espaços intercelulares, parede celular e superfície externa da plasmalema, tenha se tornado tóxica para as sementes, à medida que a concentração do cobre aumenta na solução. De forma similar, a aplicação de manganês em plantas de feijão Mungo promove redução na porcentagem de germinação de sementes e o crescimento das raízes decresce gradualmente com aumento das concentrações do metal (MUMTHAS et al., 2010). A inibição da germinação e o crescimento das raízes em altas concentrações de manganês são relatados ainda em trigo (PANDA; PATRA, 1997), feijão caupi (LALITHA et al., 1999) e algodão (SHRIVASTAVA et al., 1997).

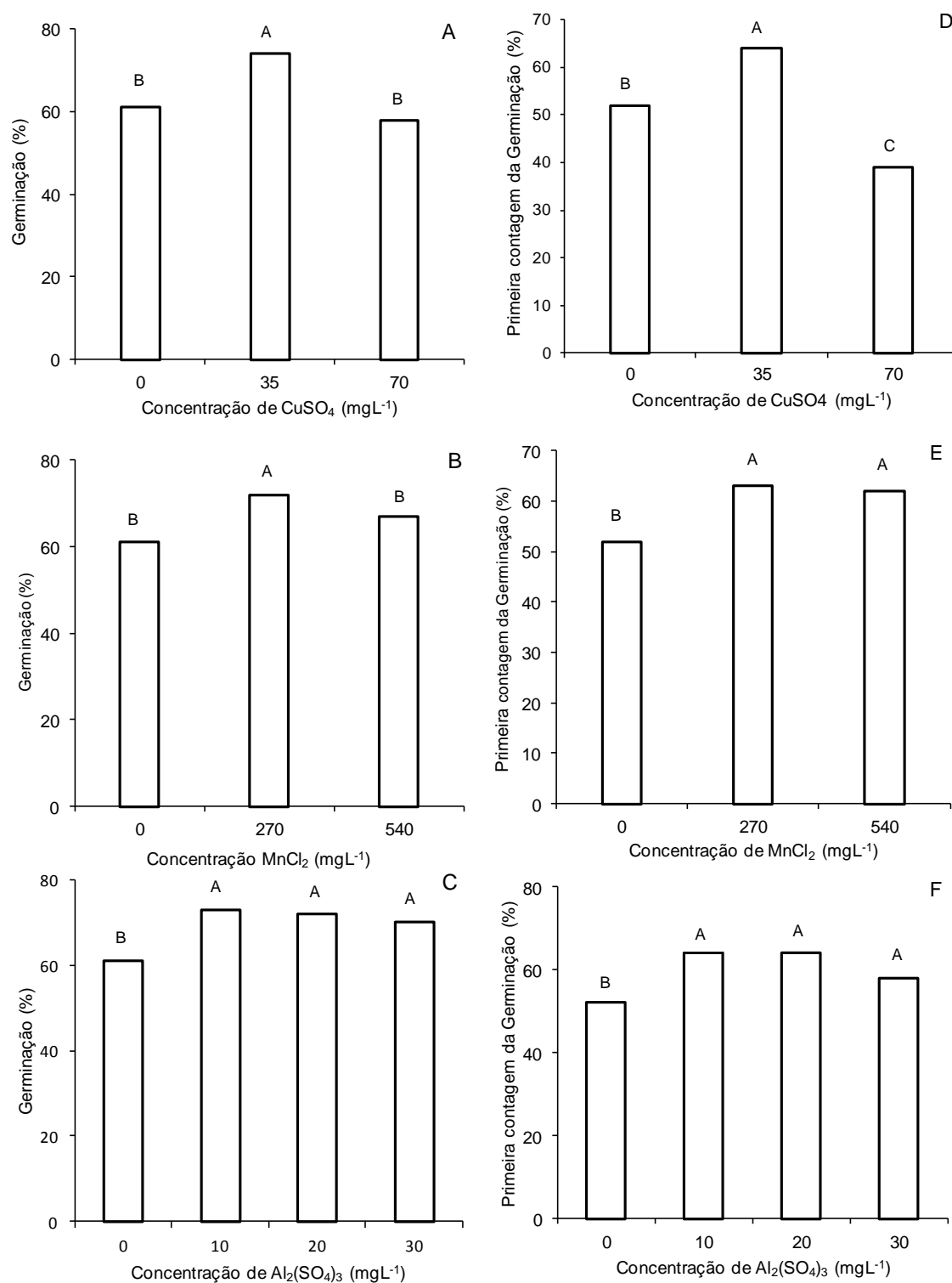


Figura 1. Percentual de Germinação e Primeira Contagem da Germinação de sementes de rabanete tratadas com diferentes concentrações de CuSO₄ (A e D); MnCl₂ (B e E) e Al₂(SO₄)₃ (C e F), respectivamente. Colunas seguidas da mesma letra não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

O comprimento da parte aérea foi influenciado negativamente pela aplicação da solução de sulfato de cobre, na maior concentração (70 mgL^{-1}), quando comparado às plântulas do tratamento controle (Fig. 2A). Ao contrário, o tratamento com MnCl_2 incrementou significativamente o comprimento da parte aérea em ambas as concentrações, quando comparadas ao tratamento controle, porém sem diferir entre si (Fig. 2B). Diferentemente dos resultados obtidos nos tratamentos com cobre e manganês, a aplicação das soluções de $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$, em todas as concentrações utilizadas, não influenciou o comprimento da parte aérea (Fig. 2C).

A avaliação do comprimento das raízes demonstrou que não houve diferença significativa entre o controle e a menor concentração de sulfato de cobre (35 mgL^{-1}), no entanto o aumento na concentração induziu um acentuado decréscimo nesta variável, atingindo valores significativamente inferiores aos do tratamento controle (Fig. 2D). A aplicação das duas concentrações da solução de MnCl_2 incrementou o comprimento das raízes, mostrando diferença significativa do tratamento controle, porém não diferindo entre si (Fig. 2E). As concentrações de 10 mgL^{-1} e 20 mgL^{-1} de $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ incrementaram o comprimento das raízes não diferindo estatisticamente entre si, mas diferindo do controle e da maior concentração (30 mgL^{-1}) (Fig. 2F).

Resultados similares aos desta pesquisa foram descritos por Macedo e Lopes (2008) onde concentrações de 45 mgL^{-1} de $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ em café arábica estimulam o comprimento das raízes. Esse aumento no comprimento da raiz primária sugere que a concentração de 45 mgL^{-1} de $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ não é tóxica para as plântulas de café arábica. A concentração de 15 mgL^{-1} de $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ é considerada muito baixa para causar algum estímulo no crescimento de raízes primárias, ao contrário do efeito benéfico do alumínio nas concentrações de 30 e 45 mgL^{-1} de $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ para a cultivar de café Apoatã (MACEDO et al., 2008).

O alumínio não afeta a germinação de *Cucumis sativus*, porém as concentrações de alumínio testadas influenciam significativamente o crescimento. Em concentrações de 1 a 5 mgdm^{-3} de alumínio o crescimento da plântula é estimulado, não acarretando anormalidades morfológicas ou de desenvolvimento, todavia em concentrações de 20 a 40 mgdm^{-3} de alumínio ocorre inibição do crescimento de plântulas e danos nas mesmas (SZYMANSKA: MOLAS, 1996).

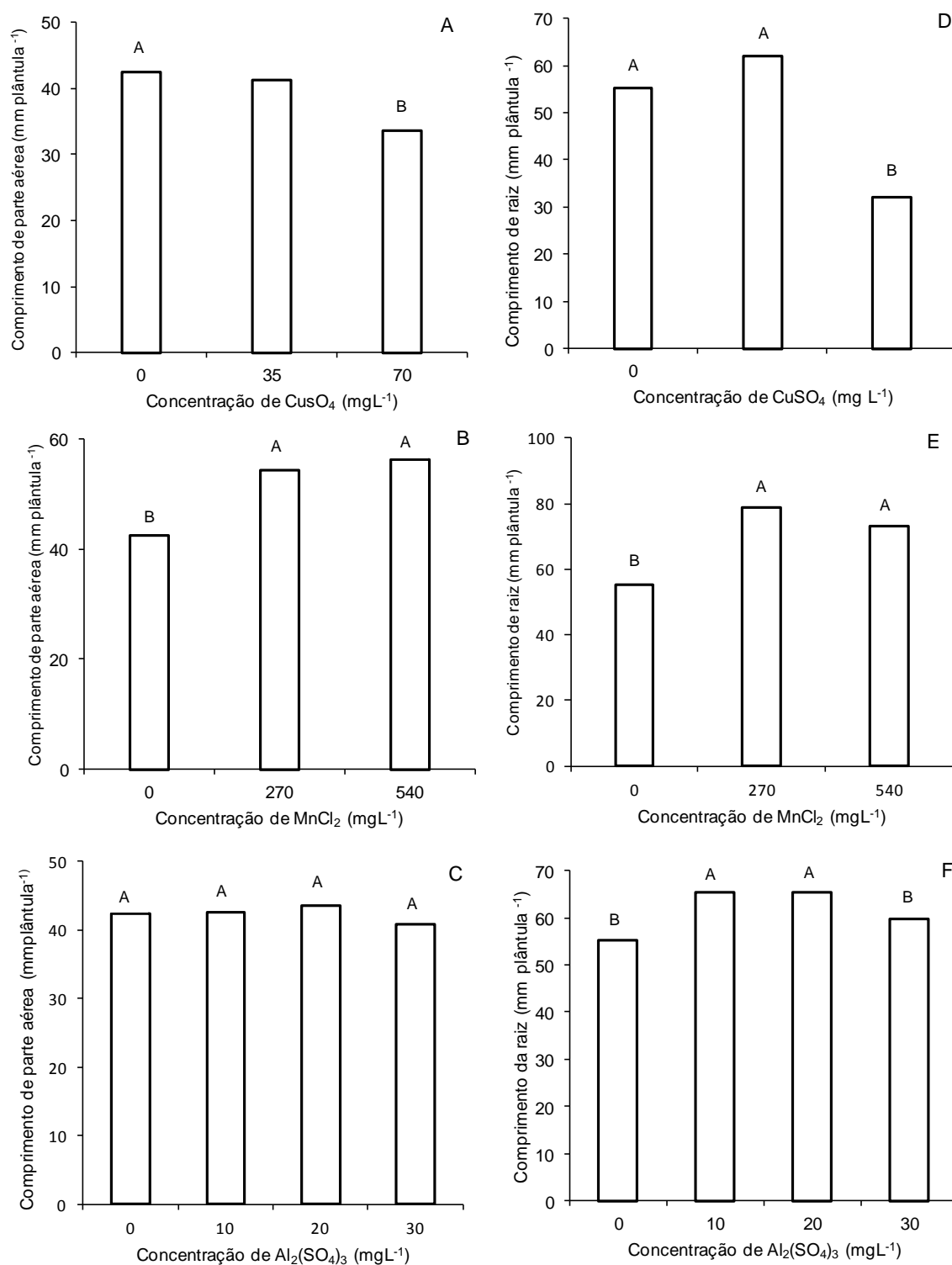


Figura 2. Comprimento da parte aérea e da raiz de plântulas oriundas da germinação de sementes de rabanete tratadas com diferentes concentrações de CuSO₄ (A e D); MnCl₂ (B e E) e Al₂(SO₄)₃ (C e F), respectivamente. Colunas seguidas da mesma letra não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

O tecido da planta mais indicado para monitorar a contaminação do solo por cobre é a raiz, devido ao seu maior acúmulo (MARSOLA, 2005). Os sintomas de toxidez do cobre podem variar entre as espécies vegetais, contudo, geralmente, ocorre redução no crescimento das raízes em plantas cultivadas em solos com alto teor de formas disponíveis de cobre (SHELDON; MENZIES, 2005; KOPFITKE; MENZIES, 2006; PAVÍKOVÁ et al., 2007).

A suplementação da solução nutritiva com manganês promove redução na altura e na biomassa de plantas de gerânio, progressivamente ao aumento das concentrações utilizadas (LEE et al., 1996). No entanto, estudos com *Vigna radiata* e *Oryza sativa* mostram que a tolerância à variação na concentração de manganês na solução está diretamente relacionada ao genótipo. Cultivares tolerantes recorrem a mecanismos bioquímicos de detoxificação para suportar o aumento de manganês durante a germinação de sementes destas espécies (ROUT et al., 2001).

Para a variável massa seca, tanto na parte aérea como nas raízes, a aplicação da menor concentração da solução de cobre mostrou resultados significativamente diferentes e superiores ao tratamento controle. Em contrapartida, ambas as variáveis analisadas apresentaram redução no acúmulo de biomassa quando as sementes foram submetidas às maiores concentrações do mesmo metal (Fig. 3A e 3D).

A exposição das sementes ao tratamento com $MnCl_2$ na menor concentração (270 mgL^{-1}) proporcionou maior acúmulo de biomassa nos dois órgãos avaliados, mostrando decréscimo com o aumento da concentração da solução (Fig. 3B e 3E).

A matéria seca produzida na parte aérea e nas raízes em plantas de milho não é afetada pela aplicação de cobre, apesar deste afetar a capacidade germinativa das sementes (LUCHESE, 2004).

O tratamento das sementes com alumínio promoveu incremento na biomassa da parte aérea e da raiz, diferindo do tratamento controle em todas as concentrações utilizadas, apresentando valor máximo na concentração de 10 mgL^{-1} de $Al_2(SO_4)_3$, para a parte aérea e na concentração de 20 mgL^{-1} para a raiz (Fig. 3C e 3F, respectivamente), porém sem diferença significativa entre si.

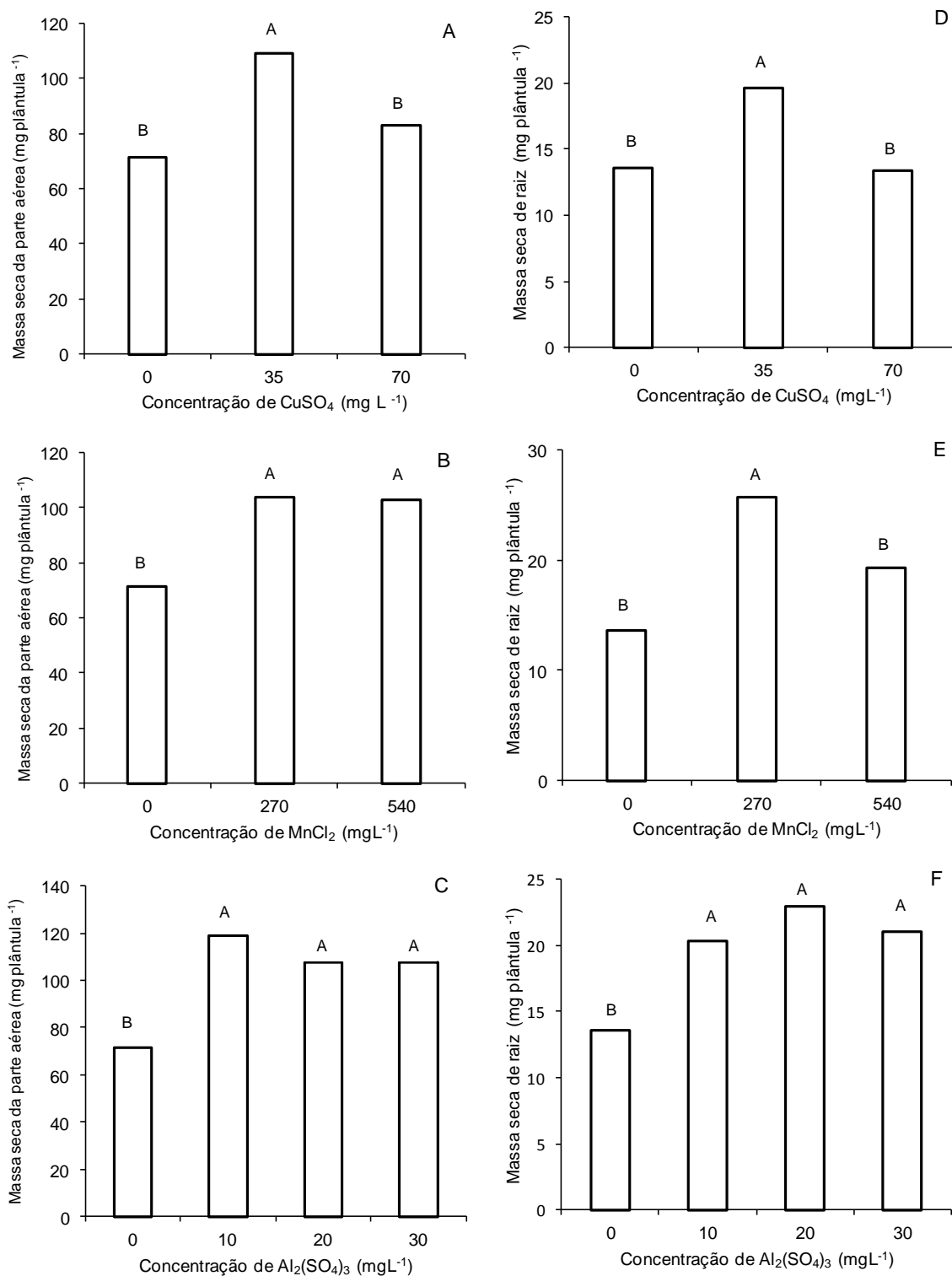


Figura 3. Massa seca da parte aérea e da raiz de plântulas oriundas da germinação de sementes de rabanete tratadas com diferentes concentrações de CuSO₄ (A e D); MnCl₂ (B e E) e Al₂(SO₄)₃ (C e F), respectivamente. Colunas seguidas da mesma letra não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Como as raízes são os órgãos em contato mais estreito com o ambiente nutricional da planta, estão especialmente propensas a serem afetadas por este ambiente. De acordo com Sivaguru e Horst (1998) o sítio primário da ação tóxica do alumínio é a parte distal da zona de transição no ápice das raízes, onde as células estão entrando em fase de alongamento.

A aplicação das soluções de cobre e manganês, nas duas concentrações testadas, contribuiu para diminuir a condutividade elétrica das sementes de rabanete, tanto em 3h como em 24h de embebição, não diferindo entre si, mas diferindo significativamente do tratamento controle (Fig. 4A, 4D, 4B e 4E, respectivamente).

O tratamento com a menor concentração da solução de $Al_2(SO_4)_3$ (10 mgL^{-1}), nos dois períodos de embebição, não mostrou diferença significativa em relação ao tratamento controle. No entanto, o aumento na concentração das soluções utilizadas (20 e 30 mgL^{-1}) foram eficientes em reduzir a condutividade elétrica, diferindo do controle, porém não diferindo entre si (Fig. 4C e 4F).

De modo geral, a embebição das sementes em todas as concentrações das soluções contendo os metais estudados contribuiu para reduzir a lixiviação de íons através da membrana, o que representa uma resposta positiva em relação ao vigor das plantas tratadas. Nos dois períodos avaliados, o teste de condutividade elétrica mostrou que houve redução na quantidade de lixiviados medidos nas sementes tratadas com os metais, em comparação às sementes controle. Este fato foi mais evidente com três horas de embebição do que com 24 horas, mostrando que a utilização dos metais contribuiu para melhorar e reorganizar a estrutura das membranas celulares no período inicial da embebição.

Uma hipótese para justificar os resultados obtidos no teste de condutividade elétrica com a aplicação do manganês é baseada no envolvimento do manganês na formação da lignina, uma das substâncias presentes na parede celular que apresenta características de impermeabilização, podendo exercer, conseqüentemente, efeito significativo sobre a capacidade e a velocidade de absorção de água através do tegumento, alterando desse modo a quantidade de lixiviados liberados para o meio externo (PANOBIANCO et al., 1999). Os mesmos autores verificaram que teores mais baixos de lignina no tegumento de sementes de soja estão relacionados a valores mais altos de condutividade elétrica.

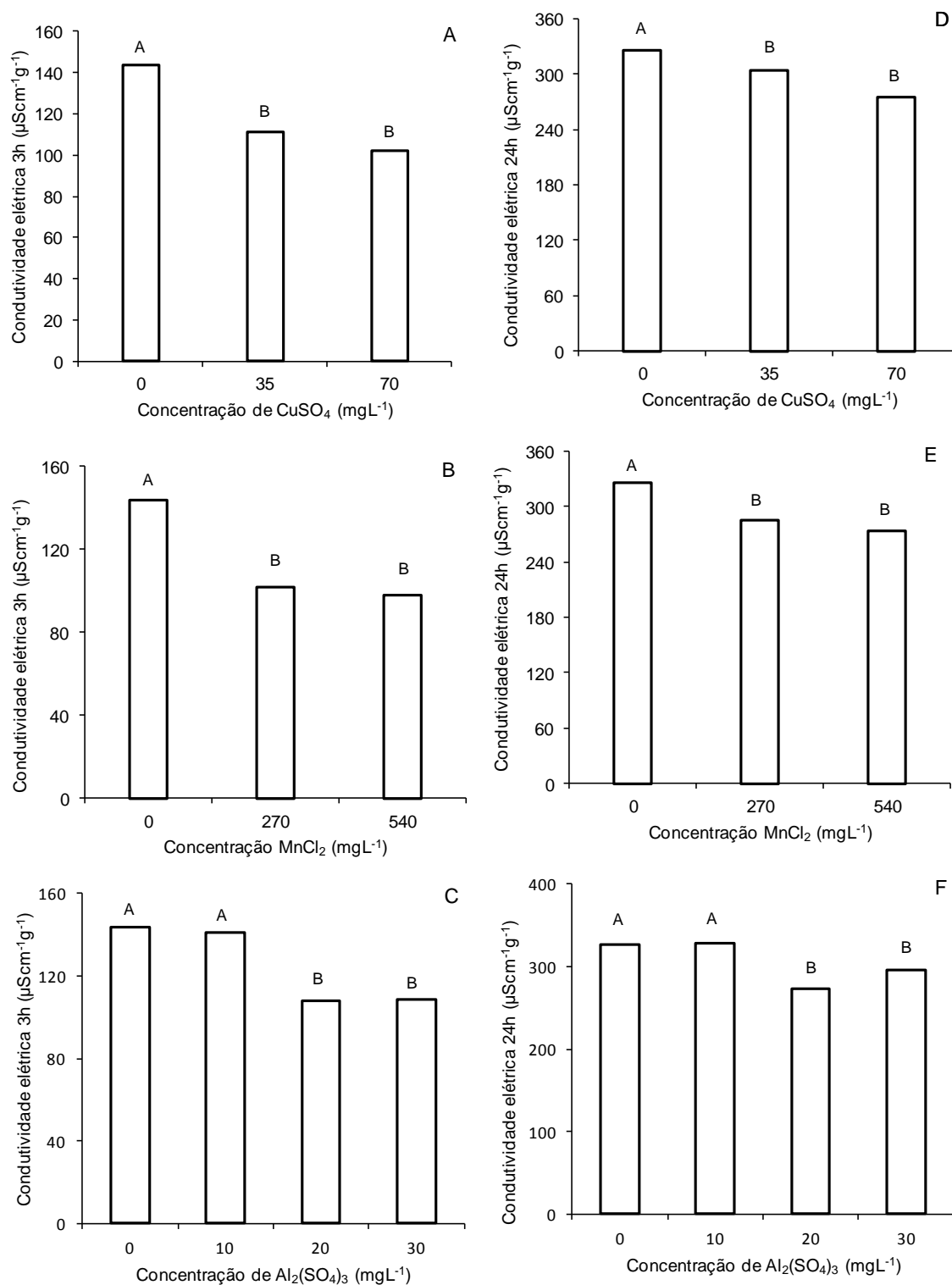


Figura 4. Condutividade elétrica às 3h e 24h de embebição de sementes de rabanete tratadas com diferentes concentrações de CuSO₄ (A e D); MnCl₂ (B e E) e Al₂(SO₄)₃ (C e F), respectivamente. Colunas seguidas da mesma letra não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

A exsudação de constituintes celulares está inversamente associada ao vigor, com base em três fatores: reflete a perda da integridade das membranas, representa a conseqüente perda de compartimentalização dos constituintes celulares e constitui excelente substrato para o desenvolvimento de microrganismos (PÁDUA; VIEIRA, 2001).

De acordo com os resultados dessa pesquisa pode-se inferir que a aplicação das soluções de metais testadas na cultivar de rabanete estudada, contribuiu para reestruturação das membranas, evitando a exsudação de lixiviados e ainda melhorando a velocidade de embebição através das membranas celulares, evidenciando alterações positivas na viabilidade e no vigor das sementes avaliadas.

4. CONCLUSÃO

De modo geral, as soluções de sulfato de cobre, cloreto de manganês e sulfato de alumínio, nas concentrações testadas, influenciam positivamente tanto a viabilidade como o vigor das sementes de rabanete da cv Vip Crimson S Especial, o que nos permite inferir que esta cultivar mostra potencial fitorremediador.

CAPÍTULO 2

CRESCIMENTO DO RABANETE SOB DIFERENTES CONCENTRAÇÕES DE SULFATO DE ALUMÍNIO E CLORETO DE MANGANÊS DURANTE A ONTOGENIA DAS PLANTAS

Growth of radish under some concentrations of aluminum sulfate and manganese chloride during the ontogeny of plants

RESUMO

O objetivo da pesquisa foi determinar as características de crescimento das plantas ao longo do ciclo de desenvolvimento do rabanete, sob efeito de Al e Mn. O experimento foi conduzido em casa de vegetação, usando o delineamento experimental inteiramente casualizado em esquema fatorial (1 x 3 x 8), constituído por uma cultivar Vip Crimson S Especial, três doses de cada metal (0, 20 e 40 mg L⁻¹ de sulfato de alumínio) e (0, 540 e 810 mgL⁻¹ de cloreto de manganês), e oito épocas de coleta efetuadas a intervalos regulares de quatro dias após a emergência, com três repetições. De modo geral, todas as características de crescimento foram incrementadas pelos metais. Entretanto, o Mn induziu maior crescimento do que o Al, porém ambos sempre superiores ao controle. A cultivar de rabanete testada foi tolerante aos metais, indicando que pode ser usada como planta remediadora.

Palavras-chave: *Raphanus sativus* L. Análise de crescimento. Alumínio. Manganês

ABSTRACT

The objective of the research was analyze the radish plants growth, under the effect of Al and Mn. In general, all characteristics of growth were increased by metals. The assay was conducted in greenhouse, using the experimental design entirely randomized in factorial scheme (1 x 3 x 8), where one cultivar Vip Crimson S Special, three doses of each metal (0, 20 and 40 mgL⁻¹ of aluminum sulfate) and (0, 540 and 810 mgL⁻¹ of manganese chloride), and eight harvest times realized at regulars intervals of four days after emergency. However, the Mn induced greater growth than the Al, but always superior to control. The radish cultivar was tolerant for both metals, indicating that it can be used as a remediable plant.

Key Words: *Raphanus sativus* L. Analysis of growth. Aluminum. Manganese

1. INTRODUÇÃO

O rabanete (*Raphanus sativus* L.) é uma hortaliça da família Brassicaceae, de pequeno porte e, sua parte comestível é a raiz tuberosa (FILGUEIRA, 2000). Apesar de não ser produzido em grande escala, torna-se uma alternativa interessante para os produtores em função do seu ciclo, por servir como opção para rotação de culturas (ROSSI; MONTALDI, 2004). É cultivado em todo o mundo e sua morfologia e ecologia são bastante variáveis, sendo bastante tolerante às condições adversas do clima. O cultivo não requer técnicas sofisticadas, sendo que informações relativas às fases de desenvolvimento são necessárias para analisar o crescimento nos diferentes estádios de desenvolvimento (MUMINOVIĆ, 2004). A vantagem de usar rabanete e outros membros da família Brassicaceae para estudos com metais é descrita por Máthé-Gáspár; Anton (2002) e Grispen et al. (2006). Além disso, a cultura tem valor econômico e nutricional, por ser rica em vitaminas C e B₆, ácido fólico, potássio, possuir elevada quantidade de fibras alimentares, significativa atividade antioxidante e baixa quantidade de calorias (CAMARGO et al., 2007).

A produção das culturas está diretamente associada às condições do meio. A acidez do solo é um dos fatores limitantes à produtividade das culturas em várias partes do mundo, sendo que no Brasil, a maioria dos solos apresenta altos teores de alumínio e, em algumas regiões, de manganês (SORATTO et al., 2005).

Embora o alumínio (Al) não seja considerado um nutriente para os vegetais, como o manganês (Mn), ambos desempenham importante papel na nutrição das plantas cultivadas, principalmente em solos de regiões tropicais úmidas, bastante intemperizados, pois podem estar em concentrações tóxicas. Por meio das análises químicas do solo, sabe-se que existe correlação inversa entre valores de pH e concentração desses elementos presentes nas formas trocáveis e solúveis (MASCARENHAS et al., 2004).

Mesmo o alumínio sendo citado como elemento tóxico para as plantas cultivadas, existem trabalhos que demonstram sua essencialidade para algumas plantas (MACHADO, 1997). Sob certas condições e para espécies de plantas com alta tolerância ao alumínio, baixos níveis deste metal podem causar efeitos benéficos ao crescimento de plantas superiores (MARSCHNER, 1990). Entretanto, estes efeitos são considerados como exceção, onde a regra é o efeito negativo do alumínio no crescimento de plantas em solos de baixo pH (MACHADO, 1997).

Com relação ao manganês, embora esse satisfaça o critério direto de essencialidade, quando em altas concentrações, na sua forma trocável e solúvel, pode levar os tecidos vegetais a acumularem quantidades tóxicas do nutriente, afetando severamente a parte aérea das plantas (SALVADOR et al., 2003). Ao contrário do alumínio, o manganês não parece afetar diretamente as raízes, mas, indiretamente, mediante dano provocado na parte aérea. A toxicidade de alumínio ou de manganês são os fatores que mais limitam o desenvolvimento das plantas em solos ácidos (CARNEIRO et al., 2001).

A análise quantitativa de crescimento é bastante utilizada para a investigação do efeito de fenômenos ecológicos sobre o crescimento, como adaptabilidade de espécies em ecossistemas diversos, efeitos de competição de cultivares e influência de práticas agronômicas sobre o crescimento, além de fatores intrínsecos, e fatores ambientais associados às alterações do crescimento das plantas, tais como efeito de poluentes. Sua principal vantagem está na obtenção de informações em intervalos regulares, sem a necessidade de laboratórios e/ou equipamentos sofisticados, uma vez que as informações necessárias para conduzir tais análises, são a determinação da matéria seca da planta e a dimensão do aparelho fotossintetizante ou área foliar (BENINCASA, 2003).

Diante do exposto, esta pesquisa teve por objetivo avaliar o efeito de diferentes concentrações de sulfato de alumínio e cloreto de manganês no crescimento do rabanete (*Raphanus sativus* L.) ao longo da ontogenia das plantas.

2. MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi conduzido em casa de vegetação do Departamento de Botânica da Universidade Federal de Pelotas no período de abril a maio de 2010.

Sementes de rabanete (*Raphanus sativus* L.) cv. Vip Crimson S Especial foram semeadas em bandejas não perfuradas, de tamanho 0,57 x 0,38 x 0,15 m, contendo solo do tipo planossolo háplico hidromórfico distrófico, avaliado pelo Laboratório de Análises de Solos da Universidade Federal de Pelotas (Tab. 1), previamente irrigado com as diferentes concentrações das soluções dos metais, sulfato de alumínio - $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ - (0, 20 e 40 mgL^{-1}) e cloreto de manganês - MnCl_2 - (0, 540 e 810 mgL^{-1}). Em cada bandeja foram semeadas 50 sementes, totalizando 750 sementes distribuídas em quinze bandejas. Ao longo do experimento, irrigações com água foram realizadas de acordo com a exigência hídrica da cultura, mantendo a umidade do solo próxima a capacidade de campo. As avaliações foram realizadas durante as coletas que ocorreram em intervalos regulares de quatro dias a partir do quarto dia após a emergência (DAE), totalizando oito coletas, ao longo do ciclo da cultura durante 32 dias.

Tabela 1- Análise parcial do substrato

pH água 1:1	Ca	Mg	Al	H+Al	CTC efetiva	Saturação (%)	Índice SMP
	(cmol _d /dm ³)					Al	Bases
4,9	0,5	0,6	1,3	5,5	2,6	50	19
							5,8

Em cada coleta, as plantas foram cortadas rente ao solo, separadas em partes (parte aérea e raiz). A área foliar (A_f) foi determinada com o medidor de área marca Licor, modelo LI-3000 e o índice de área foliar (L) calculado pela fórmula $L = A_f/S_t$, sendo S_t a superfície da bandeja ocupada pelas plantas colhidas. As raízes foram lavadas sobre peneiras, até a remoção do solo aderente. Após, o

material foi acondicionado separadamente (folhas, tubérculos e raízes) em sacos de papel e colocados em estufa à temperatura de 70 ± 2 °C, onde permaneceu até massa constante. A matéria seca foi determinada gravimetricamente em balança de precisão.

Os dados primários de matéria seca total acumulada (W_t) foram ajustados pela equação logística simples, $W_t = W_m/(1+Ae^{-Bt})$, sendo W_m a estimativa assintótica do crescimento máximo, “A” e “B” constantes de ajustamento, “e” a base natural de logaritmo neperiano e “t” o tempo em dias após a emergência (RICHARDS, 1969), enquanto, os dados primários de área foliar (A_f) foram ajustados com o emprego de polinômios ortogonais (RICHARDS, 1969). Os valores instantâneos da taxa de produção de matéria seca (C_t) foram obtidos por meio de derivadas das equações ajustadas da matéria seca total (W_t) em relação ao tempo (RADFORD, 1967). Para determinação dos valores instantâneos da taxa de crescimento relativo (R_w) e taxa de crescimento relativo de área foliar (R_a) foram empregadas as fórmulas $R_w = 1/W_t \cdot dW_t/dt$ e $R_a = 1/A_f \cdot dA_f/dt$. Os valores instantâneos da taxa assimilatória líquida (E_a), a razão de área foliar (F_a), razão de massa foliar (F_w) e área foliar específica (S_a) foram estimados por meio das equações: $E_a = 1/A_f \cdot dW_t/dt$; $F_a = A_f/W_t$; $F_w = W_f/W_t$ e $S_a = A_f/W_t$, conforme Radford (1967).

O delineamento experimental foi inteiramente casualizado em esquema fatorial (1 x 3 x 8), constituído por uma cultivar, três concentrações de cada metal e oito épocas de coleta, com três repetições estatísticas por tratamento.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

A matéria seca total (W_t) foi crescente em todos os tratamentos ao longo da ontogenia das plantas (Fig.1A, 1B e 1C), sendo ajustada por equações logísticas, com altos coeficientes de determinação ($R^2 \geq 0,91$). No entanto, nas plantas tratadas com os metais (Al e Mn), W_t foi maior que no controle, sendo que com o manganês mostrou um aumento mais acentuado. Apesar dos valores de W_t entre as duas concentrações de $Al_2(SO_4)_3$ utilizadas, assim como entre as duas concentrações de $MnCl_2$, mostrarem discreta diferença entre si, nota-se que tanto o alumínio como o manganês estimularam o crescimento das plantas.

A matéria seca total pode ser aplicada para definir a produção. Os principais fatores responsáveis pela produção de matéria seca são a área foliar (L), a taxa assimilatória líquida (E_a) e a radiação solar incidente (MONTEITH, 1969). A taxa de produção de matéria seca de uma cultura pode ser expressa pelo produto da área foliar pela taxa assimilatória líquida. Segundo Watson (1952), dos dois fatores, a área foliar é, em geral, o mais importante, porque a variação na produção de matéria seca está associada, principalmente, com a variação na área foliar. À medida que aumenta o índice de área foliar, a absorção de luz e a taxa de produção de matéria seca também aumentam, embora o índice de área foliar ótimo varie de acordo com a espécie, cultivar e estação do ano (LOOMIS; WILLIAMS, 1963).

A taxa de produção de matéria seca (C_t) é uma característica amplamente usada para expressar a eficiência da produção do estande de plantas e revela o incremento de matéria seca por unidade de área e de tempo. Tanto o $Al_2(SO_4)_3$ como o $MnCl_2$ influenciaram positivamente esta variável quando comparada ao controle, sendo que a solução de manganês promoveu maior aumento em C_t do que a de alumínio (Fig. 1D, 1E e 1F). Os valores máximos de C_t foram atingidos aos 16 DAE com $4,2 \text{ gm}^{-2}\text{d}^{-1}$ para o controle e aos 28 DAE para o $Al_2(SO_4)_3$ com valores de 9,5 e $13,2 \text{ gm}^{-2}\text{d}^{-1}$, respectivamente nas concentrações de 20 e 40 mgL^{-1} e aos 32 DAE para o $MnCl_2$ com 23,7 e $31,9 \text{ gm}^{-2}\text{d}^{-1}$, nas concentrações de 540 e 810 mgL^{-1} . A redução inicial em C_t pode estar relacionada com a pequena área foliar no período inicial de desenvolvimento da cultura (PEDÓ et al., 2010), sendo um índice importante, pois mostra o tamanho da maquinaria fotossintética que, por sua vez, determina o acúmulo de matéria seca, o metabolismo vegetal, a capacidade fotossintética potencial, o rendimento e qualidade da colheita (JORGE; GONZALEZ, 1997).

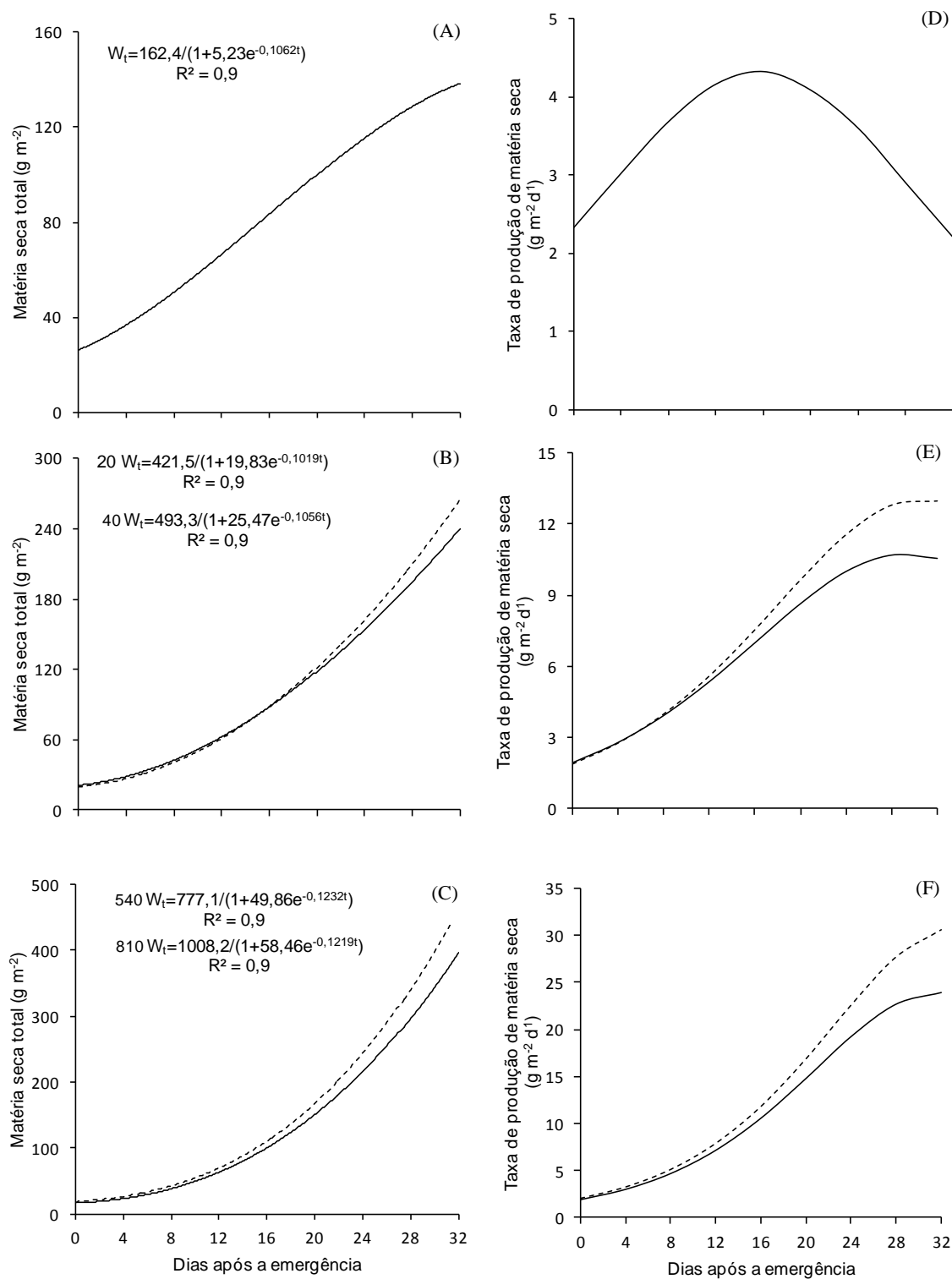


Figura 1. Matéria seca total e Taxa de produção de matéria seca em plantas de rabanete no controle (A e D) e nas tratadas com 20 (—) e 40 (...) mg L⁻¹ Al₂(SO₄)₃ (B e E), e, 540 (—) e 810 (...) mg L⁻¹ MnCl₂ (C e F) ao longo da ontogenia.

A taxa de crescimento relativo (R_w) expressa o incremento de massa seca em relação à biomassa pré-existente, sendo matematicamente obtida pela razão entre a taxa de produção de matéria seca (C_t) e a matéria seca total acumulada (W_t). Em todos os tratamentos, R_w foi decrescente ao longo do ciclo de vida das plantas. No entanto, as plantas tratadas com $MnCl_2$ mostraram valores de R_w maiores que as tratadas com $Al_2(SO_4)_3$ e estas, por sua vez, maiores que as do controle. Entre as concentrações utilizadas tanto de Al como de Mn, não houve diferença entre os valores de R_w , porém a declividade de R_w nas plantas do tratamento controle foi mais acentuada que nas plantas tratadas com os metais (Fig. 2A, 2B e 2C).

A alta taxa de crescimento no início do ciclo é devida à maior parte da área foliar da planta ser constituída por folhas jovens de elevada capacidade fotossintética e com alta taxa de crescimento (AUMONDE et al., 2011). No entanto, com o aumento da massa seca acumulada pelas plantas, ocorre aumento da necessidade de fotoassimilados para a manutenção das estruturas já formadas. Assim, a quantidade de fotoassimilados disponível para o crescimento tende a ser menor e, conseqüentemente, R_w declina ao longo da ontogenia da planta. Outro fator que pode contribuir com o declínio de R_w é o alto índice de área foliar, ocasionando maior interferência de folhas superiores sobre as inferiores (auto-sombreamento) e, portanto diminuindo a área foliar útil (BENINCASA, 2003).

De acordo com Marschner (2003), em concentrações moderadas de alumínio, a inibição do crescimento celular é o evento primário, sendo a inibição da divisão celular uma resposta aos efeitos sobre o crescimento celular, refletindo a regulação dos processos de crescimento e desenvolvimento das plantas. No entanto, resultados obtidos em quatro cultivares de café demonstram que a concentração de 45 mgL^{-1} de $Al_2(SO_4)_3$ proporciona incremento de matéria seca (MACEDO, et al., 2008), corroborando com os resultados encontrados nesse estudo.

Diversos mecanismos bioquímicos têm sido propostos para explicar a tolerância ao alumínio em plantas. Dentre esses, a ação de polipeptídeos do citoplasma como moléculas quelantes (ABICHEQUER et al., 2003), a existência de enzimas, cuja atividade não é prejudicada pelo alumínio e a eliminação do alumínio do ambiente celular por compartimentalização no vacúolo (MACEDO et

al., 2008). Da mesma forma, a maior tolerância de certas cultivares de feijão ao manganês é atribuída, principalmente, à capacidade de suportar elevadas concentrações desse elemento no interior das folhas e não à sua menor absorção (CAMARGO; OLIVEIRA, 1983).

Muitas espécies e mesmo variedades de plantas diferem marcadamente em suas respostas à disponibilidade de nutrientes no solo. As causas residem nas exigências nutricionais diferenciadas, na capacidade de absorção, de translocação e de utilização dos nutrientes (TOMAZ et al, 2006).

O índice de área foliar (L) é a relação entre a área foliar total e a superfície do solo disponível para a planta, sendo, portanto, adimensional. Esta variável foi crescente em todos os tratamentos ao longo da ontogenia das plantas, sendo maior nas plantas tratadas com $MnCl_2$, seguido das tratadas com $Al_2(SO_4)_3$ e por último nas plantas controle. O índice de área foliar máximo foi atingido para as plantas controle aos 28 DAE, com valor de 0,51, começando então a declinar, enquanto que para as tratadas com os metais estes máximos foram atingidos aos 32 DAE, com valores de 0,50 e 0,84, respectivamente para as concentrações de 20 mgL^{-1} e 40 mgL^{-1} de $Al_2(SO_4)_3$, e 1,00 e 1,33 para as concentrações de 540 mgL^{-1} e 810 mgL^{-1} de $MnCl_2$, respectivamente. As plantas tratadas com $MnCl_2$ produziram em torno de duas a três vezes mais área foliar do que as não tratadas, sendo o dobro na concentração de 540 mgL^{-1} e o triplo na concentração de 810 mgL^{-1} . No entanto, com $Al_2(SO_4)_3$ somente aquelas tratadas com a concentração mais elevada, 40mgL^{-1} , tiveram L duas vezes maior que o das plantas controle (Fig. 2D, 2E e 2F).

O índice de área foliar após atingir o máximo segue uma tendência normal de declínio com o aumento na idade da planta, em virtude da taxa de senescência foliar se sobrepor a taxa de emissão de novas folhas (LOPES et al., 1986). Desta forma, fica evidente que a senescência foliar é retardada nas plantas tratadas com as soluções contendo as diferentes concentrações dos metais utilizados, principalmente com o manganês, uma vez que nestas plantas, aos 32 DAE esta variável ainda foi crescente.

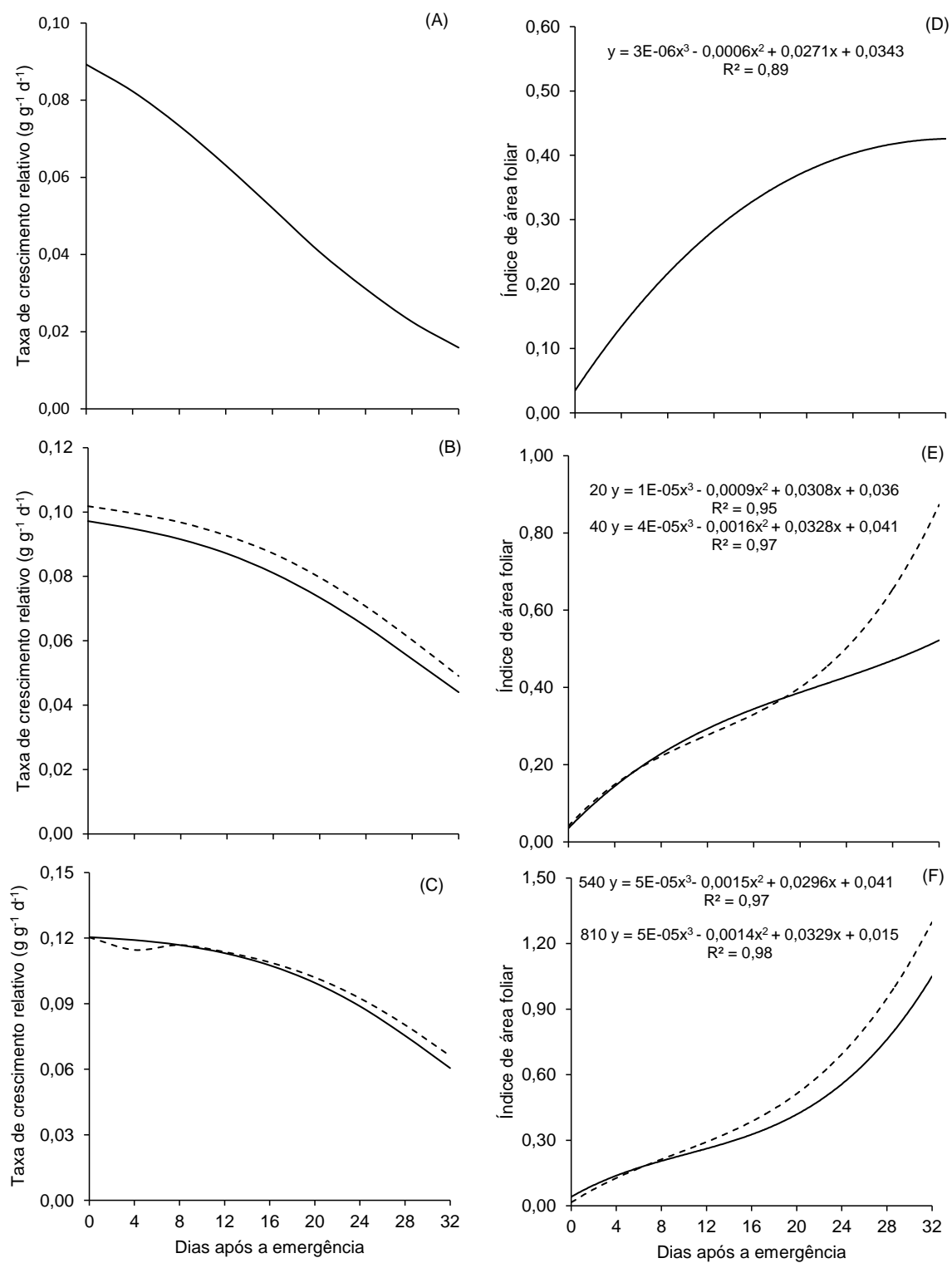


Figura 2. Taxa de crescimento relativo e Índice de área foliar de plantas de rabanete no controle (A e D) e nas tratadas com 20 (—) e 40 (...) mg L⁻¹ Al₂(SO₄)₃ (B e E), e 540 (—) e 810 (...) mg L⁻¹ MnCl₂ (C e F) ao longo da ontogenia.

A taxa de crescimento de área foliar (C_a) nas plantas controle cresceu de forma acentuada até aproximadamente 18 DAE, atingindo o valor máximo de $0,0157 \text{ m}^2\text{m}^{-2}\text{d}^{-1}$, decrescendo drasticamente até os 28 DAE, com valor de $0,00042 \text{ m}^2\text{m}^{-2}\text{d}^{-1}$. Nas plantas tratadas com a menor concentração de $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ (20 mgL^{-1}), C_a não diferiu do controle, aumentando até os 20 DAE, com valor máximo de $0,0166 \text{ m}^2\text{m}^{-2}\text{d}^{-1}$. Por outro lado, naquelas que receberam a concentração de 40 mgL^{-1} , C_a incrementou até o final do ciclo, atingindo aos 32 DAE, o valor de $0,048 \text{ m}^2\text{m}^{-2}\text{d}^{-1}$. Nas plantas tratadas com a concentração de 540 mgL^{-1} de MnCl_2 , C_a aumentou linearmente do oitavo DAE até o final do ciclo de cultivo, atingindo o valor de $0,066 \text{ m}^2\text{m}^{-2}\text{d}^{-1}$. No entanto, com a concentração de 810 mgL^{-1} , os acréscimos em C_a foram inicialmente lentos, até o oitavo DAE, incrementando de forma exponencial até a coleta final, atingindo o valor de $0,0861 \text{ m}^2\text{m}^{-2}\text{d}^{-1}$ (Fig. 3A, 3B e 3C). É possível verificar que o aumento nas concentrações de metais proporcionou aumento de C_a , o que indica incremento na velocidade de crescimento da superfície foliar.

A taxa de crescimento relativo de área foliar (R_a) representa o incremento em A_f , em relação a A_f pré-existente e é obtida pela razão entre a taxa de crescimento de área foliar (C_a) e a área foliar (A_f). R_a máximo para as plantas controle foi atingido aos 14 DAE, com o valor de $0,06 \text{ m}^2\text{m}^{-2}\text{d}^{-1}$, enquanto que para as plantas tratadas com $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ foi aos 16 DAE, para a menor concentração (20 mgL^{-1}) e aos 20 DAE, para a maior (40 mgL^{-1}), com valores de $0,05 \text{ m}^2\text{m}^{-2}\text{d}^{-1}$ e $0,07 \text{ m}^2\text{m}^{-2}\text{d}^{-1}$, respectivamente. Com o MnCl_2 , R_a atingiu o máximo aos 18 DAE, com o valor de $0,09 \text{ m}^2\text{m}^{-2}\text{d}^{-1}$ na concentração menor (540 mgL^{-1}) e na maior concentração (810 mgL^{-1}) o valor máximo de R_a foi de $0,08 \text{ m}^2\text{m}^{-2}\text{d}^{-1}$ aos 24 DAE (Fig. 3D, 3E e 3F). Em todos os tratamentos, R_a declinou após atingir o máximo, com exceção das plantas que receberam a maior concentração de Mn, que continuaram crescendo até a coleta final.

A taxa assimilatória líquida (E_a) é o incremento da biomassa por unidade de área foliar e de tempo, ou seja, expressa a taxa de fotossíntese líquida, em termos de matéria seca produzida (CONCEIÇÃO et al., 2005). E_a é obtida pela razão entre C_t e A_f , sendo dependente da radiação solar e do L.

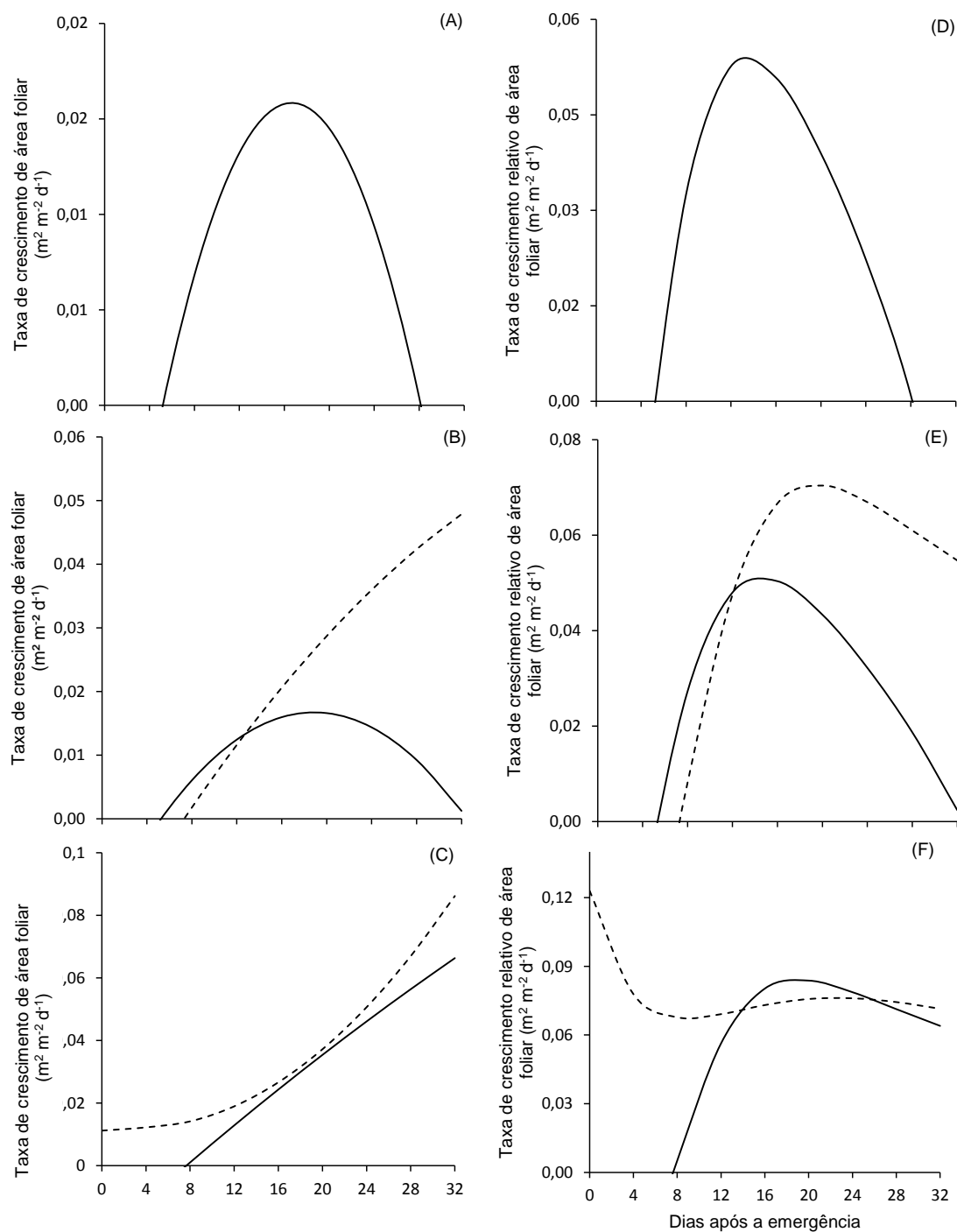


Figura 3. Taxa de crescimento de área foliar e Taxa de crescimento relativo de área foliar em plantas de rabanete no controle (A e D) e nas tratadas com 20 (—) e 40 (...) mgL⁻¹ Al₂(SO₄)₃ (B e E) e 540 (—) e 810 (...) mgL⁻¹ MnCl₂ (C e F) ao longo da ontogenia.

Em todos os tratamentos, E_a aumentou até atingir os valores máximos, sendo que posteriormente decresceu até o final do ciclo de cultivo (Fig. 4A, 4B e 4C). Para as plantas controle, este valor máximo foi de $18,5 \text{ gm}^{-2}\text{d}^{-1}$, alcançado aos 9 DAE. No tratamento com $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$, os valores máximos de E_a foram de $24 \text{ gm}^{-2} \text{ d}^{-1}$ e $22 \text{ gm}^{-2}\text{d}^{-1}$ atingidos aos 16 DAE e aos 20 DAE, respectivamente, em ordem crescente de concentrações. Da mesma forma, nas plantas tratadas com MnCl_2 , estes máximos foram alcançados aos 20 DAE, nas duas concentrações, com valores de $35 \text{ gm}^{-2}\text{d}^{-1}$ para a concentração de 540 mgL^{-1} e $33 \text{ gm}^{-2}\text{d}^{-1}$ na de 810 mgL^{-1} . O tratamento com metais além de ter retardado a obtenção dos máximos de E_a , proporcionou maiores incrementos nos valores desta variável, em relação ao controle, principalmente quando o metal utilizado era manganês. Os resultados obtidos podem ser explicados pelo fato de E_a não ser determinada apenas pela taxa fotossintética, mas também pela dimensão da área foliar, conforme evidenciado na Figura 2 (D, E e F), pela duração do período vegetativo, distribuição das folhas no dossel, ângulo foliar, translocação e partição de assimilados (AUMONDE et al., 2011).

A razão de área foliar (F_a) é um componente morfofisiológico do crescimento que expressa a razão entre a área foliar (A_f) e a massa seca total (W_t) e representa a superfície assimilatória por unidade de matéria seca total. A razão de área foliar para todos os tratamentos seguiu a tendência normal de decréscimo, estabilizando em torno dos 10 DAE, até o final do ciclo de cultivo (Fig. 4D, 4E e 4F). Os valores obtidos para F_a foram sempre maiores nas plantas tratadas com ambas as concentrações dos metais estudados (Al ou Mn), quando comparados com os valores obtidos no tratamento controle. F_a expressa a área foliar útil para a fotossíntese, sendo a relação entre a área foliar responsável pela interceptação da energia luminosa e CO_2 e a massa seca total, resultado da fotossíntese (BENINCASA, 2003). Desse modo, F_a declina à medida que a planta cresce, pois com o crescimento aumenta a interferência das folhas superiores sobre as inferiores, induzindo o aumento da área foliar sem o correspondente aumento da massa seca da parte aérea, ou seja, diminuindo a área foliar útil (BENINCASA, 1988). Independente do tratamento a que as plantas de rabanete foram submetidas, F_a tendeu ao decréscimo durante o desenvolvimento. Assim, as plantas têm maior F_a no início do ciclo vegetativo, decrescendo com a maturação da planta (COSTA et al., 2006).

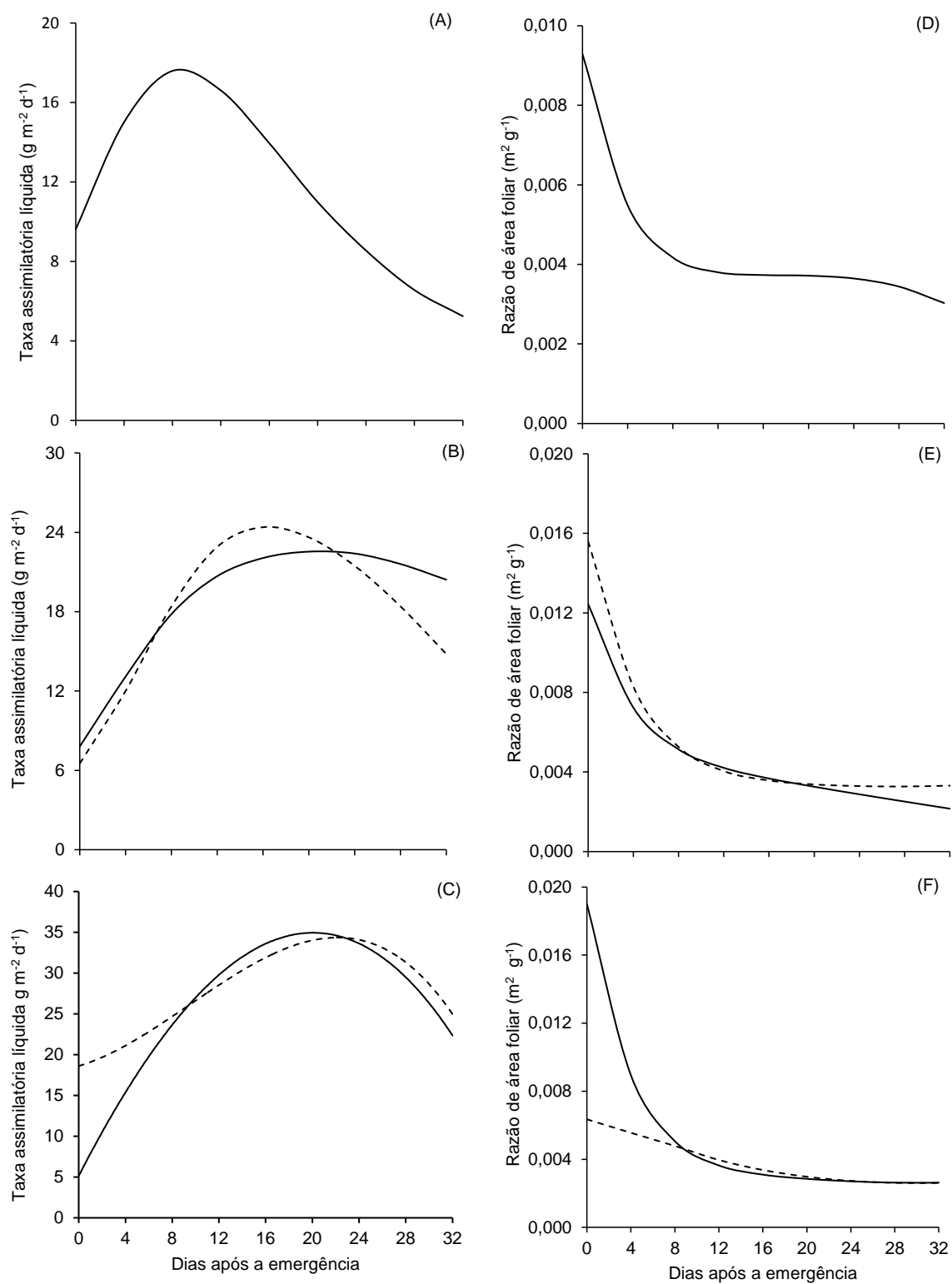


Figura 4. Taxa assimilatória líquida e Razão de área foliar em plantas de rabanete no controle (A e D) e nas tratadas com 20 (—) e 40 (...) mgL⁻¹ Al₂(SO₄)₃ (B e E) e 540 (—) e 810 (...) mgL⁻¹ MnCl₂ (C e F) ao longo da ontogenia.

A razão de massa foliar (F_w) é um componente da razão de área foliar e representa a relação entre a matéria seca acumulada nas folhas (W_f) e a matéria seca total (W_t). Em todos os tratamentos, F_w seguiu tendência normal, sendo que os valores máximos de F_w foram de $2,76 \text{ gg}^{-1}$ para o controle, $2,61$ e $3,11 \text{ gg}^{-1}$ para as concentrações de 20 e 40 mgL^{-1} de $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ e, $2,68$ e $3,26 \text{ gg}^{-1}$ para as concentrações de 540 e 810 mgL^{-1} de MnCl_2 , atingidos em todos os casos, aos 4 DAE e, declinando a seguir. A partir dos 16 DAE, houve tendência à estabilização em F_w , porém sempre com valores positivos.

A aplicação dos metais não alterou a tendência normal no que concerne ao incremento de matéria seca nas folhas durante a ontogenia (Fig. 5A, 5B e 5C). Inicialmente o aumento de F_w é devido a alta translocação de fotoassimilados preferencialmente para as folhas (AUMONDE et al., 2011), o que, nesse estudo, foi mais evidente nas maiores concentrações dos metais, corroborando com os resultados obtidos por Costa et al. (2006), ao determinarem o crescimento do rabanete, sob diferentes fontes e doses de adubo orgânico. No momento em que as folhas atingiram sua máxima expansão, começou a haver redução da razão de massa de folhas, ou seja, ocorreu direcionamento dos fotoassimilados para a raiz da planta (COSTA et al., 2006). O aumento acentuado dos valores de F_w no início do ciclo de mini melancia caracterizam este período como sendo de grande crescimento foliar, onde os fotoassimilados são direcionados preferencialmente para as folhas (AUMONDE et al., 2011).

A área foliar específica (S_a) é a relação entre a área foliar (A_f) e a matéria seca da folha (W_f), e representa o quanto de fotoassimilados produzidos se acumulou na folha. Os valores de S_a mostraram-se semelhantes entre os tratamentos, sendo que os máximos foram atingidos aos 4 DAE em todos os tratamentos com tendência de decréscimo em torno do oitavo DAE, seguido de pequenos picos de elevação até a colheita final. Entretanto, o tratamento com MnCl_2 demonstrou tendência de elevação a partir dos 24 DAE, em ambas as concentrações, que provavelmente possa ter coincido com o início do florescimento (Fig. 5D, 5E e 5F).

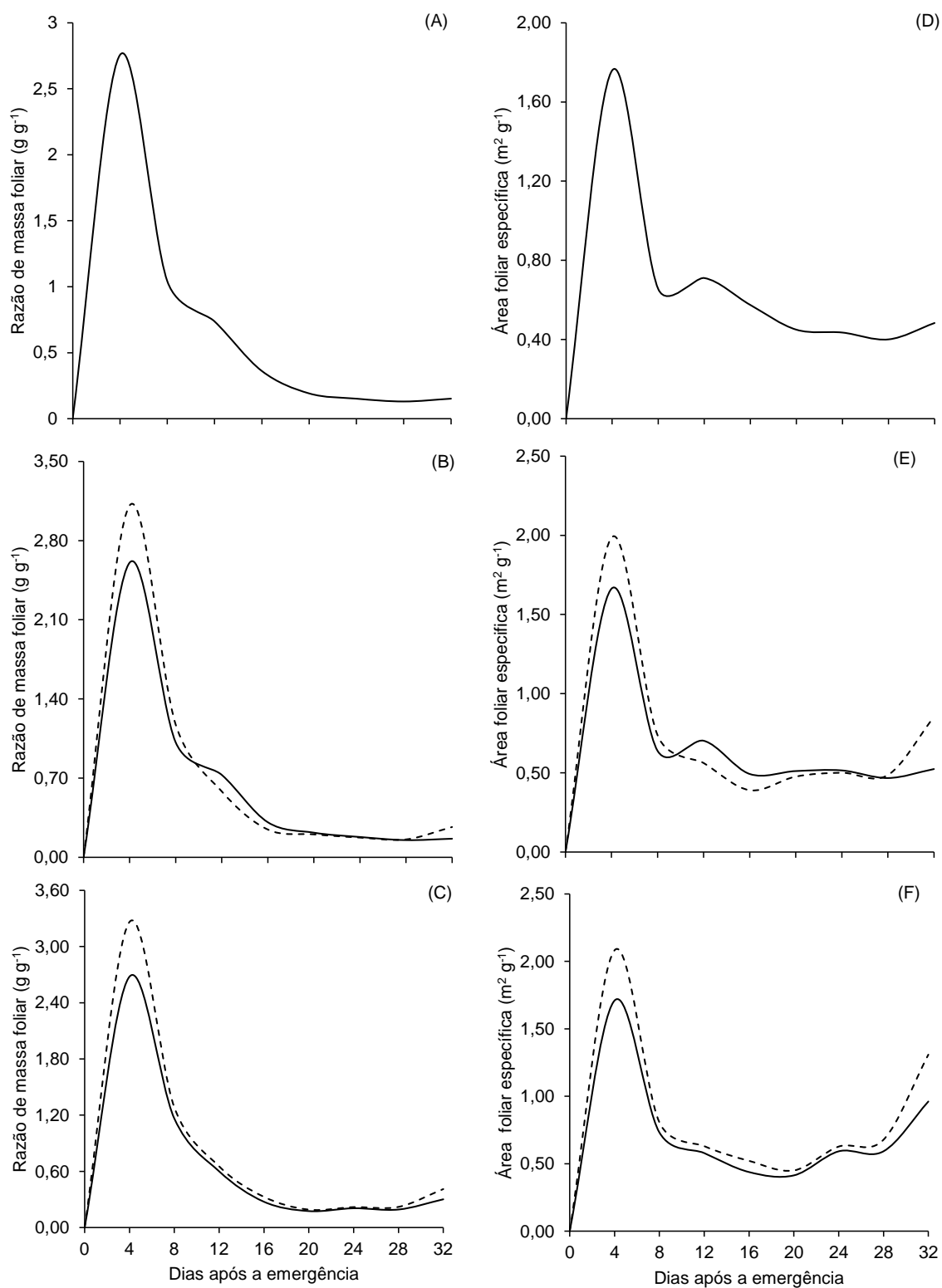


Figura 5. Razão de massa foliar e Área foliar específica em plantas de rabanete no controle (A e D) e nas tratadas com 20 (—) e 40 (...) mgL⁻¹ Al₂(SO₄)₃ (B e E) e 540 (—) e 810 (...) mgL⁻¹ MnCl₂ (C e F) ao longo da ontogenia.

A área foliar específica é o componente morfológico e anatômico da razão de área foliar, porque relaciona a superfície foliar com a matéria seca da própria folha, ou seja, a superfície foliar é componente morfológico e o número e tamanho das células do mesófilo foliar é anatômico (BENINCASA, 2003). De maneira geral, a área foliar específica (S_a) diminui ao longo do ciclo das plantas. No início do desenvolvimento, os valores de S_a podem ser maiores, revelando folhas pouco espessas, com pouca massa seca e área foliar (BENINCASA, 2003). O decréscimo nas curvas de S_a pode ser explicado pela redução ou paralisação da expansão da área foliar associada ao incremento de matéria seca de folha, podendo ainda denotar o incremento da espessura foliar (AUMONDE et al., 2011).

Baseado nos resultados obtidos pode-se afirmar que os parâmetros de crescimento avaliados, tanto os relacionados ao incremento de matéria seca como os relacionados à área foliar foram influenciados positivamente pela presença das duas concentrações e dos dois metais testados.

O manganês tem importante papel no metabolismo das plantas, atuando em processos de ativação de diferentes enzimas, síntese de clorofila e fotossíntese (FAGERIA, 2001). A deficiência de manganês em feijão é caracterizada por enrugamento e murchamento das folhas. Da mesma forma, os sintomas de toxicidade pelo manganês nesta espécie são mais pronunciados nas folhas (SORATTO et al., 2005), o que contraria os resultados apresentados neste trabalho. O manganês é um micronutriente, o que provavelmente tenha contribuído para a tolerância do rabanete. Kohno et al. (1984) observaram o efeito da concentração de manganês em duas cultivares de feijão, sendo uma tolerante e uma sensível à toxidez, em solução nutritiva. Os autores concluíram que a cultivar sensível apresentou redução de 31% na matéria seca total. Entretanto, nas mesmas condições, a cultivar tolerante não apresentou decréscimo na produção de matéria seca.

A fitotoxicidade por alumínio tem sido registrada em função do pH ácido e do teor de Al. O alumínio pode, em alguns casos e em baixas concentrações, induzir um aumento no crescimento ou produzir outros efeitos desejáveis, como a correção ou prevenção da deficiência de ferro pela liberação do ferro adsorvido em sítios metabolicamente inativos dentro da planta ou bloquear sítios, na

parede celular, carregados negativamente, promovendo a absorção de fósforo (MARSCHNER, 1995).

A resposta de uma planta às condições do meio pode ser variável dentro da mesma espécie. Pedó et al. (2010) demonstraram que o rabanete tem comportamento diferenciado, no que concerne aos parâmetros de crescimento, de acordo com a cultivar avaliada. O estudo do efeito de metais pesados em duas variedades de rabanete também confirma este comportamento, onde foi verificado que as variedades analisadas diferiram na capacidade de acumular metais e na taxa de crescimento, caracterizando uma variedade como sensível e a outra como tolerante (MATHÉ-GASPÁR; ANTON, 2002). Nas condições em que este experimento foi realizado, a cultivar de rabanete Vip Crimson S Especial mostrou ser tolerante ao alumínio e manganês, tendo os mesmos, promovido efeitos benéficos nas variáveis analisadas, o que nos permite inferir que a cultivar apresenta potencial para estudos com fitorremediação destes metais, cuja toxidez constitui um dos maiores problemas em solos ácidos.

4. CONCLUSÃO

Todas as características de crescimento das plantas de rabanete cv. Vip Crimson S Especial são positivamente influenciadas pela aplicação das soluções de sulfato de alumínio e cloreto de manganês. No entanto, o manganês é mais eficiente em promover o crescimento do que o alumínio. Desta forma, pode-se inferir que a cultivar apresenta potencial para estudos com fitorremediação destes metais, cuja toxidez constitui um dos maiores problemas em solos ácidos.

CAPÍTULO 3

ATRIBUTOS MORFOLÓGICOS E PARTIÇÃO DE ASSIMILADOS EM PLANTAS DE RABANETE TRATADAS COM DIFERENTES CONCENTRAÇÕES DE ALUMÍNIO E MANGANÊS AO LONGO DA ONTOGENIA

Morphological attributes and assimilates partition in radish plants treated with different concentrations of aluminum and manganese during the ontogeny

RESUMO

O objetivo desta pesquisa foi determinar os atributos morfológicos e a partição de matéria seca entre os órgãos de plantas de rabanete crescidas em diferentes concentrações de alumínio e manganês, durante o ciclo da cultura, bem como, determinar o teor de metais na parte aérea e no sistema radical. O experimento foi conduzido em casa de vegetação, empregando o delineamento experimental inteiramente casualizado, em esquema fatorial (1 x 3 x 8), constituído por uma cultivar Vip Crimson S Especial, três concentrações de sulfato de alumínio (0, 20 e 40 mgL⁻¹) e de cloreto de manganês (0, 540 e 810 mgL⁻¹) e oito épocas de coletas realizadas em intervalos regulares de quatro dias, com três repetições. Os atributos morfológicos das plantas de rabanete foram influenciados positivamente pelas concentrações de metais, sendo o manganês mais eficiente. Os metais incrementaram o acúmulo de biomassa nas raízes de rabanete, contribuindo para aumentar o índice de colheita, o que pode ser observado principalmente na maior concentração de manganês. A quantificação de metais nas plantas de rabanete evidenciou maior acúmulo tanto de alumínio quanto de manganês com o aumento das concentrações utilizadas, entretanto, o Mn acumulou preferencialmente na parte aérea, enquanto o Al prioritariamente nas raízes do rabanete. A cultivar de rabanete avaliada foi tolerante aos metais testados nas concentrações utilizadas,

sendo portanto, planta com potencial fitorremediador para solos com acidez nociva causada por Al e Mn.

Palavras-chave: *Raphanus sativus* L. Crescimento. Metais. Fotoassimilados.

ABSTRACT

The objective of the research was determined the morphological attributes and partition of dry matter among organs of radish grown under different concentrations of aluminum and manganese, during the cycle of the plants, as well as, quantify the metals on shoot and roots in the final harvest. The experiment was conducted in greenhouse, using an experimental design entirely randomized in a factorial scheme (1 x 3 x 8), constituted for one cultivar Vip Crimson S Special, three concentrations of aluminum sulfate (0, 20 and 40 mgL⁻¹) and manganese chloride (0, 540 and 810 mgL⁻¹), and eight harvest times realized on regular intervals of four days, with three replications. The morphological attributes of radish plants was influenced positively by metals concentration, but the manganese was more efficient. The metals increased the biomass accumulation on radish roots, contributing to augment of harvest index. This effect was more accentuate with the higher manganese concentration. The metals quantification in radish plants showed that have an increase on aluminum and manganese accumulation with augment in the concentration. However, the Mn accumulated preferentially on shoots while Al priority on roots of radish. Then, the radish was tolerant for both metals on concentrations tested, being plant with potential to remedy soil with harmful acidity caused by Al and Mn.

Key-words: *Raphanus sativus* L. Growth. Metals. Photoassimilates.

1. INTRODUÇÃO

O rabanete (*Raphanus sativus* L.) é uma espécie pertencente à família Brassicaceae, considerada uma cultura antiga originária de múltiplas espécies selvagens. No Brasil, a produção é pouco expressiva, embora seja uma cultura de rápido retorno financeiro devido ao ciclo curto (30 a 40 dias), sendo uma das espécies de desenvolvimento mais rápido (PULITI et al., 2009). É uma hortaliça rica em vitamina C, ácido fólico, potássio, vitamina B₆, apresenta atividade antioxidante e propriedades medicinais (CAMARGO et al., 2007). A parte de

interesse comercial desta hortaliça é a raiz tuberosa de formato globular, ovoide ou alongado, sendo seu tamanho definido pelo mercado consumidor e, como regra geral deve possuir coloração característica, ausência de danos físicos e de rachaduras relacionadas à desordens fisiológicas (ROSSI; MONTALDI, 2004). Seu cultivo não requer técnicas sofisticadas, sendo que informações relativas às fases de desenvolvimento são necessárias para analisar o crescimento nos diferentes estádios de desenvolvimento.

O crescimento pode ser descrito como a capacidade da planta em sintetizar fotoassimilados nas folhas e alocar matéria seca nos diversos órgãos (MARENCO; LOPES, 2009). Desta forma, o conhecimento sobre os fatores relacionados ao crescimento e desenvolvimento das plantas, permite planejar melhores técnicas de cultivo.

Nas plantas superiores o carbono fixado na fotossíntese contribui com cerca de 45% da matéria seca do vegetal. O carbono fixado é transportado das fontes para os drenos através do floema, um tecido especializado na condução de substâncias orgânicas. Comumente as fontes são representadas por folhas completamente desenvolvidas e os drenos por folhas jovens, caules, frutos em desenvolvimento, meristemas e raízes (LALONDE et al., 2003).

O acúmulo de matéria seca é sequencial, ocorrendo mudanças no dreno metabólico preferencial de um órgão para o outro, em virtude das transformações morfológicas das plantas ao longo do ciclo de desenvolvimento (LOPES; MAESTRI, 1981). Portanto, a avaliação da partição de assimilados pode determinar o investimento parcial de matéria seca no órgão de interesse econômico na planta.

As raízes tuberosas, como é o caso do rabanete, compreendem uma alta proporção da matéria seca total. A produção da raiz tuberosa é uma função da capacidade do dreno e do potencial da fonte, podendo a mesma ser reduzida pela limitação de um desses componentes ou, diretamente, por fatores ambientais (CONCEIÇÃO et al., 2004).

Atualmente, a contaminação dos solos por metais pesados é um grave problema ambiental, devido a persistência e elevado poder de toxicidade. O aumento das áreas contaminadas sem tratamento e a ocorrência de solos ácidos, podem provocar perdas significativas na produção de alimentos, em um futuro próximo (KOS; LESTAN, 2003). Entre os problemas de um solo ácido, destacam-

se a menor disponibilidade de alguns nutrientes, especialmente fósforo e molibdênio, e a fitotoxicidade de alumínio e manganês.

O manganês, sendo um micronutriente, atua em vários processos fisiológicos nas plantas e sementes, como ativação de enzimas e participação na reação de fotólise da água e na evolução do O_2 no sistema fotossintético, na síntese de clorofila e na formação, multiplicação e funcionamento dos cloroplastos. Entretanto, quando em altas concentrações, na sua forma trocável e solúvel, pode levar os tecidos vegetais a acumularem quantidades tóxicas do nutriente, afetando severamente a parte aérea das plantas (FOY, 1973; PAVAN; BINGHAM, 1981). O excesso de manganês parece ser prejudicial principalmente ao aparelho fotossintético (MUKHOPADHYAY; SHARMA, 1991). As raízes também são afetadas, porém, somente em casos mais extremos, ocasião em que as folhas já mostram estar injuriadas (FOY et al., 1978).

O alumínio (Al) não é considerado um nutriente para os vegetais, como o é o manganês (Mn). No entanto, ambos têm importante papel na nutrição das plantas cultivadas, principalmente em solos de regiões tropicais úmidas, bastante intemperizados, pois podem estar em concentrações tóxicas. Por meio das análises químicas do solo, sabe-se que existe correlação inversa entre valores de pH e concentração destes elementos presentes nas formas trocáveis e solúveis. Em elevadas concentrações de Al no solo, o desenvolvimento do sistema radical é negativamente afetado, com aumento do diâmetro das raízes e reduzido número daquelas absorventes, dificultando a absorção de nutrientes e de água, (MASCARENHAS et al., 2004). A toxicidade de alumínio ou de manganês são os fatores que mais limitam o desenvolvimento das plantas em solos ácidos (CARNEIRO et al., 2001).

Desta forma, o objetivo deste trabalho foi determinar os efeitos de diferentes concentrações de sulfato de alumínio e cloreto de manganês sobre os atributos morfológicos e a partição de matéria seca entre os órgãos de plantas de rabanete, durante o ciclo da cultura, bem como quantificar o teor destes metais na parte aérea e raízes destas plantas, na coleta final.

2. MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi conduzido em casa de vegetação do Departamento de Botânica da Universidade Federal de Pelotas no período de abril a maio de 2010.

Sementes de rabanete (*Raphanus sativus* L.) cv. Vip Crimson S Especial foram semeadas em bandejas não perfuradas, de tamanho 0,57 x 0,38 x 0,15 m, contendo solo do tipo planossolo háplico hidromórfico distrófico, avaliado pelo Laboratório de Análises de Solos da Universidade Federal de Pelotas (Tab. 1), previamente irrigado com as diferentes concentrações das soluções dos metais, cloreto de manganês – $MnCl_2$ - (0, 540 e 810 mgL^{-1}) e sulfato de alumínio - $Al_2(SO_4)_3$ – (0, 20 e 40 mgL^{-1}). Em cada bandeja foram semeadas 50 sementes, totalizando 750 sementes distribuídas em quinze bandejas. Ao longo do experimento, irrigações com água foram realizadas de acordo com a exigência hídrica da cultura, mantendo a umidade do solo próxima a capacidade de campo. As avaliações foram realizadas durante as coletas que ocorreram em intervalos regulares de quatro dias a partir do quarto dia após a emergência (DAE), totalizando oito coletas, ao longo do ciclo da cultura durante 32 dias.

Tabela 1- Análise parcial do substrato

pH água 1:1	Ca	Mg	Al	H+Al	CTC efetiva	Saturação (%)	Índice SMP	
(cmol _e /dm ³)						Al	Bases	
4,9	0,5	0,6	1,3	5,5	2,6	50	19	5,8

Em cada coleta, as plantas foram cortadas rente ao solo, separadas em partes (parte aérea e raiz), sendo realizadas as seguintes avaliações: altura das plantas determinada, por régua métrica, a partir do nível do solo até a extremidade da maior folha da planta e expressa em m; número de folhas, obtido por contagem, e expresso em unidade por metro quadrado de área de cultivo; área foliar avaliada em medidor de área foliar marca Licor, LI-3000 e os resultados expressos em m^2 ; matéria seca de órgãos obtida através da secagem do material vegetal em estufa a $70 \pm 2^\circ C$ até atingir massa constante e aferida em balança analítica de precisão, sendo expressa em $g m^{-2}$.

A quantificação dos metais, na parte aérea e raízes das plantas após secagem e trituração do material vegetal da última coleta, foram realizadas pelo Laboratório de Solos da Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS).

A altura, o número de folhas e os dados de matéria seca da parte aérea e raiz foram ajustados por meio de polinômios ortogonais (RICHARDS, 1969). Enquanto as taxas instantâneas de produção de matéria seca da parte aérea e raiz foram obtidas a partir das derivadas das equações ajustadas da matéria seca de cada parte em função do tempo (RADFORD, 1967).

O delineamento experimental foi inteiramente casualizado, em esquema fatorial (1 x 3 x 8), constituído por uma cultivar, três concentrações de cada metal e oito épocas de coletas, com três repetições estatísticas por tratamento.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Houve aumento crescente no número de folhas até aproximadamente 24 DAE, tanto para as plantas controle (Fig. 1A) quanto para aquelas tratadas com Al e Mn, porém sem ter diferença significativa entre os tratamentos (Fig. 1B e 1C, respectivamente). Após esse período ocorreram decréscimos subsequentes com o desenvolvimento fenológico da planta, em virtude da taxa de senescência foliar ser superior a taxa de emissão de novas folhas.

A área foliar das plantas tratadas com $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ (Fig. 1E) na menor concentração (20 mgL^{-1}) não diferiu das plantas do tratamento controle (Fig. 1D). No entanto, a maior concentração de $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ (40 mgL^{-1}), assim como as duas concentrações de MnCl_2 utilizadas, incrementaram significativamente A_f (Fig. 1F).

O número de folhas, a área foliar e a massa seca da parte aérea são crescentes no período inicial de desenvolvimento, sendo este período caracterizado como de rápido crescimento foliar, onde assimilados são translocados e alocados para as folhas de maneira intensa (AUMONDE et al., 2011).

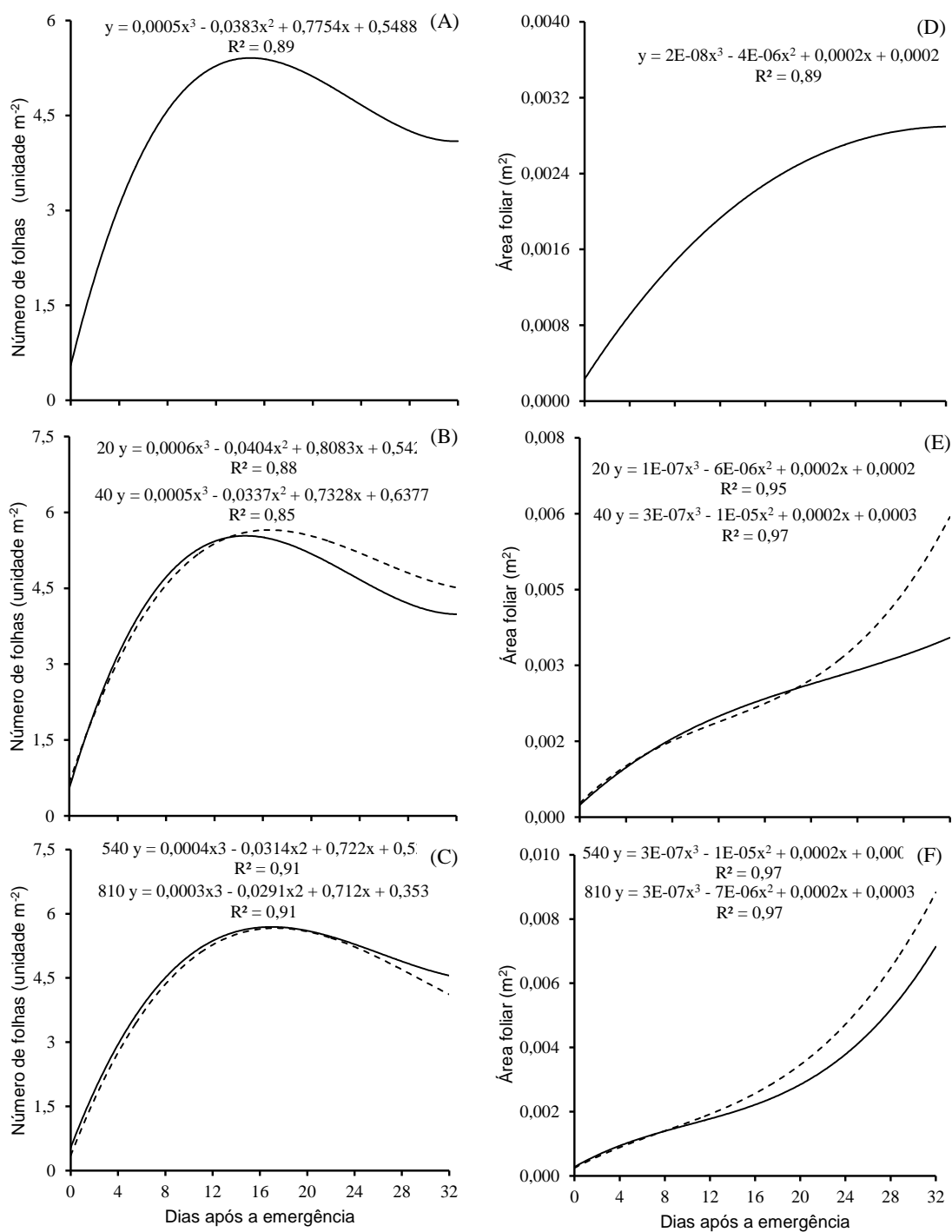


Figura 1. Número de folhas e área foliar de plantas de rabanete tratadas com água (A e D), 20 (–) e 40 mgL⁻¹ (...) de Al₂(SO₄)₃ (B e E) e 540 (–) e 810 (...) mgL⁻¹ de MnCl₂ (C e F), respectivamente.

A massa seca tanto da parte aérea quanto das raízes foi ajustada por equações cúbicas, com alto coeficiente de determinação ($R^2 \geq 0,95$). Tanto o Al (Fig. 2B) quanto o Mn (Fig. 2C) promoveram maior acúmulo de matéria seca da parte aérea em relação ao controle (Fig. 2A), sendo que o maior incremento foi promovido pelo Mn, aos 32 DAE. Semelhante ao observado para a área foliar, a menor concentração de Al (20 mgL^{-1}) não mostrou diferença significativa em relação ao controle.

Da mesma forma, os metais promoveram aumento da matéria seca das raízes quando comparada a das plantas controle, durante todo o ciclo da planta (Fig. 2D, 2E e 2F), sendo que o incremento neste órgão foi muito superior ao promovido na parte aérea. O efeito do Mn foi superior ao do Al, principalmente na concentração mais elevada (810 mgL^{-1}), alcançando valores seis vezes superiores aos encontrados no tratamento controle.

O acúmulo de biomassa durante o crescimento segue tendência logística, ocorrendo inicialmente crescimento lento, seguido por fase exponencial e, finalmente, por fase de crescimento lento. Este padrão de curva decorre do balanço entre disponibilidade e demanda de carbono pela planta (MARENCO; LOPES, 2009). Entretanto, o crescimento consiste na produção e na distribuição de biomassa (matéria seca e fresca) entre os diferentes órgãos da planta (MARCELIS, 1993).

A variação na quantidade de biomassa e de área foliar em função do tempo é empregada na estimativa de índices fisiológicos, que podem caracterizar a capacidade produtiva do genótipo. Por outro lado, as alterações de fatores ambientais podem induzir às plantas a redirecionarem a distribuição dos fotoassimilados, conseqüentemente, modificando o crescimento e a morfologia (CONCEIÇÃO et al., 2004).

Em pimenteira ocorre incremento na produção de matéria seca, tanto na parte aérea quanto nas raízes dessa cultura, promovido pela aplicação de cloreto de alumínio na concentração de 10 mgL^{-1} (VELOSO et al., 2000), corroborando com os resultados encontrados nessa pesquisa.

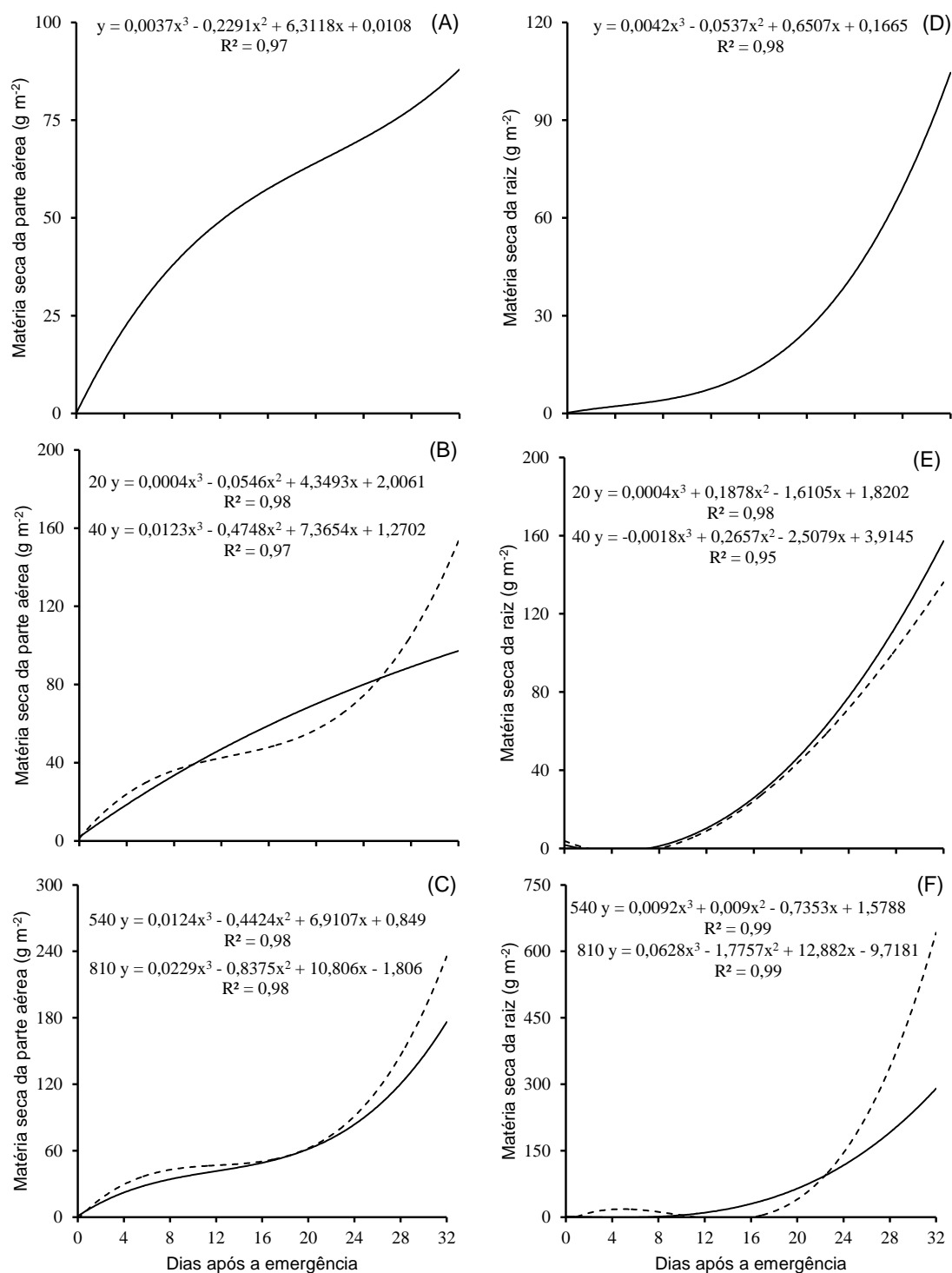


Figura 2. Matéria seca da parte aérea e Matéria seca da raiz de plantas de rabanete tratadas com água (A e D), 20 (–) e 40 (...) mgL^{-1} de $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ (B e E) e 540 (–) e 810 (...) mgL^{-1} de MnCl_2 (C e F), respectivamente.

A produção de matéria seca em raízes, caules e folhas de plantas de feijão diminui a partir da concentração de 4 mgL^{-1} de Mn na solução nutritiva, sendo que, a dose de 16 mgL^{-1} provoca redução de aproximadamente 22% na produção de matéria seca de folhas em comparação com a produção de matéria seca de raízes e caules (SORATTO et al., 2005). Estes resultados são contrários aos obtidos neste estudo, onde os tratamentos com manganês foram os que mais incrementaram a produção de matéria seca, principalmente nas raízes.

Em relação à altura das plantas, os resultados obtidos demonstraram um incremento nessa variável pela aplicação das duas concentrações de Mn (Fig. 3C), no entanto, só a maior concentração de alumínio (Fig. 3B) mostrou incremento significativo quando comparado às plantas do controle (Fig. 3A). Concentrações de Mn entre 20 e 40 mgL^{-1} são eficientes em estimular o alongamento da parte aérea da pimenteira quando relacionadas ao controle, no entanto concentrações menores incrementam ainda mais esta variável (VELOSO et al., 1995). De modo semelhante, mudas de goiabeira em solução nutritiva são beneficiadas com concentrações de até 10 mgL^{-1} de alumínio (SALVADOR et al., 2000). Os efeitos estimulantes do alumínio sobre o crescimento das plantas também ocorrem em feijão (OLIVEIRA; MALAVOLTA, 1982) e em cupuaçu (BUENO, 1997).

Os resultados obtidos avaliando comprimento de raiz não apresentaram diferenças significativas entre os tratamentos com metais e o tratamento controle. Da mesma forma, quando foram comparadas as diferentes concentrações estudadas de cada metal, também não mostraram diferença (Fig. 3D, 3E e 3F). Soratto et al. (2005), estudando a resposta de quatro cultivares de feijão crescidas em solução com diferentes concentrações de Mn, verificaram que o nível de Mn na solução não teve influência sobre o comprimento da raiz principal, independente da cultivar, indicando que o comprimento da raiz principal é intrínseco às características genéticas dos genótipos. Para Mascarenhas et al. (1982), o comprimento de raiz de soja parece não constituir bom parâmetro indicador de tolerância ao Mn, uma vez que estes autores não observaram diferenças de resposta entre cultivares, mesmo quando estas ocorrem na matéria seca e altura de plantas. Deve ser considerado ainda que o Mn parece não afetar diretamente as raízes e sim indiretamente, devido ao dano provocado na parte aérea (KOHNO; FOY, 1983b).

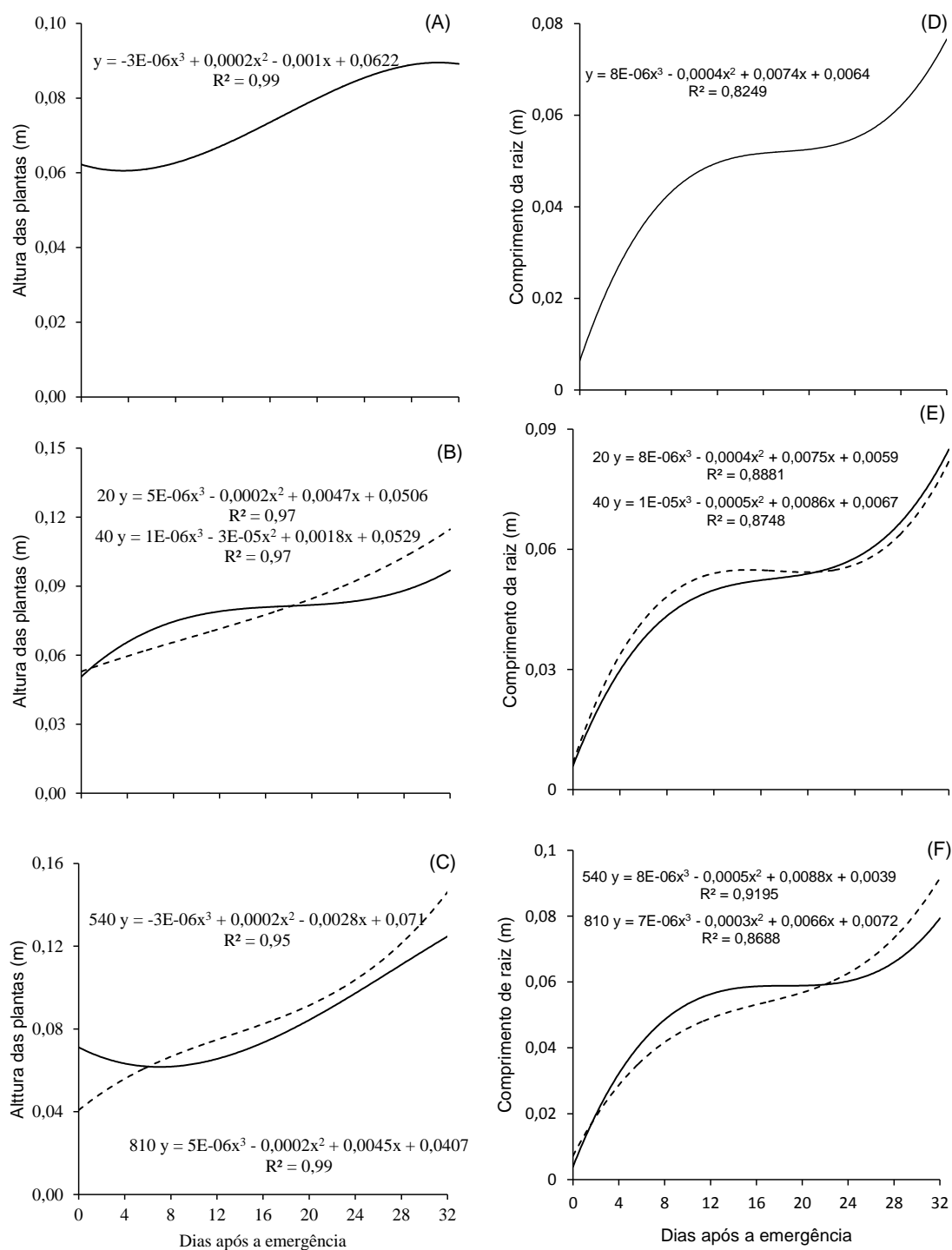


Figura 3. Altura e comprimento das raízes de plantas de rabanete tratadas com água (A e D), 20 (–) e 40 (...) mgL^{-1} de $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ (B e E) e 540 (–) e 810 (...) mgL^{-1} de MnCl_2 (C e F), respectivamente.

Os diâmetros longitudinais e transversais da raiz tuberosa foram ajustados por polinômios de terceiro grau com alto coeficiente de determinação ($R^2=0,99$), em todos os tratamentos.

Houve discreto aumento nos diâmetros avaliados das raízes tuberosas das plantas de rabanete tratadas com os metais (Al e Mn), quando comparados aos do controle, sendo que este foi maior com as concentrações de Mn. Porém, não houve diferença significativa entre as concentrações de cada metal (Fig. 4).

A partir do oitavo DAE houve um crescimento exponencial até os 32 DAE, tanto do diâmetro longitudinal quanto do transversal. Os valores máximos atingidos para o diâmetro longitudinal foram 32,0 mm para o tratamento controle e, 35,9; 36,4; 41,2 e 42,0 mm para os tratamentos com as concentrações de 20 e 40 mgL^{-1} de $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ e 540 e 810 mgL^{-1} de MnCl_2 , respectivamente. Para o diâmetro transversal os máximos foram 34,2 mm no controle e 34,4; 35,8; 38,2 e 40,0 mm para os tratamentos com as concentrações de 20 e 40 mgL^{-1} de $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ e 540 e 810 mgL^{-1} de MnCl_2 , respectivamente.

A razão parte aérea / sistema radical foi ajustada por equações cúbicas, com altos coeficientes de determinação ($R^2 \geq 0,87$). Esta relação aumentou em todos os tratamentos até o surgimento das raízes tuberosas, em torno dos 8 DAE, declinando posteriormente, indicando que a partir deste período as reservas são acumuladas principalmente neste órgão (Fig. 5). Desta forma pode-se inferir que o ciclo de cultivo do rabanete seguiu tendência normal de crescimento tanto nas plantas tratadas como nas plantas controle e, ao final do período de avaliação, não apresentou diferença significativa entre as concentrações utilizadas, para os dois metais estudados.

Relacionando os dados de acúmulo de matéria seca da parte aérea com o acúmulo de matéria seca das raízes de beterraba, foi verificado que há grande investimento inicial na parte aérea, para o estabelecimento dos órgãos responsáveis pela fonte de fotoassimilados, sendo que, a matéria seca nas raízes atinge o dobro da matéria seca da parte aérea, ao final da avaliação (98 DAS) (GUIMARÃES et al.,2002),de forma similar aos resultados obtidos nesse estudo, para a mesma variável.

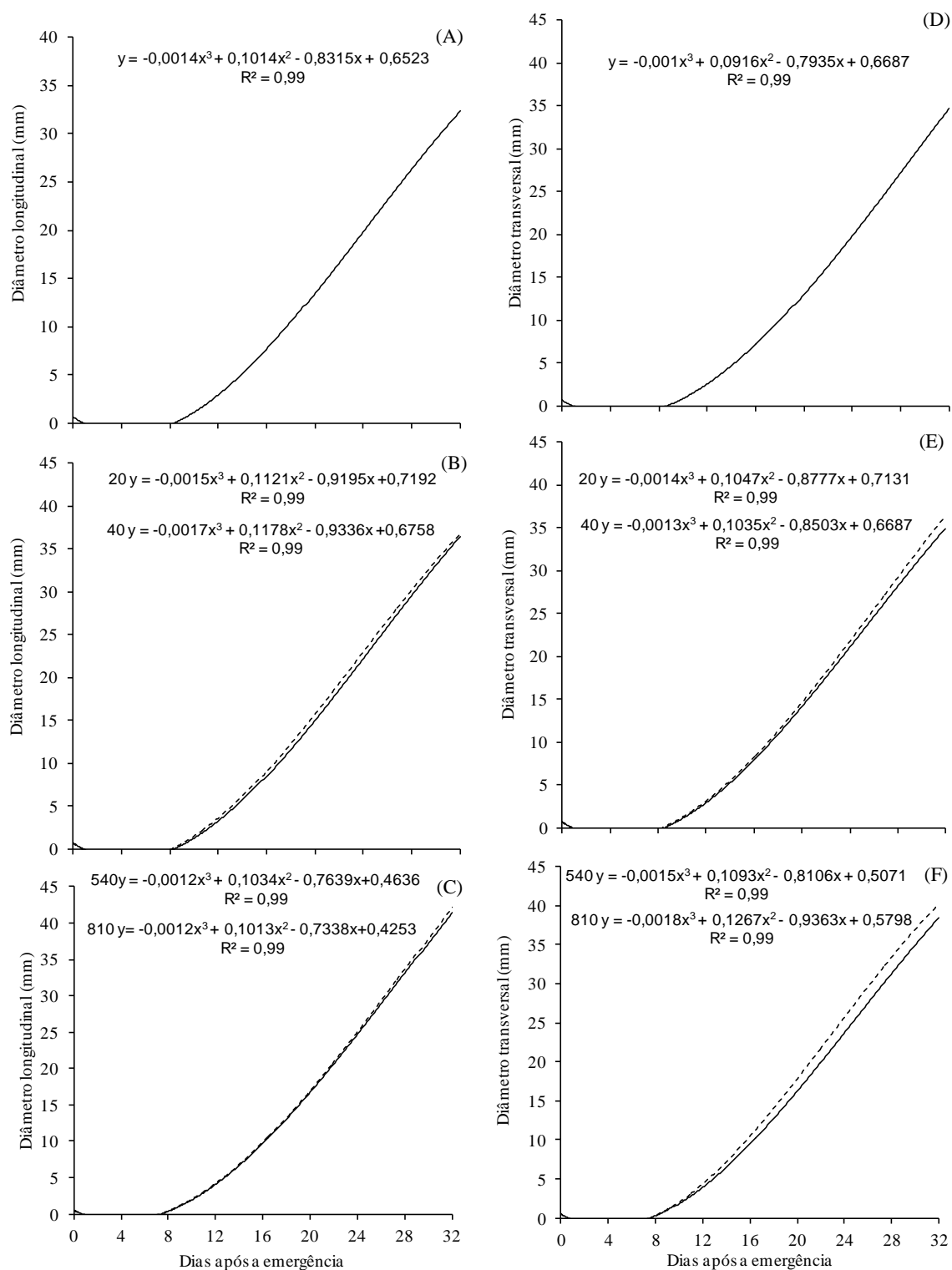


Figura 4. Diâmetro longitudinal e transversal de tubérculos de plantas de rabanete tratadas com água (A e D), 20 (–) e 40 (...) mgL^{-1} de $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ (B e E) e 540 (–) e 810 (...) mgL^{-1} de MnCl_2 (C e F), respectivamente.

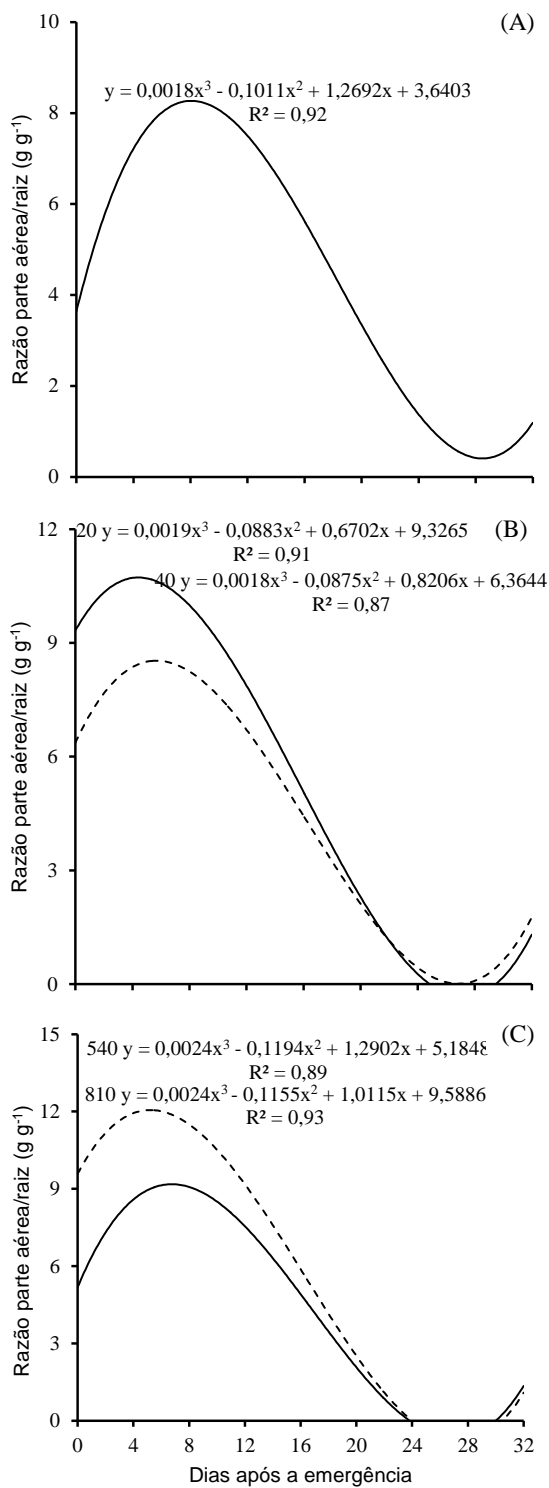


Figura 5. Razão parte aérea/sistema radicular em plantas de rabanete tratadas com água (A), 20 (–) e 40 (...) mgL⁻¹ de Al₂(SO₄)₃ (B) e 540 (–) e 810 (...) mgL⁻¹ de MnCl₂ (C).

Este fato é devido, a forte capacidade mobilizadora de assimilados exercida pelas raízes tuberosas que são fortes drenos metabólicos. Primeiramente, os drenos metabólicos preferenciais são as folhas e caules e posteriormente as raízes tuberosas que, com o seu desenvolvimento, se tornam os drenos metabólicos preferenciais de forma acentuada e definitiva, em virtude da sua alta capacidade mobilizadora ocasionando uma redução no acúmulo de matéria seca na parte aérea (CONCEIÇÃO et al., 2004). Segundo Conceição (2002), ocorre maior acúmulo de matéria seca na folha (lâmina e pecíolo) por unidade de área antes da formação das raízes tuberosas. A atividade da fonte depende da demanda de assimilados do dreno, existindo assim uma interrelação entre a taxa fotossintética da folha e o armazenamento de assimilados em raízes do tipo tuberosas, como é o caso do rabanete.

Os valores obtidos para o índice de colheita, ao final do experimento (32 DAE) foram de 0,54 para o controle, 0,64 e 0,45 para as concentrações de 20 e 40 mgL⁻¹ de Al e 0,63 e 0,73 para as concentrações de 540 e 810 mgL⁻¹ de Mn, respectivamente (Fig. 6).

O índice de colheita revela o quanto à planta investiu no produto comercial. A aplicação da solução de sulfato de alumínio na menor concentração, assim como das duas concentrações de cloreto de manganês promoveram incremento em relação ao controle. No entanto, a aplicação da solução de cloreto de manganês na maior concentração (810 mgL⁻¹) foi mais eficiente em alocar maior quantidade de fotoassimilados no órgão de interesse econômico (Fig. 6).

Estudos com plantas que apresentam raízes de reserva mostram que a taxa de produção de matéria seca pode ser determinada pela taxa de crescimento destes órgãos (BINGHAM, 1967). A produção de uma cultura é dada por sua capacidade de acumular biomassa nos órgãos destinados à colheita (PEIL, 2003).

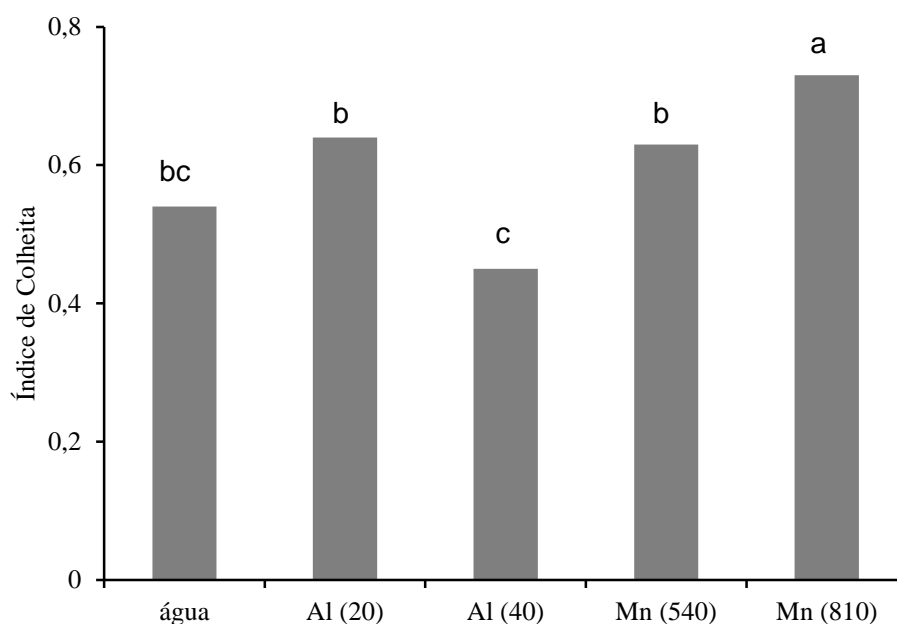


Figura 6. Índice de colheita de plantas de rabanete tratadas com água, 20 (–) e 40 (...) mgL^{-1} de $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ e 540 (–) e 810 (...) mgL^{-1} de MnCl_2 , obtido ao final do ciclo de cultivo (32 DAE). *Letras iguais não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

O acúmulo diferencial de manganês nos órgãos e na planta inteira evidencia que houve acúmulo crescente deste metal em função do aumento nas concentrações (Tab. 2). Este acúmulo ocorreu principalmente na parte aérea, sendo o manganês absorvido pelas raízes e translocado para a parte aérea. Desse modo, a tolerância a esse metal não é caracterizada pela redução na absorção e sim pela capacidade da cultivar em translocar e, possivelmente, complexar e compartimentalizar o metal, evitando assim que os sintomas de fitotoxicidade do manganês fossem manifestados.

Tabela 2. Teor de Mn na parte aérea (PA), sistema radical (SR) e na planta inteira (PI) ao final do ciclo de cultivo do rabanete em função da aplicação de diferentes concentrações de MnCl_2 , obtido a partir da matéria seca de cinco plantas

Concentração (mgL^{-1})	PA (mg)	SR (mg)	PI (mg)	PI (mg m^{-2})
0	0,373cA*	0,092cB	0,469c	6,897c
540	0,971bA	0,428bB	1,399b	20,574b
810	1,253aA	0,704aB	1,957a	28,779a

* Médias seguidas da mesma letra não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade sendo maiúsculas na horizontal (partes) e letras minúsculas na vertical (concentrações).

Segundo Bertoni et al. (1999), os teores de Mn na parte aérea, no final do ciclo da cultura do arroz, estão acima daqueles descritos como tóxicos por Fageria et al. (1995). Mesmo com teores foliares considerados tóxicos, não foram evidenciados sintomas de toxidez desse elemento durante o ciclo da cultura. O arroz cresce e produz bem com altos teores de Mn nas folhas (FAGERIA et al., 1995; BERTONI et al., 1999), semelhante ao que foi determinado nessa pesquisa. Outros estudos mostram que em plantas de arroz (*Oryza sativa* cv. Safari) expostas ao excesso de manganês em solução nutritiva, o metal é predominantemente acumulado em folhas quando comparado com as raízes (LIDON, 2001). Da mesma forma, em *Sinapis alba* o maior acúmulo de manganês é principalmente na parte aérea (FARASOVA ; BEINROHR, 1998).

Diferente do que foi observado nesse trabalho, Soratto et al. (2005), verificaram teores de Mn de até cinco vezes superiores nas raízes quando comparados a parte aérea de feijão, evidenciando que a planta de feijão possui algum mecanismo regulador da translocação do nutriente em excesso, da raiz para a parte aérea.

O principal mecanismo de tolerância das plantas ao manganês é o sequestro do metal por compostos orgânicos em células com baixa atividade metabólica. O vacúolo é considerado o maior e mais importante compartimento subcelular, por sua capacidade em armazenar muitos compostos tóxicos (PITTMAN, 2005). Também, um aumento em compostos fenólicos foi observado em folhas de *Trapa natans*, expostas a altos níveis de manganês (BALDISSEROTTO et al., 2004). Estes compostos quelam o manganês dentro do vacúolo, isolando o íon e então reduzindo os danos (DAVIS et al., 2001). Ainda, o ácido oxálico desempenha importante papel na desintoxicação interna quelando o excesso de manganês em vacúolos de plantas hiperacumuladoras, como em *Phytolacca americana* (DOU et al., 2008).

Outra estratégia que algumas plantas utilizam para prevenir os efeitos de metais pesados, como o manganês, pode ser o efluxo deste pela célula. Neste processo o manganês é distribuído pelo aparelho de golgi e finalmente exportado da célula através de vesículas secretoras que conduzem o metal para a superfície celular (DUCIC; POLLE, 2005).

O acúmulo de alumínio nos órgãos das plantas de rabanete (Tab. 3) seguiu a mesma tendência do acúmulo de manganês (Tab. 2), com incremento no conteúdo do metal diretamente proporcional ao aumento deste nas soluções utilizadas. Maior acúmulo de alumínio é preferencialmente encontrado nas raízes (HARTWIG et al., 2007). No entanto, neste trabalho apenas na menor concentração da solução de sulfato de alumínio (20 mgL^{-1}) houve maior acúmulo nas raízes, enquanto que, na maior concentração (40 mgL^{-1}) ocorreu translocação deste metal para a parte aérea das plantas.

Tabela 3. Teor de Al na parte aérea (PA), sistema radical (SR) e na planta inteira (PI) ao final do ciclo de cultivo do rabanete em função da aplicação de diferentes concentrações de $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$, obtido a partir da matéria seca de cinco plantas

Concentração (mgL^{-1})	PA (mg)	SR (mg)	PI (mg)	PI (mg m^{-2})
0	1,305cB*	2,396cA	3,701c	54,426c
20	2,708bB	3,452bA	6,160b	90,588b
40	5,323aA	4,038aB	9,361a	137,661a

* Médias seguidas da mesma letra não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade, sendo maiúsculas na horizontal (partes) e letras minúsculas na vertical (concentrações).

Algumas espécies de plantas apresentam a capacidade de acumular elevadas quantidades de alumínio em seus tecidos, como meio de desintoxicação interna do metal, como é o caso da hortênsia (*Hydrangea macophylla*) (MA et al., 1997) e trigo sarraceno (*Fagopyrum esculentum*) (ZHENG et al., 1998b). A hortênsia pode acumular altas concentrações de alumínio em suas folhas e pétalas, complexado com citrato. No citosol, a pH 7,0, este é um complexo extremamente forte, impossibilitando ao Al causar injúrias (MA et al., 1997). Em trigo sarraceno, parte da tolerância ao alumínio envolve exsudação de oxalato pelos ápices das raízes desta espécie (ZHENG et al., 1998b), porém, elevadas concentrações de alumínio são acumuladas nas folhas, quando cultivado em solos ácidos (MA; RYAN; DELHAIZE, 2001).

Em outro estudo, com protoplastos e vacúolos, isolados de folhas de *Fagopyrum esculentum*, que acumularam alumínio, mais de 80% do Al no protoplasto estava na forma de complexos de oxalato, e a maioria destes complexos sequestrados no vacúolo (SHEN et al., 2002).

A tolerância ao alumínio se baseia principalmente na complexação deste metal por ácidos orgânicos exsudados das raízes evitando a sua absorção, como também na desintoxicação interna do metal. No caso da tolerância interna, os mecanismos de proteção são a ação de polipeptídeos do citoplasma como moléculas quelantes; a existência de enzimas, cuja atividade não é prejudicada pelo alumínio e a eliminação do alumínio do ambiente celular por compartimentalização no vacúolo (ABICHEQUER et al., 2003).

Os mecanismos fisiológicos e bioquímicos envolvidos na tolerância ao alumínio variam entre espécies e cultivares, e não estão ainda bem estabelecidos. Várias hipóteses têm sido propostas com base em resultados experimentais, para explicar as diferenças nas plantas quanto a essa característica, como a indução à variação do pH da rizosfera; o mecanismo de absorção e translocação de Al; a complexação do Al em compostos orgânicos; as interações com os nutrientes; a capacidade de troca de cátions das raízes (FOY et al., 1978; RHUE, 1979). Existe uma idéia generalizada de que a tolerância ao alumínio e a eficiência na absorção de fosforo são características genéticas inseparáveis na planta (FURLANI; FURLANI, 1991).

De acordo com a literatura a tolerância a presença de metais como o alumínio e manganês é inerente ao genótipo, havendo variação inter e intra específica tanto no que concerne ao grau de tolerância quanto aos mecanismos utilizados para tal (ROUT et al., 2001). Com base nos resultados obtidos nessa pesquisa é possível inferir que a cultivar de rabanete estudada tem tolerância ao alumínio e manganês, uma vez que as características de crescimento avaliadas foram positivamente influenciadas. Os resultados sugerem ainda a necessidade de pesquisas que possam evidenciar os mecanismos anatômicos ou bioquímicos, possivelmente utilizados como estratégia para a acumulação e/ou exclusão destes metais, por este genótipo, o que contribuirá para confirmar o seu potencial fitorremediador.

4. CONCLUSÕES

Os atributos morfológicos das plantas de rabanete, da cultivar estudada, são influenciados positivamente pelas concentrações das soluções de cloreto de manganês e sulfato de alumínio utilizadas, sendo o manganês mais eficiente.

A aplicação das soluções de metais, nas concentrações testadas, estimula o acúmulo de biomassa nas raízes de rabanete, contribuindo para aumentar o índice de colheita. Esse efeito é mais evidente com a utilização da maior concentração de manganês.

O manganês é acumulado preferencialmente na parte aérea, enquanto o alumínio, nas raízes. O aumento no acúmulo destes metais é crescente, em função do incremento nas concentrações utilizadas, caracterizando potencial fitorremediador da cultivar estudada.

CONCLUSÕES FINAIS

De modo geral, as soluções de sulfato de cobre, cloreto de manganês e sulfato de alumínio, nas concentrações testadas, tem efeito positivo sobre a viabilidade e o vigor das sementes de rabanete da cv Vip Crimson S Especial.

Os dois metais estudados (Al e Mn), nas concentrações testadas, influenciam positivamente as características de crescimento e o direcionamento dos fotoassimilados para o órgão de interesse econômico da cultura.

A presença do manganês proporciona maior incremento nas variáveis estudadas do que o alumínio.

O manganês é acumulado preferencialmente na parte aérea, enquanto o alumínio, nas raízes. O aumento no acúmulo destes metais é crescente, em função do incremento nas concentrações utilizadas.

O rabanete é tolerante a presença de manganês e alumínio, nas concentrações testadas, mostrando potencial fitorremediador para estes metais.

REFERÊNCIAS

ABICHEQUER, A.D.; BOHNEN, H.; ANGHINONI, I. Absorção, translocação e utilização de fósforo por variedades de trigo submetidas à toxidez de alumínio. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.27, p.373-378, 2003.

ALLOWAY, B.J.; AYRES, D.C. **Chemical principles of environmental pollution**. 2ª.ed. London: Chapman & Hall, 1997, 395 p.

ANURADHA, S.; RAO, S.S.R. The effect of brassinosteroids on radish (*Raphanus sativus* L.) seedlings growing under cadmium stress. **Plant Soil Environmental**, v.53, p.465-472, 2007.

AOSA - ASSOCIATION OF OFFICIAL SEED ANALYSTS. **Seed vigor testing handbook**. East Lansing: AOSA, 1983. 93p.

ASSUNTOS SOBRE AGRONOMIA: A ACIDEZ DO SOLO. Disponível em: <<http://agronomiacomgismonti.blogspot.com>>. Acesso em: fevereiro, 2012.

AUMONDE, T. Z.; LOPES, N. F.; MORAES, D. M.; PEIL, R. M. N.; PEDÓ, T. Análise de Crescimento do híbrido de mini melancia Smile enxertada e não enxertada, **Revista Brasileira de Biociência**, v.9, p.387-391, 2011.

AZEVEDO, R.A.; LEA, P.J. Preface: Toxic metals in plants. **Brazilian Journal of Plant Physiology**, v.17, p.1, 2005.

BALDISSEROTTO, C.; FERRONI, L.; MEDICI, V.; PAGNONI, A.; PELLIZZARI, M.; FASULO, M.P.; FAGIOLI, F.; BONORA, A.; PANCALDI, S. Specific intra-tissue responses to manganese in the floating lamina of *Trapa natans* L. **Plant Biology**, v.6, p.578-589, 2004.

BALIGAR, V.C.; WRIGHT, R.J.; FAGERIA, N.K.; FOY, C.D. Differential responses of forage legumes to aluminium. **Journal of Plant Nutrition**, v.11, p. 549-561, 1988.

BALIGAR, V.C.; ANGHINONI, I.; PITTA, G.V.E.; SANTOS, H.L.; CUNHA FILHO, E.; SCHAFFERT, R.E. Efeito de diferentes níveis de alumínio na solução nutritiva

sobre a composição da fração nitrogenada em sorgo. **Revista Brasileira de Fisiologia Vegetal**, v.2, p.47-52, 1990.

BENAVIDES, M.P.; GALLEGO, S.M.; TOMARO, M.L. Cadmium toxicity in plants. **Brazilian Journal Plant Physiology**, v.17, p.21-34, 2005.

BENINCASA, M.M.P. **Análise de crescimento de planta**. Jaboticabal: FUNEP, 1988. 42p.

BENINCASA, M.M.P. **Análise de crescimento de plantas, noções básicas**. 2 ed. Jaboticabal: FUNEP, 2003. 41p.

BERNAL, M.; RAMIRO, M.V.; CASES, R.; PICOREL, R.; YRUELA, I. Excess copper effect on growth, chloroplast ultrastructure, oxygen-evolution activity and chlorophyll fluorescence in *Glycine max* cell suspensions. **Physiologia Plantarum**, v.127, p.312-325, 2006.

BERTON, R.S. Fertilizantes e poluição. In: Reunião brasileira de fertilidade do solo e nutrição de plantas, 20. 1992, Piracicaba. **Anais...** Campinas: Fundação Cargil, p.299-313, 1992.

BERTONI, J.C.; HOLANDA, F.S.R.; CARVALHO, J.G.; DE PAULA, M.B.; ASSIS, M.P. Efeito do cobre na nutrição do arroz irrigado por inundação - teores e acúmulo de nutrientes. **Ciência e Agrotecnologia**, v.23, p.547-559, 1999.

BINGHAM, J. Investigations on the physiology of yield in winter wheat, by comparisons of varieties and by artificial variation in grain number per ear. **Journal Agricultural Science**, v.68, p.411-22, 1967.

BLAMEY, F.P.C.; EDMEADES, D.C.; WHEELER, D.M. Role of root cation-exchange capacity in differential aluminium tolerance of Lotus species. **Journal of Plant Nutrition**, v.13, p.729-744, 1990.

BRASIL. Ministério da Agricultura e Reforma Agrária. **Regras para Análise de Sementes**. Brasília: SNAD/CLAV, 2009. 398p.

BUENO N. Alguns aspectos recentes da nutrição mineral do cupuaçuzeiro. In: Seminário internacional sobre pimenta-do-reino e cupuaçu, 1., Belém, 1997. Anais. Belém, EMBRAPA Amazônia Oriental/IICA, 1997. p.79-80.

CAMARGO, C.E.O.; OLIVEIRA, O.F. Tolerância de cultivares de trigo a diferentes níveis de manganês em solução nutritiva. **Bragantia**, v.42, p.65-78, 1983.

CAMARGO, G.A.; CONSOLI, L.; LELLIS, I.C.S.; MIELI, J.; SASSAKI, E.K. Bebidas naturais de frutas perspectivas de mercado, componentes funcionais e nutricionais. **Revista Brasileira de Engenharia de Biosistemas**, v.1, p.181-195, 2007.

CARBONELL-BARRACHINA, A.A.; BURLO, F.; LÓPEZ, E.; MARTÍNEZ-SÁNCHEZ, F. Arsenic toxicity and accumulation in radish as affected by arsenic chemical speciation. **Environmental Science Health**, v.34, p.661-679, 1999.

CARNEIRO, M.A.C.; SIQUEIRA, J.O. ; MOREIRA, F.M.S. Estabelecimento de plantas herbáceas em solo com contaminação de metais pesados e inoculação de fungos micorrizicos arbusculares. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.36, p.1443-1452, 2001.

CARNEIRO, J.P.; VARENNES, A.; AMANTE, H. Manganese toxicity in three species of annual medicis. **Journal of Plant Nutrition**, v.24, p.1957-1964, 2001.

CECÍLIO FILHO, A.B.; FAQUIN, V.; FURTINI NETO, A.E.; SOUZA; R.J. Deficiência nutricional e seu efeito na produção de rabanete. **Científica**, v.26, p.231-241, 1998.

CECILIO FILHO, A.B.; REZENDE, B.L.A.; CANATO, G.H.D. Produtividade de alface e rabanete em cultivo consorciado estabelecido em diferentes épocas e espaçamentos entre linhas. **Horticultura Brasileira**, v.25, p.15-19, 2007.

CHAVES, M.L. **Acidez dos solos**. Rezagro (Artigos técnicos), Universidade Federal de Lavras (UFLA), p.1, 2005.

CHENERY, E.M. A preliminary study of aluminium and the tea bush. **Plant and Soil**, v.6, p.174-200, 1955.

CONCEIÇÃO, M. K. **Crescimento, partição de assimilados e teores de carboidratos em duas cultivares de Batata-doce (*Ipomoea batatas* (L.) Lam)**. 2002. 45 f. Dissertação (Mestrado em Fisiologia vegetal)-Universidade Federal de Pelotas, Pelotas.

CONCEIÇÃO, M.K.; LOPES, N.F.; FORTES, G.L. Partição de matéria seca entre órgãos de batata-doce (*Ipomoea batatas* (L.) lam), cultivares abóbora e da costa. **Revista Brasileira de Agrociência**, v.10, p.313-316, 2004.

CONCEIÇÃO, M.K.; LOPES, N.F.; FORTES, G.R.L. Análise de crescimento de plantas de batata-doce (*Ipomoea batatas* (L.) Lam) cultivares abóbora e da costa. **Revista Brasileira de Agrociência**, v.11, p.273-278, 2005.

COSTA, C.C.; OLIVEIRA, C.D.; SILVA, C.J.; TIMOSSI, P.C.; LEITE, I.C. Crescimento, produtividade e qualidade de raízes de rabanete cultivadas sob diferentes fontes e doses de adubos orgânicos. **Horticultura Brasileira**, v.24, p.118-122, 2006.

CUSTÓDIO, C.C.; BOMFIM, D.C.; SATURNINO, S.M.; MACHADO NETO, N.B. Estresse por alumínio e por acidez em cultivares de soja. **Scientia Agricola**, v. 59, p.145-153, 2002.

CURTIS, I.S. The noble radish: past, present and future. **Trends Plant Science**, v.8, p.305-307, 2003.

CRUVINEL, D.F.C. **Avaliação da fitorremediação em solos submetidos à contaminação com metais**. 2009, 79 f. Dissertação (Mestrado) - Universidade de Ribeirão Preto, UNAERP, Tecnologia ambiental, Ribeirão Preto.

DAVIS, M.A.; PRITCHARD, S.G.; BOYD, R.S.; PRIOR, S.A. Developmental and induced responses of nickel-based and organic defenses of the nickel-hyperaccumulating shrub, *Psychotria douarrei*. **New Phytologist**, v.150, p.49-58, 2001.

DELHAIZE, E.; RYAN, P.R. Aluminium toxicity and tolerance in plants. **Plant Physiology**, v.107, p.315-321, 1995.

DOU, C.; FU, X.; CHEN, X.; SHI, J.; CHEN, Y. Accumulation and detoxification of manganese in hyperaccumulator *Phytolacca americana*. **Plant Biology**, v.11, p.664-670, 2008.

DUCIC, T.; POLLE, A. Transport and detoxification of manganese and copper in plants. **Brazilian Journal Plant Physiology**, v.17, p.103-112, 2005.

EBBS, S. D.; KOCHIAN, L. V. Toxicity of zinc and copper to Brassica species: implications for phytoremediation. **Journal of Environmental Quality**, v.26, p.776-781, 1997.

EDMEADES, D.C.; BLAMEY, F.P.C.; ASHER, C.J.; EDWARDS, D.G. Effects of pH and aluminium on the growth of temperate pasture species. II. Growth and nodulation of legumes. **Australian Journal of Agricultural Research**, v.42, p.893-900, 1991.

FAGERIA, N.K.; SANT'ANA, E.P.; MORAES, O.P. Resposta de genótipos de arroz de sequeiro favorecido à fertilidade do solo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira, Brasília**, v.30 p.1155-1161, 1995.

FAGERIA, V.D. Nutrient interactions in crop plants. **Journal of Plant Nutrition**. v.24, p.1269-1290, 2001.

FARASOVA, A.; BEINROHR, E. Metal-metal interaction in accumulation of V, Ni, Mo, Mn, and Cu in under and above ground parts of *Sinapis alba*. **Chemosphere**, v.36, p.1305-1317, 1998.

FILGUEIRA, F.A.R. Manual de Olericultura: cultura e comercialização de hortaliças. **Ceres**, v.2, p.357, 1982.

FILGUEIRA, F.A.R. **Novo Manual de Olericultura: agrotecnologia moderna na produção e comercialização de hortaliças**. Viçosa: Ed. UFV. 2000. 402 p.

FOY, C.D. Manganese and plants. In: **Manganese**. Washington: National Academy of Sciences, p.51-76, 1973.

- FOY, C.D. Effects of aluminum on plant growth. In: CARSON, E.W. (Ed.). **The plant root and its environment**. Charlottesville: University Press of Virginia, 1974, p.601-642.
- FOY, C.D.; CHANEY, R.; WHITE, M.C. The physiology of metal toxicity in plants. **Annual Review Plant Physiology**, v.29, p.511-566, 1978.
- FURLANI, P.R.; FURLANI, A.M.C. Tolerância a alumínio e eficiência a fósforo em milho e arroz: características independentes. **Bragantia**, v.50, p.331-340, 1991.
- GHOSHROY, S.; FREEDMAN, K.; LARTEY, R.; CITOVSKY, V. Inhibition of plant viral systemic infection by non-toxic concentrations of cadmium. **The Plant Journal**, v.13, p.591-602, 1998.
- GUIMARÃES, V.F.; ECHER, M.M.; MINAMI, K. Métodos de produção de mudas, distribuição de matéria seca e produtividade de plantas de beterraba. **Horticultura Brasileira**, v. 20, p.505-509, 2002.
- GOPAL, R.; RIZVI, A.H. Excess lead alters growth, metabolism and translocation of certain nutrients in radish. **Chemosphere**, v.70, p.1539-1544, 2008.
- GRISPEN, V.M.J.; NELISSEN, H.J.M.; VERKLEIJ, J.A.C. Phytoextraction with *Brassica napus* L.: A tool for sustainable management of heavy metal contaminated soils. **Environmental Pollution**, v.144, p.77-83, 2006.
- HANSON, W.D.; KAMPRATH, E.J. Selection for aluminium tolerance in soybeans based on seedling-root growth. **Agronomy Journal**, v.71, p.581-586, 1979.
- HARTWIG, I.; OLIVEIRA, A.C.; CARVALHO, F.I.F.; BERTAN, I.; SILVA, J.A.G.; SCHMIDT, D.A.M.; VALÉRIO, I.P.; MAIA, L.C.; FONSECA, D.N.R.; REIS, C.E.S. Mecanismos associados à tolerância ao alumínio em plantas. **Semina Ciências Agrárias**, v.28, p.219-228, 2007.
- HORST, W.J.; KLOTZ, F.; SZULKIEWICZ, P. Mechanical impedance increases aluminium tolerance of soybean (*Glycine max* L.) roots. **Plant Soil**, v.124, p. 227-231, 1990.
- HORST, W. J. The physiology of manganese toxicity. In: GRAHAM, R.D., HANNAM, R. J.; UREN, N. C., (Eds.), 1988. Manganese in Soils and Plants, Dordrecht: **Kluwer Academic Publishers**, p.175-188, 1988.
- HUNT, R. **Plant growth curves: the functional approach to plant growth analysis**. London: Edward Arnold, 1982. 248p.
- JORGE, Y.; GONZALEZ, F. Estimación del área foliar em los cultivos de ají y tomate. **Agrotecnia de Cuba**, v.27, p.123-126, 1997.
- JONES, D.L. Organic acids in the rhizosphere - a critical review. **Plant Soil**, v.205, p.25-44, 1998.

KABATA-PENDIAS, A.; PENDIAS, H. **Trace elements in soil and plants**. 3 ed. Boca Raton: CRC Press, 2001. 331p.

KERRIDGE, P.C.; DAWSON, M.D.; MOORE, D.P. Separation of degrees of aluminium tolerance in wheat. **Agronomy Journal**, v.63, p.586-591, 1971.

KHAN, D.H.; FRANKLAND, B. Effect of cadmium and lead on radish plants with particular reference to movement of metals through soil profile and plants. **Plant Soil**, v.70, p.335-345, 1983.

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

KOHNO, Y.; FOY, C.D. Differential tolerance of bush bean cultivars to excess manganese in solution and sand culture. **Journal of Plant Nutrition**, v.6, p.877-893, 1983a.

KOHNO, Y.; FOY, C.D. Manganese toxicity in bush bean as affected by concentration of manganese and iron in the nutrient solution. **Journal of Plant Nutrition**, v.6, p.363-386, 1983b.

KOHNO, Y.; FOY, C.D.; FLEMING, A.L.; KRIZEK, D.T. Effect of Mn concentration on the growth and distribution of Mn and Fe in two bush bean cultivars grown in solution culture. **Journal of Plant Nutrition**, v.7, p.547-566, 1984.

KOPITTKE, P. M.; MENZIES, N. W. Effect of Cu toxicity on growth of cowpea (*Vigna unguiculata*). **Plant and Soil**, v. 279, p. 287-296, 2006.

KOS, B.; LESTAN, D. Induced phytoextraction/soil washing of lead using biodegradable chelate and permeable barriers. **Environmental Science & Technology**, v.37, p.624-629, 2003.

KOSTKA-RICK, R.; MANNING, W.J. Radish (*Raphanus sativus* L.): a model for studying plant responses to air pollutants and other environmental stresses. **Environmental Pollution: New Research**, v.82, p.107-137, 1993.

KRZYZANOWSKI, F.C.; FRANÇA-NETO, J.B.; HENNING, A.A. Relato dos testes de vigor disponíveis para grandes culturas. **Informativo ABRATES**, Londrina, v.1, n.2, p.15-50, 1991.

KRZYZANOWSKI, F.C.; VIEIRA, R.D.; FRANÇA-NETO, J.B. **Vigor de sementes: Conceitos e testes**. Londrina: ABRATES, 1999. 218p.

LALONDE, S.; TEGEDER, M.; THRONE-HOLST, M.; FROMMER, W.B.; PATRICK, J. W. Phloem loading and unloading of sugars and amino acids. **Plant Cell and Environment**, v.26, p.37-56, 2003.

LALITHA, K.; BALASUBRAHMANIAN, N.; KALAVATHY, S. Studies of impact of chromium on *Vigna unguiculata* (L.) Walp. var. (Long). J. Swamy Bot. **Emir. J. Food Agric**, v.16, p.17-20, 1999.

LEE, C.W.; CHOI, J.M.; PAK, C.H. Micronutrient toxicity in seed geranium (*Pelargonium x hortorum* Bailey). **Journal of the American Society for Horticultural Science**, v. 121, p.77-82, 1996.

LIDON, F. Tolerance of rice to excess manganese in the early stages of vegetative growth. Characterization of manganese accumulation. **Journal Plant Physiology**. v.158, p.1341-1348, 2001.

LINDSAY, W.L. Inorganic phase equilibria of micronutrients in soil. In: MORTVEDT, J.J.; GIORDANO, P.M.; LINDSAY, W.L. (Ed.). **Micronutrients in agriculture**. Madison: Soil Science Society of America, 1979. p.41-57.

LIU, D.H.; JIANG, W.S.; WANG, W.; ZHAO, F.M.; LU, C. Effects of lead on root growth cell division and nucleolus of *Allium cepa*. **Environmental Pollution : New Research**, v.86, p.1-4, 1994.

LIU, D.H.; JIANG, W.S.; LIU, C.J.; XIN, C.H.; HOU, W.Q. Uptake and accumulation of lead by roots, hypocotyls and shoots of Indian mustard (*Brassica juncea* L.). **Bioresource Technology**, v.71, p.273-277, 2000.

LOOMIS, R. S.; WILLIAMS, W. A. Maximum crop productivity: an estimate. **Crop Science**, v.3, p.67-72, 1963.

LOPES, N.F.; MAESTRI, M. Análise de crescimento e conversão de energia solar em populações de milho (*Zea mays* L.) em viçosa, Minas Gerais. **Revista Ceres**, v.20, p.189-201, 1973.

LOPES, N.F.; OLIVA, M.A.; CARDOSO, M.J.; GOMES, M.M.S.; SOUZA, V.F. Crescimento e conversão da energia solar em *Phaseolus vulgaris* L. submetido a três densidades e fluxo radiante e dois regimes hídricos. **Ceres**, v.33, p.142-164, 1986.

LUCHESE, A.V.; GONÇALVES JUNIOR, A.C.; LUCHESE, E.B.; BRACCINI, M.C.L. Emergência e absorção de cobre por plantas de milho (*Zea mays*) em resposta ao tratamento de sementes com cobre. **Ciência Rural**, v.34, p.1949-1952, 2004.

MA, J.F.; HIRADATE, S.; NOMOTO, K.; IWASHITA, T.; MATSUMOTO, H. Internal detoxification mechanism of Al in Hydrangea (Identification of Al form in the leaves). **Plant Physiology**, v.113, p.1033-1039, 1997.

MA, J. F.; RYAN, P. R.; DELHAIZE, A. Aluminium tolerance in plants and the complexing role of organic acids. **Trends Plant Science**, v.6, n.6, p.273-278, 2001.

MACEDO, C.M.P.; LOPES, J.C.; AMARAL, J.A.T.; FONSECA, A.F. A. Germinação e vigor de sementes de café submetidas ao estresse com alumínio. **Scientia Agraria**, v.9, p.235-239, 2008.

MACÊDO, L.S; MORRIL, W.B.B. Origem e comportamento dos metais fitotóxicos: revisão da literatura. **Tecnologia & Ciência Agropecuária**, v.2, p.29-38, 2008.

MACHADO, P.L.O.A. Considerações gerais sobre a toxicidade do alumínio nas plantas. EMBRAPA-CNPS, Rio de Janeiro. **Documentos N° 2**. 22p, 1997.

MACKAY, A.D.; CARADUS, J.R.; WEWALA, S. Aluminium tolerance of forage species. In: Wright R.J., Baligar V.C., Murrmann R.P. (eds.), Plant-soil interactions at low pH, Dordrecht: **Kluwer Academic Publishers**, p.25-30, 1991.

MAGUIRE, J.D. Speed of germination and in selection and evaluation for seedlings emergence and vigor. **Crop Science**, v.2, p.176-177, 1962.

MALAVOLTA, E.; KLIEMANN, H.J. **Desordens nutricionais no cerrado**. Piracicaba: Potafos, 1985. 136p.

MALAVOLTA, E.; VITTI, G.C.; OLIVEIRA, S.A. **Avaliação do estado nutricional das plantas**: princípios e aplicações. 2 ed. Piracicaba: Potafós, 1997. 319p.

MASCARENHAS, H.A.A.; TANAKA, R.T.; WUTKE, E.B.; BRAGA, N.R.; MIRANDA, M.A.C. Alumínio e manganês no cultivo da soja em São Paulo. Informações Técnicas. **O Agrônomo**, v.56, p.16-19, 2004.

MARCELIS, L.F.M. Simulation of biomass allocation in greenhouse crops: a review. **Acta Horticulturae**, v.328, p.49-68, 1993.

MARCOS FILHO, J.; CICERO, S.M.; SILVA, W.R. **Avaliação da qualidade das sementes**. Piracicaba: FEALQ, 1987. 230p.

MARCOS FILHO, J.; KIKUTI, A.L.P. Vigor de sementes de rabanete e desempenho de plantas em campo. **Revista Brasileira de Sementes**, v.28, p.44-51, 2006.

MARENCO, R.A.; LOPES, N.F. **Fisiologia Vegetal**: fotossíntese, respiração, relações hídricas e nutrição mineral. Viçosa: UFV, 3 ed, 2009, p. 468.

MARSCHNER, H. **Mineral nutrition of higher plants**. London : Academic Press, 1990. 674p.

MARSCHNER, H. Mechanisms of adaptation of plants to acid soils. **Plant Soil**, v.134, p.1-20, 1991.

MARSCHNER, H. **Mineral Nutrition of Higher Plants**. 2 ed. San Diego, CA, USA: Academic press Inc., 1995. 889p.

MARSCHNER, H. **Mineral nutrition of higher plants**. 2 ed. London: Academic Press, 2003. 889p.

MARSOLA, T.; MIYAZAWA, M.; PAVAN, M.A. Acumulação de cobre e zinco em tecidos do feijoeiro em relação com o extraído do solo. **Revista de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.9, p.92-98, 2005.

MARTINS, I.; LIMA, I.V. Ecotoxicologia do manganês e seus compostos. Salvador: **Série Cadernos de Referência Ambiental**, v.7, 121p. 2001.

MASCARENHAS, H.A.A.; MIRANDA, M.A.C.; FURLANI, P.R.; BATAGLIA, O.C. Comportamento de três cultivares de soja em diversos níveis de manganês em solução nutritiva. **Bragantia**, v. 41, p.225-230, 1982.

MASCARENHAS, H. A.A.; TANAKA, R. T.; WUTKE, E. B.; BRAGA, N.R.; MIRANDA, M.A.C. Alumínio e manganês no cultivo da soja em São Paulo. **O Agrônomo**: Informações Técnicas, Campinas, v.56, p.16-19, 2004.

MATHE-GASPAR, G.; ANTON, A. Heavy metal uptake by two radish varieties. **Acta Biologica Szegediensis**, v.46, p.113-114, 2002.

MATSUMOTO, H.; HIRASAWA, E.; MORIMURA, S.; TAKAHASHI, E. Localization of absorbed aluminium in tea leaves. **Plant Cell Physiology**, v.17, p.627-631, 1976.

McBRIDE, M. B. Cupric ion activity in peat soil as a toxicity indicator for maize. **Journal Environmental of Quality**, v.30, p.78-84, 2001.

MELARATO, M.; PANOBIANCO, M.; VITTI, G.C.; VIEIRA, R.D. Manganês e potencial fisiológico de sementes de soja. **Ciência Rural**, v.32, p.1069-1071, 2002.

MELGES, E.; LOPES, N.F.; OLIVA, M.A. Crescimento, produção de matéria seca e produtividade da soja submetida a quatro níveis de radiação solar. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.24 p.1073-1080, 1989.

MICHAUD, A. M.; CHAPPELLAZ, C.; HINSINGER, P. Copper phytotoxicity affects root elongation and iron nutrition in durum wheat (*Triticum turgidum durum* L.). **Plant and Soil**, v. 310, p.151-165, 2008.

MILLALEO, R.; REYES-DIAZ, M.; IVANOV, A.G.; MORA, M.L. Manganese as essential and toxic element for plants: transport, accumulation and resistance mechanisms. **Journal of Soil Science and Plant Nutrition**, v.10, p.476-494, 2010.

MINAMI, K.; CARDOSO, A.I.I.; COSTA, F.; DUARTE, F.R. Efeito do espaçamento sobre a produção em rabanete. **Bragantia**, v.57, p.169-173. 1998.

MONTEITH, J. L. Light interception and radiative exchange in crop stands. In: EASTIN, J. D.; HASKINS, F. A.; SULLIVAN, C. T.; VAN BAVEL, C. H. M. (eds.) **Physiological aspects of crop yield**. Madison: American society of Agronomy, 1969. p. 89-111.

MUMINOVIĆ, J. **Genetic diversity in germplasm of corn salad (*Valerianella locusta* L.), radish (*Raphanus sativus* L.) and celeriac (*Apium graveolens* L. var. rapaceum) investigated with PCR-based molecular markers**. 2004 (Dissertação) - Faculty of Agricultural Sciences at the University of Hohenheim.

MUMTHAS, S.; CHIDAMBARAM, A.I.A.; SUNDARAMOORTHY, P.; SANKAR GANESCH, K. Effect of arsenic and manganese on root growth and cell division in root tip cells of green gram (*Vigna radiata* L.). **Emirates Journal of Food and Agriculture**, v.22, p. 285-297, 2010.

- MUKHOPADHYAY, M.; SHARMA, A. Manganese in cell metabolism of higher plants. **Botany Review**, v.57, p.117-149, 1991.
- MUNIZZI, A.; BRACCINI, A.L.; RANGEL, M.A.S.; SCAPIM, C.A.; ALBRECHT, L.P. Qualidade de sementes de quatro cultivares de soja, colhidas em dois locais no estado de Mato Grosso do Sul. **Revista Brasileira de Sementes**, v.32, p.176-185, 2010.
- NEOGY, M.; DATTA, J.; ROY, A.K.; MUKHERJI, S. Studies on phytotoxic effect of aluminium on growth and some morphological parameters of *Vigna radiata* L. Wilczek. **Journal Environmental Biology**, v. 23, p.411-6, 2002.
- OHWAKI, Y.; HIRATA, H. Differences in carboxylic acid exudation among p-starved leguminous crops in relation to carboxylic acid contents in plant tissues and phospholipid level in roots. **Soil Science Plant Nutrition**, v.38, p.235-243, 1992.
- OLIVEIRA, I.P.; MALAVOLTA, E. Efeito do alumínio e do manganês no feijoeiro (*Phaseolus vulgaris* L.). **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.17, p.549-557, 1982.
- OLIVEIRA, I.P.; COSTA, K.A.P.; SANTOS, K.J.G.; MOREIRA, F.P. Considerações sobre a acidez dos solos de cerrado. **Revista Eletrônica Faculdade Montes Belos**, v.1, p.1-12, 2005.
- PÁDUA, G.P.; VIEIRA, R.D. Deterioração de sementes de algodão durante o armazenamento. **Revista Brasileira de Sementes**, Brasília, v.23, p.255-262, 2001.
- PAGANINI, W.S.; SOUZA, A.; BOCCHIGLIERI, M.M. Avaliação do comportamento de metais pesados no tratamento de esgotos por disposição no solo. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, v.9, p.225-239, 2004.
- PANOBIANCO, M.; VIEIRA, R. D.; KRZYZANOWSKI, F. C.; FRANÇA NETO, J. B. Electrical conductivity of soybean seed and correlation with seed coat lignin content. **Seed Science and Technology**, v.27, p. 945-949, 1999.
- PANDA, S. K.; PATRA, H. K. Physiology of chromium toxicity in plants. **Review Plant Physiology Biochemistry**. v.24, p.10-17, 1997.
- PÄTSIKKÄ, E.; ARO, E.M.; TYYSTJÄRVI, E. Increase in the quantum yield of photoinhibition contributes to copper toxicity in vivo. **Plant Physiology**, v.117, p.619-627, 1998.
- PAVAN, M.A.; BINGHAM, F.T. Toxidez de metais em plantas. I. Caracterização de toxidez de manganês em cafeeiros. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.16, p.815-821, 1981.
- PAVLÍKOVÁ, D.; PAVLÍK, M.; STASZKOVÁ, L.; TLUSTOŠ, P.; SZÁKOVÁ, J.; BALÍK, J. The effect of potentially toxic elements and sewage sludge on the

activity of regulatory enzyme glutamate kinase. **Plant Soil Environmental**, v.53, p.201-206, 2007.

PEDÓ, T.; LOPES, N.F.; MORAES, D.M.; AUMONDE, T.Z.; SACCARO, E.L. Crescimento de três cultivares de rabanete (*Raphanus sativus*) ao longo da ontogenia das plantas. **Tecnologia & Ciência Agropecuária**, v.4, p.17-21, 2010.

PEIL, R.M.N. A enxertia na produção de mudas de hortaliças. **Ciência Rural**, v.33, p.1169-1177, 2003.

PEREIRA, L.B.; MAZZANTI, C.M.A.; GONÇALVES, J.F.; CARGNELUTTI, D.; TABALDI, L.A.; BECKER, A.G.; CALGAROTO, N.S.; FARIAS, J.G.; BATTISTI, V.; BOHRER, D.; NICOLOSO, F.T.; MORSCH, V.M.; SCHETINGER, M.R.C. Aluminum-induced oxidative stress in cucumber. **Plant Physiology and Biochemistry**, v.8, p.683-689, 2010.

PESSOA, A.C.S.; LUCHESE, E.B.; LUCHESE, A.V. Germinação e desenvolvimento inicial de plantas de milho, em resposta ao tratamento de sementes com boro. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.24, p.939-945, 2000.

PITTMAN, J. Managing the manganese: molecular mechanisms of manganese transport and homeostasis. **New Phytology**, v.167, p.733-742, 2005.

PONTES, A.S.C. Resposta do melão a omissão de B, Cu, Fe, Mn e Zn em dois solos do Submédio São Francisco. Cruz das Almas, 2000, 53 p. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal da Bahia, UFBA.

POPINIGIS, F. **Fisiologia da semente**. Brasília: AGIPLAN, 1977. 289p.

PULITI, J.P.M.; REIS, H.B.; PAULINO, H.D.M.; RIBEIRO, T.C.M.; TEIXEIRA, M.Z.; CHAVES, A.S.; RIBEIRO, B.R.; MACIEIRA, G.A.A.; YURI, J.E. Comportamento da cultura do rabanete em função de fontes e doses de cálcio. **Horticultura Brasileira**, v.27, p.3003-3008, 2009.

QUAGGIO, J.A. **Acidez e calagem em solos tropicais**. Campinas: Instituto Agrônomo, 2000. 111p.

QUARTACCI, M.F.; PINZINO, C.; SGHERRI, C.L.M.; VECCHIA, F.D.; NAVARIZZO, F. Growth in excess copper induces changes in the lipid composition and fluidity of PSII - enriched membranes in wheat. **Physiologia Plantarum**, v.108, p.87-93, 2000.

RADFORD, P.J. Growth analysis formulae: their use and abuse. **Crop Science**, v.7, p.171-175, 1967.

RICHARDS, F.J. The quantitative analysis of growth. In: STEWARD, F. C. (ed.) **Plant Physiology**. A treatise. New York: Academic press, 1969. p.3-76.

RHUE, R.D. Differential aluminum tolerance in crop plants. In: MUSSELL, H.; STAPLES, R.C. (eds.). **Stress physiology in crop plants**. New York, John Wiley & Sons, 1979. p.61-80.

ROSSI, C.E.; MONTALDI, P.T. Nematóides de galha em rabanete: suscetibilidade de cultivares e patogenicidade. **Horticultura Brasileira**, v.22, p.72-75, 2004.

ROUT, G.R.; SAMANTARAY, S.; DAS, P. Aluminium toxicity in plants: a review. **Agronomie**, v.21, p.3-21, 2001.

ROUT, G.R.; SAMANTARAY S.; DAS. P. Studies on differential manganese tolerance of mung bean and rice genotypes in hydroponic culture. **Agronomie**, v.21, p.725-733, 2001.

SALVADOR, J. O.; MOREIRA, A.; MALAVOLTA, E.; CABRAL, C. P. Influência do alumínio no crescimento e na acumulação de nutrientes em mudas de goiabeira. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.24, p.787-796, 2000.

SALVADOR, J.O.; MOREIRA, A.; MALAVOLTA, E.; CABRAL, C.P. Influência do boro e do manganês no crescimento e na composição mineral de mudas de goiabeira. **Ciência e Agrotecnologia**, v.27, p.325-331, 2003.

SANTOS, G.C.G.; RODELLA, A.A. Efeito da adição de fontes de matéria orgânica como amenizantes do efeito tóxico de B, Zn, Cu, Mn e Pb no cultivo de *Brassicajuncea*. **Revista Brasileira de ciência do solo**, v.31, p.793-804, 2007.

SCHUCH, L.O.B.; NEDEL, J.L.; ASSIS, F.N. Crescimento em laboratório de plântulas de aveia-preta (*Avena strigosa* Schreb.) em função do vigor das sementes. **Revista Brasileira de Sementes**, v.21, p.229-234, 1999.

SHELDON, A.R.; MENZIES, N.W. The effect of copper toxicity on the growth and root morphology of Rhodes grass (*Chloris gayana* Knuth.) in resin buffered solution culture. **Plant and Soil**, v. 278, p.341-349, 2005.

SHEN R.F.; MA, J.F.; KYO, M.; IWASHITA, T. Compartmentation of aluminium in leaves of an Al-accumulator, *Fagopirum esculentum* Moench. **Planta**, v.215, p.394-398, 2002.

SCHLINDWEIN, J. A.; NOLLA, A.; ANGHINONI, I. ; MEURER , E.J. Redução da toxidez de alumínio em raízes de soja por culturas antecessoras no sistema plantio direto. **Revista Brasileira de Agrociência**, v. 9, p.85-88, 2003.

SHRIVASTAVA, M.K.; JAIN, K.C.; JAIN, S. Studies on effect of phosphorus application in cotton (*Gossypium hirsutum* L.). **Advance Plant Science**, v.12, p.279-281, 1997.

SILVA, L.C.; BELTRÃO, N.E.M.; AMORIM NETO, M. S. Análise do Crescimento de Comunidades Vegetais. 2000. Embrapa. **Circular Técnica** N° 34, 18p.

- SILVA, R.N. **Crescimento de plantas de cevada (*Hordeum vulgare* L.) submetidas a estresse salino**. 2005, 98 f. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Pelotas, Pelotas.
- SIVAGURU, M.; PALIWAL, K. A simple test to identify aluminium tolerant rice cultivars at the level of signal perception. **Current Science**, v. 67, p.398-399, 1994.
- SORATTO, R. P.; SILVA, T.R.B.; BORGHI, E.; SILVA, L.M.; ROSOLEM, C. A. Resposta de quatro cultivares de feijão ao manganês em solução nutritiva. **Revista Brasileira de Agrociência**, v.11, p. 235-240, 2005.
- STEINER, F.; PINTO JÚNIOR, A.S.; ZOZ, T.; GUIMARÃES, V. F.; DRANSKI, J.A.L.; RHEINHEIMER, A.R. Germinação de sementes de rabanete sob temperaturas adversas. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, v.4, p.430-434, 2009.
- STROBEL, B.J.; BERNHOLF, I.; BORGARD, O.K. Low-molecular-weight aliphatic acids in soil solution under different vegetations determined by capillary zone electrophoresis. **Plant Soil**, v.212, p.115-121, 1999.
- SZYMANSKA, M.; MOLAS, J. The effect of aluminium on early development stages of *Cucumis sativus* L. **Folia Horticulturae**, v.8, p.73- 83, 1996.
- TEÓFILO, T.M.S.; FREITAS, F.C.L.; NEGREIROS, M.Z.; LOPES, W.A.R.; VIEIRA, S.S. Crescimento de cultivares de cenoura nas condições de Mossoró-RN. **Caatinga**, v.22, p.168-174, 2009.
- TOMAZ, M.A.; MARTINEZ, H.E.P.; SAKIYAMA, N.S.; CRUZ, C.D.; PEREIRA, A.A. Absorção, translocação e utilização de zinco, cobre e manganês por mudas enxertadas de *Coffea arabica*. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.30, p.377-384, 2006.
- TRANI, P.E. Hortaliças Folhosas e Condimentares. In: FERREIRA, M.E.; CRUZ, M.C.P.; van RAIJ, B.; ABREU, C.A. **Micronutrientes e elementos tóxicos na agricultura**. Jaboticabal: CNPq/FAPESP/POTAFOS, p.493-506, 2001.
- VELOSO, C.A.C.; MURAOKA, T.; MALAVOLTA, E.; CARVALHO, J.G. Efeitos do alumínio em pimenteira do reino (*Piper nigrum*, L.). **Scientia Agricola**, v.52, p.368-375, 1995.
- VELOSO, C.A.C.; MALAVOLTA, E.; MURAOKA, T.; CARVALHO, E.J.G. Alumínio e a absorção de cálcio por mudas de pimenta do reino. **Scientia Agricola**, v.57, p.141-145, 2000.
- VIEIRA, C. **Cultura do feijão**. Viçosa: Universidade Federal de Viçosa, 1976. 120p.
- VIEIRA, R.D.; CARVALHO, N.M. **Testes de vigor em sementes**. Jaboticabal: FUNEP/UNESP, 1994. 164p.

VILLATORO-PULIDO, M.; FONT, R.; HARO-BRAVO, M.I.; ROMERO JIMÉNEZ, M.; ANTER, J.; BAILÓN, A.H.; ALONSO-MORAGA, A.; RÍO CELESTINO, M. Modulation of genotoxicity and cytotoxicity by radish grown in metal-contaminated soils. **Mutagenesis**, v. 24, p.51-57, 2009.

YRUELA, I. Copper in plants. **Brazilian Journal of Plant Physiology**, v.17, p.145–146, 2005.

WATSON, D. J. The physiological basis of variation in yield. **Advance in Agronomy**, v.4, p.101-145, 1952.

WIERZBICKA, M.; OBIDZIN´SKA, J. The effect of lead on seed imbibition and germination in different plant species. **Plant Science**, v.137, p.155-171, 1998.

ZHENG, S. J.; MA, J. F.; MATSUMOTO, H. High aluminum resistance in buckwheat: I. Al-induced specific secretion of oxalic acid from root tips. **Plant Physiology**, v.117, p.745-751, 1998b.