

**UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA “JULIO DE MESQUITA FILHO”  
FACULDADE DE CIÊNCIAS AGRONÔMICAS  
CAMPUS DE BOTUCATU**

**ESTUDO DO POTENCIAL DO LICOR PIROLENHOSO COMO  
ADITIVO EM CONDICIONADOR DE SOLO E NO CRESCIMENTO  
INICIAL DE EUCALIPTO.**

**VINICIUS LEITE DE CAMPOS MENEGALE**

Dissertação apresentada à Faculdade de Ciências Agronômicas da UNESP – Campus de Botucatu, para obtenção do título de Mestre em Agronomia – Energia na Agricultura.

**BOTUCATU-SP  
Agosto - 2013**

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA “JULIO DE MESQUITA FILHO”  
FACULDADE DE CIÊNCIAS AGRONÔMICAS  
CAMPUS DE BOTUCATU

**ESTUDO DO POTENCIAL DO LICOR PIROLENHOSO COMO  
ADITIVO EM CONDICIONADOR DE SOLO E NO CRESCIMENTO  
INICIAL DE EUCALIPTO.**

**VINICIUS LEITE DE CAMPOS MENEGALE**

Orientador: Prof. Dr. Alcides Lopes Leão  
Co-Orientador: Prof. Dr. Hélio Grassi Filho

Dissertação apresentada à Faculdade de Ciências Agronômicas da UNESP – Câmpus de Botucatu, para obtenção do título de Mestre em Agronomia – Energia na Agricultura.

BOTUCATU-SP  
Agosto - 2013

FICHA CATALOGRÁFICA ELABORADA PELA SEÇÃO TÉCNICA DE AQUISIÇÃO E TRATAMENTO DA INFORMAÇÃO - SERVIÇO TÉCNICO DE BIBLIOTECA E DOCUMENTAÇÃO - UNESP - FCA - LAGEADO - BOTUCATU (SP)

M541e Menegale, Vinicius Leite de Campos, 1988-  
Estudo do potencial do licor pirolenhoso como aditivo em condicionador de solo e no crescimento inicial de eucalipto / Vinicius Leite de Campos Menegale. - Botucatu : [s.n.], 2013

xiii, 84 f. : il., color., grafs., tabs.

Dissertação (Mestrado) - Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Ciências Agrônômicas, Botucatu, 2013

Orientador: Alcides Lopes Leão  
Coorientador: Hélio Grassi Filho  
Inclui bibliografia

1. Eucalipto - Mudas. 2. Defensivos vegetais. 3. Cromatografia gasosa. 4. Carbonização - Madeira. 5. Fertilizantes orgânicos. 5. Solos - Fertilidade. I. Leão, Alcides Lopes. II. Grassi Filho Hélio. III. Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho" (Campus de Botucatu). Faculdade de Ciências Agrônômicas. IV. Título

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA “JÚLIO DE MESQUITA FILHO”  
FACULDADE DE CIÊNCIAS AGRONÔMICAS  
CAMPUS DE BOTUCATU

CERTIFICADO DE APROVAÇÃO

TÍTULO: “ESTUDO DO POTENCIAL DO LICOR PIROLENHOSO COMO ADITIVO  
EM CONDICIONADOR DE SOLO E NO CRESCIMENTO INICIAL DE  
EUCALIPTO”

ALUNO: VINICIUS LEITE DE CAMPOS MENEGALE

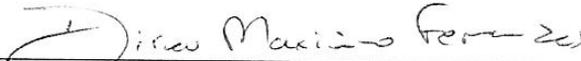
ORIENTADORA: PROF. DR. ALCIDES LOPES LEÃO

Aprovado pela Comissão Examinadora



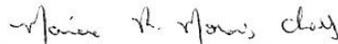
---

PROF. DR. ALCIDES LOPES LEÃO



---

PROF. DR. DIRCEU MAXIMINO FERNANDES



---

PROFA. DRA. MARCIA RODRIGUES DE MORAIS CHAVES

Data da Realização: 19 de agosto de 2013.

**DEDICATÓRIA**

Família, raiz forte.

Vida, energia vibrante.

“No fim do jogo reis e peões voltam para a mesma caixa,  
e o próximo jogo também será de luz.”

**AGRADECIMENTOS**

A Faculdade de Ciências Agronômicas – FCA/UNESP.

Os amigos que fazem parte desta caminhada.

**SUMÁRIO**

LISTA DE TABELAS.....	VII
LISTA DE FIGURAS.....	VIII
RESUMO.....	XI
SUMARY.....	XII
1 INTRODUÇÃO.....	1
2 REVISÃO DE LITERATURA.....	3
2.1 Extrato Pirolenhoso.....	3
2.2 Extrato Pirolenhoso na Agricultura.....	7
3 MATERIAL E MÉTODOS.....	11
3.1 Enriquecimento do Composto Condicionador de Solo.....	11
3.2 Aplicação do Composto Condicionador de Solo.....	13
3.2.1 Local do Experimento.....	13
3.2.2 Descrição da Espécie Utilizada.....	13
3.2.3 Condução do Experimento.....	14
3.2.4 Características Químicas do Solo.....	17
3.2.5 Avaliação de Crescimento das Mudanças.....	17
3.2.6 Massa de Matéria Seca das Plantas.....	17
3.2.7 Diagnose Foliar dos Teores de Nutrientes.....	17
3.2.8 Perfil Químico do Extrato Pirolenhoso e Chorume.....	18
3.2.9 Análise Estatística.....	18
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	19
4.1 Composto Condicionador de Solo.....	19
4.1.1 Teor de Nutrientes.....	19
4.2 Aplicação do Composto Condicionador de Solo.....	25
4.2.1 Alterações nos Atributos Químicos do Solo.....	25
4.2.2 Interações no Desenvolvimento Vegetativo das Mudanças.....	44
4.2.3 Diagnose Foliar dos Teores dos Elementos Minerais.....	59
4.2.4 Perfil Químico do Extrato Pirolenhoso e Chorume.....	68
4.2.5 Diagnose Visual dos Sintomas Foliares.....	68
5 CONCLUSÕES.....	70
6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	71

## LISTA DE TABELAS

<b>Tabela 1.</b> Caracterização Química do Extrato Pirolenhoso (LOO et al., 2008). .....	6
<b>Tabela 2.</b> Caracterização Física do Extrato Pirolenhoso (LOO, 2008).....	7
<b>Tabela 3.</b> Proporção dos materiais na composição das leiras.....	12
<b>Tabela 4.</b> Análise química dos materiais.....	13
<b>Tabela 5.</b> Análise Química do Solo Utilizado. ....	16
<b>Tabela 6.</b> Descrição dos Tratamentos de Adubação. ....	16
<b>Tabela 7.</b> Quadrado Médio e Coeficientes de Variação (C.V.) dos atributos do composto condicionador de solo. ....	20
<b>Tabela 8.</b> Análise química do composto condicionador de solo – macronutrientes, umidade (65°C), matéria orgânica (M.O.) e C.....	21
<b>Tabela 9.</b> Análise química do composto orgânico – micronutrientes, Na, relação C/N e pH. ....	23
<b>Tabela 10.</b> Atributos Químicos do Solo: pH, Matéria Orgânica (M.O.), Teores de P, Al <sup>+3</sup> , H+Al, K, Ca, Mg, S, Soma de Bases (SB), Capacidade de troca Catiônica (CTC) e Saturação por Bases (V%).....	32
<b>Tabela 11.</b> Atributos Químicos do Solo: Teores de B, Cu, Fe, Mn, Zn e Na.....	33
<b>Tabela 12.</b> Condutividade Elétrica do Solo.....	34
<b>Tabela 13.</b> Avaliação de Altura (H) e Diâmetro de Coleto (DC) das Mudanças.....	48
<b>Tabela 14.</b> Massa de Matéria Seca (M.S.) das Mudanças aos 90 Dias Após Plantio. ....	56
<b>Tabela 15.</b> Teores totais dos elementos no material vegetal (folhas). ....	61
<b>Tabela 16.</b> Compostos Químicos - Cromatografia Gasosa (GC – MS).....	68

## LISTA DE FIGURAS

<b>Figura 1.</b> Processo de Obtenção do Extrato Pirolenhoso (MYASAKA et al., 1999).....	12
<b>Figura 2.</b> Incorporação do composto ao solo para enchimento dos vasos (a) e plantio (b). Condução do experimento (c). Mudas clonais de híbrido de <i>Eucalyptus grandis</i> x <i>Eucalyptus urophylla</i> (d).....	15
<b>Figura 3.</b> Teores de N, P, K, Ca, Mg e S no composto condicionador de solo em relação à concentração de Extrato Pirolenhoso.....	22
<b>Figura 4.</b> Teores de Na, Cu, Fe, Mn, Zn, C e M.O. no composto condicionador de solo em relação à concentração de Extrato Pirolenhoso. ....	24
<b>Figura 5.</b> Valores de pH no solo em relação à concentração de E.P. no composto e doses de adubação. ....	35
<b>Figura 6.</b> Teor de Matéria Orgânica (M.O.) no solo em relação à concentração de E.P. no composto e doses de adubação. ....	35
<b>Figura 7.</b> Teor de P no solo em relação à concentração de E.P. no composto e doses de adubação.....	36
<b>Figura 8.</b> Teor de $Al^{+3}$ no solo em relação à concentração de E.P. no composto e doses de adubação.....	36
<b>Figura 9.</b> Teor de H+Al no solo em relação à concentração de E.P. no composto e doses de adubação.....	37
<b>Figura 10.</b> Teor de K no solo em relação à concentração de E.P. no composto e doses de adubação.....	37
<b>Figura 11.</b> Teor de Ca no solo em relação à concentração de E.P. no composto e doses de adubação.....	38
<b>Figura 12.</b> Teor de Mg no solo em relação à concentração de E.P. no composto e doses de adubação.....	38
<b>Figura 13.</b> Soma de Bases (SB) no solo em relação à concentração de E.P. no composto e doses de adubação.....	39
<b>Figura 14.</b> Capacidade de Troca Catiônica (CTC) no solo em relação à concentração de E.P. no composto e doses de adubação. ....	39
<b>Figura 15.</b> Saturação por Bases (V%) no solo em relação à concentração de E.P. no composto e doses de adubação. ....	40

<b>Figura 16.</b> Teor de S no solo em relação à concentração de E.P. no composto e doses de adubação.....	40
<b>Figura 17.</b> Teor de B no solo em relação à concentração de E.P. no composto e doses de adubação.....	41
<b>Figura 18.</b> Teor de Cu no solo em relação à concentração de E.P. no composto e doses de adubação.....	41
<b>Figura 19.</b> Teor de Cu no solo em relação à concentração de E.P. no composto e doses de adubação.....	42
<b>Figura 20.</b> Teor de Mn no solo em relação à concentração de E.P. no composto e doses de adubação.....	42
<b>Figura 21.</b> Teor de Zn no solo em relação à concentração de E.P. no composto e doses de adubação.....	43
<b>Figura 22.</b> Teor de Na no solo em relação à concentração de E.P. no composto e doses de adubação.....	43
<b>Figura 23.</b> Valores de C.E. no solo em relação à concentração de E.P. no composto e doses de adubação.....	44
<b>Figura 24.</b> Altura (H) das mudas 30 Dias Após Plantio em relação à concentração de E.P. no composto e doses de adubação. ....	49
<b>Figura 25.</b> Altura (H) das mudas 60 Dias Após Plantio em relação à concentração de E.P. no composto e doses de adubação. ....	49
<b>Figura 26.</b> Altura (H) das mudas 90 Dias Após Plantio em relação à concentração de E.P. no composto e doses de adubação. ....	50
<b>Figura 27.</b> Diâmetro de Coleto (DC) das mudas 30 Dias Após Plantio em relação à concentração de E.P. no composto e doses de adubação. ....	50
<b>Figura 28.</b> Diâmetro de Coleto (DC) das mudas 60 Dias Após Plantio em relação à concentração de E.P. no composto e doses de adubação. ....	51
<b>Figura 29.</b> Diâmetro de Coleto (DC) das mudas 90 Dias Após Plantio em relação à concentração de E.P. no composto e doses de adubação. ....	51
<b>Figura 30.</b> Altura (H) das mudas em relação ao tempo (Dias Após Plantio) e doses de adubação para o composto 0% E.P.....	52
<b>Figura 31.</b> Altura (H) das mudas em relação ao tempo (Dias Após Plantio) e doses de adubação para o composto 10% E.P.....	52

<b>Figura 32.</b> Altura (H) das mudas em relação ao tempo (Dias Após Plantio) e doses de adubação para o composto 15% E.P. ....	53
<b>Figura 33.</b> Altura (H) das mudas em relação ao tempo (Dias Após Plantio) e doses de adubação para o composto 20% E.P. ....	53
<b>Figura 34.</b> Diâmetro de Coleto (DC) das mudas em relação ao tempo (Dias Após Plantio) e doses de adubação para o composto 0% E.P. ....	54
<b>Figura 35.</b> Diâmetro de Coleto (DC) das mudas em relação ao tempo (Dias Após Plantio) e doses de adubação para o composto 10% E.P. ....	54
<b>Figura 36.</b> Diâmetro de Coleto (DC) das mudas em relação ao tempo (Dias Após Plantio) e doses de adubação para o composto 15% E.P. ....	55
<b>Figura 37.</b> Diâmetro de Coleto (DC) das mudas em relação ao tempo (Dias Após Plantio) e doses de adubação para o composto 20% E.P. ....	55
<b>Figura 38.</b> Massa de Matéria Seca (M.S.) de Folhas 90 Dias Após Plantio em relação à concentração de E.P. no composto orgânico e doses de adubação.....	57
<b>Figura 39.</b> Massa de Matéria Seca (M.S.) de Caule 90 Dias Após Plantio em relação à concentração de E.P. no composto e doses de adubação. ....	57
<b>Figura 40.</b> Massa de Matéria Seca (M.S.) de Raízes 90 Dias Após Plantio em relação à concentração de E.P. no composto e doses de adubação. ....	58
<b>Figura 41.</b> Massa de Matéria Seca (M.S.) Total 90 Dias Após Plantio em relação à concentração de E.P. no composto e doses de adubação. ....	58
<b>Figura 42.</b> Teor de N foliar em relação à concentração de E.P. no composto e doses de adubação.....	62
<b>Figura 43.</b> Teor de P foliar em relação à concentração de E.P. no composto e doses de adubação.....	62
<b>Figura 44.</b> Teor de K foliar em relação à concentração de E.P. no composto e doses de adubação.....	63
<b>Figura 45.</b> Teor de Ca foliar em relação à concentração de E.P. no composto e doses de adubação.....	63
<b>Figura 46.</b> Teor de Mg foliar em relação à concentração de E.P. no composto e doses de adubação.....	64
<b>Figura 47.</b> Teor de S foliar em relação à concentração de E.P. no composto e doses de adubação.....	64

<b>Figura 48.</b> Teor de B foliar em relação à concentração de E.P. no composto e doses de adubação.....	65
<b>Figura 49.</b> Teor de Cu foliar em relação à concentração de E.P. no composto e doses de adubação.....	65
<b>Figura 50.</b> Teor de Fe foliar em relação à concentração de E.P. no composto e doses de adubação.....	66
<b>Figura 51.</b> Teor de Mn foliar em relação à concentração de E.P. no composto e doses de adubação.....	66
<b>Figura 52.</b> Teor de Zn foliar em relação à concentração de E.P. no composto e doses de adubação.....	67
<b>Figura 53.</b> Teor de Na foliar em relação à concentração de E.P. no composto e doses de adubação.....	67
<b>Figura 54.</b> Sintomas foliares na dose 35 t M.S. ha <sup>-1</sup> do composto orgânico 20% E.P.....	69

## RESUMO

Atuais normas de gestão e certificação ambiental na produção agroflorestal incentivam a reciclagem dos nutrientes presentes nos resíduos e subprodutos das agroindústrias, proporcionando racionamento na utilização de insumos minerais e benefícios para o solo, além da redução de passivos ambientais. O extrato pirolenhoso (E.P.) é um subproduto do processo de produção do carvão mineral, originado a partir da condensação e recuperação dos gases voláteis. É um líquido de coloração amarela a marrom avermelhada, com potencial de uso na agricultura, sendo classificado como agente quelante e complexante orgânico e aditivo estabilizante autorizado para fertilizantes orgânicos e organominerais. Objetivou-se avaliar a qualidade agronômica do composto condicionador de solo produzido a partir da decomposição aeróbia de palhicho de cana-de-açúcar com adição de E.P., as alterações químicas do solo, o aporte de nutrientes na parte aérea e o desenvolvimento vegetativo de mudas clonais de híbrido de *Eucalyptus grandis* x *Eucalyptus urophylla* com 100 dias de idade após a aplicação do composto condicionador de solo. O delineamento experimental blocos inteiramente casualizados, em esquema fatorial ( $4 \times 5 + 1$ ) em seis repetições, com quatro concentrações de E.P. no composto orgânico: 0, 10, 15 e 20% (m/m) e cinco doses de adubação: 0, 5, 15, 25 e 35 t M.S. ha<sup>-1</sup>, somando-se o tratamento adicional com adubação mineral e calagem. O tratamento com adubação mineral e calagem consistiu na aplicação de 400 kg ha<sup>-1</sup>, respectivamente 4 g vaso<sup>-1</sup> do formulado 10-10-10 e aplicação de 1,48 t ha<sup>-1</sup>, respectivamente 14,8 g vaso<sup>-1</sup> de calcário dolomítico Minercal (PRNT = 91,5). O enriquecimento com E.P. proporcionou aumento nos teores de macro e micronutrientes do composto. O composto 15% E.P. nas doses 25 e 35 t M.S. ha<sup>-1</sup> proporcionou incrementos nos atributos químicos de fertilidade do solo e interações positivas na Altura (H), Diâmetro de Coleto (DC) das mudas aos 30, 60 e 90 Dias Após Plantio e Massa de Matéria Seca (M.S.) de Folhas, Caule e Raízes aos 90 Dias Após Plantio. A aplicação do composto orgânico 20% E.P. nas doses 15, 25 e 35 t M.S. ha<sup>-1</sup>, em relação direta com o aumento dos valores de condutividade elétrica (C.E.) do solo, suprimiu o desenvolvimento das plantas, com os menores valores H e DC aos 30, 60 e 90 Dias Após Plantio e M.S. de Folhas, Caule e Raízes aos 90 Dias Após Plantio.

**PYROLIGNEOUS EXTRACT IN THE ENRICHMENT OF SOIL CONDITIONER FOR FORESTRY PRODUCTION.** Botucatu, 2013. p. Dissertação (Mestrado em Agronomia/Energia na Agricultura) – Faculdade de Ciências Agrônômicas, Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”

Author: Vinicius Leite de Campos Menegale

Adviser: Alcides Lopes Leão

Second Adviser: Hélio Grassi Filho

## SUMMARY

Current management standards and environmental certification in Agroforestry encourage the recycling of nutrients coming from the waste and byproducts of agroindustry. Thus, it provides rationing in the use of mineral inputs and benefits to the soil, besides the the reduction of environmental liabilities. The pyroligneous extract (P.E.) is a sub product in the process of production of mineral coal, originated from the condensation and recovery of volatile gases. It is a liquid with yellow to reddish brown color, with potential use in agriculture, being classified as a chelating agent and organic complexing and stabilizing additive authorized for organic fertilizers and biofertilizers. This study aimed to evaluate the agronomic quality of the compost, classified as soil conditioner, produced from the aerobic decomposition of sugarcane residues with the addition of PE, besides the chemical changes in the soil, the supply of nutrients in the aerial part and vegetative development of clonal seedlings of hybrid *Eucalyptus grandis* x *Eucalyptus urophylla* (with 100 days after planting) after the application of the compost. The experimental design was randomized block, in a factorial design ( $4 \times 5 + 1$ ) with six replicates and four concentrations of PE: 0, 10, 15 and 20% (m/m) and five doses of fertilizer: 0, 5, 15, 25 and 35 t D.M. ha<sup>-1</sup>, and additional treatment with mineral fertilization and liming. For the treatment with mineral fertilization and liming, it was applied 400 kg ha<sup>-1</sup>, respectively 4 g pot<sup>-1</sup> of 10-10-10 NPK and 1.48 t ha<sup>-1</sup>, that means, 14.8 g pot<sup>-1</sup>, of Mineral (PRNT = 91.5). The addition of PE allowed higher levels of macro and micronutrients in the compost. The compost with 15% of PE and doses of 25 and 35 t DM ha<sup>-1</sup> positively incremented the chemical properties of the soil, besides positive interactions in height (H), seedling diameter (CD) at 30, 60 and 90 days after planting and dry mass (DM) of leaves, stems and roots at 90 days after planting. The application of

compost with 20% of PE at doses of 15, 25 and 35 t DM ha<sup>-1</sup>, presented positive relationship with the increase in electrical conductivity of the soil (EC), however it suppressed the development of plants, resulting in lower values of H and CD at 30, 60 and 90 days after planting and D.M. of leaves, stems and roots at 90 days after planting.

## 1 INTRODUÇÃO

A crescente preocupação com as implicações ambientais dos processos tradicionais de tratamento e disposição de resíduos, somada à demanda pela Produção Mais Limpa (P + L) no setor agrícola são os principais catalisadores para o interesse na compostagem de resíduos e subprodutos para a produção de fertilizante orgânico. Assim, os nutrientes presentes no resíduo retornam ao ciclo produtivo, proporcionando racionamento na utilização de insumos minerais e benefícios para o solo onde é produzida a matéria-prima industrial, além da manutenção do equilíbrio dos ciclos biológicos no ecossistema com a inexistência da disposição em aterros.

A produção de carvão vegetal originado de fontes renováveis, utilizado na geração de bioenergia para diferentes processos industriais, carece em pesquisas para diminuição dos passivos ambientais. A recuperação e a correta utilização dos subprodutos da carbonização da madeira minimizam o impacto ambiental causado pelo lançamento dos gases na atmosfera. A partir da condensação e recuperação dos gases voláteis é obtido o extrato pirolenhoso (E.P.), um líquido de coloração amarela a marrom avermelhada, com potencial uso na agricultura. Tais técnicas foram trazidas do Japão onde o E.P. é utilizado há séculos na adubação e proteção fitossanitária de culturas agrícolas.

De acordo com a IN - MAPA Nº 25, de 23 de Julho de 2009 (BRASIL, 2009) o extrato pirolenhoso é classificado como agente quelante e complexante orgânico e aditivo estabilizante autorizado para fertilizantes orgânicos e organominerais. Viabilizando-se as técnicas para a utilização do E.P. na silvicultura brasileira o setor industrial dependente de energia da biomassa proveniente do carvão pode evitar a emissão

da fumaça na atmosfera, otimizando o ciclo do C com a aplicação do E.P. nas florestas energéticas.

A integração da produção florestal e o gerenciamento de resíduos industriais tem base na utilização racional dos recursos naturais, diminuição do passivo ambiental e valorização dos resíduos através da recuperação de nutrientes e energia. Os resultados positivos destas técnicas implicam diretamente na redução de riscos à saúde ambiental e humana, bem como contribuem sobremaneira para o balanço econômico do reflorestamento, tendo em vista os novos enfoques certificatórios que regem o mercado.

Na Produção Mais Limpa (P+L), em razão da ênfase na reciclagem dos recursos naturais, os resíduos agroindustriais são fontes primárias de nutrientes para a produção florestal. O balanço da importação e exportação de nutrientes nas áreas de reflorestamento deve ser considerado como parte integrante do ciclo energético.

Em vista do exposto, os objetivos do presente trabalho foram avaliar os atributos químicos do composto condicionador de solo produzido a partir da decomposição aeróbia de palhiço de cana-de-açúcar com adição de extrato pirolenhoso, as alterações químicas do solo, as alterações no teor de nutrientes na parte aérea e o desenvolvimento de mudas clonais de híbrido de *Eucalyptus grandis* x *Eucalyptus urophylla* com 100 dias de idade após a aplicação do composto condicionador de solo.

## 2 REVISÃO DE LITERATURA

### 2.1 Extrato Pirolenhoso

Produto de origem natural, derivado dos extratos de fumaça, conhecido como extrato pirolenhoso (E.P.), ácido pirolenhoso, vinagre de madeira e mokusaku com diversas formas de aplicação, dentre elas a agrícola, é composto por água em sua maior parte (80 a 90% v/v) e uma mistura complexa de milhares de compostos, contendo nesses mais de 200 compostos orgânicos decorrentes da degradação térmica da madeira, como ácido acético, alcoóis, acetonas, ésteres e furanos. Além destes cita-se número significativo de compostos resultantes da degradação térmica da lignina tais como fenol, guaicol, siringol, pirocatecol e seus derivados (FENGEL & WEGENER, 1983; SHAFIZADEH, 1984; GUILLÉN et al., 1995, 2001; GUILLÉN & IBARGOITIA, 1996a, b, 1998, 1999; GUILLÉN & MANZANOS, 1996, 1997, 1999a, b, 2002; ADRIANSZ et al., 2000, WEI et al., 2010). Na tabela 1 é apresentada a caracterização química do E.P conforme Loo et al. (2008).

O E.P. é obtido após o processo de condensação da fumaça formada pela carbonização da biomassa da madeira para produção de carvão vegetal. No interior dos fornos carvoeiros ocorre a pirólise lenta, a qual atinge temperaturas superiores a 300 °C, com taxa de aquecimento inferior a 80 °C/min. (WILLIAMS & BESLER, 1996). A biomassa consiste em grande parte de celulose, hemicelulose e lignina, biopolímeros complexos que são submetidos a várias transformações com o aumento da temperatura. Isto pode ser observado nos resultados de análises termogravimétricas (TGA) para os diferentes constituintes de biomassa (YANG et al., 2007). A massa da biomassa diminui

devido à evaporação de água durante as fases iniciais de aquecimento, quando a temperatura da biomassa aumenta para cerca de 100 °C. À medida que a temperatura aumenta para cerca de 160 °C a umidade higroscópica é removida da biomassa. Os vapores da pirólise nesta fase apresentam taxa de aquecimento insignificante. A temperaturas acima de 180 °C o complexo de celulose, hemicelulose e polímeros de lignina se rompe, liberando uma mistura de gases não condensáveis e vapores condensáveis (NACHENIUS et al., 2013). Entre 180 e 270 °C as reações são endotérmicas, mas constatou-se tornar-se exotérmica a temperaturas acima de 280 °C. A temperaturas acima de 400 °C os componentes menos voláteis que ainda impregnam o carvão sólido são gradualmente expelidos, produzindo assim um produto que tem um maior teor de carbono fixo e um menor teor de carbono volátil. A mistura destes gases e vapores denominada fumaça percorre um cano com comprimento superior a 10 metros, ocorrendo a condensação dos vapores condensáveis. O líquido pirolenhoso coletado é posteriormente deixado em repouso durante três meses para que ocorra a decantação e purificação natural, resultando na distinção de três fases: o óleo na parte superior, o E.P. líquido e translúcido de coloração amarela a marrom avermelhada na fase intermediária e o alcatrão vegetal de consistência pegajosa e coloração escura na parte inferior (WEI et al., 2010). As propriedades físicas do E.P. são apresentadas na Tabela 2.

O E.P. pode ser obtido de diferentes espécies vegetais, como *Eucalyptus* spp., *Pinus* spp. e bambu, com sua composição caracterizada em função da espécie. Além disso, no processo de obtenção do E.P. é importante para sua composição o controle da temperatura utilizada no processo de condensação, que pode inibir ou ativar compostos bioativos (BROWN & VAN STADEN, 1997; MU et al., 2004), influenciando na qualidade do produto.

No Japão, o E.P. é denominado “mokusaku-eki” e tem utilização tradicional no controle de pragas em aplicações via solo e como “fertilizante orgânico” em arroz (TSUZUKI et al., 2000). Além do uso agrícola o E.P. é utilizado como removedor de odor no chorume de aterros sanitários (HUH et al., 1999). O E.P. também tem aplicação medicinal (GUILLÉN et al., 1995 e GUILLÉN & IBARGOITIA, 1998; KIM, 2001; PARK, 2003; LOO et al., 2008) e na alimentação humana e animal (WANG et al., 2010), já que possui aroma característico, acrescentando também efeito inibidor do crescimento microbiano (YOUN, 2003; SANGSRICHAN, 2009). A adição de E.P. em proporção de 0,2% na ração de leitões resultou no aumento da conversão alimentar (AHN, 2005),

melhora na digestibilidade de nutrientes e diminuição de coliformes intestinais prejudiciais (CHOI, 2009). Com a mesma quantidade de E.P. na ração de frangos Shim (2013) relata redução na emissão de gases tóxicos nas excretas, além de efeitos positivos nos parâmetros nutricionais da carne. Citam-se as propriedades antifúngicas do E.P. e óleo pirolenhoso no tratamento de madeira (SUZUKI et al., 1997; FREEL & GRAHAM, 2000; MOURANT et al., 2005; e MOURANT et al., 2008) e na substituição parcial do fenol em resinas para fabricação de painéis, obtendo-se resultados promissores quanto às propriedades mecânicas (AMEN-CHEN et al., 2002; CHAN et al., 2002; MOURANT et al., 2008).

**Tabela 1.** Caracterização Química do Extrato Pirolenhoso (LOO et al., 2008).

<b>Famílias</b>	<b>Compostos</b>
Guaiacol e Derivados	2-Metoxifenol (guaicol)
	4-Metil-2-metoxifenol
	1-(3-Hidroxi-2-metoxifenil)-etanona
	4-(2-Propenil)-2-metoxifenol (eugenol)
	4-Hidroxi-3-metoxibenzaldeído (vanilina)
	4-Hidroxi-3-metoxibenzoico ácido (ácido vanílico)
	1-(4-Hidroxi-3-metoxifenil)-2-propanona
	1-(4-Hidroxi-3-metoxifenil)-etanal
Siringol e Derivados	2,6-Dimetoxifenol (siringol)
	3,4-Dimetoxifenol
	4-Metil-2,6-dimetoxifenol
	4-Etil-2,6-dimetoxifenol
	4-Vinil-2,6-dimetoxifenol
	4-Propil-2,6-dimetoxifenol (4-propilsiringol)
	4-Hidroxi-3,5-dimetoxibenzaldeído
1-(4-Hidroxi-3,5-dimetoxifenil)-etanona	
	1-(4-Hidroxi-3,5-dimetoxifenil)-2-propanona
Pirocatecol e Derivados	1,2-Benzenodiol (catecol)
	1,4-Benzenodiol (hidroquinona)
	3-Metoxi-1,2-benzenodiol
	3-Metil-1,2-benzenodiol
	4-Metil-1,2-benzenodiol
	4-Etilbenzenodiol
Derivados de Carboidratos	1,6-Anidro- $\alpha$ -D-galactofuranose
	1,6-Anidro- $\alpha$ -D-galactopirranose
	1,6-Anidro- $\beta$ -D-manopirranose
Compostos Terpênicos	Cânfora
	Terpinen-4-ol
	5-Hidroxi-1,8-cineol
	2H-1-Benzopiran-2-ona
Compostos Nitrogenados	2-Metilpiridina
	3-Metilpiridina
	3-Metoxipiridina
	1,3-Dimetil-1H-pirazol
	2-Etil-6-metilpiridina
	2-Metil-3-piridinol

**Tabela 2.** Caracterização Física do Extrato Pirolenhoso (LOO, 2008).

<b>Propriedades Físicas</b>	<b>Valores</b>
Aparência	Líquido Marrom Avermelhado
Pressão de Vapor	Similar a da Água
Densidade Específica	1,07 a 1,09 a 25°C
Ponto de Fulgor	44 - 46°C
Ph	2,0 a 3,0
Viscosidade	20 – 100 cSt a 40°C
Curva de Ebulição	Fervura Inferior a 100 °C
Temperatura de Auto Ignição	Superior a 500 °C
Odor	Aroma de Fumaça

## 2.2 Extrato Pirolenhoso na Agricultura

Produtos advindos de fontes naturais e renováveis têm sido estudados na aplicação para a agricultura, como no caso do E.P., possibilitando incrementos na produção das culturas agrícolas (DE LANGE & BOUCHER, 1990; SHIRAKAWA et al., 1993; UDDIN et al., 1994; JÄGER et al., 1996; VAN STADEN et al., 2000; TSUZUKI et al., 2000; MU et al., 2003; FLEMATTI et al., 2004; VAN STADEN et al., 2006; DEMIR et al., 2009; FLEMATTI et al., 2009; NELSON et al., 2009; LIGHT et al., 2010; MU & KU, 2010). Os principais países produtores de extrato pirolenhoso são o Japão, China, Indonésia, Malásia, Brasil e Chile, incluindo outros no Sudeste Asiático e na América do Sul (CAMPOS, 2007). No Brasil sua utilização na agricultura é recente e vem atraindo a atenção de pesquisadores e técnicos, como alternativa de uso na formulação de fertilizantes organominerais, devido sua ação quelante e complexante (BRASIL, 2009).

O E.P. diluído em água na concentração de 0,33 a 2% (v/v), quando aplicado ao solo melhora suas propriedades físicas, químicas e biológicas, propiciando aumento de microrganismos benéficos e facilitando a absorção de nutrientes da solução do solo pelas plantas. O E.P. bruto não deve ser utilizado na agricultura sem ser purificado e dele extraído o alcatrão solúvel logo após a obtenção do produto, o que pode ser feito por

meio de processo industrial com destilação a vácuo ou de forma artesanal via decantação. Além disso, deve ser filtrado antes do uso (MIYASAKA et al., 1999).

Em 2004, o composto biologicamente ativo butenolida (3-metil-2H-furo[2,3-c]piran-2-ona) foi isolado com sucesso a partir de celulose carbonizada e fumaça derivada da carbonização vegetal (FLEMATTI et al., 2004; VAN STADEN et al., 2004), mais tarde referido como “karrikinolide” (KAR<sub>1</sub>), pertencente à classe de compostos “karrikins”, a qual é uma nova família química definida de reguladores de crescimento vegetal (CHIWOCHA et al., 2009; DIXON et al., 2009; FLEMATTI et al., 2009; LIGHT et al. 2009; KULKARNI et al. 2011). Pesquisas demonstram que os compostos bioativos da fumaça líquida ou líquido pirolenhoso promovem o desenvolvimento de plântulas de milho, tomate, quiabo, feijão (VAN STADEN et al., 2006) e arroz (KULKARNI et al., 2006). A disparidade no balanço e concentração dos compostos químicos presentes em lotes distintos de líquido pirolenhoso pode ser eliminada usando KAR<sub>1</sub> puro, permitindo a comparação válida das aditividades biológicas durante os experimentos (CHIWOCHA et al., 2009; LIGHT et al., 2009). O potencial de KAR<sub>1</sub> em concentração extremamente baixa tem sido demonstrada por pesquisadores da África do Sul (KULKARNI et al 2008; JAIN et al 2008) e Austrália (ROKICH & DIXON, 2007; DIXON et al., 2009). Evidências de que a fumaça líquida e o KAR<sub>1</sub> são ativos em baixas concentrações e que não causam efeitos tóxicos (VERSCHAEVE et al., 2006; KULKARNI et al., 2010; MUNGKUNKAMCHAO et al., 2013) torna-os opções como agentes promotores da regulação de compostos secundários em vegetais (AREMU, 2012).

Lashari et al. (2013) realizaram experimento de campo de dois anos com correção/condicionamento físico-químico de um Neossolo salinizado da China Central com composto de esterco de galinha e biochar (carvão de biomassa) e solução de E.P. Aplicou-se 12 t ha<sup>-1</sup> do composto seguido da aplicação de 0,15 t ha<sup>-1</sup> de E.P. Os resultados demonstraram forte efeito da aplicação do composto enriquecido com E.P. na redução da salinidade, aumento da fertilidade do solo, aporte de nutrientes à cultura e acréscimo na produtividade agrícola, mantidos por dois anos. As propriedades do biochar e a composição química do E.P., base para os estudos de Lashari et al. (2013), foram reportadas respectivamente por Zhang et al. (2010; 2012) e Yan et al. (2011).

Souza-Silva et al. (2006) relatam que aplicando 100% da adubação de crescimento e 1% (v/v) de E.P. obteve-se a maior altura média de mudas clonais de eucalipto (*Eucalyptus grandis* x *Eucalyptus urophylla*); já com aplicação de 50% da

adubação e doses crescentes de E.P. houve decréscimo na altura das plantas. O aumento da concentração do E.P. provocou diminuição no diâmetro de mudas, massa seca da parte aérea e massa seca de raiz, demonstrando que em altas concentrações o E.P. causa fitotoxidez às mudas de eucalipto.

O E.P. possui forte ação antimicrobiana em concentração 50 mg ml<sup>-1</sup> para os fitopatógenos *Phytophthora capsici*, *Colletotrichum orbiculare*, *Valsamali*, *Cochliobolus sativus*, *Helminthosporium sativum* e *Phytophthora infestan* (WEI et al., 2010). Jung (2007) relata que o crescimento do fungo fitopatogênico *Alternaria mali* foi completamente inibido com E.P. na diluição de 1:32. Tais propriedades são diretamente relacionadas aos ácidos orgânicos, os quais são os principais componentes do E.P. (WEI et al., 2008a, 2008b, 2009, 2010).

De acordo com a IN - MAPA N° 35, de 4 de Julho de 2006 (BRASIL, 2006) entende-se por condicionador do solo: produto que promove a melhoria das propriedades físicas, físico-químicas ou atividade biológica do solo, podendo recuperar solos degradados ou desequilibrados nutricionalmente.

Conforme a IN - MAPA N° 25, de 23 de Julho de 2009 (BRASIL, 2009) o E.P. é classificado como agente quelante e complexante orgânico e aditivo estabilizante autorizado para fertilizantes orgânicos e organominerais, também autorizado para fertilizantes minerais de acordo com a IN - MAPA N° 5, de 23 de fevereiro de 2007. Agente quelatizante é um composto que contém átomos doadores de elétrons ou grupos (ligantes) que podem combinar com um íon metálico simples para formar uma estrutura cíclica chamada de complexo quelatizado ou quelato (MORTVEDT, 1999).

Complexos são espécies químicas formadas por um íon metálico no centro de uma estrutura geométrica, ao redor do qual se dispõem moléculas ou íons denominados ligantes. Ligante é um íon ou molécula, com pelo menos um par de elétrons livres, não compartilhados em ligações químicas. Os complexos formados por ligantes polidentados recebem o nome particular de quelatos. Nos complexos ocorrem ligações covalentes coordenadas, explicando o nome compostos de coordenação dado aos complexos. A formação do complexo altera a carga do cátion e seu comportamento, como a retenção nos coloides do solo. Tal estrutura preserva o íon metálico da formação de compostos insolúveis com o H<sub>2</sub>PO<sub>4</sub><sup>-</sup>, com a argila e até certo ponto evita sua precipitação por íons OH<sup>-</sup> ou HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>. A absorção radicular pode ocorrer com a molécula inteira, ou o metal isolado via dissociação prévia (MALAVOLTA et al., 1997). As formas

organicamente ligadas dos micronutrientes catiônicos são mais disponíveis para as plantas do que as formas inorgânicas precipitadas insolúveis e as retidas em minerais primários (CHEN, 1996).

### 3 MATERIAL E MÉTODOS

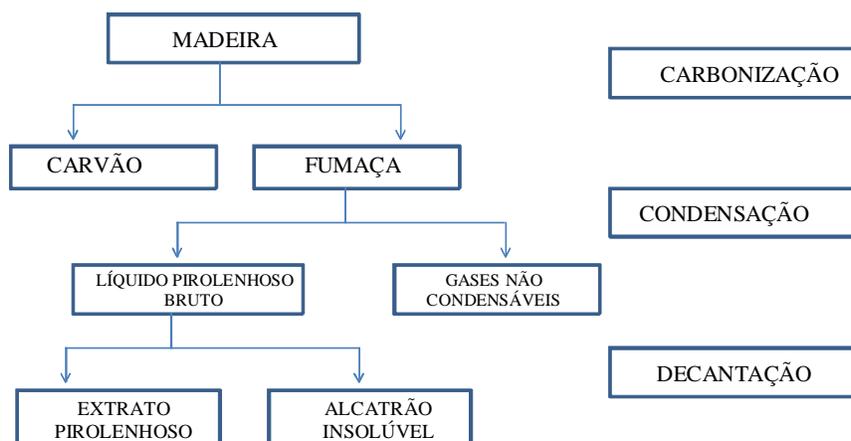
#### 3.1 Enriquecimento do Composto Condicionador de Solo

O experimento foi instalado em Março de 2010 no Departamento de Recursos Naturais/Ciências Ambientais da Faculdade de Ciências Agronômicas - Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Botucatu - São Paulo.

O composto condicionador de solo foi produzido a partir da decomposição aeróbia de palhiço de cana-de-açúcar, com adição de Extrato Pirolenhoso (E.P.) em doses 0%, 10%, 15% e 20% (m/m) e ureia (TAB. 3). O experimento foi conduzido em delineamento blocos casualizados com quatro repetições, em células de alvenaria com volume de 1 m<sup>3</sup>, alocadas sob estrutura com cobertura de telhas de cerâmica e laterais vazadas, com pé direito de 3,5 metros. As reviradas para aeração foram realizadas duas vezes por semana e a umidade das leiras mantida em 55% através de rega controlada, sendo o chorume percolado por meio de orifícios presentes no fundo das células. Decorridos 180 dias do início do processo foi realizada amostragem para as análises de umidade (65°C), relação C/N, pH, teor dos elementos C, N, P, K, Ca, Mg, S, Na, Cu, Fe, Mn, Zn e teor de Matéria Orgânica do composto condicionador de solo (BRASIL, 2007).

O palhiço de cana-de-açúcar foi proveniente da empresa Rio Claro Agrícola, Lençóis Paulista - São Paulo, composto por folha, bainha foliar, ponteiro e toletes de colmo, enfardados após a colheita mecanizada. O E.P. cedido pela empresa Maringá S/A, Itapeva - São Paulo foi obtido a partir da condensação da fumaça formada no processo de carbonização da madeira de *Eucalyptus* sp. para produção de carvão. O

material condensado, denominado líquido pirolenhoso, foi submetido ao processo de decantação e repouso por 100 dias, o que promoveu a distinção de três fases: fase superior contendo óleos leves; fase mediana contendo o E.P.; fase inferior contendo o alcatrão precipitado. Por separação de fases obteve-se o E.P. livre de alcatrão insolúvel (FIG.1). As análises químicas dos materiais foram realizadas no Laboratório de Fertilizantes e Corretivos do Departamento de Recursos Naturais/Ciência do Solo da FCA/UNESP, Botucatu - São Paulo, conforme metodologia descrita em Brasil (2007) (TAB. 4).



**Figura 1.** Processo de Obtenção do Extrato Pirolenhoso (MYASAKA et al., 1999).

**Tabela 3.** Proporção dos materiais na composição das leiras.

Porcentagem de E. P. na massa final da leira	Palhiço	Extrato Pirolenhoso	Ureia
	kg matéria seca	kg matéria seca	kg matéria seca
0%	100	0	0,7
10%	90	10	0,65
15%	85	15	0,6
20%	80	20	0,55

**Tabela 4.** Análise química dos materiais.

Amostra	Concentração no Material Orgânico								
	N	P	K	Ca	Mg	S	C	M.O.	C/N
	----- porcentagem na matéria seca -----								
<b>Palhiço</b>	0,64	0,16	0,35	0,39	0,1	0,06	44,4	87	75/1
<b>Ext. Pirolenhoso</b>	0,21	0,03	0,02	0,04	0,01	0,27	3,4	6	16/1
Amostra	Na	Cu	Fe	Mn	Zn	B	pH	Umidade (65 °C)	
	----- mg kg <sup>-1</sup> matéria seca -----								
<b>Palhiço</b>	140	0	428	24	6	24	5,35	54,7	
<b>Ext. Pirolenhoso</b>	1700	0	34100	158	126	20	4,20	-	

### 3.2 Aplicação do Composto Condicionador de Solo

#### 3.2.1 Local do Experimento

O experimento foi conduzido de Março a Setembro de 2011 em casa de vegetação com dimensões de 10 x 30 m do Departamento de Recursos Naturais/Ciências Ambientais da Faculdade de Ciências Agronômicas - Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Botucatu – São Paulo. Na Tabela 5 são apresentados os resultados da análise química para os atributos de fertilidade do solo utilizado, classificado como Latossolo Vermelho de textura média (EMBRAPA, 1999), coletado no Setor de Patrulha da Fazenda Experimental Lageado.

Segundo a classificação internacional de Koppen (CUNHA et al., 1999), o clima de Botucatu é classificado como que temperado quente, com chuvas no verão e seca no inverno, temperatura média do mês mais frio inferior a 17 °C e do mês mais quente superior a 23 °C, com precipitação pluviométrica média anual de 1533,2 mm.

#### 3.2.2 Descrição da Espécie Utilizada

As mudas, clones de híbrido de *Eucalyptus grandis* x *Eucalyptus urophylla* com 100 dias de idade, foram doadas pela empresa Eucatex S.A. – Divisão Florestal. O clone utilizado, denominado “132”, tem se mostrado adaptado à região de

Botucatu - São Paulo apresentando alta produtividade, resistência à ferrugem (*Puccinia psidii* Winter) e tolerância ao déficit hídrico.

### 3.2.3 Condução do Experimento

A incorporação do composto condicionador de solo nos vasos de 50 L foi realizada com betoneira na camada 0 – 20 cm do (FIG. 2); a camada 20 – 40 cm foi preenchida com solo; a camada 40 – 50 cm foi preenchida com pedra brita. Assim o volume do vaso disponível para crescimento radicular foi de 20 L. Simulando a aplicação na camada 0 - 20 cm em 1 ha de solo o cálculo em  $t\ ha^{-1}$  para  $2000\ m^3$  de solo foi convertido em  $g\ vaso^{-1}$  para  $0,02\ m^3$  de solo. Considerou-se a umidade ( $65^{\circ}C$ ) média do composto orgânico 65% para o cálculo das doses em tonelada de matéria seca por hectare ( $t\ M.S.\ ha^{-1}$ ) e as respectivas doses em gramas de matéria seca por vaso ( $g\ M.S.\ vaso^{-1}$ ). O delineamento experimental blocos inteiramente casualizados, em esquema fatorial ( $4 \times 5 + 1$ ) em seis repetições, com quatro concentrações de E.P. no composto orgânico: 0, 10, 15 e 20% (m/m) e cinco doses de adubação: 0, 5, 15, 25 e 35  $t\ M.S.\ ha^{-1}$ , somando-se o tratamento adicional com adubação mineral e calagem (TAB. 6). O tratamento com adubação mineral e calagem consistiu na aplicação de  $400\ kg\ ha^{-1}$ , respectivamente  $4\ g\ vaso^{-1}$  do formulado 10-10-10, segundo recomendação de adubação de Raij & Quaggio (1983) para adubação mineral de plantio na cultura de *Eucalyptus* spp. nas condições de fertilidade do solo utilizado, e aplicação de  $1,48\ t\ ha^{-1}$ , respectivamente  $14,8\ g\ vaso^{-1}$  de calcário dolomítico Minercal PRNT = 91,5 de acordo com cálculo da necessidade de calcário.

As mudas foram plantadas no final do mês de março de 2011. A umidade do solo foi mantida na taxa de 70% da capacidade de retenção de água, sendo fornecido o mesmo volume de irrigação para todos os tratamentos.



**Figura 2.** Incorporação do composto ao solo para enchimento dos vasos (a) e plantio (b). Condução do experimento (c). Mudas clonais de híbrido de *Eucalyptus grandis* x *Eucalyptus urophylla* (d).

**Tabela 5.** Análise Química do Solo Utilizado.

pH	M.O	P <sub>resina</sub>	S	Al <sup>3+</sup>	H+Al	K	Ca	Mg	SB	CTC	V%	C.E.
CaCl <sub>2</sub>	g dm <sup>-3</sup>	-- mg dm <sup>-3</sup>	--	----- mmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup>			-----			----- μs cm <sup>-1</sup>		
4,0	14	2	3	12	69	0,6	4	1	6	75	7	82,3
Boro		Cobre		Ferro		Manganês		Zinco		Sódio		
----- mg dm <sup>-3</sup> -----												
0,21		0,8		45		0,5		0,2		0,43		

**Tabela 6.** Descrição dos Tratamentos de Adubação.

Porcentagem de E.P. no Composto Orgânico	Composto Orgânico t M.S. ha <sup>-1</sup>	Composto Orgânico g M.S. vaso <sup>-1</sup>	Adubação Mineral (10-10-10) g vaso <sup>-1</sup>	Calcário Dolomítico PRNT 91,5 g vaso <sup>-1</sup>
0	0	0	-	-
0	5	50	-	-
0	15	150	-	-
0	25	250	-	-
0	35	350	-	-
10	0	0	-	-
10	5	50	-	-
10	15	150	-	-
10	25	250	-	-
10	35	350	-	-
15	0	0	-	-
15	5	50	-	-
15	15	150	-	-
15	25	250	-	-
15	35	350	-	-
20	0	0	-	-
20	5	50	-	-
20	15	150	-	-
20	25	250	-	-
20	35	350	-	-
<b>Adubação Mineral e Calagem</b>		-	4	14,8

### **3.2.4 Características Químicas do Solo**

A amostragem de solo dos vasos para caracterização química foi realizada na camada 0 - 20 cm aos 90 dias após incorporação dos tratamentos de adubação e plantio das mudas. As amostras foram secas ao ar, seguindo-se o peneiramento em malha de 2 mm, para análise no Laboratório de Fertilidade do Solo do Departamento de Recursos Naturais/Ciência do Solo da FCA/UNESP, Botucatu - São Paulo. Determinou-se o pH em  $\text{CaCl}_2$ , Matéria Orgânica, P (resina),  $\text{Al}^{3+}$ , H+Al, K, Ca, Mg e S trocáveis, B, Cu, Fe, Mn, Zn, Na e calculada a capacidade de troca de cátions (CTC) e a saturação por bases (V%), conforme metodologia descrita por Raij et al. (2001). Os teores de micronutrientes catiônicos foram determinados após extração com solução DTPA em pH 7,3. Já os teores de B foram determinados seguindo-se o método em água quente, segundo Raij et al. (2001).

### **3.2.5 Avaliação de Crescimento das Mudanças**

Avaliaram-se mensalmente após o transplante a altura da parte aérea (H) e o diâmetro do coleto (DC) das mudas. Para a altura da parte aérea mediu-se o comprimento do coleto até a gema apical. Para a medição do diâmetro do coleto das mudas utilizou-se paquímetro digital, posicionado 2 cm acima do solo.

### **3.2.6 Massa de Matéria Seca das Plantas**

Para a determinação da Massa de Matéria Seca (M.S.) aos 90 dias após plantio coletou-se separadamente folhas, raízes e caule, levados à estufa a 70°C para secagem até massa constante. A matéria seca total foi estimada pela somatória das referidas partes.

### **3.2.7 Diagnóstico Foliar dos Teores de Nutrientes**

Para determinação dos teores foliares dos elementos químicos coletou-se a parte aérea no terço médio das plantas aos 90 dias após plantio. As folhas

foram submetidas à lavagem rápida com água destilada e encaminhadas para secagem em estufa com circulação de ar a 55 – 60°C por 72 horas, sendo em seguida moídas em moinho tipo Willey. As análises foram realizadas no Laboratório de Nutrição Mineral de Plantas do Departamento de Recursos Naturais/Ciência do Solo da FCA/UNESP de Botucatu – São Paulo, utilizando-se a metodologia descrita por Malavolta et al. (1997).

### **3.2.8 Perfil Químico do Extrato Pirolenhoso e Chorume**

O perfil químico do E.P. e do chorume percolado das leiras foi identificado por Cromatografia Gasosa (GC – MS) na Central Analítica do Instituto de Química da Universidade de São Paulo - USP/São Carlos, com as seguintes condições cromatográficas: Temperatura do Forno: 50 °C; Tempo de Equilíbrio do Forno: 1 min; Temperatura do injetor: 280 °C; Temperatura da Interface: 280 °C; Comprimento da Coluna: 30 m; Diâmetro da Coluna: 0,25 mm; Pressão da Coluna: 150 kPa; Fluxo da Coluna: 2,70 ml/min; Velocidade Linear: 59,1; Fluxo Total: 30 ml/min.

### **3.2.9 Análise Estatística**

Os resultados das análises químicas do composto foram submetidos à análise de variância, a 1 e 5% pelo teste F. As médias dos tratamentos foram comparadas por meio da aplicação do Teste de Tukey com nível de significância a 5%.

Para avaliação da aplicação do composto produzido os resultados foram submetidos à análise de regressão, ajustando-se as equações aos dados obtidos a partir das doses dos compostos, adotando-se como critério para escolha do modelo a interação através do teste F significativo a 5% e magnitude dos coeficientes de determinação. As análises de regressão foram realizadas no programa Sisvar Versão 5.1.

## **4 RESULTADOS E DISCUSSÃO**

### **4.1 Composto Condicionador de Solo**

#### **4.1.1 Teor de Nutrientes**

De acordo com a IN – MAPA Nº 35, de 4 de Julho de 2006 (BRASIL, 2006) o condicionador de solo enriquecido com Extrato Pirolenhoso é classificado na Classe A: produto que em sua fabricação utiliza matéria-prima de origem vegetal, animal ou de processamentos da agroindústria, onde não sejam utilizados no processo o sódio ( $\text{Na}^+$ ), metais pesados, elementos ou compostos orgânicos sintéticos potencialmente tóxicos.

Durante a queima da madeira compostos orgânicos voláteis (COV's) são produzidos independentemente do processo utilizado (OLSSON et al., 2003, 2004; CHOUCHENE et al., 2010; MUN & KU, 2010; SONG & PENG, 2010). Estes COV's são formados durante a pirólise pela quebra ou rearranjo das estruturas químicas da biomassa original (DEMIRBAS, 2000). Todos estes componentes podem ser consumidos por cepas de bactérias fototróficas que ocorrem no solo (FOCHT, 1999; FISCHER & BIENKOWSKI, 1999). Durante a condensação da fumaça os COV's são recuperados e carreados no processo de obtenção do extrato pirolenhoso (E.P.), bio-óleo e alcatrão vegetal (BOATENG et al., 2007; YU et al., 2007). O E.P. condensado é rico em ácidos de baixo peso molecular (fórmico e acético), alcoóis (metanol) e aldeídos (formaldeído e acetaldeído). Alguns dos constituintes mais representativos são: ácido acético (0,5 - 12%

do peso total dos gases condensados), ácido fórmico (0,3 – 9,1%), metanol (0,4 -2,4%), formaldeído (0,1 - 3.3%), acetaldeído (0,1 - 8,5%) e hidroxiacetaldeído (0,9 - 13%) (MULLEN et al., 2010; TIILIKKALA et al., 2010). Em baixas concentrações tais ácidos, alcoóis e aldeídos são fonte de substrato carbônico e energético para microorganismos decompositores, potencializando a mineralização dos elementos orgânicos presentes no composto (STEINER et al. 2008). A adição de E.P. elevou a concentração de N, P, Mg no composto condicionador de solo em proporção à quantidade aplicada, porém com interação significativa apenas para o K (TAB. 7, TAB. 8 e FIG. 3), assim como evidenciado por Xiao-Chun et al. (2009) expondo que o E.P. pode acelerar a maturidade e melhorar as características físico-químicas após a maturidade do composto orgânico. Em razão da condição de anaerobiose no início do processo de compostagem o S foi volatilizado das leiras onde se aplicou a concentração 20% E.P. (TAB. 7, TAB. 8 e FIG. 3). A concentração de Ca foi reduzida nos tratamentos com aplicação de E.P., porém não ocorreu diferença significativa entre os tratamentos (TAB. 7, TAB. 8 e FIG. 3). Tal redução se deve à baixa concentração de Ca no E.P. em relação à composição do palhicho de cana-de-açúcar (TAB. 4). O composto orgânico com 0% de E.P. apresentou maior teor de Umidade (70,94%) em comparação aos demais tratamentos, evidenciando maior da evaporação de água nas leiras enriquecidas com E.P. (TAB. 8).

**Tabela 7.** Quadrado Médio e Coeficientes de Variação (C.V.) dos atributos do composto condicionador de solo.

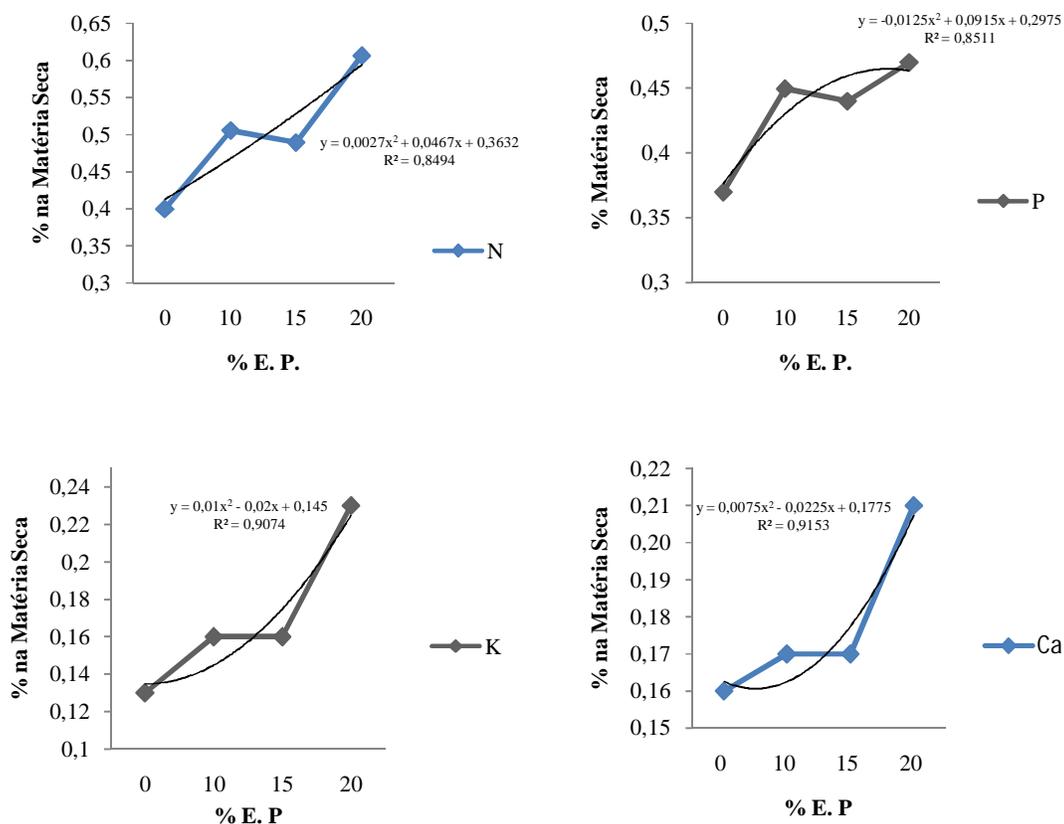
F.V.	G.L.	Quadrado Médio							
		N	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O	Ca	Mg	S	C	M.O.
<b>Bloco</b>	3	0,032 <sup>ns</sup>	0,033 <sup>ns</sup>	0,006*	0,0082 <sup>ns</sup>	0,0009*	0,0004 <sup>ns</sup>	20,530 <sup>ns</sup>	74,516 <sup>ns</sup>
<b>E.P.(%)</b>	3	0,021 <sup>ns</sup>	0,020 <sup>ns</sup>	0,005*	0,0036 <sup>ns</sup>	0,0004 <sup>ns</sup>	0,0004 <sup>ns</sup>	11,409 <sup>ns</sup>	42,955 <sup>ns</sup>
<b>Resíduo</b>	9	0,007	0,010	0,001	0,0077	0,0001	0,0004	4,788	17,134
<b>C.V.</b>		17,20	21,40	19,04	43,29	16,00	36,01	17,38	18,15
		Na	Cu	Fe	Mn	Zn	C/N	pH	U-65°C
<b>Bloco</b>	3	1244,3*	1,583 <sup>ns</sup>	99171,58 <sup>ns</sup>	66,333 <sup>ns</sup>	24,333 <sup>ns</sup>	8,583 <sup>ns</sup>	0,489 <sup>ns</sup>	87,553 <sup>ns</sup>
<b>E.P.(%)</b>	3	3585,4*	4 <sup>ns</sup>	525445,6 <sup>ns</sup>	91,638 <sup>ns</sup>	39,861*	3,777 <sup>ns</sup>	0,776 <sup>ns</sup>	76,881 <sup>ns</sup>
<b>Resíduo</b>	9	853	3,583	180398,8	27,555	8,111	8,027	0,184 <sup>ns</sup>	20,251
<b>C.V.</b>		26,65	21,84	32,66	20,52	23,9	11,18	6,82	7,06

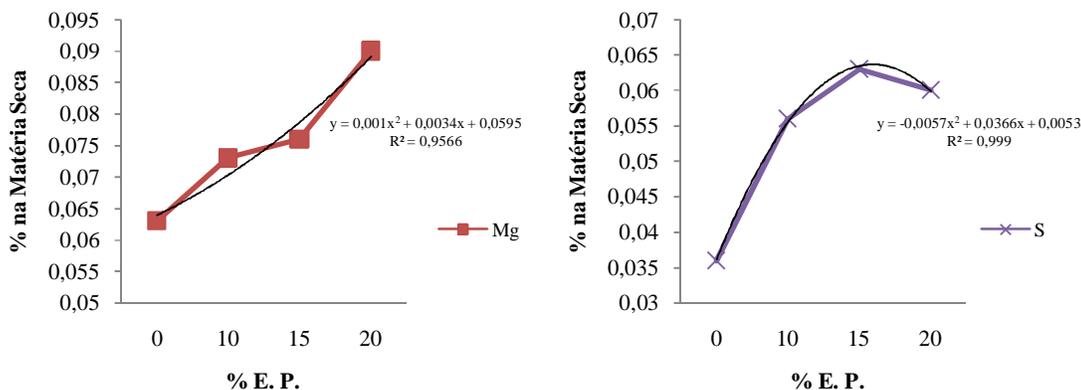
\*, \*\*, ns: significativo a 5%, significativo a 1% e não significativo, respectivamente, pelo Teste F; M.O.: matéria orgânica; U-65°C: Umidade (65°C).

**Tabela 8.** Análise química do composto condicionador de solo – macronutrientes, umidade (65°C), matéria orgânica (M.O.) e C.

Concentração E. P. (%)	Concentração no Composto Orgânico (Base Seca)						Umidade (65°C)	M.O.	C
	N	P	K	Ca	Mg	S			
	----- porcentagem na matéria seca -----								
<b>0</b>	0,40	0,37	0,13 b	0,16	0,06	0,036	70,94	19,21	10,67
<b>10</b>	0,50	0,45	0,16 ab	0,17	0,07	0,056	60,30	22,86	12,70
<b>15</b>	0,49	0,44	0,16 ab	0,17	0,08	0,063	63,45	21,14	11,74
<b>20</b>	0,61	0,47	0,23 a	0,21	0,09	0,060	60,13	28,02	15,23
<b>CV (%)</b>	17,20	21,40	19,04	14,43	16	36,01	7,06	18,15	17,38

\*Médias seguidas de letras distintas na coluna diferem estatisticamente pelo teste de Tukey (p<0,05).





**Figura 3.** Teores de N, P, K, Ca, Mg e S no composto condicionador de solo em relação à concentração de Extrato Pirolenhoso.

Devido à alta concentração de Na no E.P. o enriquecimento proporcionou ao composto incrementos no teor deste elemento, proporcionais à quantidade aplicada (TAB. 7, TAB. 9 e FIG. 4).

Através de reações de troca ou de mecanismos de complexação e quelação o extrato pirolenhoso pode reter em formas disponíveis os íons metálicos Fe, Zn e Mn. Os quelatos além de aprisionarem o metal em forma solúvel podem ser absorvidos pelas raízes (MALAVOLTA et al, 1997). O extrato pirolenhoso atua como um agente quelante de cátions aumentando a disponibilidade dos nutrientes para as plantas. A concentração de Zn e Mn no composto orgânico foi substancialmente elevada na medida em que se elevou a concentração de E.P. na massa inicial das leiras, porém com interação significativa apenas para o Zn (TAB. 7; TAB. 9; FIG. 4).

A matéria orgânica e os agentes quelantes contribuem para o fornecimento de Fe pela formação de quelatos de Fe ou pela adsorção do cátion Fe. Nestas duas formas o micronutriente encontra-se prontamente assimilável pelas raízes. Os tratamentos com 10, 15 e 20 % de E.P. na massa total da leira apresentaram concentração de Fe superior ao tratamento testemunha, porém sem diferença significativa na variação das doses (TAB. 7; TAB. 9; FIG. 4). Cita-se a lixiviação de Fe no composto 20% E.P. em razão da formação de maior volume de chorume.

O Cu é absorvido como  $\text{Cu}^{2+}$  e Cu-quelato, sendo importante a ação da matéria orgânica e de agentes quelantes como o E.P. nos processos de complexação e quelação deste elemento (DECHEN & NACHTIGALL, 2007). A aplicação de E.P. elevou a concentração de Cu no composto em relação à testemunha, porém o

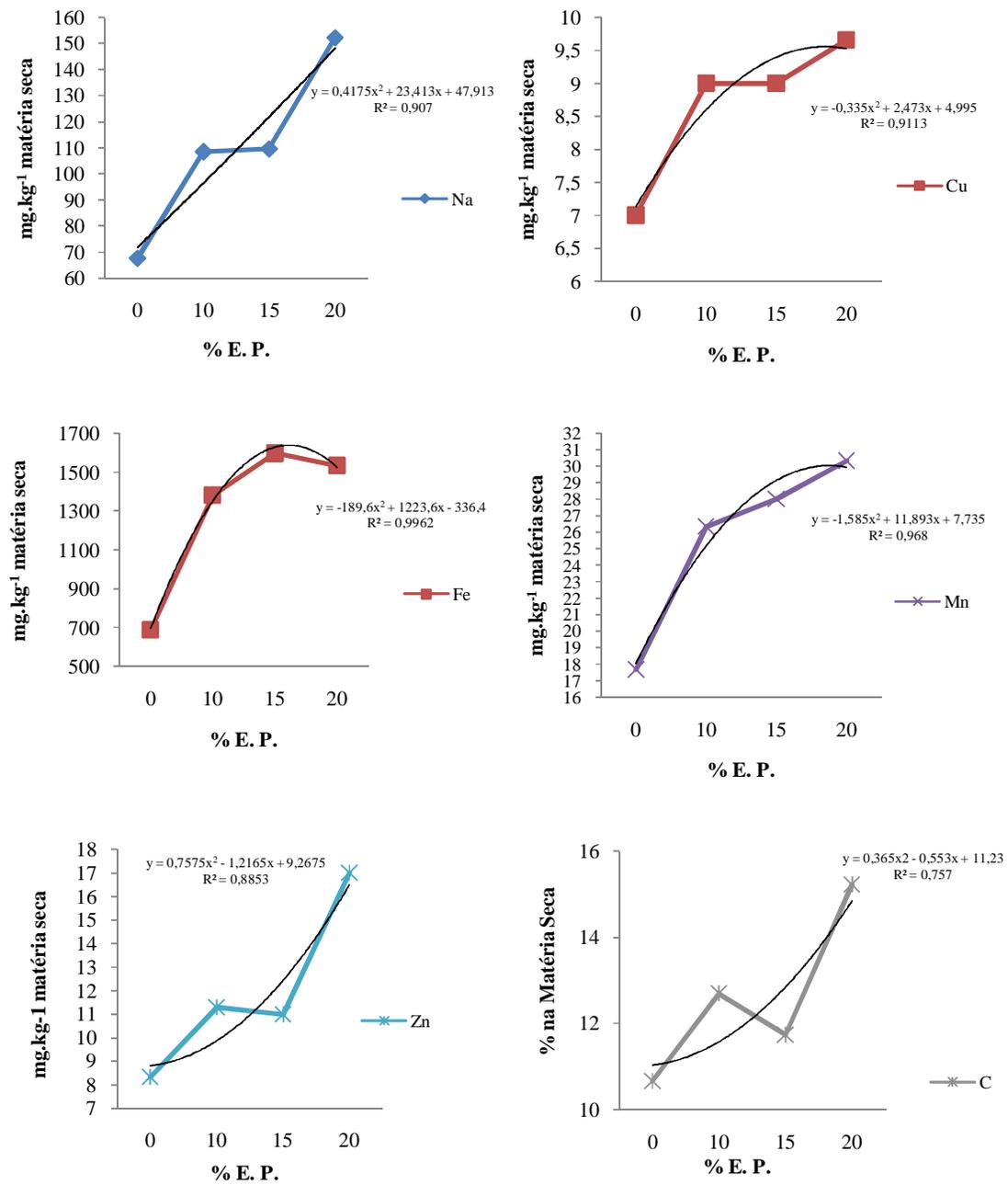
incremento não apresentou proporcionalidade à elevação da dose aplicada, demonstrando saturação dos mecanismos de adsorção e quelação, não ocorrendo diferença significativa entre os tratamentos (TAB. 7; TAB. 9; FIG. 4).

O teor de matéria orgânica (M.O.) foi incrementado com a elevação da concentração de E.P. no composto orgânico, assim como reportado por Xiao-Chun et al. (2009), devido a presença de hidrocarbonetos e compostos químicos de natureza carbônica no E.P. (SHAFIZADEH, 1984; GUILLE´N & MANZANOS, 2002). A matéria orgânica quando atacada por microorganismos (bactérias, fungos, actinomicetes, protozoários e vírus) sofre o processo de mineralização (Kiehl, 1998), potencializado pela adição do E.P (STEINER et al., 2008).

Os valores de pH não apresentaram resposta à variação da concentração de E.P. incorporado ao material orgânico, demonstrando as reações de tamponamento na dinâmica de degradação dos componentes da matéria orgânica (TAB. 10).

**Tabela 9.** Análise química do composto orgânico – micronutrientes, Na, relação C/N e pH.

Concentração E. P. (%)	Concentração no Composto Orgânico (Base Seca)						
	Na	Cu	Fe	Mn	Zn	C/N	pH
	----- mg kg <sup>-1</sup> matéria seca -----						
<b>0</b>	67,66 b	7,00	687,6	17,66	8,33 b	26,66/1	6,63
<b>10</b>	108,66 ab	9,00	1382,3	26,33	11,3 ab	25/1	5,58
<b>15</b>	109,66 ab	9,00	1598,0	28,00	11,00 ab	24/1	6,31
<b>20</b>	152,33 a	9,66	1534,3	30,33	17,00 a	24,66/1	6,77
<b>CV (%)</b>	26,65	21,84	32,66	20,52	23,9	11,18	6,82



**Figura 4.** Teores de Na, Cu, Fe, Mn, Zn, C e M.O. no composto condicionador de solo em relação à concentração de Extrato Pirolenhoso.

## 4.2 Aplicação do Composto Condicionador de Solo

### 4.2.1 Alterações nos Atributos Químicos do Solo

Os ajustes dos dados aos modelos de regressões lineares e quadráticos permitiram a descrição das alterações para pH em  $\text{CaCl}_2$  com significância apenas para os tratamentos correspondentes ao compostos com 0 e 15% E.P. ( $P < 0.01$  e  $R^2=0,8889$  e  $R^2=0,9184$ , respectivamente), ocorrendo elevação dos valores em relação direta com o aumento da dose de adubação, conforme Pérez-de-Mora et al. (2007) e Farrell et al. (2010). O tratamentos  $35 \text{ t M.S. ha}^{-1}$  do composto com 15% de E.P. apresentou valor de pH no solo igual ao tratamento adubação mineral e calagem (TAB. 10; FIG. 5). Os baixos valores de pH no solo dos demais tratamentos, por conta da ausência da calagem, não afetaram o desenvolvimento das mudas devido a tolerância do eucalipto a solos ácidos (SYMONDS et al., 2001), citando-se ação da matéria orgânica (M.O.) na elevação dos valores de pH em solos ácidos.

A transformação do C no solo é controlada por diferentes fatores: o ambiente físico-químico (fatores climáticos como precipitação e temperatura, fatores do solo como pH, concentração de nutrientes e matriz mineral do solo), natureza do material orgânico (relação C/N, teores de lignina, ceras epicuticulares e polifénóis) e composição e atividade da comunidade decompositora (microflora e microfauna do solo) (ZECH et al., 1992). As regressões quadráticas significativas para todas as concentrações de E.P. ( $P < 0.01$ ) no composto descrevem o incremento do teor de M.O. no solo de acordo com a elevação da dose de adubação (TAB. 10; FIG. 6), assim como reportado por Pérez-de-Mora et al. (2007) e Farrell et al. (2010). Como esperado os tratamento testemunha absoluta e adubação mineral e calagem apresentaram os menores valores, ambos com  $19 \text{ g dm}^{-3}$  de M.O. O aporte de matéria orgânica do solo é fortemente afetado pela ligação com argilas, cátions polivalentes e reações inorgânicas com o N, bem como temperatura e umidade. O C pode ter efeitos indiretos significativos sobre a produção primária, disponibilidade e ciclagem de nutrientes via solo. A M.O. do solo tem uma grande influência nas propriedades físicas (densidade do solo, capacidade de retenção de água), biológicas (populações microbianas) e químicas (capacidade de troca catiônica) do solo (McFEE & KELLY, 1995). A interação com o aporte de M.O. permeará a discussão acerca das alterações nos atributos químicos do solo.

O P é um constituinte de compostos orgânicos tais como ácidos nucleicos, fosfatos de inositol e fosfolipídios. Estes compostos podem ser mineralizados para P inorgânico durante a decomposição da M.O. ou podem ser incorporados em formas orgânicas mais persistentes como húmus (HECKMAN et al., 2009). A relação entre M.O. e a manutenção do  $\text{H}_2\text{PO}_4^-$  disponível (MALAVOLTA et al., 1997; JOHNSTON et al., 2009) foi comprovada pela elevação do teor de P no solo em decorrência do aumento das doses de adubação ( $R^2=0,9184$ ;  $R^2=0,7905$ ;  $R^2=0,8095$ ;  $R^2=0,9832$  para os compostos com 0, 10, 15 e 20% E.P., respectivamente), descritas por regressões quadráticas ( $P < 0.01$ ) na Figura 7. Porém para as exigências da cultura do eucalipto propostas por Malavolta (2006), os teores de P no solo foram classificados entre muito baixo (0 a  $2 \text{ mg dm}^{-3}$ ) nas doses 0, 5, 15 e 25 t M.S.  $\text{ha}^{-1}$  e baixo ( $3$  a  $5 \text{ mg dm}^{-3}$ ) na dose 35 t M.S.  $\text{ha}^{-1}$ , para todas as concentrações de E.P. no composto (TAB.10). Deve-se ressaltar que a coleta de amostras para análise foi realizada 3 meses após o plantio, com aporte de nutrientes para a planta. Os efeitos das doses de adubação dos compostos aplicados são descritos por regressões quadráticas na Figura 7.

Não obstante as melhorias das propriedades dos solos observa-se aumento da Condutividade Elétrica (C.E.) em solos adubados com composto orgânico adicionado de resíduos (ABREU JUNIOR et al., 2000; OLIVEIRA et al., 2002; HAO & CHANG, 2003; FARRELL et al., 2010). Observou-se aumento considerável nos valores de C.E. no solo a partir da dose 25 t M.S.  $\text{ha}^{-1}$  para os compostos com 0 e 10% E.P. Já para os compostos com 15 e 20% E.P. tais alterações ocorrem a partir da dose 15 t M.S.  $\text{ha}^{-1}$ . A relação entre (C.E.) no solo e doses de adubação é descrita de acordo com a distribuição dos dados nas regressões quadráticas ( $P < 0.01$ ). Na dose 35 t M.S.  $\text{ha}^{-1}$  do composto 20% E.P. a C.E. do solo atingiu  $203 \mu\text{s cm}^{-1}$ , com a ocorrência de sintomas de fitotoxicidade nas plantas, conforme será descrito no item referente à diagnose visual dos sintomas foliares. A testemunha absoluta e tratamento com adubação mineral e calagem apresentaram os menores valores de C.E.,  $114,4$  e  $111,2 \mu\text{s cm}^{-1}$  respectivamente (TAB. 12; FIG. 23). Salienta-se que a relação entre a adição de E.P. no composto orgânico e o aumento da C.E. no solo em altas doses de adubação é válida apenas para a concentração 20% E.P., visto que a aplicação das doses 25 e 35 t M.S.  $\text{ha}^{-1}$  do composto 0% E.P. ocasionou valores de C.E. no solo ( $167,5$  e  $167,3 \mu\text{s cm}^{-1}$ , respectivamente) superiores às respectivas doses dos compostos 10% E.P. ( $149,0$  e  $139,5 \mu\text{s cm}^{-1}$ , respectivamente) e 15% E.P. ( $146,1$  e  $169,7 \mu\text{s cm}^{-1}$ , respectivamente). Na dose 35 t M.S.  $\text{ha}^{-1}$  a aplicação do composto 0% E.P. ocasionou

valor da C.E. ( $167,3 \mu\text{s cm}^{-1}$ ) superior ao composto 10% E.P. ( $139,5 \mu\text{s cm}^{-1}$ ) e inferior ao composto 15% E.P. ( $169,7 \mu\text{s cm}^{-1}$ ). Uma vez que os sais são muito móveis, os valores de C.E. do solo são afetados não só pela aplicação do composto orgânico condicionador de solo, mas também pela circulação de água no solo (para baixo, com a água de irrigação e para cima, nos processos de evaporação), assim como reportado por Hao & Chang, 2003. A variação dos valores de C.E. do solo indica a importância do monitoramento do impacto da aplicação de composto em profundidades superiores às zonas de enraizamento (até 30 cm) ao longo do período experimental.

A relação das propriedades químicas que apresentam correlação com a Condutividade Elétrica do solo é:  $\text{Cl}^- > \text{S}_c > \text{RAS} > \text{Na}^+ > \text{K}^+ > \text{Mg}^{2+} > \text{RSD} > \text{CO}_3^{2-} > \text{SO}_4^{2-} > \text{HCO}_3^{2-} > \text{pH} > \text{SS} > \text{Ca}^{2+}$ , onde  $\text{S}_c$  é a concentração de sal no extrato 1:5 solo-água; RAS é a relação de adsorção de sódio,  $\text{RAS} = \text{Na}^+ / (\text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+})^{1/2}$ ; RSD é a relação sódio diânion; SS é a porcentagem de sódio solúvel (LIU et al., 2006). Tendo em vista que a elevação das doses de adubação elevou os teores de Na, K, Mg e Ca no solo (TAB. 10 e 11; FIG. 22, 10, 11 e 12), assume-se que o aumento na C.E. do solo é devido à degradação da matéria orgânica do composto e à solubilização predominante de íons  $\text{NH}_4^+$ ;  $\text{NO}_3^-$ ;  $\text{Ca}^{2+}$ ;  $\text{Na}^+$ ;  $\text{K}^+$  e  $\text{Mg}^{2+}$  (OLIVEIRA et al., 2002). O aumento da salinidade eleva a disponibilidade de metais pesados devido o deslocamento nos sítios de troca, solubilização da M.O. e formação de compostos cloreto metálicos solúveis (WAHLA & KIRKHAM, 2008), conforme será discutido posteriormente.

A toxicidade do Al é um importante fator de estresse para plantas em ambientes acidificados (POSCHENRIEDER et al., 2008). A química do Al é extremamente complexa e ainda não totalmente compreendida, em razão do amplo espectro de complexos inorgânicos polinucleares e organometálicos com alta variação na estabilidade que ocorrem em solos e água. Existe, no entanto, consenso que o  $\text{Al}^{3+}$  catiônico trivalente presente como  $\text{Al}(\text{H}_2\text{O})_6^{3+}$  em solos ácidos é a mais relevante forma tóxica para as plantas. Entre as várias outras espécies monoméricas de Al que estão presentes no ambiente, sulfato, fosfato e silicato de Al são muito menos tóxicas. O pH do solo, independentemente do tratamento de adubação, apresentou valores abaixo de 5 (TAB. 10) e nestas condições o  $\text{Al}^{3+}$  é solubilizado e esta é a forma rizotóxica mais relevante (KOCHIAN et al., 2004). Complexos orgânicos de Al têm baixa toxicidade e a complexação do Al pela M.O. controla a solubilidade do Al e regula a sua toxicidade (POSCHENRIEDER et al., 2008). Como esperado o aporte de M.O. devido à elevação da

dose de composto orgânico reduziu a concentração de  $Al^{+3}$  trocável no solo, porém a redução equivalente ao tratamento com adubação mineral e calagem ocorreu apenas nas doses 25 e 35 t M.S  $ha^{-1}$  (TAB. 10; FIG. 8). Os incrementos na Massa de Matéria Seca de Raízes em relação à redução teores de  $Al^{+3}$  no solo devido ao aporte de M.O. (TAB. 10; TAB. 14) serão discutidos no item referente às interações no crescimento vegetativo das mudas, corroborando com os indicadores diretos da toxicidade do Al, entre eles o desenvolvimento radicular (POSCHENRIEDER et al., 2008).

Composto orgânico e resíduos agrícolas são boas fontes de K, que se torna prontamente disponível após a aplicação no solo. O K permanece altamente solúvel na forma catiônica ( $K^{+}$ ) em tecidos vivos, ao contrário do N e do P, os quais são metabolizados para formar compostos orgânicos complexos, Assim, existe pouca ou nenhuma dependência em relação à decomposição microbiana para transformar o K presente no composto orgânico em formas disponíveis para as plantas que quando estes materiais são aplicados ao solo (HECKMAN et al., 2009). Desta forma a M.O. presente no solo aumenta a disponibilidade do K na forma do cátion  $K^{+}$  trocável (MALAVOLTA et al., 1997; JOHNSTON et al., 2009). De acordo com o exposto, a elevação nos teores de K no solo foi significativamente correlacionada com o aumento da dose de adubação ( $P < 0.01$  e  $R=0,9858$ ;  $R=0,9637$ ;  $R=0,986$ ;  $R=0,9444$  para os compostos com 0, 10, 15 e 20% E.P., respectivamente).

Em solos agrícolas de regiões úmidas, cerca de 90% do S total está presente como um componente da M.O. De forma semelhante ao comportamento do N no solo, a atividade microbológica influencia a disponibilidade de S através da conversão de S orgânico para uma forma mineral. O processo inverso de imobilização também ocorre quando as formas inorgânicas de S são incorporadas à M.O. A adição de materiais orgânicos altamente energéticos e com baixo teor de S ao solo pode levar à imobilização do S de uma maneira análoga à imobilização de N. Os mesmos fatores ambientais - temperatura, umidade, aeração e pH - influenciam a mineralização e imobilização de N e de S. Assim, práticas de manejo do solo utilizados para regular a disponibilidade de N na adubação orgânica, em geral também têm uma influência semelhante sobre a disponibilidade de S. A relação C/N/S da M.O. do solo é tipicamente 100:8:1 (HECKMAN et al., 2009). Considerando-se a elevada relação C/N do composto orgânico condicionador de solo aplicado (TAB. 9) e a interação estabelecida entre estes elementos e o S, observa-

se a redução do teor de S no solo com o aumento das doses de composto para todas as concentrações de E.P. (TAB. 10; FIG. 16).

A relação entre M.O. e a disponibilidade do  $\text{Ca}^{+2}$  trocável (MALAVOLTA et al, 1997), assim como a formação de ligações com grupos orgânicos funcionais (KÖGEL-KNABNER & KLEBER, 2012; CLARHOLM & SKYLLBERG, 2013), foi comprovada pela elevação do teor de Ca no solo em decorrência do aumento das doses de adubação ( $R^2=0,8913$ ;  $R^2=0,895$ ;  $R^2=0,9805$ ;  $R^2=0,938$  para os compostos com 0, 10, 15 e 20% E.P., respectivamente), descritas por regressões quadráticas ( $P < 0.01$ ) na Figura 11. Assim como esperado o teor de Mg no solo foi inferior ao teor de Ca (TAB. 10) devido a adsorção dos íon  $\text{Ca}^{2+}$  pela superfície coloidal da argila e pela M.O. ser mais forte, e também pela maior susceptibilidade dos íons  $\text{Mg}^{2+}$  à lixiviação (SENTHURPANDIAN et al., 2009). A correlação entre o teor de Mg no solo e doses de composto orgânico ( $R^2=1$ ;  $R^2=0,9832$ ;  $R^2=0,9453$ ;  $R^2=0,9184$  para os compostos com 0, 10, 15 e 20% E.P., respectivamente) apresentou comportamento semelhante ao do Ca (TAB. 10; FIG. 12), indicando a ação da M.O. no aporte de  $\text{Mg}^{+2}$  trocável no solo (MALAVOLTA et al, 1997). Cita-se que a equivalência no fornecimento de Ca e Mg em relação ao tratamento com adubação mineral e calagem foi alcançada a partir da dose 25 t M.S  $\text{ha}^{-1}$  para os compostos 0 e 15% E.P. e na dose 35 t M.S  $\text{ha}^{-1}$  para os compostos 10 e 20% E.P.

Em decorrência dos resultados para as bases trocáveis  $\text{K}^+$ ,  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$  e  $\text{Na}^+$  os valores de Soma de Bases (SB) acompanharam a elevação da dose de adubação, segundo padrões ajustados por regressões quadráticas (TAB. 10; FIG. 13). O atributo Capacidade de Troca Catiônica (CTC) apresentou alta correlação com o aumento da dose de composto orgânico, conforme as interações entre M.O., bases trocáveis e teores de H+Al no solo apresentadas, exceto para o composto 20% E.P, no qual os valores de CTC foram inferior nas doses 25 e 35 t M.S  $\text{ha}^{-1}$  devido os baixos valores de H+Al no solo ( $R^2=0,7674$ ;  $R^2=0,9935$ ;  $R^2=0,868$ ;  $R^2=0,4335$  para os compostos com 0, 10, 15 e 20% E.P., respectivamente), apresentando comportamento ajustado por regressões quadráticas (TAB. 10; FIG. 14). A Saturação por Bases (V%) apresentou comportamento ajustado por regressão linear para o composto 0% E.P. e regressões quadráticas para as demais concentrações de E.P. no composto orgânico, em alta correlação com a dose de adubação ( $R^2=0,9186$ ;  $R^2=0,9959$ ;  $R^2=0,9997$ ;  $R^2=0,9999$ , para os compostos com 0, 10, 15 e 20% E.P., respectivamente), porém os baixos valores de V% demonstram baixa proporção de

cátions saturando as cargas negativas dos coloides e que a maioria delas foi neutralizada por  $H^+$  e  $Al^{3+}$  (TAB. 10; FIG. 15). Em relação ao tratamento com adubação mineral e calagem equivalência para a SB foi alcançada a partir da dose 25 t M.S  $ha^{-1}$  para todas as concentrações de E.P. Já para o V% a equivalência na dose 25 t M.S  $ha^{-1}$  ocorreu apenas para os compostos 0 e 15% E.P.

A aplicação do composto orgânico proporcionou incremento no teor de B no solo, assim como reportado por Pakrashi & Haldar (1992), porém sem resposta positiva na dose 35 t M.S  $ha^{-1}$ , a qual levou a redução dos teores de B no solo nos compostos 0 e 10% E.P, em regressão não significativa para o composto 0% E.P (TAB. 10; FIG. 17). Tais resultados corroboram com o exposto por Yermiyahu et al. (2001), o qual relata que esta redução é devido à adsorção de B pelo material orgânico, que tem uma capacidade de adsorção de B quatro vezes maior que a da argila e do solo (YERMIYAHU et al., 1995; CHEN, 1996; LEHTO, 2010).

Íons metálicos são preferencialmente associados com a M.O. do solo (FU et al., 2006; WANG et al, 2009), correlacionado-se o C orgânico com a capacidade de sorção de Cu (YIN et al., 2002; WANG et al., 2007; PÉREZ-NOVO et al., 2008) e Zn (GÜNGÖR & BEKBÖLET et al., 2010; ABAT et al., 2012). A complexação de metais pesados com a M.O. dissolvida no ambiente influencia a solubilidade e a mobilidade destes metais (WENG et al., 2002; STIJN et al., 2011). O aumento no teor de M.O. reduziu os teores de Cu na solução do solo ( $R^2=0,8779$ ;  $R^2=0,7721$ ;  $R^2=0,9772$ ;  $R^2=0,7923$  para os compostos com 0, 10, 15 e 20% E.P., respectivamente), demonstrando o incremento da concentração de Cu na fração de M.O. do solo (ZHELJAZKOV & WARMAN, 2004). O mesmo efeito ocorreu para o Zn em menor intensidade, porém para os compostos 0, 10 e 20% E.P. a dose 5 t M.S  $ha^{-1}$  superou os valores do tratamento sem adubação (TAB. 11; FIG. 18; FIG. 21). Pérez-de-Mora et al. (2007a; 2007b), Nwachukwu & Pulford (2008) e Farrell et al. (2010) também reportam a diminuição dos teores de Cu e Zn no solo após a aplicação de composto orgânico de resíduos agroindustriais. Cita-se que com a extração da M.O. das amostras de solo, os teores de Cu e Zn são referentes à solução do solo. Assim como reportado por Agbenin & Olojo (2004) e Zheljzakov & Warman (2004) tais resultados demonstram que as reações com a M.O. controlam em maior parte a adsorção de Cu, enquanto que o Zn é adsorvido em maior proporção pelas reações de troca catiônica quando em concorrência com o Cu para os sítios de ligação no solo. Além disso, a presença de Cu reduz drasticamente a adsorção de Zn,

enquanto que a presença de Zn tem pouco efeito sobre a adsorção de Cu (ARIAS et al., 2006). Ocorre que o Cu é adsorvido mais fortemente à fase sólida do solo (ABAT et al., 2012) e possui maior afinidade a superfícies orgânicas (McBRIDE et al., 1998; ARIAS et al., 2005, 2006, NWACHUKWU & PULFORD, 2008).

O teor de Mn no solo aumentou em relação direta ao incremento das doses de composto orgânico aplicadas ( $R^2=0,9848$ ;  $R^2=0,9665$ ;  $R^2=0,9846$ ;  $R^2=0,99$  para os compostos com 0, 10, 15 e 20% E.P., respectivamente), gerando regressões quadráticas significativas para todas as concentrações de E.P. (TAB. 11; FIG. 20). Zheljzakov & Warman (2004) reporta que a elevação das doses de composto orgânico eleva o Fator de Biodisponibilidade de Mn, referente a relação entre o teor do metal na fração trocável e a concentração total do metal no solo. Os resultados suportam o entendimento da baixa afinidade do Mn para componentes orgânicos do solo (HSU & LO, 2000).

O enriquecimento com E.P. elevou substancialmente os teores de Fe no composto orgânico (TAB. 9; FIG. 3), proporcionando acréscimo no teor de Fe no solo em relação direta a elevação das doses dos compostos 10, 15 e 20% E.P., gerando  $R^2=0,7588$ ;  $R^2=0,9965$ ;  $R^2=0,8788$ , respectivamente (TAB. 11; FIG.19). Para o composto 0% E.P. o maior teor de Fe no solo foi observado na dose 5 t M.S ha<sup>-1</sup>, a partir da qual os valores se mantiveram constantes ( $R^2=0,2024$ ). De fato a concentração de Fe presente nos compostos enriquecidos com E.P elevou o teor do metal no solo. Cita-se que a M.O. via fortes ligações com Fe (II) previne a readsorção do Fe (II) e a formação subseqüente de minerais secundários de Fe (DAVRANCHE et al, 2013).

Com relação ao Na apenas o composto 20% E.P. ocasionou alterações do teor no solo acima de 10 mg dm<sup>-3</sup> ( $R^2=0,8677$ ). De maneira geral a aplicação dos compostos 0, 10 e 15% E.P. não alterou substancialmente o teor de Na no solo (TAB 11; FIG. 22).

**Tabela 10.** Atributos Químicos do Solo: pH, Matéria Orgânica (M.O.), Teores de P, Al<sup>3+</sup>, H+Al, K, Ca, Mg, S, Soma de Bases (SB), Capacidade de troca Catiônica (CTC) e Saturação por Bases (V%).

Tratamento		pH CaCl <sub>2</sub>	M.O.	P <sub>resina</sub>	Al <sup>3+</sup>	H+Al	K	Ca	Mg	SB	CTC	V%	S
% E.P. no Composto Orgânico	Dose Composto Orgânico t M.S. ha <sup>-1</sup>		g dm <sup>-3</sup>	mg dm <sup>-3</sup>	----- mmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> -----								mg dm <sup>-3</sup>
0%	0	4,1	19	0,88	11	69	0,6	3	1	5	74	7	16
0%	5	4,2	24	1,25	12	64	0,9	7	2	10	74	14	16
0%	15	4,2	34	1,55	7	66	1,0	6	3	11	77	13	12
0%	25	4,4	42	2,45	5	60	1,8	9	4	15	75	20	15
0%	35	4,4	42	2,98	5	62	2,7	12	5	20	82	23	15
<b>Regressão</b>		L**	Q**	Q**	Q**	Q**	Q**	Q**	L**	Q**	Q**	L**	Q**
10%	0	4,1	19	0,88	11	69	0,6	3	1	5	74	7	16
10%	5	4,1	27	1,77	11	64	1,5	5	1	8	72	11	17
10%	15	4,3	27	1,40	8	61	3,2	5	2	11	72	15	13
10%	25	4,2	30	1,55	8	62	3,5	6	3	15	77	18	14
10%	35	4,3	41	3,74	6	67	3,6	12	4	20	87	23	14
<b>Regressão</b>		ns	Q**	Q**	ns	Q**	Q**	Q**	Q**	Q**	Q**	Q**	Q**
15%	0	4,1	19	0,88	11	69	0,6	3	1	5	74	7	16
15%	5	4,1	22	1,25	10	63	0,8	5	1	7	70	11	13
15%	15	4,3	27	1,03	8	60	1,4	6	3	11	71	15	14
15%	25	4,3	33	2,52	7	56	1,8	8	4	14	70	20	14
15%	35	4,5	48	3,21	6	58	2,2	12	5	20	78	25	15
<b>Regressão</b>		Q**	Q**	Q**	Q**	Q**	Q**	Q**	L**	Q**	Q**	Q**	Q**
20%	0	4,1	19	0,88	11	69	0,6	3	1	5	74	7	16
20%	5	4,1	29	0,81	11	69	1,0	4	1	7	76	9	16
20%	15	4,1	28	0,95	9	69	1,8	6	3	11	80	13	17
20%	25	4,3	28	1,85	7	53	1,9	6	3	12	65	18	16
20%	35	4,5	32	3,51	5	51	3,5	9	5	18	69	26	15
<b>Regressão</b>		ns	Q**	Q**	Q**	Q**	Q**	Q**	Q**	Q**	Q**	Q**	Q**
<b>Adub. Mineral e Calagem</b>		4,5	19	1,33	5	50	0,3	7	4	12	62	19	13

\*, \*\*, ns: significativo a 5%, significativo a 1% e não significativo, respectivamente, pelo Teste F.

**Tabela 11.** Atributos Químicos do Solo: Teores de B, Cu, Fe, Mn, Zn e Na.

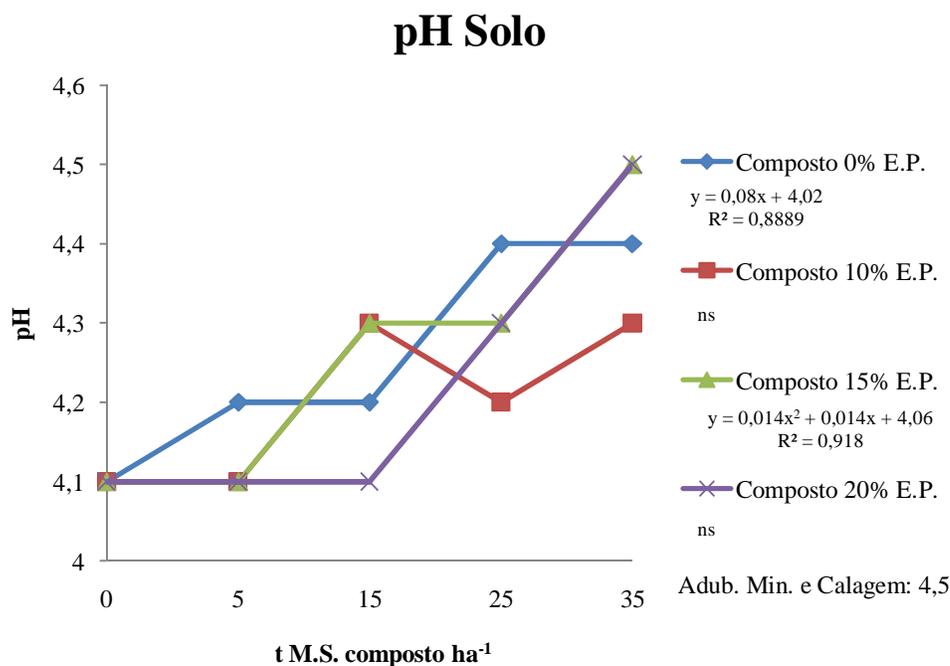
Tratamento		B	Cu	Fe	Mn	Zn	Na
% E.P. no Composto Orgânico	Dose Composto Org. t M.S. ha <sup>-1</sup>	----- mg dm <sup>-3</sup> -----					
0%	0	0,29	3,1	67	0,3	2	0,43
0%	5	0,33	2,9	70	0,6	2,2	0,43
0%	15	0,34	2,2	64	0,7	1,4	0,46
0%	25	0,36	1,4	66	0,9	1,9	0,43
0%	35	0,30	1,7	66	1,0	1,4	0,50
<b>Regressão</b>		ns	Q**	Q**	Q*	ns	Q**
10%	0	0,29	3,1	67	0,3	2	0,43
10%	5	0,38	3,1	78	0,5	2,7	0,48
10%	15	0,32	1,6	70	0,5	1	0,43
10%	25	0,32	1,7	77	0,8	1	0,43
10%	35	0,35	1,8	94	1,1	1,2	0,43
<b>Regressão</b>		Q*	Q**	Q**	Q**	Q**	Q**
15%	0	0,29	3,1	67	0,3	2	0,43
15%	5	0,31	1,7	71	0,4	1,0	0,35
15%	15	0,32	1,3	77	0,6	0,9	0,39
15%	25	0,36	1,2	81	0,8	0,9	0,39
15%	35	0,34	1,4	86	0,9	1,2	0,48
<b>Regressão</b>		Q**	Q**	L**	L**	Q**	Q**
20%	0	0,29	3,1	67	0,3	2	0,43
20%	5	0,29	3,1	78	0,4	2,3	0,48
20%	15	0,28	1,8	81	0,6	0,9	0,59
20%	25	0,29	2,1	79	0,7	1,4	0,59
20%	35	0,30	1,6	82	0,9	1,2	0,52
<b>Regressão</b>		Q*	Q**	Q**	Q**	Q**	Q**
<b>Adub. Mineral e Calagem</b>		0,27	2,4	56	0,3	1,3	0,37

\*, \*\*, ns: significativo a 5%, significativo a 1% e não significativo, respectivamente, pelo Teste F.

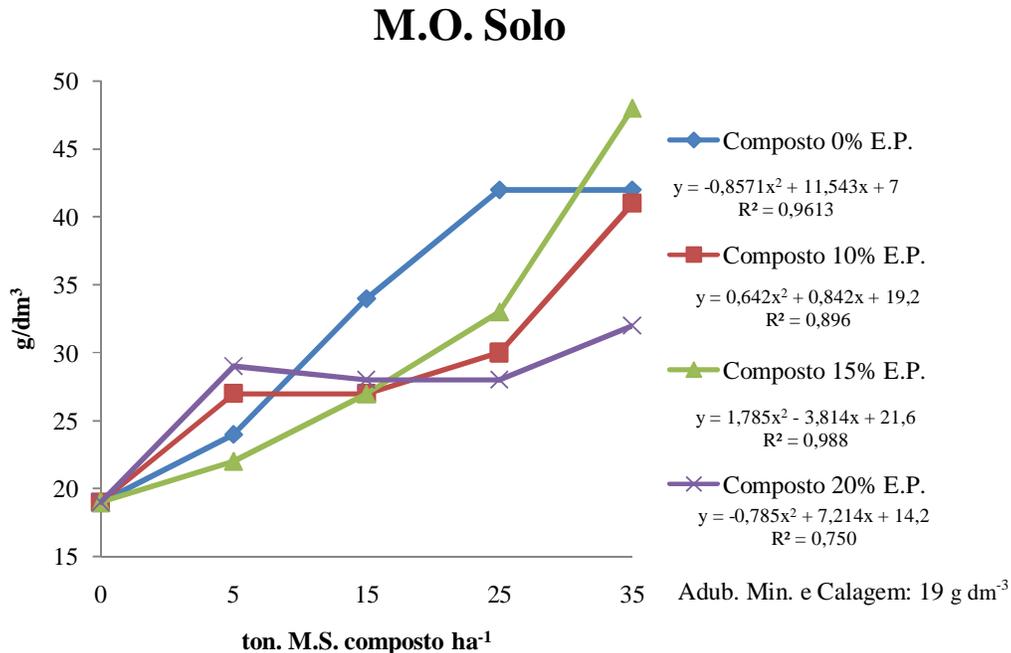
**Tabela 12.** Condutividade Elétrica do Solo.

<b>Tratamento</b>		<b>Condutividade Elétrica</b> $\mu\text{s cm}^{-1}$
<b>% E.P. no</b> <b>Composto Orgânico</b>	<b>Dose Composto</b> <b>Orgânico</b> t M.S. ha <sup>-1</sup>	
<b>0%</b>	<b>0</b>	114,4
<b>0%</b>	<b>5</b>	124,9
<b>0%</b>	<b>15</b>	124,7
<b>0%</b>	<b>25</b>	167,5
<b>0%</b>	<b>35</b>	167,3
<b>Regressão</b>		<b>Q**</b>
<b>10%</b>	<b>0</b>	114,4
<b>10%</b>	<b>5</b>	120,9
<b>10%</b>	<b>15</b>	125,9
<b>10%</b>	<b>25</b>	149,0
<b>10%</b>	<b>35</b>	139,5
<b>Regressão</b>		<b>Q**</b>
<b>15%</b>	<b>0</b>	114,4
<b>15%</b>	<b>5</b>	113,0
<b>15%</b>	<b>15</b>	142,4
<b>15%</b>	<b>25</b>	146,1
<b>15%</b>	<b>35</b>	169,7
<b>Regressão</b>		<b>Q**</b>
<b>20%</b>	<b>0</b>	114,4
<b>20%</b>	<b>5</b>	115,8
<b>20%</b>	<b>15</b>	177,7
<b>20%</b>	<b>25</b>	170,2
<b>20%</b>	<b>35</b>	203,0
<b>Regressão</b>		<b>Q**</b>
<b>Adubação Mineral e Calagem</b>		111,2

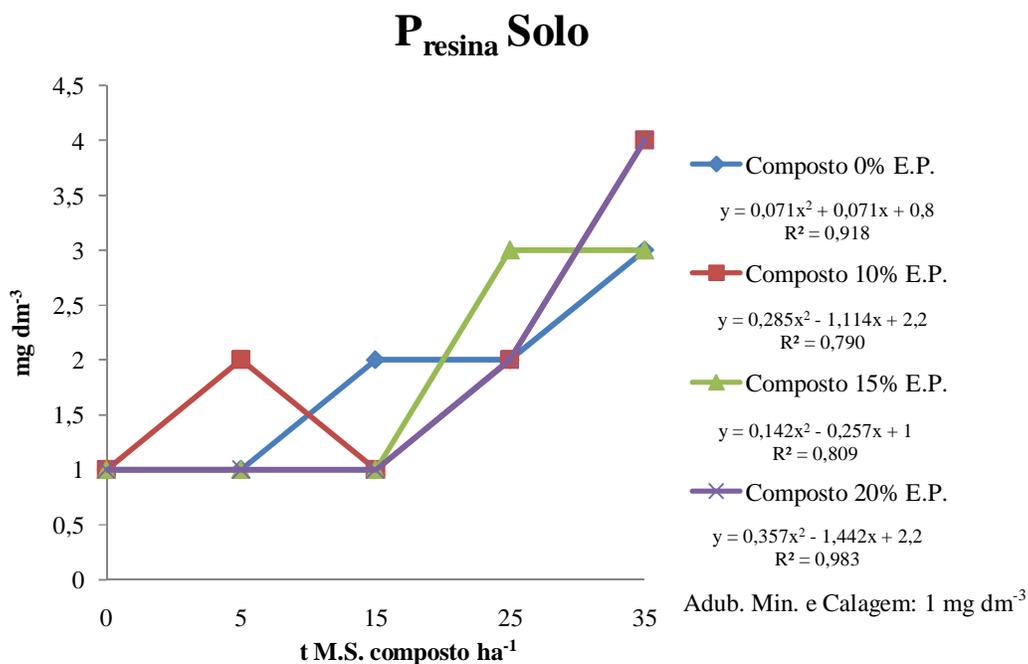
\*, \*\*, ns: significativo a 5%, significativo a 1% e não significativo, respectivamente, pelo Teste F.



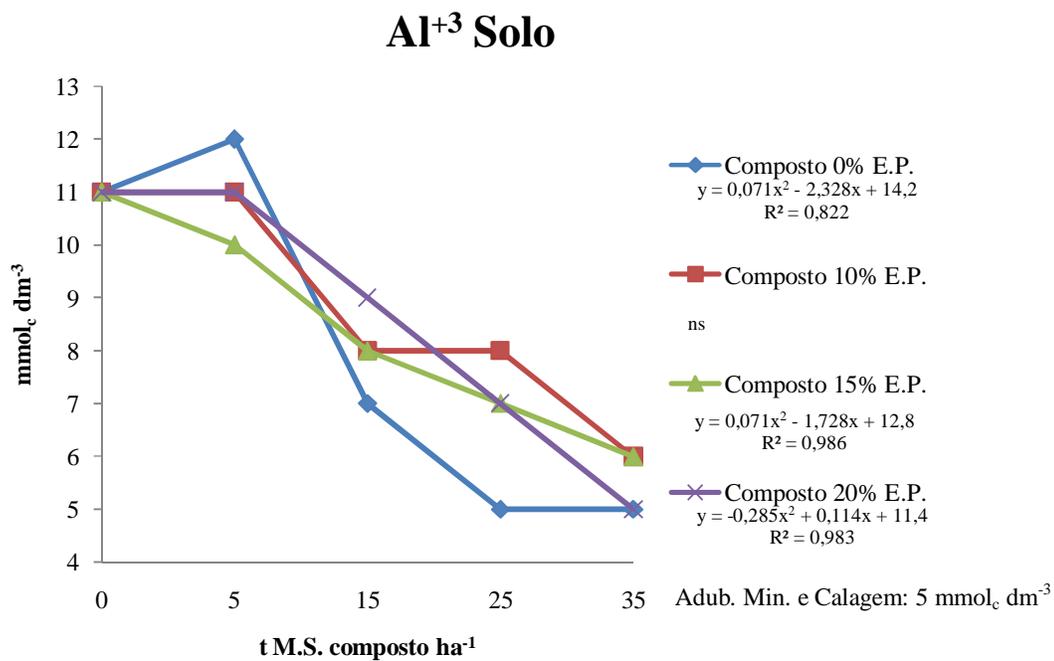
**Figura 5.** Valores de pH no solo em relação à concentração de E.P. no composto e doses de adubação.



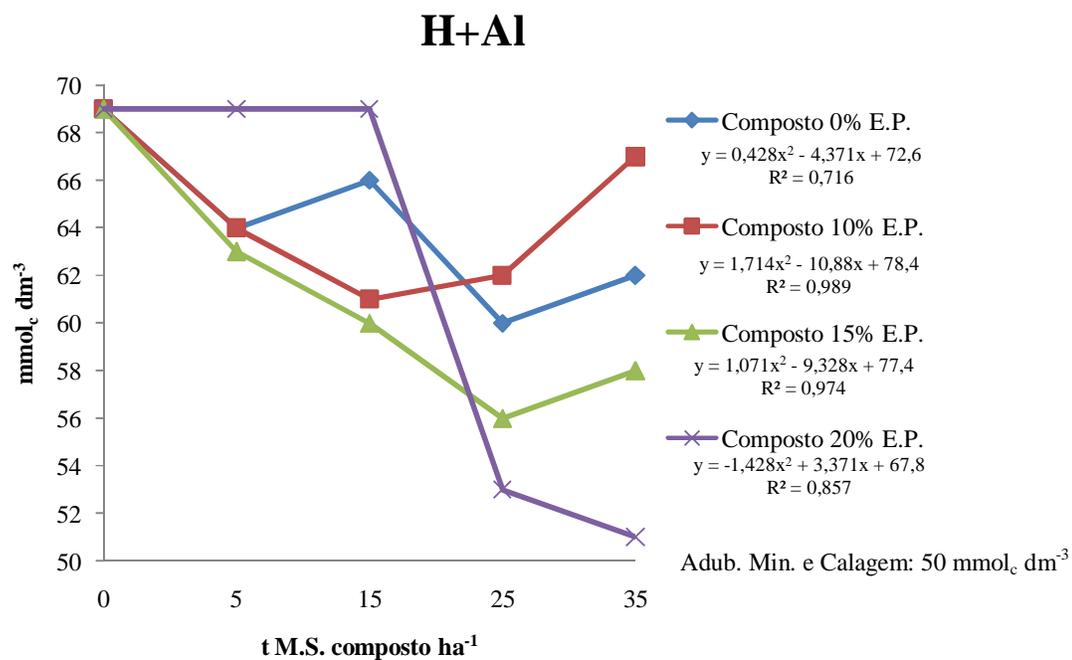
**Figura 6.** Teor de Matéria Orgânica (M.O.) no solo em relação à concentração de E.P. no composto e doses de adubação.



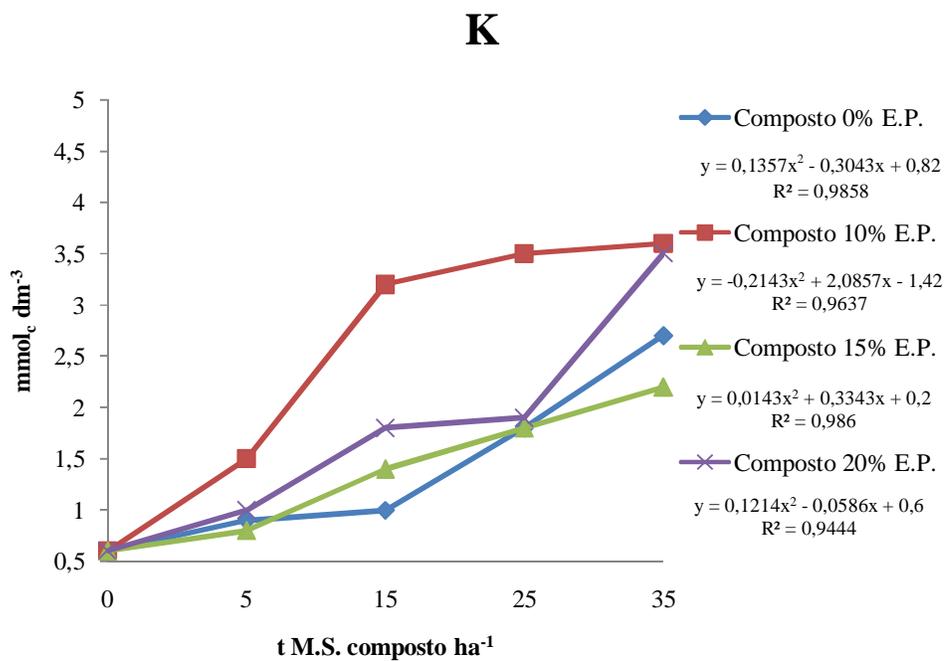
**Figura 7.** Teor de P no solo em relação à concentração de E.P. no composto e doses de adubação.



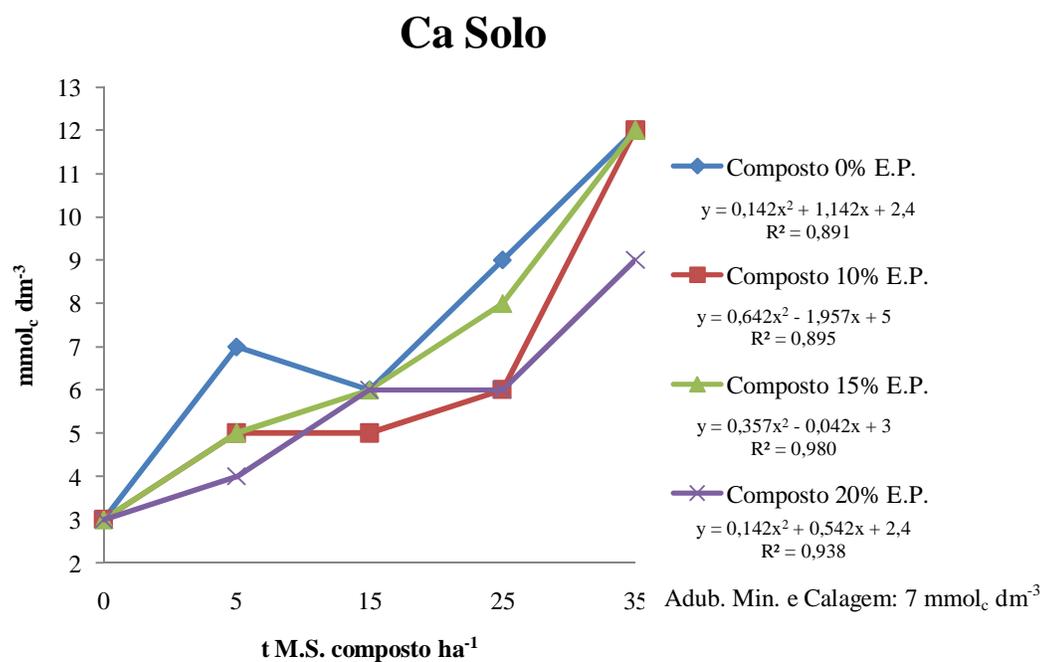
**Figura 8.** Teor de Al<sup>+3</sup> no solo em relação à concentração de E.P. no composto e doses de adubação.



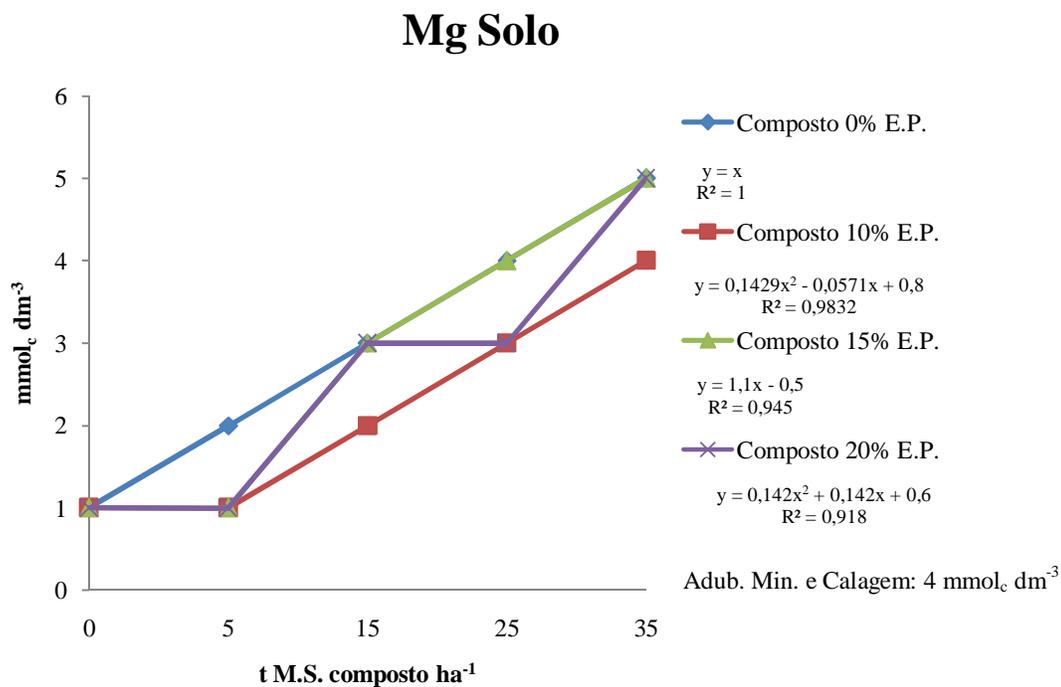
**Figura 9.** Teor de H+Al no solo em relação à concentração de E.P. no composto e doses de adubação.



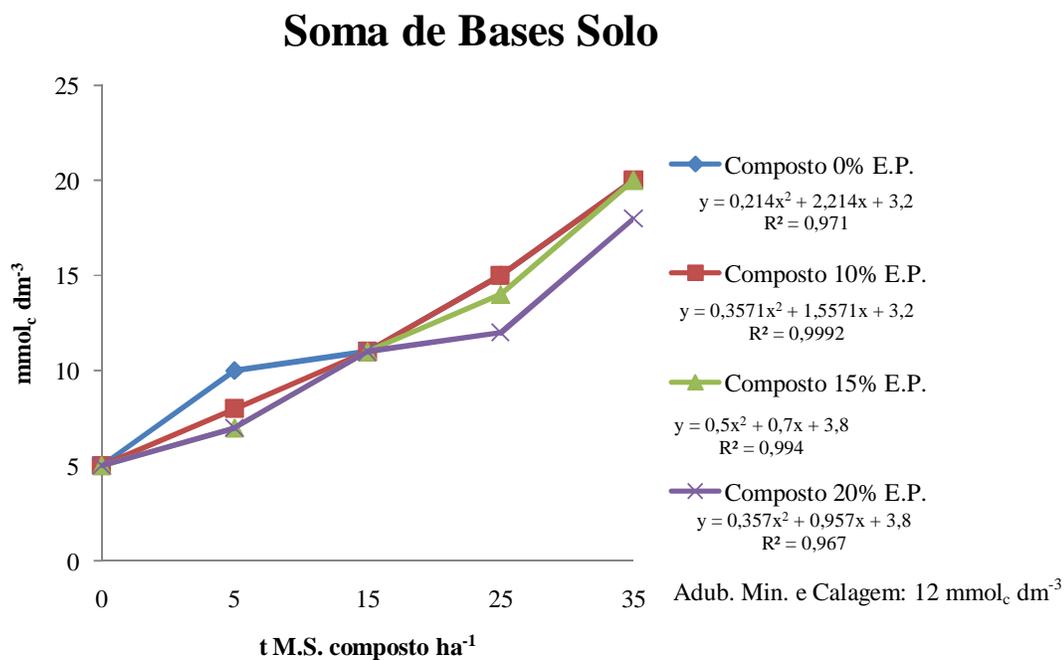
**Figura 10.** Teor de K no solo em relação à concentração de E.P. no composto e doses de adubação.



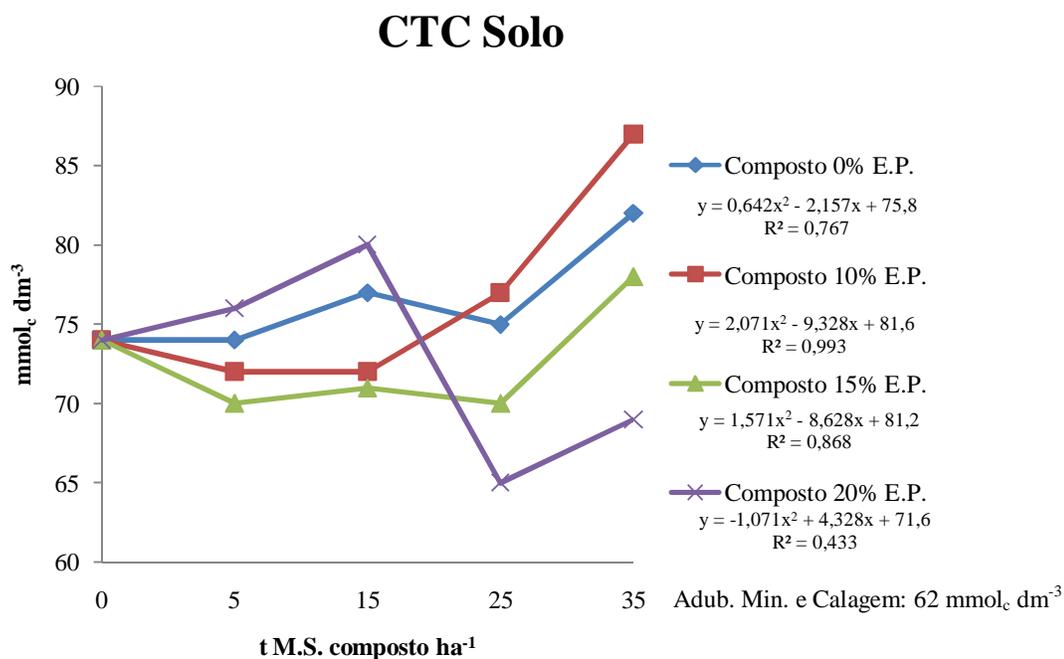
**Figura 11.** Teor de Ca no solo em relação à concentração de E.P. no composto e doses de adubação.



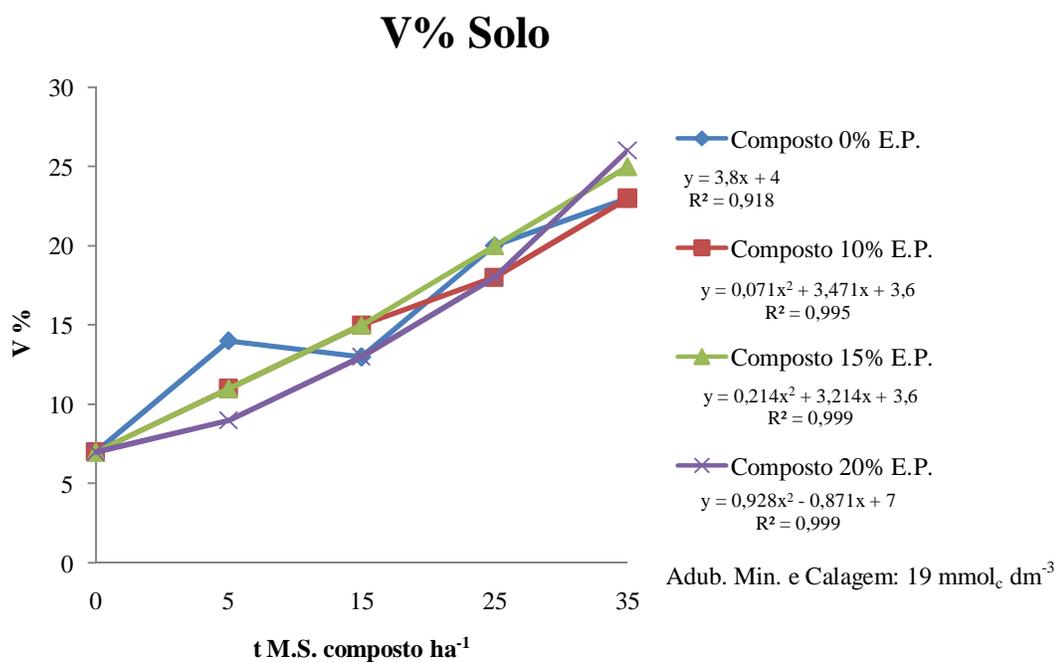
**Figura 12.** Teor de Mg no solo em relação à concentração de E.P. no composto e doses de adubação.



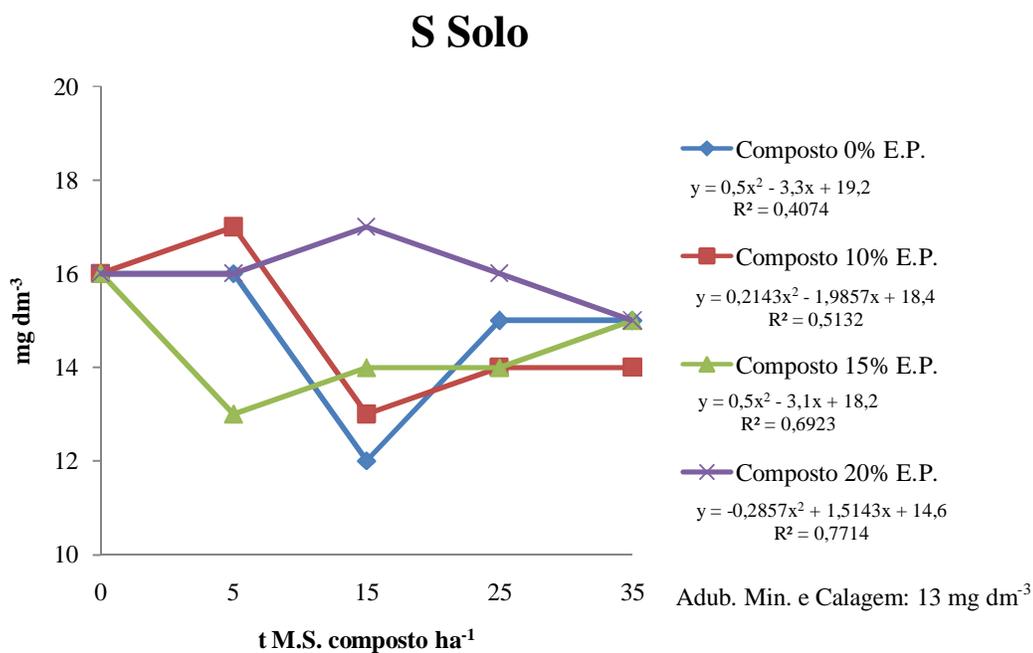
**Figura 13.** Soma de Bases (SB) no solo em relação à concentração de E.P. no composto e doses de adubação.



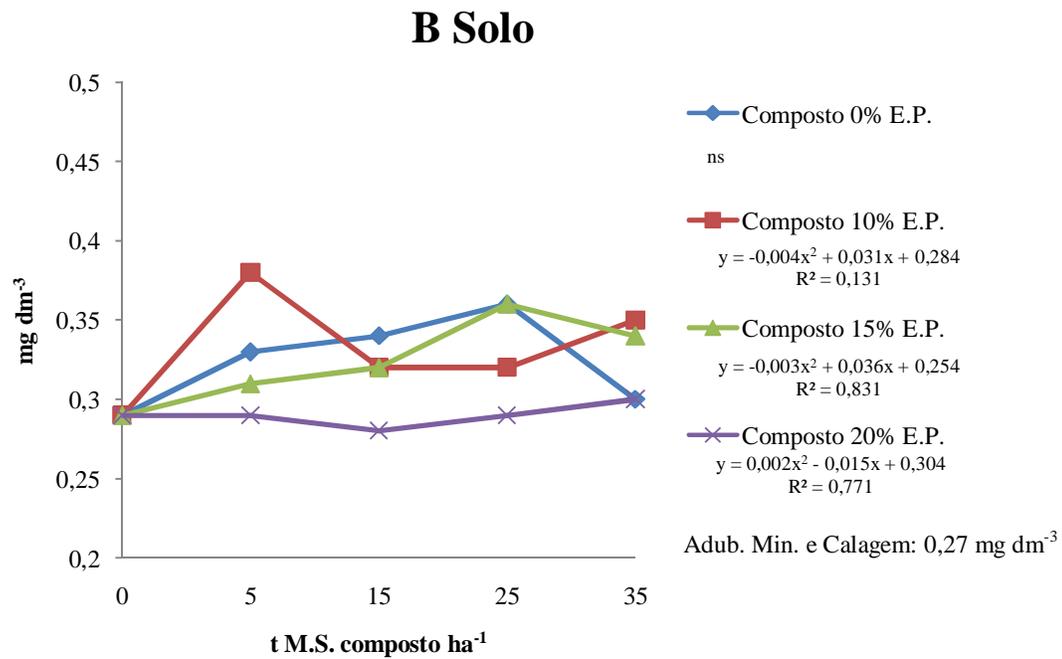
**Figura 14.** Capacidade de Troca Catiônica (CTC) no solo em relação à concentração de E.P. no composto e doses de adubação.



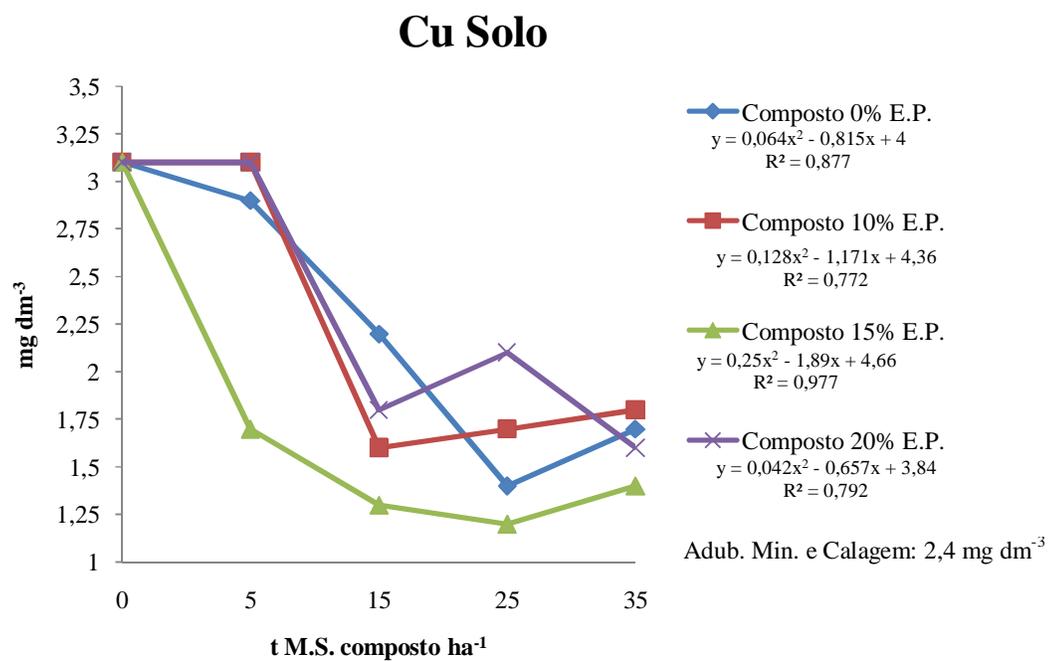
**Figura 15.** Saturação por Bases (V%) no solo em relação à concentração de E.P. no composto e doses de adubação.



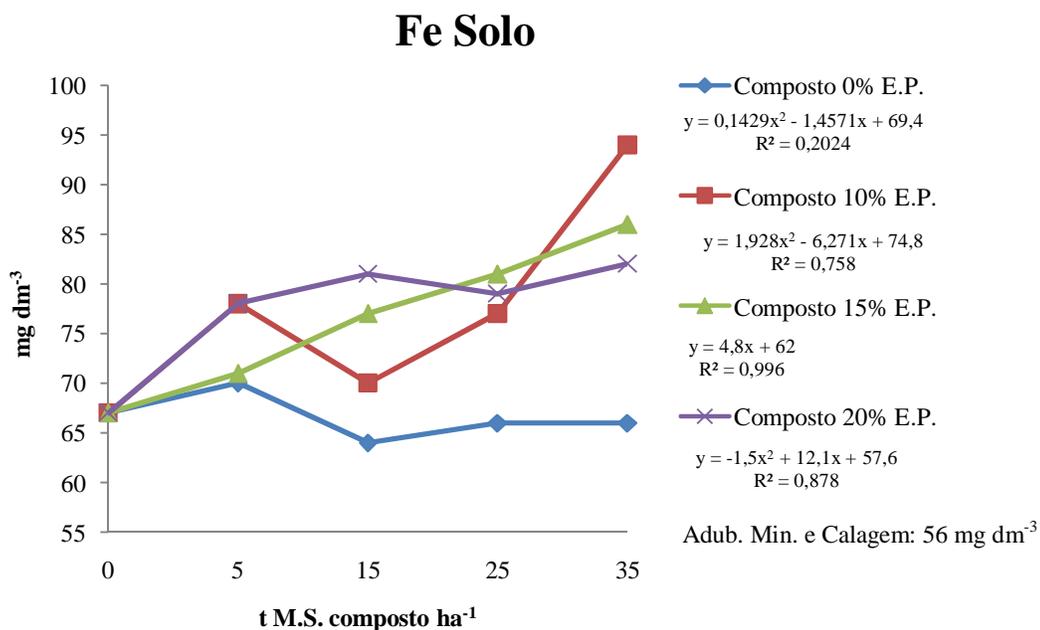
**Figura 16.** Teor de S no solo em relação à concentração de E.P. no composto e doses de adubação.



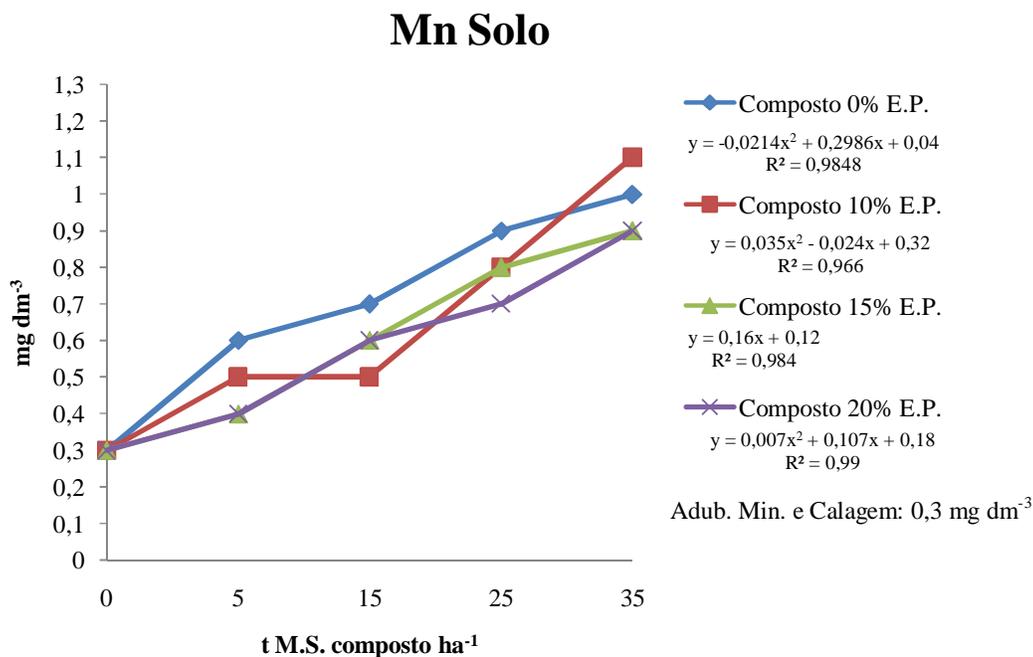
**Figura 17.** Teor de B no solo em relação à concentração de E.P. no composto e doses de adubação.



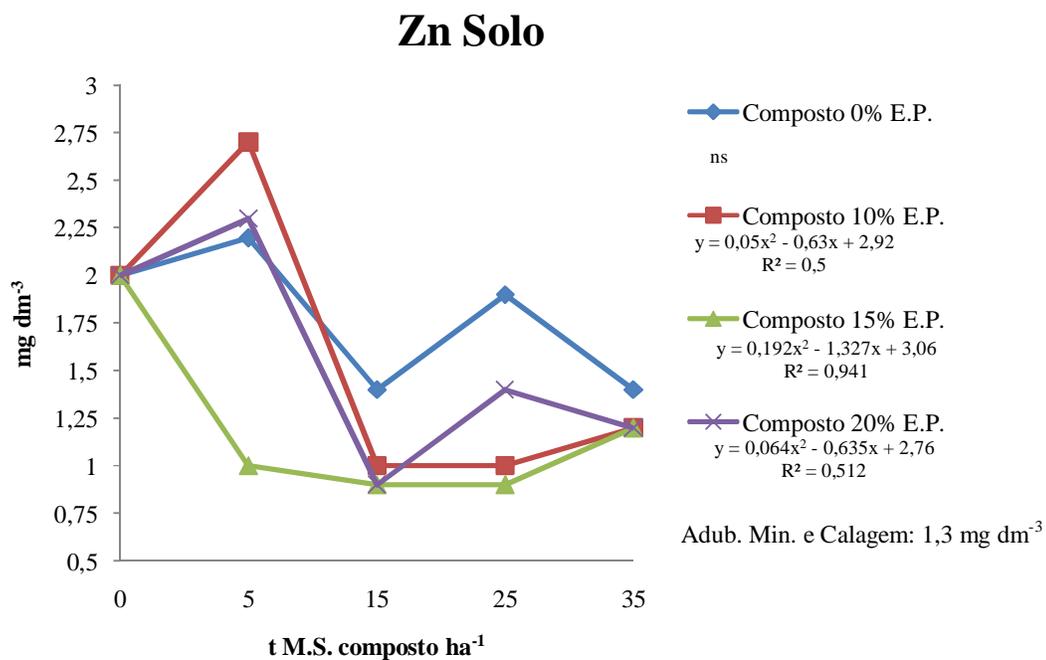
**Figura 18.** Teor de Cu no solo em relação à concentração de E.P. no composto e doses de adubação.



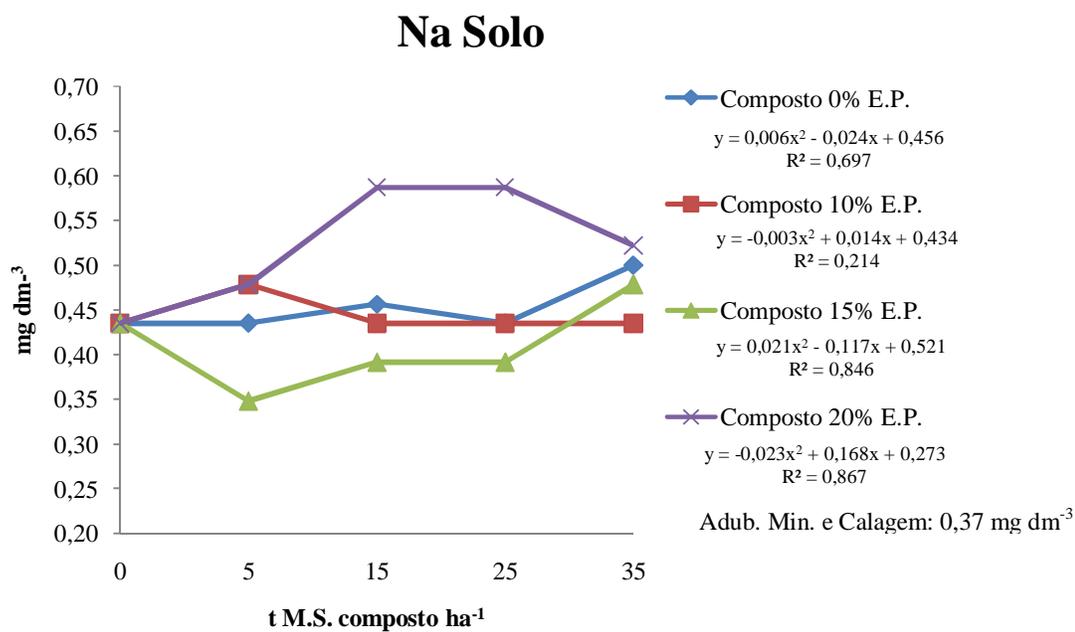
**Figura 19.** Teor de Cu no solo em relação à concentração de E.P. no composto e doses de adubação.



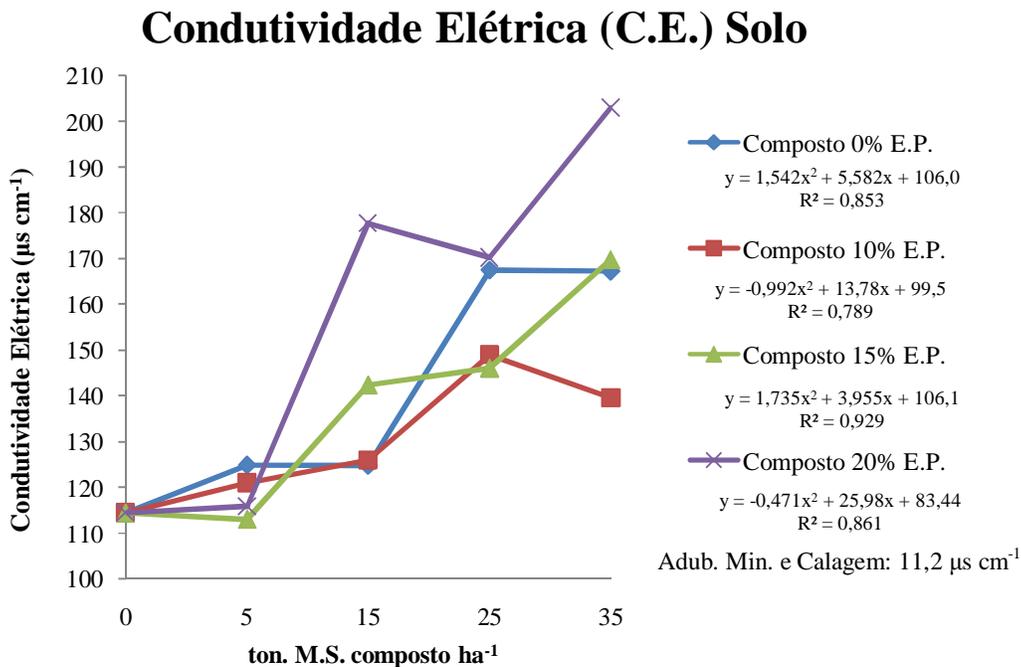
**Figura 20.** Teor de Mn no solo em relação à concentração de E.P. no composto e doses de adubação.



**Figura 21.** Teor de Zn no solo em relação à concentração de E.P. no composto e doses de adubação.



**Figura 22.** Teor de Na no solo em relação à concentração de E.P. no composto e doses de adubação.



**Figura 23.** Valores de C.E. no solo em relação à concentração de E.P. no composto e doses de adubação.

#### 4.2.2 Interações no Desenvolvimento Vegetativo das Mudanças

Para os compostos 0, 10 e 15% E.P. a adubação mineral e calagem proporcionou maior desenvolvimento inicial das mudas. Com relação à altura (H) aos 30 Dias Após Plantio as mudas do tratamento adubação mineral e calagem apresentaram valor médio de 53,33 cm, seguido do tratamento composto 15% E.P. na dose 25 t M.S. ha<sup>-1</sup>, o qual apresentou valor médio 52,33 cm; o tratamento composto 20% E.P. na dose 35 t M.S. ha<sup>-1</sup> apresentou o menor valor (38,00 cm), seguido da testemunha sem adubação (40,00 cm) (TAB 13; FIG. 24; FIG. 30 a 33). A interação entre a elevação das doses de adubação e a H aos 30 Dias Após Plantio foi significativa apenas para o composto 15% E.P. ( $R^2=0,8136$ ). Para o Diâmetro de Coleto (DC) aos 30 Dias Após Plantio o maior valor apresentado foi para o tratamento adubação mineral e calagem (6,60 mm), seguido do tratamento composto 10% E.P. na dose 35 t M.S. ha<sup>-1</sup> (6,11 mm); o tratamento composto 20% E.P. na dose 35 t M.S. ha<sup>-1</sup> apresentou o menor valor (3,84 mm), seguido da testemunha sem adubação (4,00 mm). A interação entre a elevação das doses de adubação e o DC aos 30 Dias Após Plantio foi significativa apenas para o composto 0, 15 e 20% E.P.

( $R^2=0,7383$ ;  $R^2=0,9844$ ;  $R^2=0,5872$  , respectivamente), conforme Tabela 13, Figura 27 e Figuras 34 a 37. O menor desenvolvimento inicial das mudas (30 Dias Após Plantio) nos tratamentos dos compostos 0, 10 e 15% E.P. em comparação ao tratamento adubação mineral e calagem foi consequência da alta relação C/N do composto e o baixo aporte de nutrientes ao solo nesta fase comparado à disponibilização imediata da adubação mineral.

A posterior disponibilização de nutrientes do composto ao solo possibilitou a recuperação do desenvolvimento das mudas e aos 60 Dias Após Plantio as doses 25 e 35 t M.S.  $ha^{-1}$  dos compostos 0, 10 e 15% E.P. proporcionaram paridade na H das mudas em relação ao tratamento adubação mineral e calagem. A interação entre a elevação das doses de adubação e a H aos 30 Dias Após Plantio foi significativa apenas para os compostos 0,10 e 15% E.P. ( $R^2=0,8847$ ;  $R^2=0,8246$ ;  $R^2=0,9203$ , respectivamente), conforme Tabela 13, Figura 25 e Figuras 30 a 33, já para o DC a partir da dose 15 t M.S.  $ha^{-1}$  obteve-se valores superiores. Para os compostos 0, 10 e 15% E.P. obteve-se interações significativas entre o DC e as doses de adubação ( $R^2=0,8851$ ;  $R^2=0,7895$ ;  $R^2=0,9696$ , respectivamente), conforme Tabela TAB 13, Figura 28 e Figuras 34 a 37.

Aos 90 Dias Após Plantio as doses 35 t M.S.  $ha^{-1}$  do composto 10% E.P. e 25 e 35 t M.S.  $ha^{-1}$  do composto 15% E.P. proporcionaram maiores valores de H ( $R^2=0,8027$ ;  $R^2=0,9545$ ;  $R^2=0,9006$  para os compostos com 0, 10 e 15% E.P., respectivamente) e DC ( $R^2=0,9317$ ;  $R^2=0,7155$ ;  $R^2=0,9714$  para os compostos com 0, 10 e 15% E.P., respectivamente) em relação ao tratamento adubação mineral e calagem (TAB 13; FIG. 26; FIG 29; FIG. 30 a 37).

A aplicação do composto orgânico 20% E.P. nas doses 15, 25 e 35 t M.S.  $ha^{-1}$ , em relação direta com o aumento dos valores de condutividade elétrica (C.E.) do solo (TAB. 12; FIG.23), suprimiu o desenvolvimento das plantas, com os menores valores H e DC aos 30, 60 e 90 Dias Após Plantio e Massa de Matéria Seca de Folhas, Caule e Raízes aos 90 Dias Após Plantio (TAB. 13; TAB.14; FIG. 24 a 41), corroborando com Souza-Silva et al. (2006), reportando o efeito deletério no crescimento de mudas de eucalipto em altas doses de E.P., e Trindade et al. (2001) que relatam redução do crescimento de mudas de eucalipto no tratamento com a maior dose de composto, coincidindo com elevada C.E. no substrato. A alta salinidade do solo reduz a capacidade de fotossíntese, o que muitas vezes leva a um declínio na taxa de crescimento e no rendimento das culturas (CHATRATH et al., 2000; HAO & CHANG, 2003). A limitação da fotossíntese pode ser separada em duas categorias: (1) devido à redução da condutância

estomática, e (2) devido à redução da capacidade fotossintética bioquímica da folha (CHATRATH et al., 2001).

Com relação à Massa de Matéria Seca (M.S.) de Folhas aos 90 Dias Após Plantio o tratamento adubação mineral e calagem proporcionou o maior valor (65,40 g), seguido do tratamento composto 10% E.P. na dose 35 t M.S. ha<sup>-1</sup> (50,90 g). A testemunha sem adubação e o tratamento composto 20% E.P. na dose 15 t M.S. ha<sup>-1</sup> apresentaram os menores valores de M.S. Folhas, ambos com 12,90 g. Para os compostos 0,10 e 15% E.P. a M.S. de Folhas aumento em proporção à elevação das doses de adubação ( $R^2=0,945$ ;  $R^2=0,9615$ ;  $R^2=0,9918$  para os compostos com 0, 10 e 15% E.P., respectivamente) conforme Tabela 14 e Figura 38. De fato a adubação mineral e calagem estimou o enfolhamento das mudas.

Para a M.S. de Caule aos 90 Dias Após Plantio o tratamento 10% E.P. na dose 35 t M.S. ha<sup>-1</sup> superou o valor do tratamento adubação mineral e calagem, 44,17 g e 42,90 g, respectivamente. A testemunha sem adubação apresentou o menor valor de M.S. Folhas (7,10 g), seguido do tratamento composto 20% E.P. na dose 15 t M.S. ha<sup>-1</sup> (8,73 g). Para os compostos 0, 10 e 15% E.P. o aumento da M.S. de Caule foi altamente correlacionado com as doses de adubação ( $R^2=0,9328$ ;  $R^2=0,976$ ;  $R^2=0,9188$  para os compostos com 0, 10 e 15% E.P., respectivamente), conforme Tabela 14 e Figura 39.

A aplicação dos compostos 0, 10 e 15% E.P. estimulou o desenvolvimento do sistema radicular das mudas, visto os elevados valores de M.S. de Raízes em comparação a testemunha sem adubação. A aplicação das doses 15, 25 e 35 t M.S. ha<sup>-1</sup> para os compostos 0 e 10% E.P. e 15 e 25 t M.S. ha<sup>-1</sup> para o composto 15% E.P. proporcionaram maiores valores de M.S. de Raízes em comparação ao tratamento adubação mineral e calagem. Para os compostos 0, 10 e 15% E.P. obteve-se alta correlação entre a M.S. de Raízes e as doses de adubação ( $R^2=0,931$ ;  $R^2=0,9893$ ;  $R^2=0,9738$  para os compostos com 0, 10 e 15% E.P., respectivamente), conforme Tabela 14 e Figura 40.

Com a somatória dos valores de M.S. de Folhas, M.S. de Caule e M.S. de Raízes a M.S. Total dos tratamentos 10% E.P. na dose 35 t M.S. ha<sup>-1</sup> (174,60 g) e 15% E.P. na dose 35 t M.S. ha<sup>-1</sup> (160,03 g) superaram o valor do tratamento adubação mineral e calagem (155,10 g), demonstrando o incremento da biomassa vegetal. A testemunha sem adubação apresentou o menor valor de M.S. Folhas (37,20 g), seguido do tratamento composto 20% E.P. na dose 15 t M.S. ha<sup>-1</sup> (39,80 g). Para os compostos 0, 10 e 15% E.P. obteve-se alta correlação entre a M.S. Total e as doses de adubação ( $R^2=0,9497$ ;

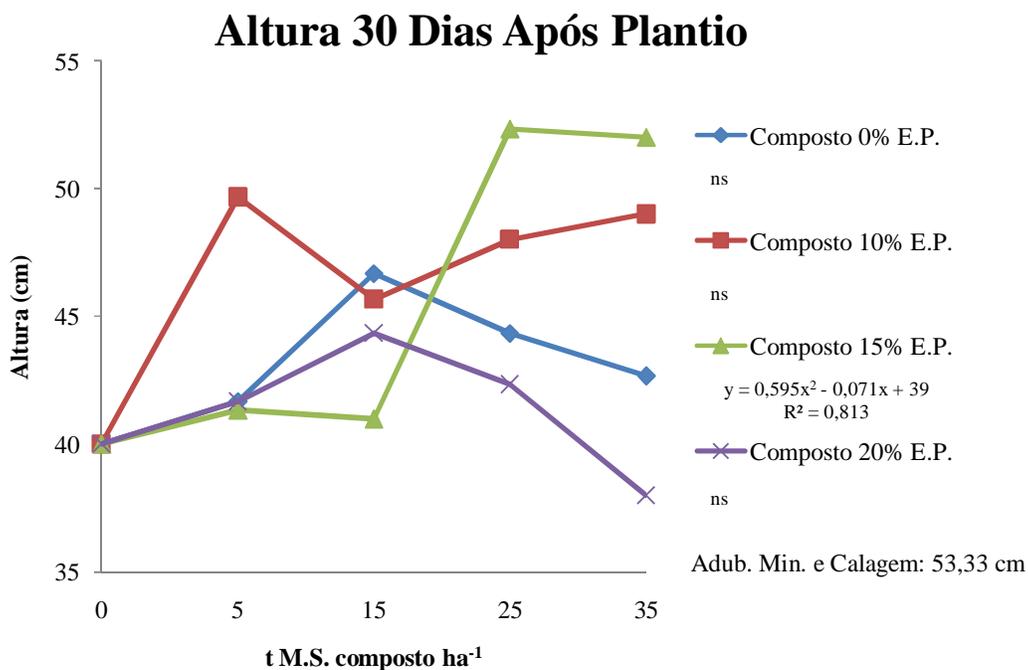
$R^2=0,9678$ ;  $R^2=0,9736$  para os compostos com 0, 10 e 15% E.P., respectivamente), conforme Tabela 14 e Figura 41.

A aplicação do composto orgânico estimulou o desenvolvimento do sistema radicular das plantas. Os incrementos na Massa de Matéria Seca de Raízes foram proporcionais à elevação das doses dos compostos com 0, 10 e 15% de E.P. Estas respostas podem ser atribuídas ao aumento no teor de macro e micronutrientes, SB, V% e M.O. e redução dos teores de  $Al^{+3}$  no solo (TAB. 10). Cita-se que estimativas diretas da toxicidade do Al podem ser alcançadas por indicadores como inibição do desenvolvimento de raízes (ZOBEL & KINRAIDE, 2007) e inibição da elongação radicular (GODBOLD & KETTNER, 1991; LLUGANY et al., 1995; POSCHENRIEDER, 2008). A interação do Al com a zona apical radicular não só provoca uma inibição rápida do alongamento celular, mas também inibe a divisão celular no meristema apical (KOLLMEIER et al., 2000; DONCHEVA et al., 2005). Já para o composto com 20% de E.P. as doses de 15, 25 e 35 t M.S.  $ha^{-1}$  suprimiram o desenvolvimento radicular, devido aos elevados valores de C.E. do solo (TAB. 11, 12 e 14).

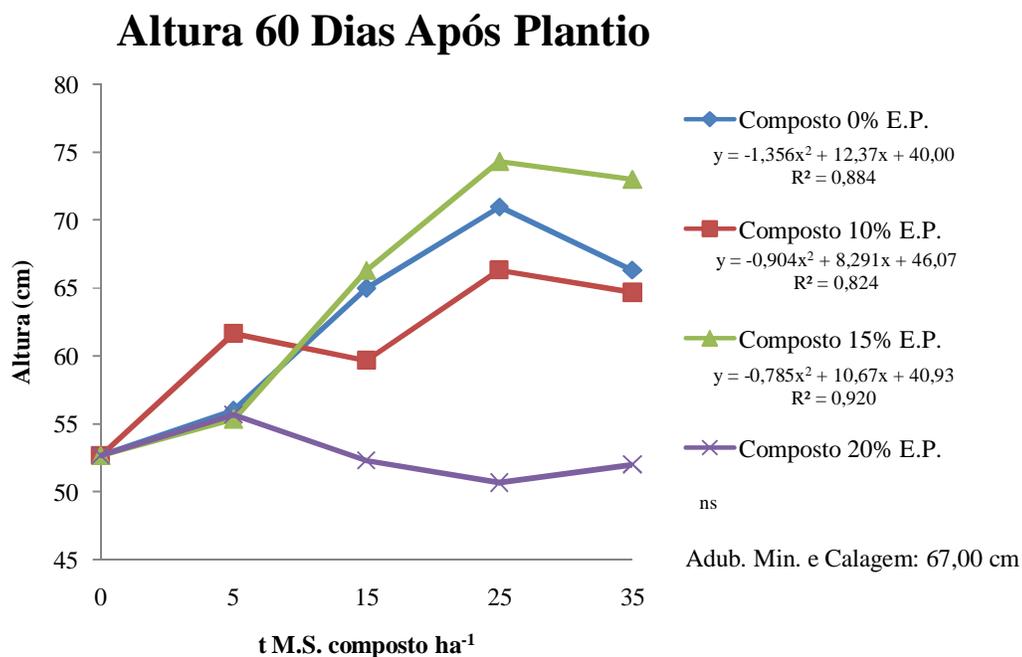
**Tabela 13.** Avaliação de Altura (H) e Diâmetro de Coleta (DC) das Mudas.

Tratamento		Altura (H)			Diâmetro de coleta (DC)		
		----- cm -----			----- mm -----		
% E.P. no Composto Orgânico	Dose Composto Orgânico t M.S. ha <sup>-1</sup>	30 Dias Após Plantio	60 Dias Após Plantio	90 Dias Após Plantio	30 Dias Após Plantio	60 Dias Após plantio	90 Dias Após Plantio
0%	0	40,00	52,67	56,39	4,00	7,33	9,98
0%	5	41,67	56	56,67	4,31	7,45	10,98
0%	15	46,67	65	67,33	5,53	9,84	12,79
0%	25	44,33	71	72,33	4,97	10,67	13,44
0%	35	42,67	66,33	71,67	4,77	10,62	13,60
<b>Regressão</b>		ns	Q**	Q**	Q*	Q**	Q**
10%	0	40,00	52,67	56,39	4,00	7,33	9,98
10%	5	49,67	61,67	62	5,54	9,72	12,00
10%	15	45,67	59,67	61,33	5,40	9,59	12,10
10%	25	48,00	66,33	69	5,85	9,53	12,33
10%	35	49,00	64,67	77	6,11	9,92	13,78
<b>Regressão</b>		ns	Q**	Q**	ns	Q**	Q**
15%	0	40,00	52,67	56,39	4,00	7,33	9,98
15%	5	41,33	55,33	58,33	4,00	8,12	10,23
15%	15	41,00	66,33	67,33	4,33	9,16	11,63
15%	25	52,33	74,33	81	4,98	9,74	13,39
15%	35	52,00	73	79,67	5,48	9,46	14,28
<b>Regressão</b>		Q**	Q**	Q**	Q*	Q**	Q**
20%	0	40,00	52,67	56,39	4,00	7,33	9,98
20%	5	41,67	55,67	54,67	5,03	8,44	10,7
20%	15	44,33	52,33	52,57	4,32	6,77	9,52
20%	25	42,33	50,67	52,67	4,58	6,54	9,08
20%	35	38,00	52	53,33	3,84	6,78	8,94
<b>Regressão</b>		ns	ns	ns	Q*	ns	ns
<b>Adub. Mineral e Calagem</b>		52,33	76,00	85,00	5,98	11,00	14,67

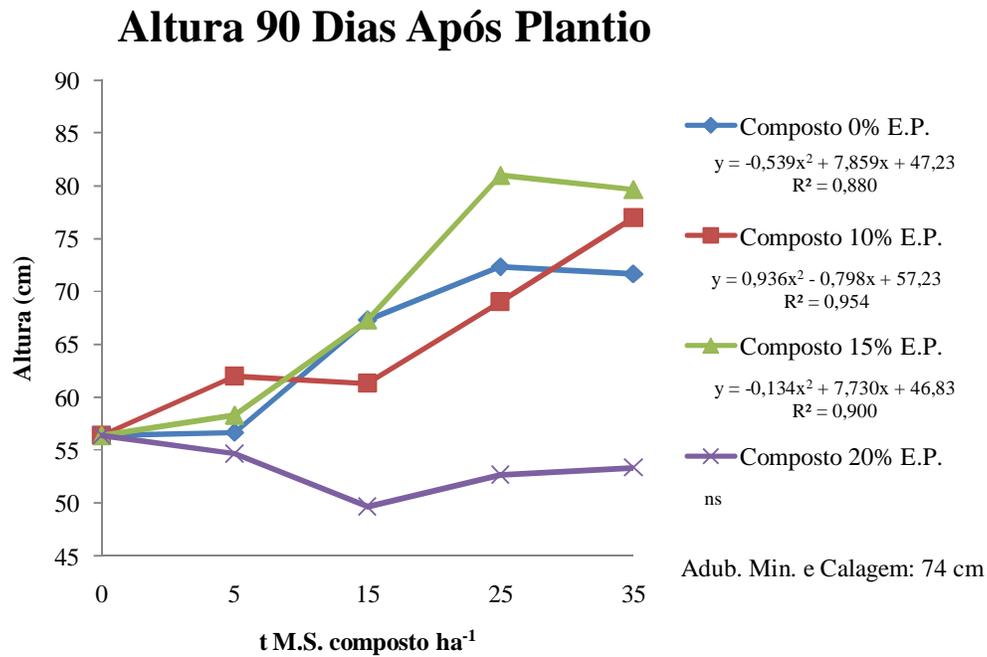
\*, \*\*, ns: significativo a 5%, significativo a 1% e não significativo, respectivamente, pelo Teste F.



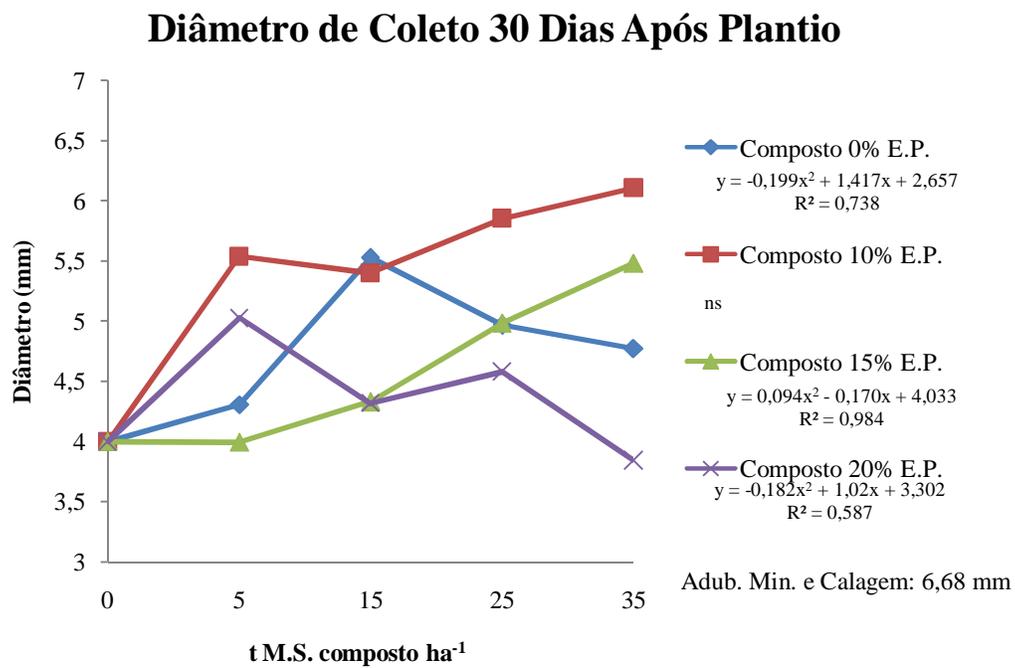
**Figura 24.** Altura (H) das mudas 30 Dias Após Plantio em relação à concentração de E.P. no composto e doses de adubação.



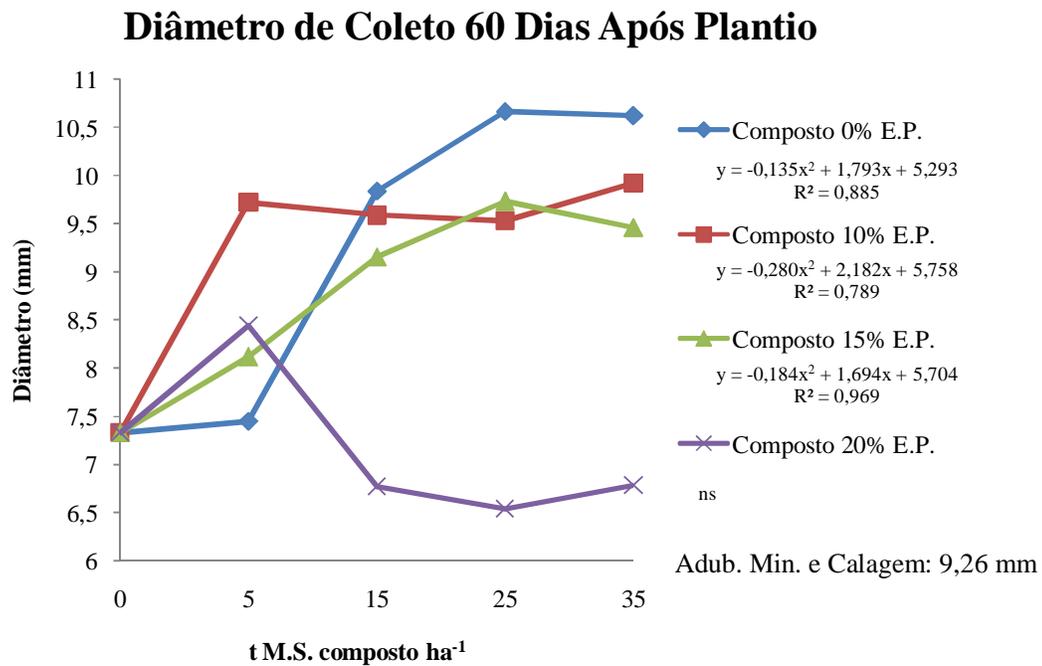
**Figura 25.** Altura (H) das mudas 60 Dias Após Plantio em relação à concentração de E.P. no composto e doses de adubação.



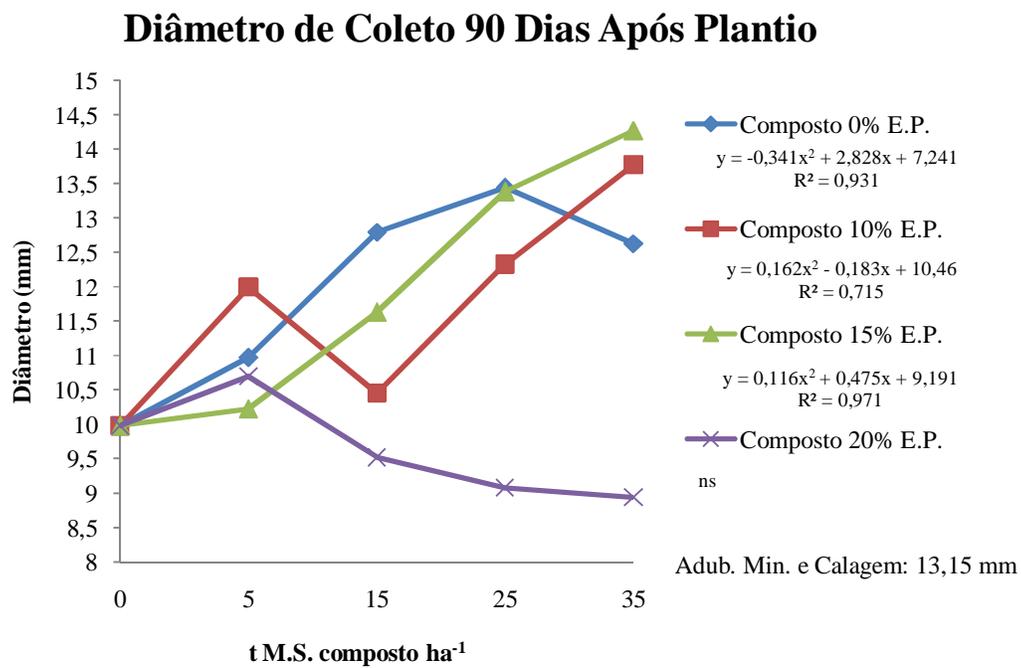
**Figura 26.** Altura (H) das mudas 90 Dias Após Plantio em relação à concentração de E.P. no composto e doses de adubação.



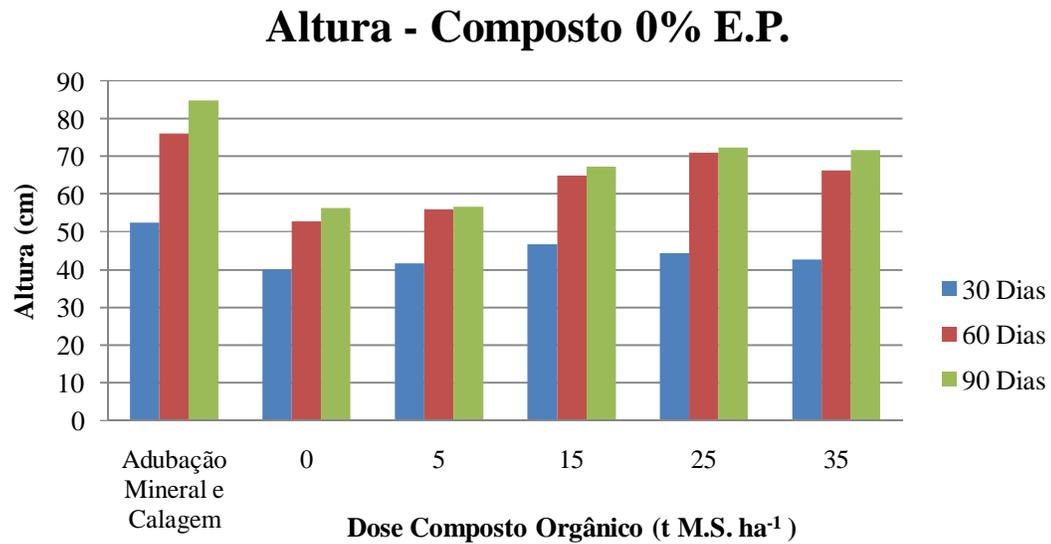
**Figura 27.** Diâmetro de Coleto (DC) das mudas 30 Dias Após Plantio em relação à concentração de E.P. no composto e doses de adubação.



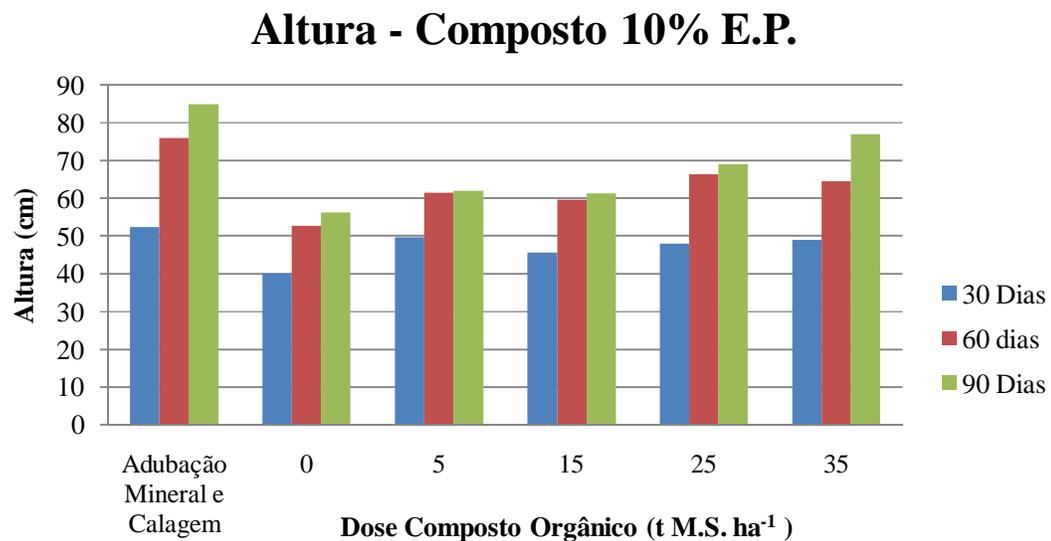
**Figura 28.** Diâmetro de Coletor (DC) das mudas 60 Dias Após Plantio em relação à concentração de E.P. no composto e doses de adubação.



**Figura 29.** Diâmetro de Coletor (DC) das mudas 90 Dias Após Plantio em relação à concentração de E.P. no composto e doses de adubação.

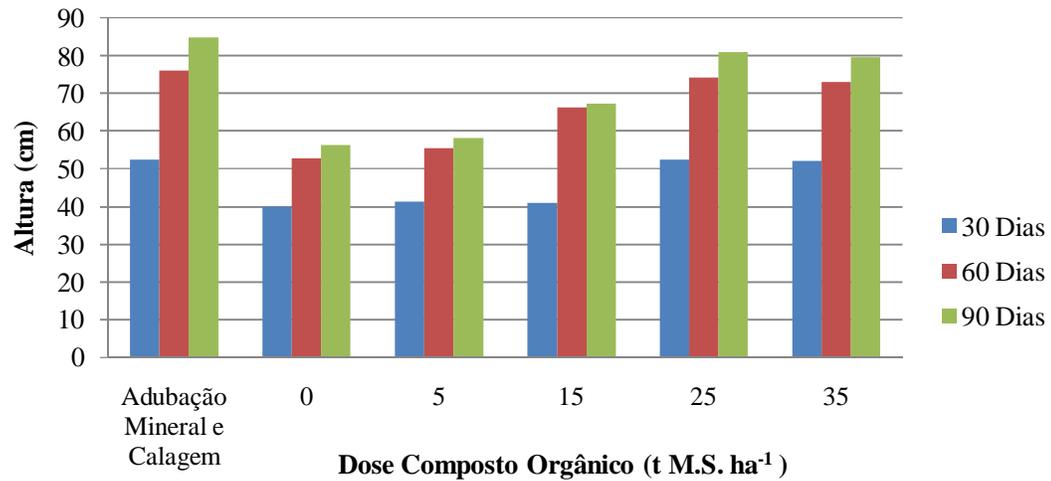


**Figura 30.** Altura (H) das mudas em relação ao tempo (Dias Após Plantio) e doses de adubação para o composto 0% E.P.



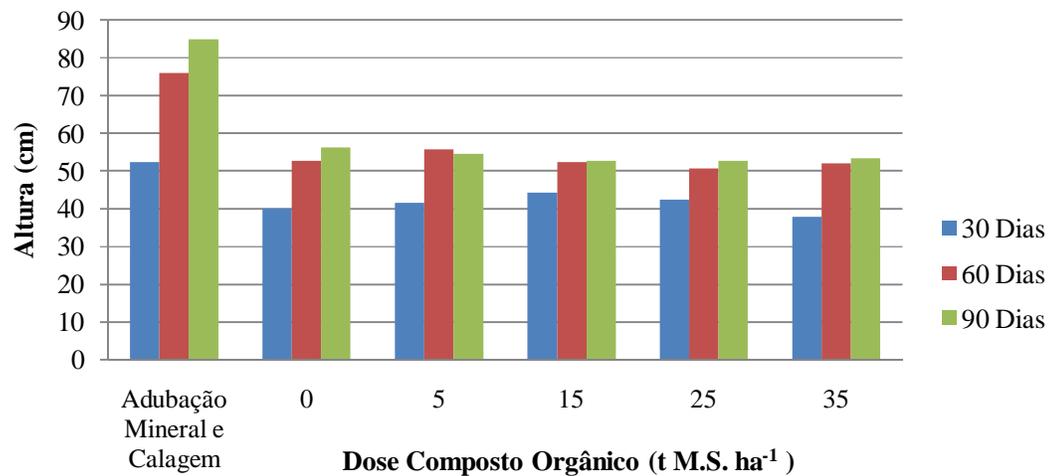
**Figura 31.** Altura (H) das mudas em relação ao tempo (Dias Após Plantio) e doses de adubação para o composto 10% E.P.

### Altura - Composto 15% E.P.

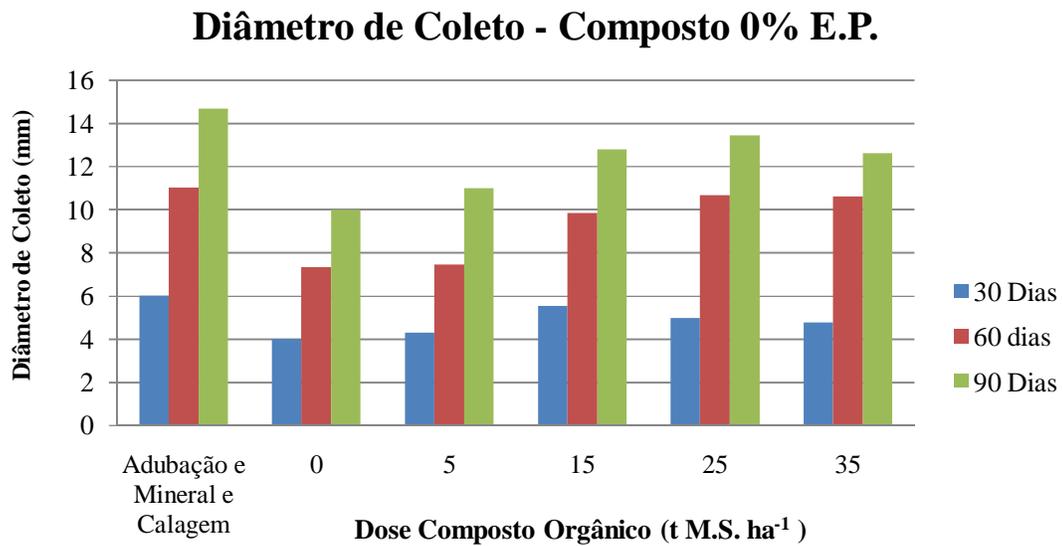


**Figura 32.** Altura (H) das mudas em relação ao tempo (Dias Após Plantio) e doses de adubação para o composto 15% E.P.

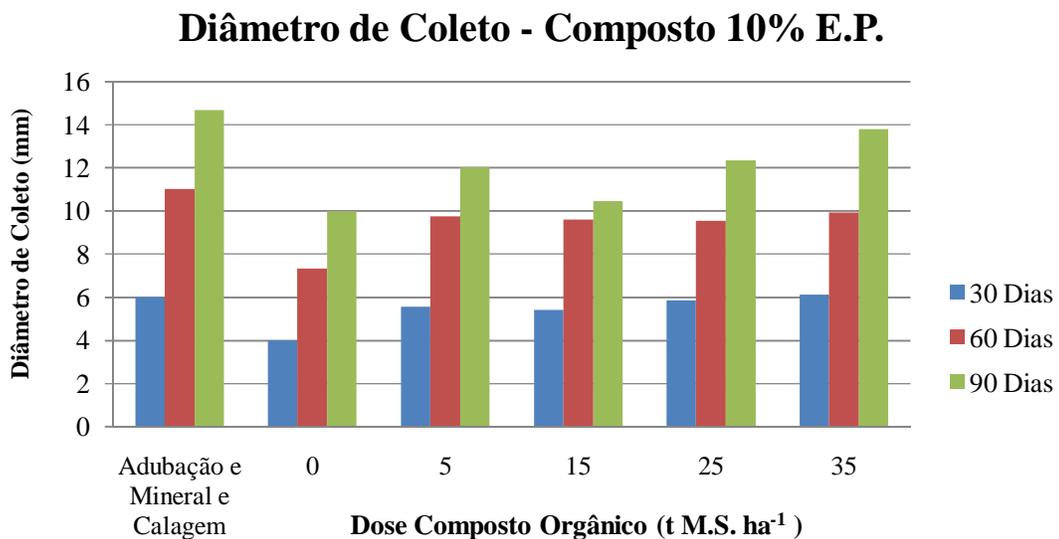
### Altura - Composto 20% E.P.



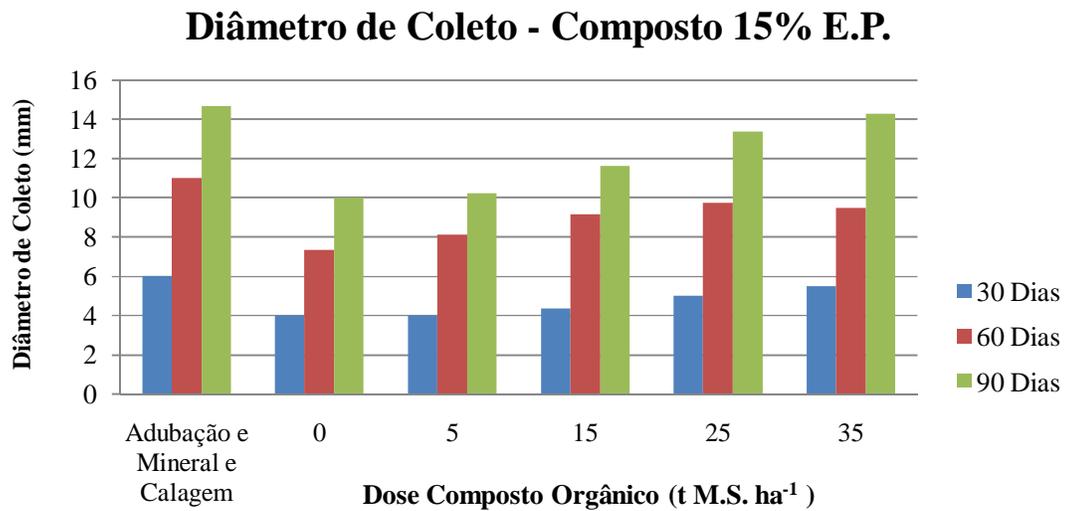
**Figura 33.** Altura (H) das mudas em relação ao tempo (Dias Após Plantio) e doses de adubação para o composto 20% E.P.



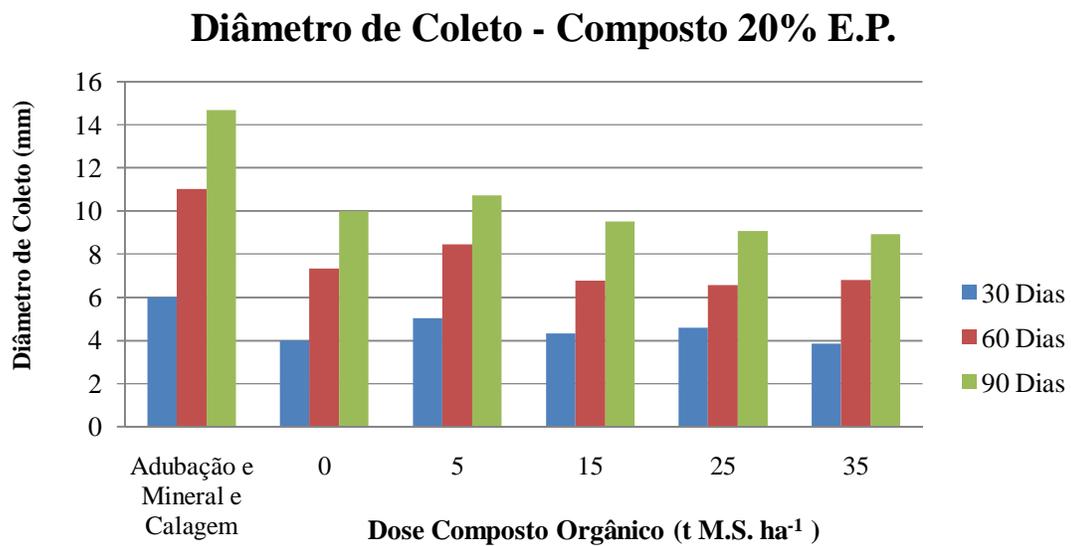
**Figura 34.** Diâmetro de Coleta (DC) das mudas em relação ao tempo (Dias Após Plantio) e doses de adubação para o composto 0% E.P.



**Figura 35.** Diâmetro de Coleta (DC) das mudas em relação ao tempo (Dias Após Plantio) e doses de adubação para o composto 10% E.P.



**Figura 36.** Diâmetro de Coleta (DC) das mudas em relação ao tempo (Dias Após Plantio) e doses de adubação para o composto 15% E.P.

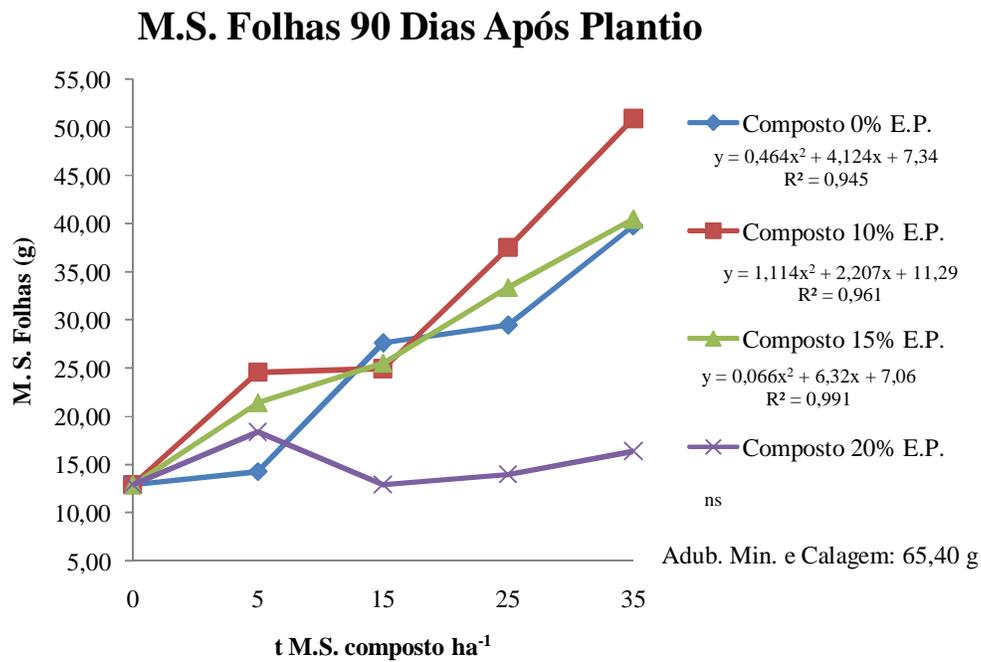


**Figura 37.** Diâmetro de Coleta (DC) das mudas em relação ao tempo (Dias Após Plantio) e doses de adubação para o composto 20% E.P.

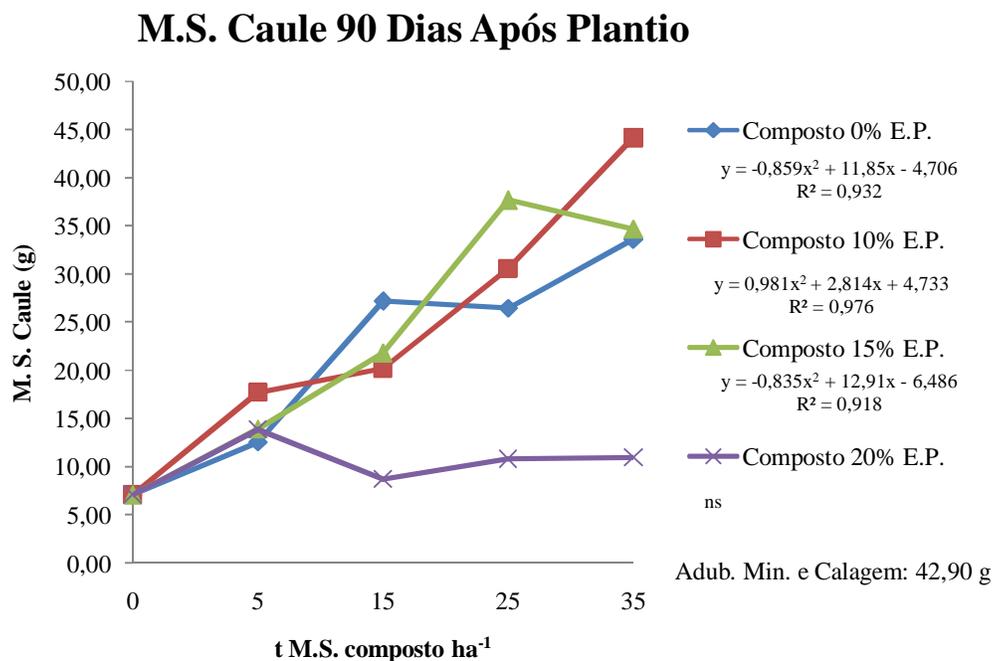
**Tabela 14.** Massa de Matéria Seca (M.S.) das Mudanças aos 90 Dias Após Plantio.

Tratamento		M. S. Folhas	M. S. Caule	M. S. Raízes	M. S. Total
% E.P. no Composto Orgânico	Dose Composto Orgânico t M.S. ha <sup>-1</sup>	----- g -----			
0%	0	12,90	7,10	17,20	37,20
0%	5	14,27	12,57	39,33	66,17
0%	15	27,60	27,23	56,43	111,27
0%	25	29,50	26,47	53,37	109,33
0%	35	39,83	33,63	71,80	145,27
<b>Regressão</b>		Q**	Q**	Q**	Q**
10%	0	12,90	7,10	17,20	37,20
10%	5	24,60	17,73	35,00	77,33
10%	15	24,93	20,23	49,50	82,80
10%	25	37,53	30,60	71,77	139,90
10%	35	50,90	44,17	79,53	174,60
<b>Regressão</b>		Q**	Q**	Q**	Q**
15%	0	12,90	7,10	17,20	37,20
15%	5	21,43	13,93	28,90	64,27
15%	15	25,50	21,83	40,07	87,40
15%	25	33,43	37,70	71,90	143,03
15%	35	40,50	34,70	84,83	160,03
<b>Regressão</b>		Q**	Q**	Q**	Q**
20%	0	12,90	7,10	17,20	37,20
20%	5	18,37	13,87	25,83	58,07
20%	15	12,90	8,73	18,17	39,80
20%	25	13,97	10,80	17,23	42,00
20%	35	16,40	10,97	25,20	52,57
<b>Regressão</b>		ns	ns	ns	Ns
<b>Adub. Mineral e Calagem</b>		65,40	42,90	46,80	155,10

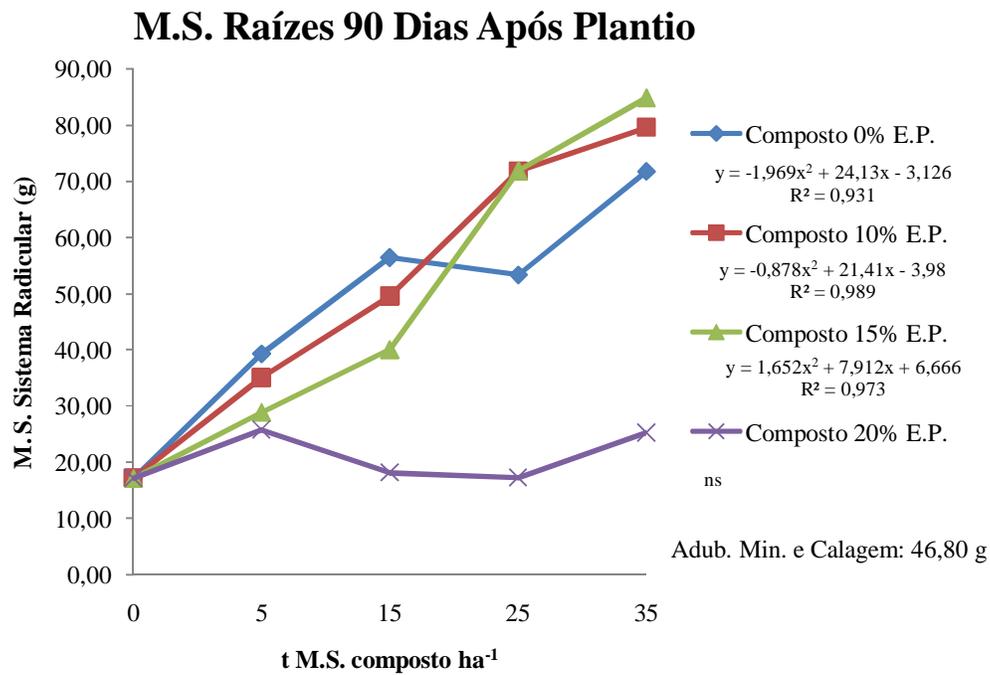
\*, \*\*, ns: significativo a 5%, significativo a 1% e não significativo, respectivamente, pelo Teste F.



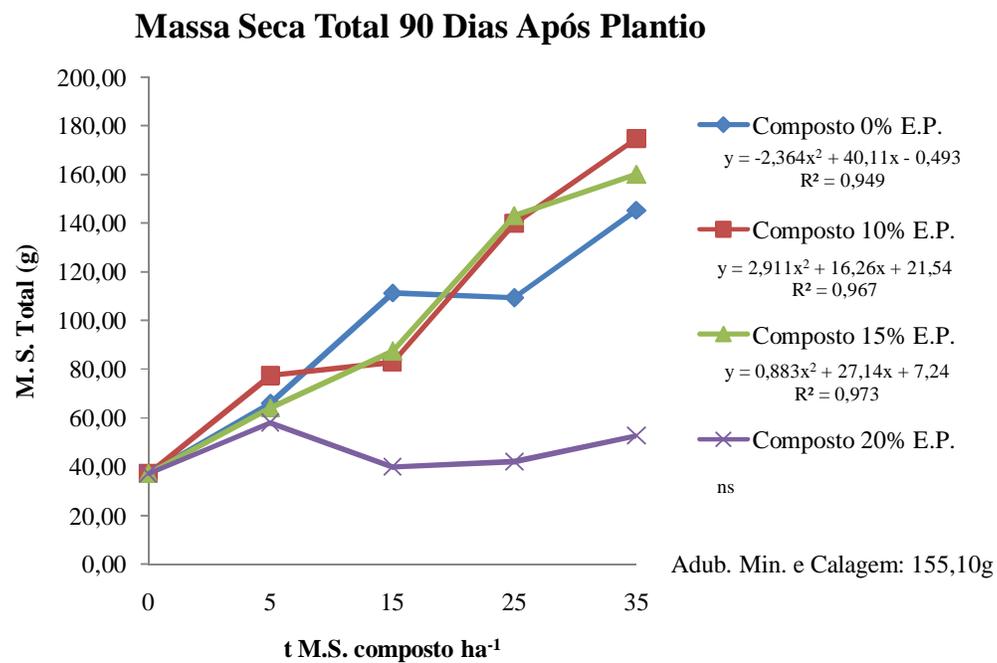
**Figura 38.** Massa de Matéria Seca (M.S.) de Folhas 90 Dias Após Plantio em relação à concentração de E.P. no composto orgânico e doses de adubação.



**Figura 39.** Massa de Matéria Seca (M.S.) de Caule 90 Dias Após Plantio em relação à concentração de E.P. no composto e doses de adubação.



**Figura 40.** Massa de Matéria Seca (M.S.) de Raízes 90 Dias Após Plantio em relação à concentração de E.P. no composto e doses de adubação.



**Figura 41.** Massa de Matéria Seca (M.S.) Total 90 Dias Após Plantio em relação à concentração de E.P. no composto e doses de adubação.

#### 4.2.3 Diagnose Foliar dos Teores dos Elementos Minerais.

A interação entre o teor de N Foliar e doses de adubação foi significativa apenas para os compostos 0, 10 e 15% E.P ( $R^2=0,135$ ;  $R^2=0,863$ ;  $R^2=0,8464$ , respectivamente), conforme Tabela 15 e Figura 42. Nenhum dos tratamentos apresentou teor de N Foliar considerado adequado para a cultura do eucalipto de acordo com o proposto por Malavolta et al. (1997).

Para todas as doses dos compostos 0, 10 e 15% E.P. os valores de P Foliar foram inferiores à testemunha sem adubação. Quando comparados com o tratamento adubação mineral e calagem, os tratamentos com aplicação de composto apresentaram valores superiores. A interação entre esta variável e as doses dos compostos 0, 10 e 15% E.P é explicada por regressões quadráticas significativas, conforme Tabela 15 e Figura 43. Apesar do baixo desenvolvimento das plantas o composto 20% E.P. nas doses 25 e 35 t M.S. ha<sup>-1</sup> proporcionou os maiores teores de P Foliar, considerados adequados para a cultura do eucalipto de acordo com o proposto por Malavolta et al. (1997).

O teor de K Foliar apresentou relação direta à elevação das doses de adubação, porém as regressões não foram significativas (TAB. 15; FIG 44). O tratamento composto 20% E.P. apresentou teor de K Foliar acima da faixa considerada adequada por Malavolta et al. (1997), acompanhado de deformações nas folhas (FIG. 54), conforme será discutido no item referente à diagnose visual dos sintomas foliares.

A elevação das doses de adubação ocasionou decréscimo no teor de Ca Foliar para todas as concentrações de E.P. no composto (TAB. 15; FIG 45). Os tratamentos composto 10% E.P. na dose 5 t M.S. ha<sup>-1</sup>, composto 20% E.P. nas doses 25 e 35 t M.S. ha<sup>-1</sup> e a testemunha sem adubação apresentaram teores de Ca Foliar considerados adequados para a cultura do eucalipto de acordo com o proposto por Malavolta et al. (1997).

Para os compostos 0, 10 e 15% E.P. a elevação da dose de adubação não ocasionou alterações consideráveis no teor de Mg Foliar, apresentando regressão quadrática significativa apenas para os compostos 10 e 15% E.P. A elevação da dose do composto 20% E.P. proporcionou pequeno aumento no teor de Ca Foliar, porém sem significância nas equações de regressão (TAB. 15; FIG 46).

O teor de S Foliar decresceu em relação ao aumento das doses dos compostos 0, 10 e 15% E.P., apresentando comportamento ajustado por regressões

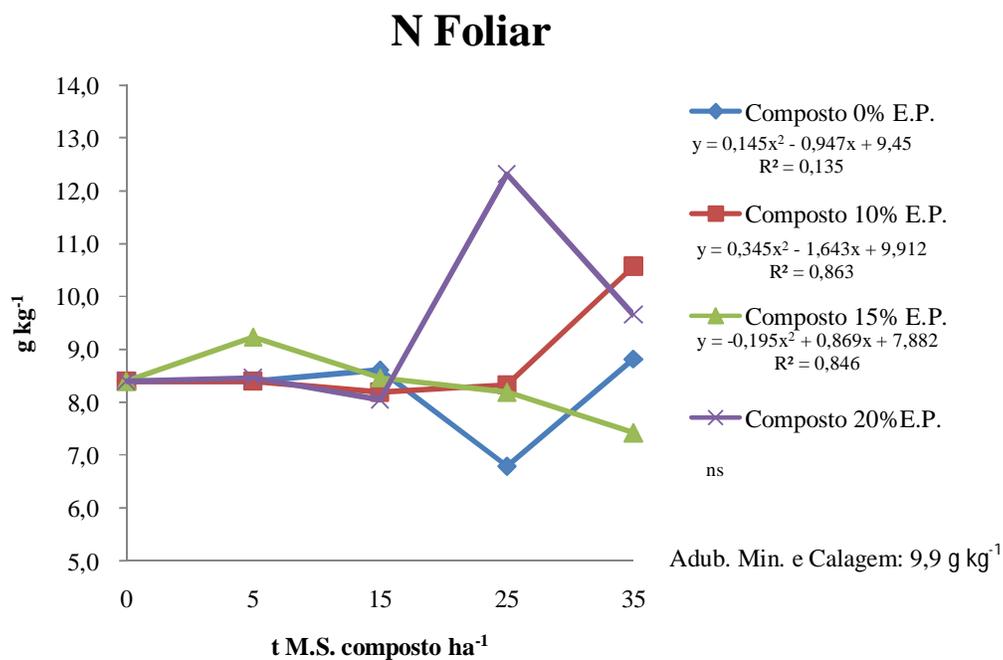
quadráticas significativa ( $R^2=0,7863$ ;  $R^2=0,93$ ;  $R^2=0,8099$ , respectivamente). Já para o composto 20% E.P. o teor de S Foliar acompanhou o aumento da dose de adubação, porém sem significância nas equações de regressão (TAB. 15; FIG 47).

O comportamento do B Foliar, Cu Foliar, Fe Foliar, Mn Foliar, Zn Foliar e Na Foliar foi semelhante para os compostos 0, 10, 15 e 20% E.P. em decorrência da elevação das doses. Na medida em que se elevaram as doses de adubação dos compostos 0, 10, 15% E.P os teores destes elementos no material vegetal (folhas) diminuiu. Já para o composto 20% E.P. a elevação das doses de adubação proporcionou acréscimo nos teores foliares dos referidos elementos, com exceção do Na que apresentou decréscimo nestas condições. A significância das equações de regressão é apresentada na Tabela 5, assim como os valores de  $R^2$  nas Figuras 48 a 53.

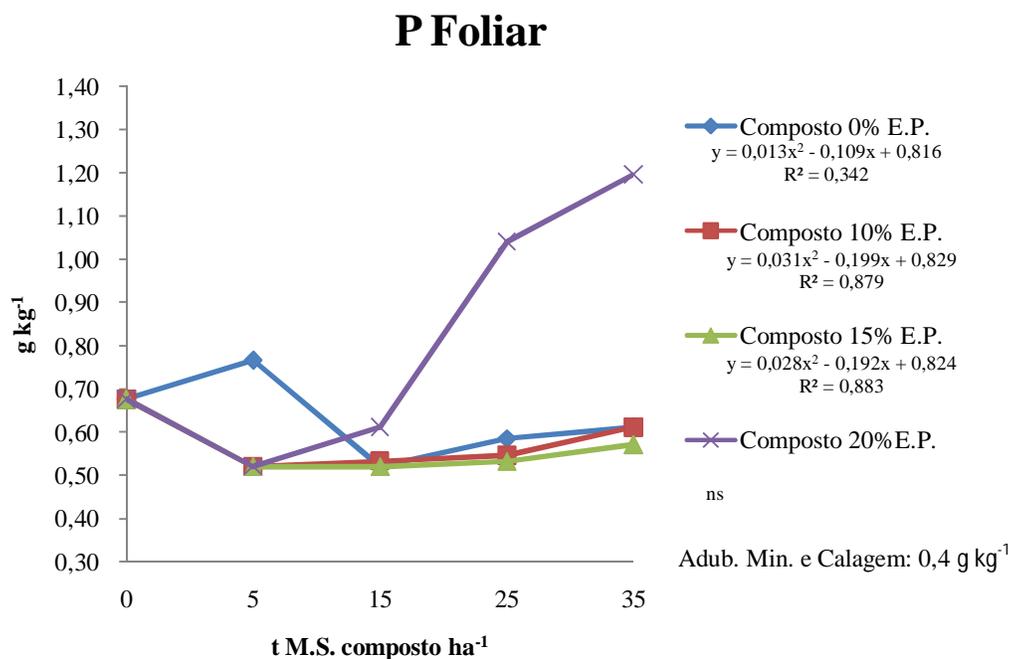
**Tabela 15.** Teores totais dos elementos no material vegetal (folhas).

Tratamento		N	P	K	Ca	Mg	S	B	Cu	Fe	Mn	Zn	Na
% E.P. no Composto Orgânico	Dose Composto Orgânico t M.S. ha <sup>-1</sup>	----- g kg <sup>-1</sup> -----						----- mg kg <sup>-1</sup> -----					
	<b>0%</b>	<b>0</b>	8,4	0,68	4,2	9,4	2,2	1,73	34,3	4	84	668	13
<b>0%</b>	<b>5</b>	8,4	0,77	4,6	7,2	2,0	2,00	24,8	5	72	507	12	1780
<b>0%</b>	<b>15</b>	8,6	0,52	5,0	6,0	2,2	1,90	24,4	6	62	378	12	1300
<b>0%</b>	<b>25</b>	6,8	0,59	6,9	5,7	2,3	1,68	21,7	3	42	293	11	1120
<b>0%</b>	<b>35</b>	8,8	0,61	6,3	5,7	2,2	1,59	21,7	4	58	234	9	930
<b>Regressão</b>		Q**	Q**	ns	ns	ns	Q**	Q**	Q**	ns	ns	Q**	Q**
<b>10%</b>	<b>0</b>	8,4	0,68	4,2	9,4	2,2	1,73	34,3	4	84	668	13	2260
<b>10%</b>	<b>5</b>	8,4	0,52	4,5	8,2	2,2	1,62	28,9	3	60	542	19	1850
<b>10%</b>	<b>15</b>	8,2	0,53	5,2	7,1	2,1	1,61	28,7	3	58	408	12	1570
<b>10%</b>	<b>25</b>	8,3	0,55	6,4	6,6	2,0	1,61	25,3	4	56	338	11	1200
<b>10%</b>	<b>35</b>	10,6	0,61	6,5	5,0	2,2	1,62	21,7	5	66	316	12	1070
<b>Regressão</b>		Q**	Q**	ns	ns	Q*	Q**	Q**	Q**	Q**	Q**	ns	Q**
<b>15%</b>	<b>0</b>	8,4	0,68	4,2	9,4	2,2	1,73	34,3	4	84	668	13	2260
<b>15%</b>	<b>5</b>	9,2	0,52	4,4	6,3	2,0	1,62	22,3	7	87	566	18	2020
<b>15%</b>	<b>15</b>	8,5	0,52	5,9	5,6	1,9	1,65	23,9	6	58	350	12	1430
<b>15%</b>	<b>25</b>	8,2	0,53	6,4	5,9	2,1	1,61	23,0	3	65	282	11	1150
<b>15%</b>	<b>35</b>	7,4	0,57	7,0	5,3	2,1	1,55	21,0	4	74	232	10	1030
<b>Regressão</b>		Q**	Q**	ns	ns	Q**	Q**	Q**	ns	ns	Q**	ns	Q**
<b>20%</b>	<b>0</b>	8,4	0,68	4,2	9,4	2,2	1,73	34,3	4	84	668	13	2260
<b>20%</b>	<b>5</b>	8,5	0,52	4,7	6,5	2,0	1,62	24,8	5	96	585	12	2110
<b>20%</b>	<b>15</b>	8,1	0,61	6,9	9,0	2,5	1,70	32,3	6	161	688	14	2070
<b>20%</b>	<b>25</b>	12,3	1,04	9,7	8,9	3,3	1,85	36,8	6	79	791	22	2220
<b>20%</b>	<b>35</b>	9,7	1,20	14,9	8,1	2,9	1,84	33,8	6	126	408	18	1800
<b>Regressão</b>		ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns
<b>Adubação Mineral e Calagem</b>		9,9	0,4	4	6	2,8	1,66	21,7	3	94	190	11	1180

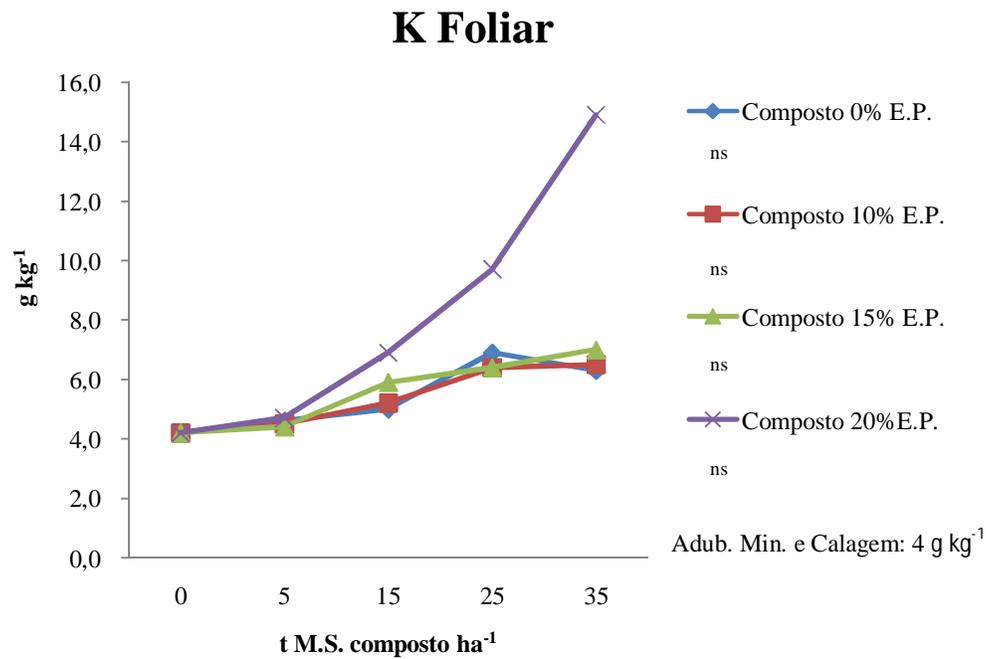
\*, \*\*, ns: significativo a 5%, significativo a 1% e não significativo, respectivamente, pelo Teste F.



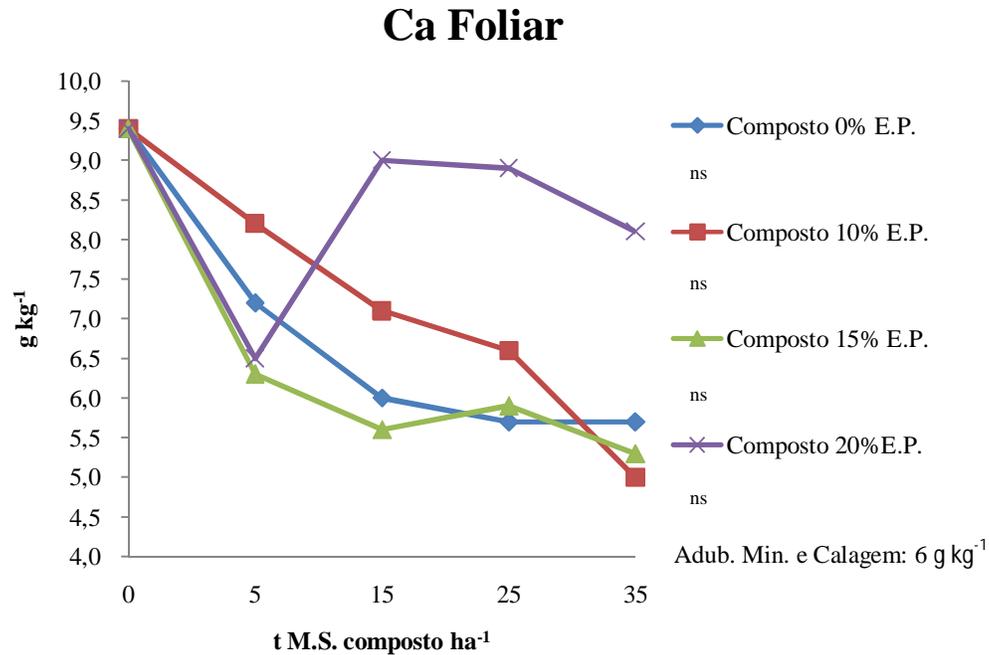
**Figura 42.** Teor de N foliar em relação à concentração de E.P. no composto e doses de adubação.



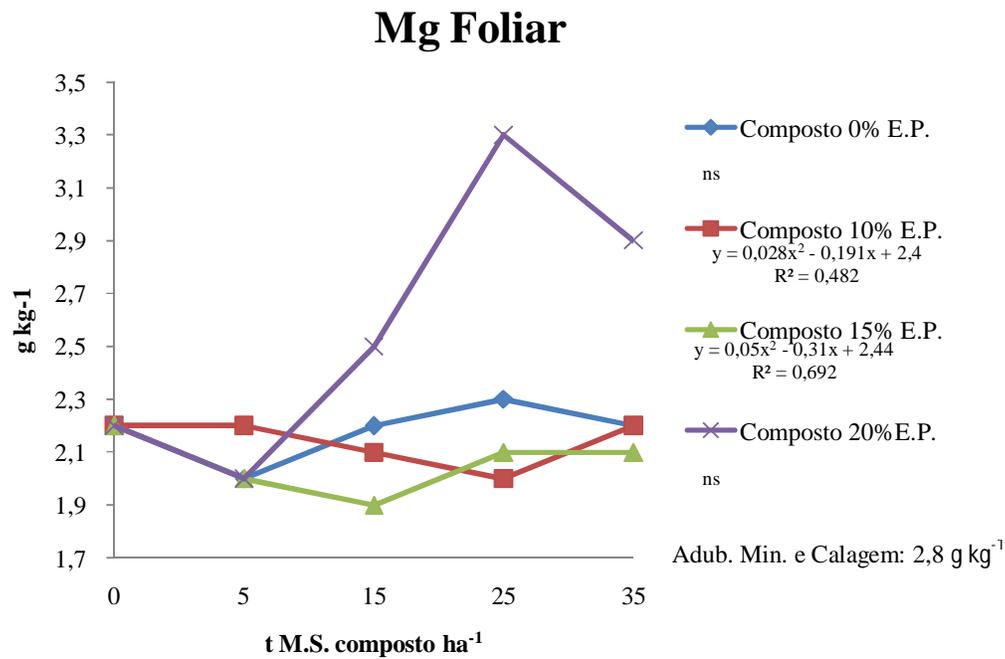
**Figura 43.** Teor de P foliar em relação à concentração de E.P. no composto e doses de adubação.



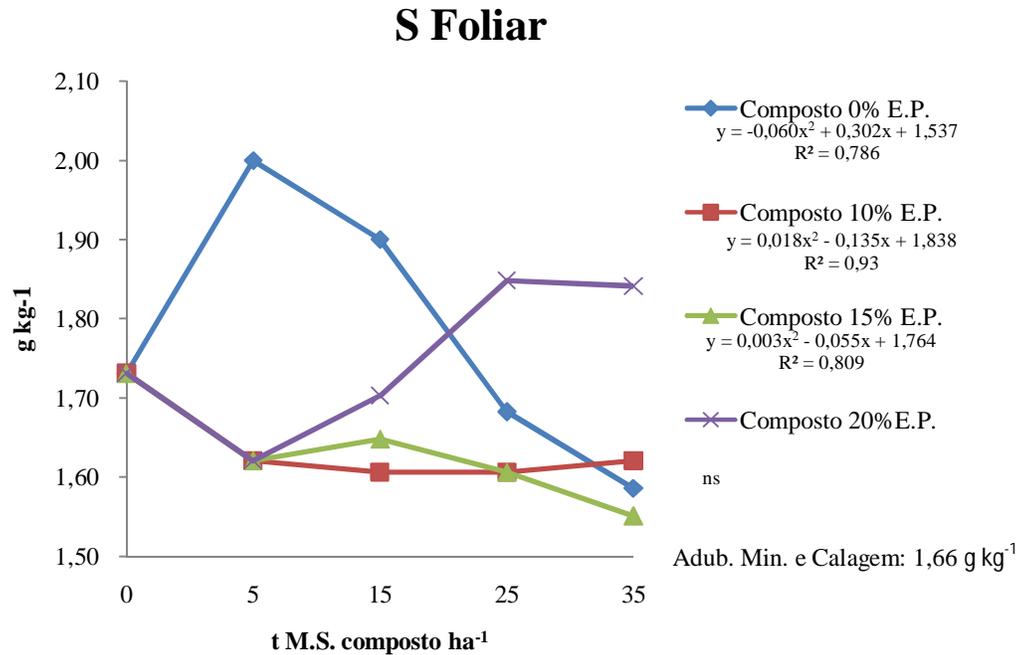
**Figura 44.** Teor de K foliar em relação à concentração de E.P. no composto e doses de adubação.



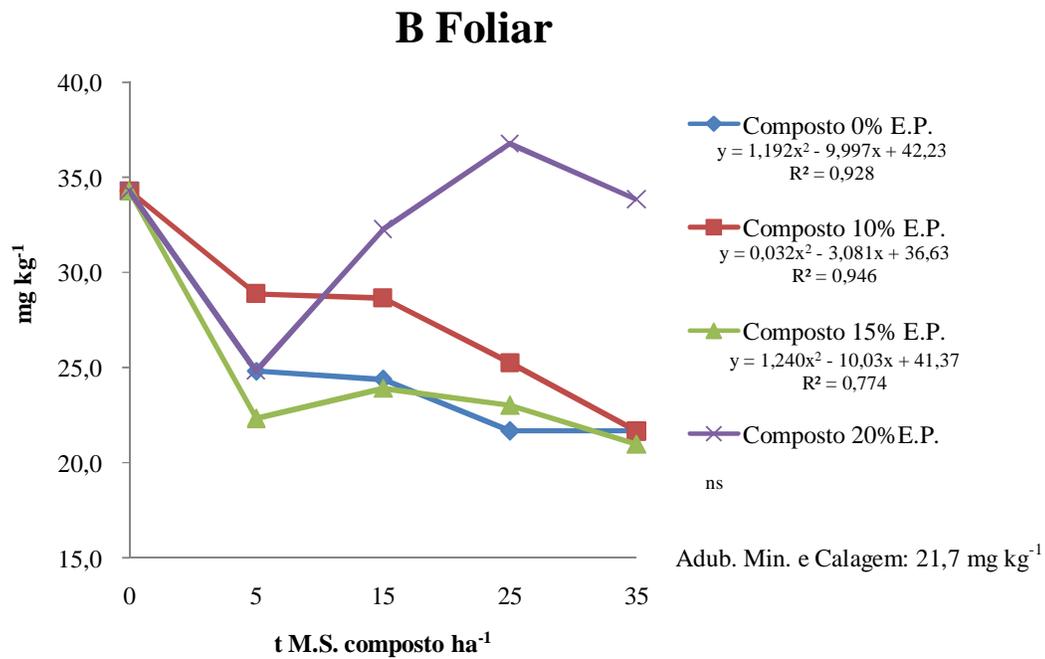
**Figura 45.** Teor de Ca foliar em relação à concentração de E.P. no composto e doses de adubação.



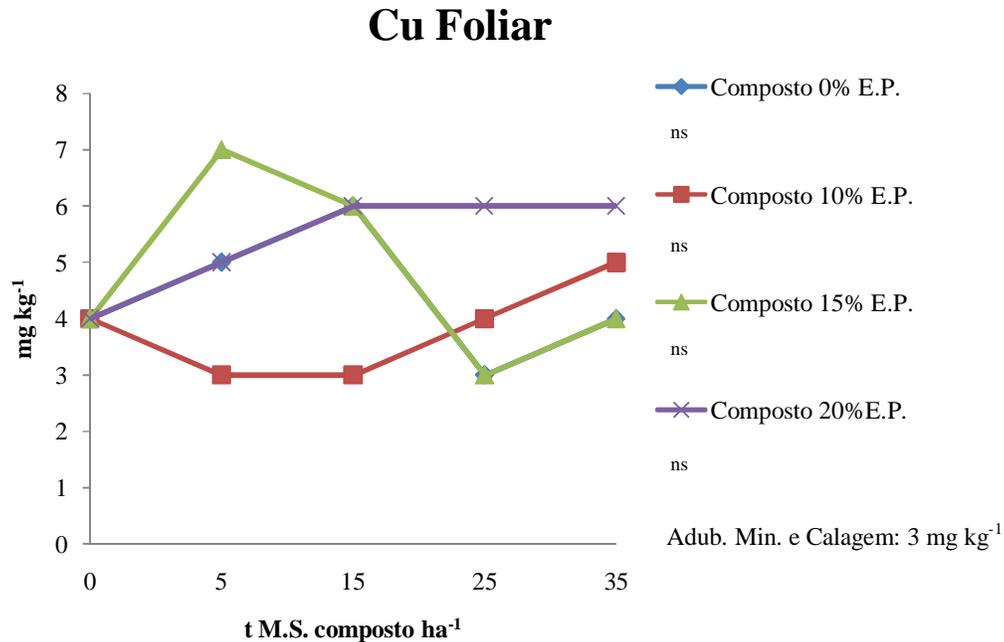
**Figura 46.** Teor de Mg foliar em relação à concentração de E.P. no composto e doses de adubação.



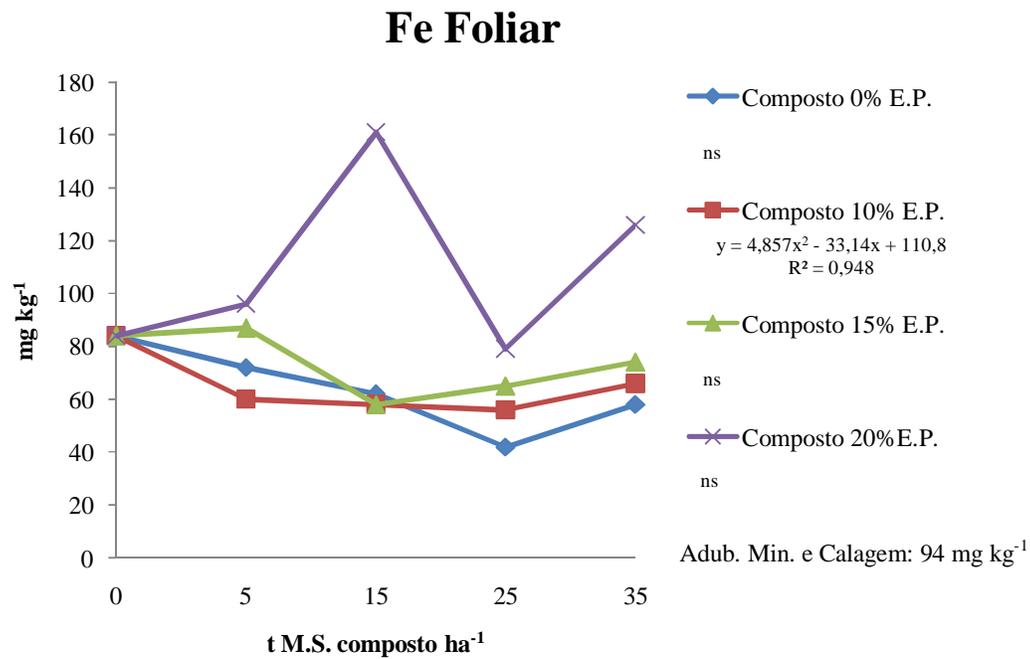
**Figura 47.** Teor de S foliar em relação à concentração de E.P. no composto e doses de adubação.



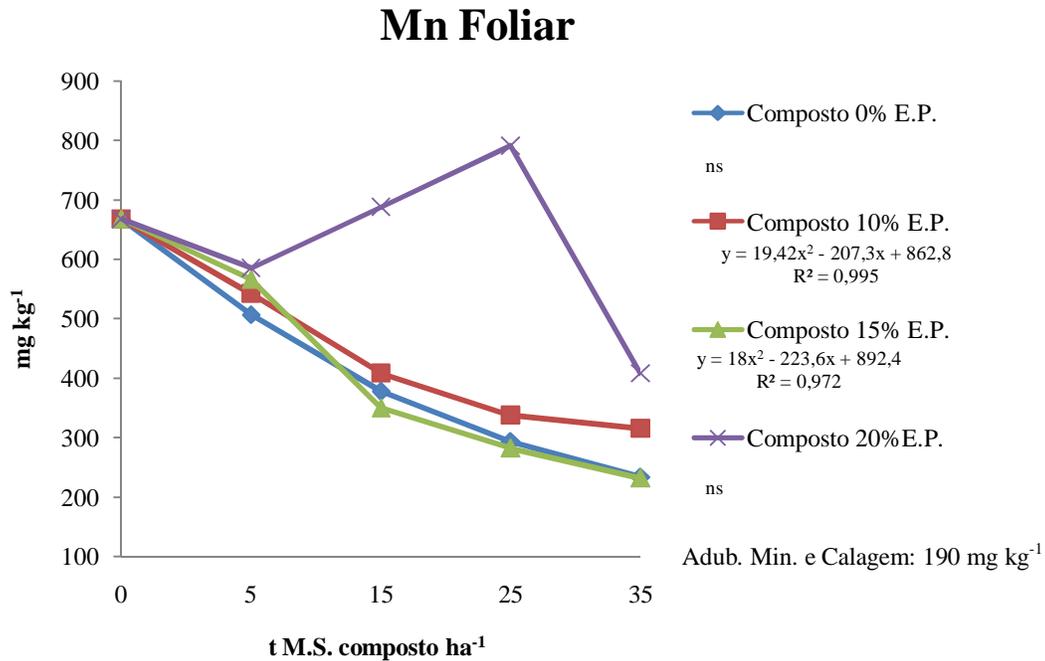
**Figura 48.** Teor de B foliar em relação à concentração de E.P. no composto e doses de adubação.



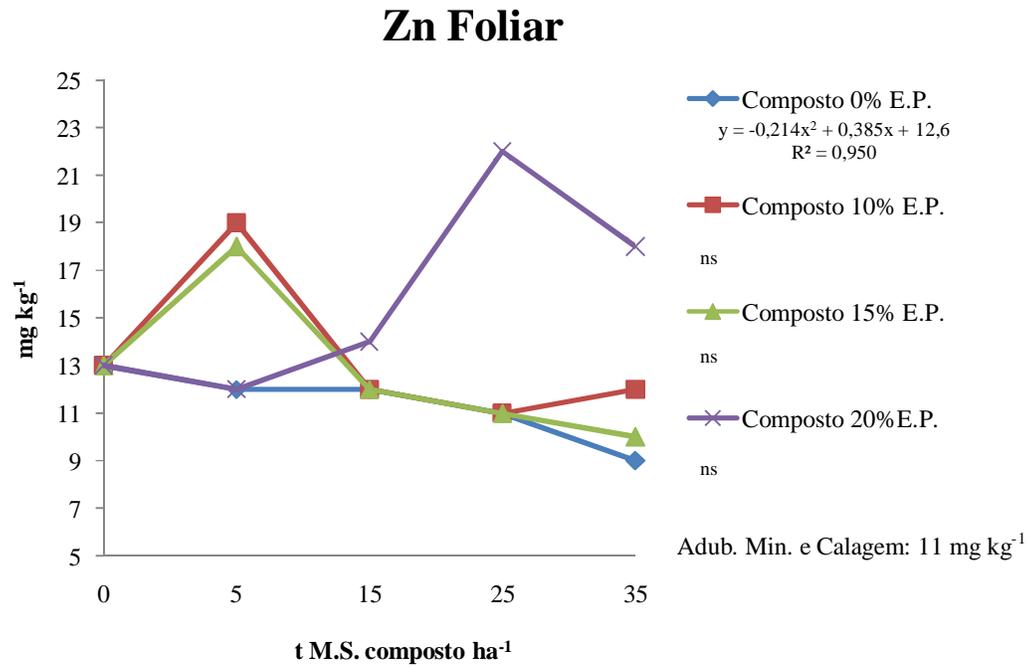
**Figura 49.** Teor de Cu foliar em relação à concentração de E.P. no composto e doses de adubação.



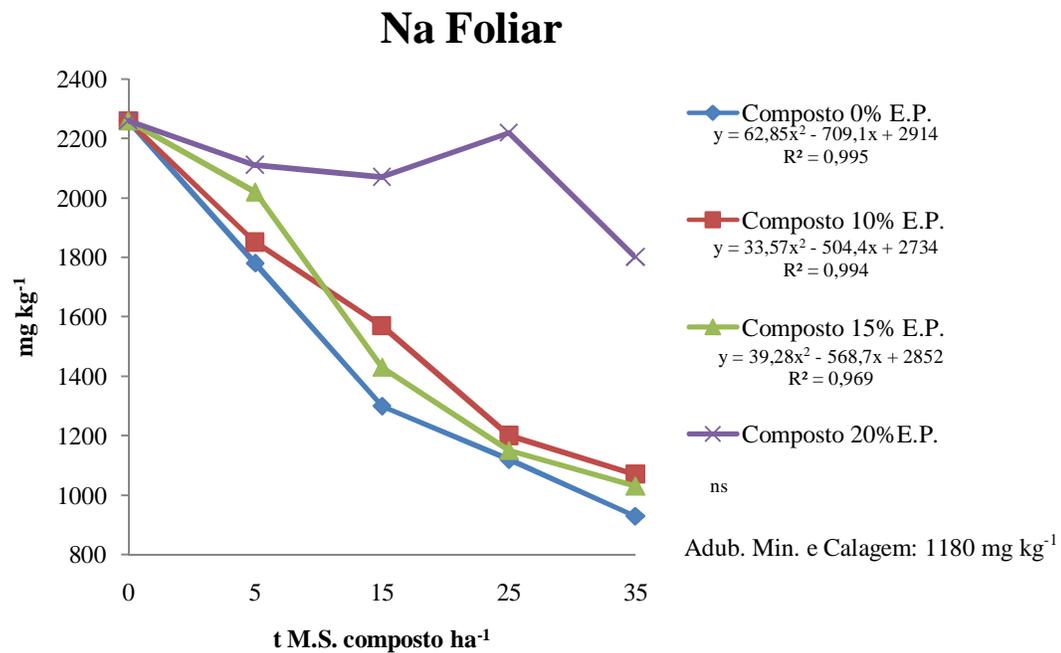
**Figura 50.** Teor de Fe foliar em relação à concentração de E.P. no composto e doses de adubação.



**Figura 51.** Teor de Mn foliar em relação à concentração de E.P. no composto e doses de adubação.



**Figura 52.** Teor de Zn foliar em relação à concentração de E.P. no composto e doses de adubação.



**Figura 53.** Teor de Na foliar em relação à concentração de E.P. no composto e doses de adubação.

#### 4.2.4 Perfil Químico do Extrato Pirolenhoso e Chorume

Os componentes dominantes do E.P. são ácidos orgânicos e fenóis, corroborando com (Wei et. al., 2010a; Wei et. al., 2010b; Ma et al. (2011). A degradação do E.P. e dos componentes da matéria orgânica via decomposição microbiológica acarretou a formação de novos compostos químicos no chorume (Tabela 16).

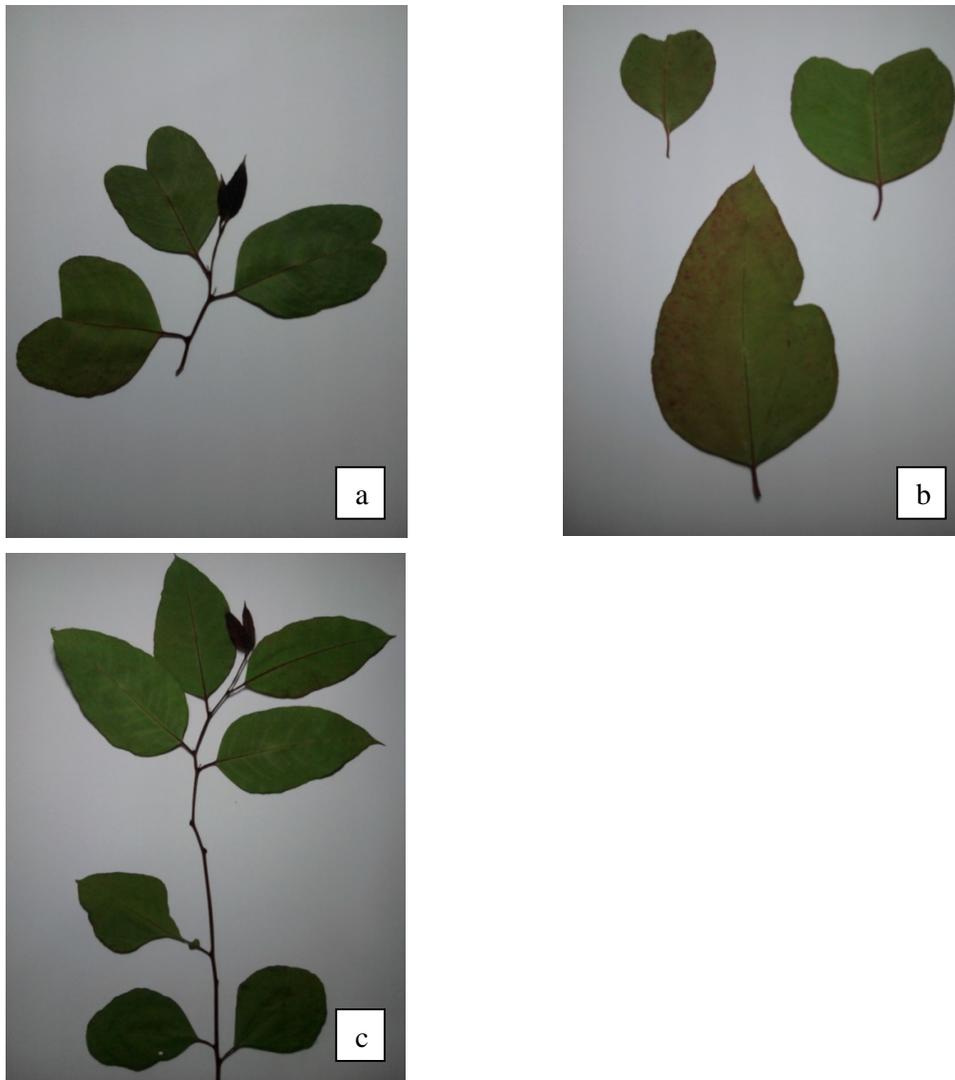
**Tabela 16.** Compostos Químicos - Cromatografia Gasosa (GC – MS)

<b>Extrato Pirolenhoso</b>
Ciclopentanona
Ácido Acético
3-Furaldeído
2-Etoxipentano
Ácido Fosforoso
2,6-Dimetoxifenol (Siringol)
2,6-Dimetoxifenol (Siringol)
Ácido 3-hidroxi-4-metoxibenzóico (Ácido Vanílico)
<b>Chorume</b>
N-trimetilamonio-2-hidroxiopropanamidato
2-(metiltiometil)piridina
3-metileno-1-azabicyclo[4.2.0]oct-4-enona

#### 4.2.5 Diagnóstico Visual dos Sintomas Foliares

A utilização do extrato pirolenhoso, assim como outros extratos naturais com indicação de uso na agricultura, necessita da adequação da concentração aplicada. No tratamento composto orgânico com 20% de E.P. na dose 35 t M.S. ha<sup>-1</sup> as plantas apresentaram sintomas foliares de toxidez (FIG. 54 a; b; c), concomitantemente ao alto valor de C.E. no solo, 203  $\mu\text{s cm}^{-1}$  (TAB. 12; FIG. 23) e alto teor de K Foliar. Os sintomas foliares de toxidez foram acompanhados de baixos valores de H e DC das mudas e reduzida M.S. de Folhas, M.S. de Caule, M.S. de Raiz e M.S. Total. Malavolta et al. (1997) descreve que o crescimento não uniforme da folha, do qual resultam formas tortas,

é sintoma de deficiência de Ca; cita-se que o referido tratamento apresentou menor teor de Ca no solo e maior teor de Ca Foliar relação a mesma dose nas demais concentrações de E.P. no solo (TAB. 10; TAB. Propõe-se que a alta C.E. do solo e o desbalanço entre os teores dos elementos catiônicos nas folhas (Ca e K) levou a alterações fisiológicas da divisão celular, segundo Hao & Chang (2003).



**Figura 54.** Sintomas foliares na dose 35 t M.S. ha<sup>-1</sup> do composto orgânico 20% E.P.

## 5 CONCLUSÕES

A incorporação de extrato pirolenhoso (E.P.) na composição inicial das leiras de compostagem é indicada para incrementar os teores de N, P, K, Mg, S Na, Fe, Mn e Zn) do composto condicionador de solo.

A aplicação do composto condicionador de solo com 15% E.P. nas doses 25 e 35 t M.S. ha<sup>-1</sup> proporcionou incrementos nos atributos químicos de fertilidade do solo e interações positivas no crescimento das mudas.

A aplicação do composto 20% E.P. elevou os valores de condutividade elétrica do solo e suprimiu o desenvolvimento das plantas.

## 6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABAT M.; McLAUGHLIN M.J.; KIRBY J.K.; STACEY S.P. Adsorption and desorption of copper and zinc in tropical peat soils of Sarawak, Malaysia. *Geoderma*, v. 175-176, p. 58-63, 2012.

ABREU JUNIOR, C. H.; MURAOKA, T.; LAVORANTE, A. F.; ALVAREZ, V. F. C. Condutividade elétrica, reação do solo e acidez potencial em solos adubados com composto lixo. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v. 24, n. 3, p. 645-657, 2000.

ADRIANSZ, T.D.; RUMMEY, J.M.; BENNETT, I.J. Solid phase extraction and subsequent identification by gás-chromatography-mass spectrometry of a germination cue present in smoke water. *Analytical Letters*, Philadelphia, v. 33, n. 13, 2000. p. 2793- 2804.  
BOATENG, A.A. et al. Bench-scale fluidized-bedpyrolysis of switchgrass for bio-oil production. *Ind. Eng. Chem. Res.* v. 46, p. 1891-1897, 2007.

AGBENIN J.O.; OLOJO L.A. Competitive adsorption of copper and zinc by a Bt horizon of a savanna Alfisol as affected by pH and selective removal of hydrous oxides and organic matter. *Geoderma*, v. 119, n. 1-2, p. 85-95, 2004.

ARIAS M.; PÉREZ-NOVO C.; OSORIO F.; LÓPEZ E.; SOTO B. Adsorption and desorption of copper and zinc in the surface layer of acid soils. *Journal of Colloid and Interface Science*, v. 288, p. 21-29, 2005.

ARIAS M.; PÉREZ-NOVO C.; LÓPEZ E.; SOTO B. Competitive adsorption and desorption of copper and zinc in acid soils. *Geoderma*, v. 133, p. 151-159, 2006.

AHN, B.J; JO, T.S; CHO, S.T.; CHOI, D.H.; HWANG, S.G.; KIM, J.M. Effect of Dietary Mogchotan Supplementation on Fattening Performance, Fatty Acid Composition and Meat Quality in Pigs. *Korean Journal of Organic Agriculture*. v. 13, n. 4, p. 401-412, 2005.

AMEN-CHEN C.; RIEDL B.; WANG X.M.; ROY C. Softwood bark pyrolysis oil-PFResols. Part 1. Resin synthesis and OSB mechanical properties. *Holzforschung*, v. 56 p. 167-175, 2002.

AREMU A.O.; BAIRU M.W.; FINNIE J.F.; VAN STADEN J. Stimulatory role of smoke-water and karrikinolide on the photosynthetic pigment and phenolic contents of micropropagated 'Williams' bananas. *Plant Growth Regul.* v. 67, p. 271-279, 2012.

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA). Manual de Métodos Analíticos Oficiais para Fertilizantes Minerais, Orgânicos, Organominerais e Corretivos. Diário Oficial da União, Brasília, DF, p. 1, 31 jul. 2007. Seção 1.

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA) - Secretaria de Defesa Agropecuária (SDA). Instrução Normativa N° 35, de 04 de Julho de 2006. Aprova as normas sobre especificações e garantias, tolerâncias, registro, embalagem e rotulagem dos corretivos de acidez, de alcalinidade e de sodicidade e dos condicionadores de solo, destinados à agricultura, na forma do Anexo a esta Instrução Normativa. Diário Oficial da União, Brasília, DF, p. 32, 12 jul. 2006. Seção 1.

BROWN, N.A.C; VAN STADEN, J. Smoke as a germination cue: a review. *Plant Growth Regulation*, Pietermaritzburg, v. 22, n. 2, p. 115-124, 1997.

CAMPOS, A.D. Técnicas para Produção de Extrato Pirolenhoso para Uso Agrícola. Embrapa Clima Temperado. Circular Técnica 65, Pelotas, 8p. 2007.

CARVALHO, W.A.; ESPÍNDOLA, C.R.; PACCOLA, A.A. Levantamento de solos da Fazenda Lageado - Estação Experimental "Presidente Médici". *Boletim Científico - Faculdade de Ciências Agrônômicas*. v.1, p.1 - 95, 1983.

CHAN F.; RIEDL B.; WANG X.M.; LU X.; AMEN-CHEN C.; ROY C. Performance of pyrolysis oil-based wood adhesives in OSB. *For Prod J.* v. 52, n. 4, p. 31-38, 2002.

CHATRATH A.; MANDAL P.K.; ANURADHA M. Effect of Secondary Salinization on Photosynthesis in Fodder Oat (*Avena sativa* L.) Genotypes. *Journal of Agronomy and Crop Science*. V. 184, v. 1, p. 13-16, 2000.

CHEN Y. Organic matter reactions involving micronutrients in soils and their effect on plants. In: PICCOLO A (Ed.). *Humic Substances in Terrestrial Ecosystems*. Amsterdam: Elsevier, 1996, p. 507-529.

CHIWOCHA S.D.S.; DIXON K.W.; FLEMATTI G.R.; GHISALBERTI E.L.; MERRITT D.J.; NELSON D.C.; RISEBOROUGH J.M.; SMITH S.M.; STEVENS J.C. Karrikins: a new family of plant growth regulators in smoke. *Plant Sci.*, v. 177, p. 252-256, 2009.

CHOI J.Y.; SHINDE P.L.; KWON I.K.; SONG Y.H.; CHAE B.J. Effect of Wood Vinegar on the Performance, Nutrient Digestibility and Intestinal Microflora in Weanling Pigs. *Asian-Aust. J. Anim. Sci.* v. 22, n. 2, p. 267-274, 2009.

CHOUCHENE, A. et al. Study on the emission mechanism during devolatilization/char oxidation and direct oxidation of olive solid waste in a fixed bed reactor. *J. Anal. Appl. Pyrolysis.* v. 87, p. 168–174, 2010.

CLARHOLM M.; SKYLLBERG U. Translocation of metals by trees and fungi regulates pH, soil organic matter turnover and nitrogen availability in acidic forest soils. *Soil Biology and Biochemistry*, v. 63, p. 142-153, 2013.

DE LANGE, J. H; BOUCHER, C. Autecological studies on *Audouinia capitata* (Bruniaceae). 1. Plant-derived smoke as a seed germination cue. *South African Journal of Botany, Pietermaritzburg*, v. 56, p. 700-703, 1990.

DECHEN, A.R. & NACHTIGALL, G.R. Elementos requeridos à Nutrição de Plantas. In: NOVAIS, R.F.; ALVAREZ V., V.H.; BARROS, N.F.; FONTES, R.L.F.; CANTARUTTI, R.B.; NEVES, J.C.L., (Eds). *Fertilidade do Solo*. Viçosa: SBCS, 2007. p. 91-133.

DEMIR, I; LIGHT, M.E.; VAN STADEN, J.; KENANOGLU, B. B.; CELIKKOL, T. Improving seedling growth of unaged and aged aubergine seeds with smoke-derived butenolide. *Seed Science and Technology, Basserdorf*, v. 37, n. 1, p. 255-260, 2009.

DEMIRBAS, A. Mechanisms of liquefaction and pyrolysis reactions of biomass. *Energy Convers. Manage.* v. 41, p. 633–646, 2000.

DICK, W. A.; McCOY, E. L. Enhancing soil fertility by addition of compost. In HOITINK & KEENER, (Eds.). *Science and engineering of composting: design, environmental, microbial and utilization aspects*. Wooster, Ohio: The Ohio State University, 1993. p. 622-44.

DIXON K.W.; MERRITT D.J.; FLEMATTI G.R.; GHISALBERTI E.L.; KARRIKINOLIDE - a phytoactive compound derived from smoke with applications in horticulture, ecological restoration and agriculture. *Acta Hortic.*, v. 813 , p. 155-170, 2009.

DONCHEVA S.; AMENÓS M.; POSCHENRIEDER C.; BARCELÓ J. Root cell patterning: a primary target for aluminum toxicity in maize. *J Exp Bot*, v. 56, p. 1213-1220, 2005.

DAVRANCHE M.; DIA A.; FAKIH M.; NOWACK B.; GRUAU G.; ONA-NGUEMA G.; PETITJEAN P.; MARTIN S.; HOCHREUTENER R. Organic matter control on the

reactivity of Fe(III)-oxyhydroxides and associated As in wetland soils: A kinetic modeling study. *Chemical Geology*, v. 335, p. 24-35, 2013.

EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. Sistema Brasileiro de Classificação de Solos. Rio de Janeiro: EMBRAPA/SOLOS, 412 p. 1999.

ESECHIE, H. A.; DHALIWAL, G. S.; ARORA, R.; RANDHAWA, N. S.; DHAWAN, A. K. Assessment of pyroligneous liquid as a potential organic fertilizer. In: *ECOLOGICAL AGRICULTURE AND SUSTAINABLE DEVELOPMENT*, 1997, Chandigarh, India. Proceedings... Chandigarh: Center for Research in Rural and Industrial Development, 1998. v.1, p. 591-595.

FARRELL M.; PERKINS W.T.; HOBBS P.J.; GRIFFITH G.W.; JONES D.L. Migration of heavy metals in soil as influenced by compost amendments. *Environmental Pollution*, v. 158, n. 1, p. 55-64, 2010.

FREEL B.; GRAHAM R.G. Bio-oil preservatives. PCT Patent WO 00/25996, 2000.

FISCHER, Z., BIENKOWSKI, P. Some remarks about the effect of smoke from charcoal kilns on soil degradation. *Environ. Monitor. Assess.* v. 58, p. 349–358, 1999.

FLEMATTI G.; GHISALBERTI, E.; DIXON, K.; TRENGOVE, R. D. A compound from smoke that promotes seed germination, *Science*, Washington, v. 305, p. 977, 2004.

FLEMATTI, G.R.; GHISALBERTI, E.L.; DIXON, K.W.; TRENGOVE, R.D. Identification of Alkyl Substituted 2H-Furo[2,3-c]pyran-2-ones as Germination Stimulants Present in Smoke. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, Davis, v. 57, n. 20, p. 9475– 9480, 2009.

FOCHT, U. The effect of smoke from charcoal kilns on soil respiration. *Environ. Monitor Assess* v. 59, p. 73–80, 1999.

FU J.L.; ZHANG M.K.; HUANG C.Y. Lead, copper, and cadmium sorption-desorption behaviors of agricultural soils of Changjiang and Zhujiang. *Journal of Ecology and Rural Environment*, v. 22, n. 2, p. 59-64, 2006.

GODBOLD D.L.; KETTNE C. Use of root elongation studies to determine aluminum and lead toxicity in *Picea abies* seedling. *J Plant Physiol*, v. 138, p. 231-235, 1991.

GUILLÉN, M. D.; MANZANOS, M. J.; ZABALA, L. Study of a commercial liquid smoke flavoring by means of Gas Chromatography/Mass spectrometry and fourier Transform Infrared Spectroscopy. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, Davis, v. 43, n. 2, p. 463-468, 1995.

GUILLÉN, M. D.; MANZANOS, M. J. Study of the components of a solid smoke flavouring preparation. *Food Chemistry, Whiteknights*, v. 55, p. 251-257, 1996.

GUILLÉN, M. D.; IBARGOITIA, M. L. Relationships between the maximum temperature reached in the smoke generation processes from *Vitis vinifera* L. shoot sawdust and composition of the aqueous smoke flavouring preparations obtained. *Journal of Agricultural and Food Chemistry, Davis*, v. 44, n. 5, p. 1302-1307, 1996a.

GUILLÉN, M. D.; IBARGOITIA, M. L. Volatile components of aqueous liquid smokes from *Vitis vinifera* L. shoots and *Fagus sylvatica* L. wood. *Journal of the Science of Food and Agriculture, New York*, v. 72, n. 1, p. 104-110, 1996b.

GUILLÉN, M. D.; MANZANOS, M. J. Characterization of the components of a salty smoke flavouring preparation. *Food Chemistry, Whiteknights*, v. 58, p. 97-102, 1997.

GUILLÉN, M. D.; IBARGOITIA, M. L. New components with potential antioxidant and organoleptic properties, detected for the first time liquid smoke flavoring preparations. *Journal of Agricultural and Food Chemistry, Davis*, v. 46, n. 4, p. 1276-1285, 1998.

GUILLÉN, M. D.; IBARGOITIA, M. L. GC/MS analysis of lignin monomers, dimers and trimers in liquid smoke flavourings. *Journal of the Science of Food and Agriculture, New York*, v. 79, n. 13, p. 1889-1903, 1999.

GUILLÉN, M. D.; MANZANOS, M. J. Extractable components of the aerial parts of *Salvia lavandulifolia* and composition of the liquid smoke flavouring obtained from them. *Journal of Agricultural and Food Chemistry, Davis*, v. 47, n. 8, p. 3016-3027, 1999a.

GUILLÉN, M. D.; MANZANOS, M. J. Smoke and liquid smoke Study of an aqueous smoke flavouring from the aromatic plant *Thymus vulgaris* L. *Journal of the Science of Food and Agriculture, New York*, v. 79, n. 13, p. 1267-1274, 1999b.

GUILLÉN, M. D.; MANZANOS, M. J.; IBARGOITIA, M. L. Carbohydrate and nitrogenated compounds in liquid smoke flavourings. *Journal of Agricultural and Food Chemistry, Davis*, v. 49, n. 5, p. 2395-2403, 2001.

GUILLÉN, M. D.; MANZANOS, M. J. Study of the volatile composition of an aqueous oak smoke preparation. *Food Chemistry*, v. 79, p. 283-292, 2002.

GÜNGÖR E.B.O.; BEKBÖLET M. Zinc release by humic and fulvic acid as influenced by pH, complexation and DOC sorption. *Geoderma*, v. 159, n. 1-2, p. 131-138, 2010.

HAO X.; CHANG C. Does long-term heavy cattle manure application increase salinity of a clay loam soil in semi-arid southern Alberta? *Agriculture, Ecosystems & Environment*, v. 94, n. 1, p. 89-103, 2003.

HECKMAN J.R.; WEIL, R.; MAGDOFF F. Practical Steps to Soil Fertility for Organic Agriculture. In: FRANCIS C. (ed.). *Organic farming: the ecological system*. Madison: American Society of Agronomy, Crop Science Society of America, Soil Science Society of America, 2009, p. 139-172.

HUH K. S.; JEONG E.D.; PAEK U.H. A study on odor removal of landfill site leachate by pyroligneous liquid. *J. Korean Env. Sci. Soc.* 8, p. 607-610, 1999.

HSU J.H.; LO S.L. Characterization of copper, manganese and zinc in swine manure composts. *Journal of Environmental Quality*, v. 29, n. 1, p. 447-453, 2000.

JÄGER, A.K.; STRYDOM, A; VAN STADEN, J The effect of ethylene, octanoic acid and a plant-derived smoke extract on the germination of light-sensitive lettuce seeds. *Plant Growth Regulation, Pietermaritzburg*, v. 19, p. 197–201, 1996.

JAIN N.; STIRK W.A; VAN STADEN J. Cytokinin-and auxin-like activity of a butenolide isolated from plant-derived smoke. *S. Afr. J. Bot.* v. 74, p. 327-331, 2008.

JOHNSON, D.W. Role of Carbon in the Cycling of Other Nutrients in Forested Ecosystems. In: McFEE & KELLY (ed). *Carbon Forms and Functions in Forest Soils*. Soil Science Society of America, 1995. p. 299-328.

JOHNSTON A.E.; POULTON P.R.; COLEMAN K. Chapter 1 Soil Organic Matter: Its Importance in Sustainable Agriculture and Carbon Dioxide Fluxes. *Advances in Agronomy*, v. 101, p. 1-57, 2009.

JUNG K.H. Growth inhibition effect of pyroligneous acid on pathogenic fungus, *Alternaria mali*, the agent of *Alternaria blotch* of apple. *Biotechnology and Bioprocess Engineering*, v. 12, n. 3, p. 318-322, 2007.

KIEHL, E.J. *Manual de compostagem maturação e qualidade do composto*. Piracicaba, 1998. 171 p.

KIM, D. H.; CHOI J.S.; KIM S.M.. Study on antitumor activity of holyessing and complex holyessing supplemented antitumor herb. *Kor. J. Orient. Med. Physiol. Pathol.* v. 15, p. 136-142, 2001.

KOCHIAN L. V.; HOEKENGA O.A.; PIÑEROS M.A. How do crop plants tolerate acid soils? Mechanisms of aluminum tolerance and phosphorous efficiency. *Ann Rev Plant Biol.* v. 55, p. 459-493, 2004.

KÖGEL-KNABNER, I.; KLEBER M. Mineralogical, physicochemical and microbiological controls on soil organic matter stabilization and turnover. In: HUANG P.; LI Y.; SUMNER M. (Eds.), *Handbook of Soil Sciences Resource Management and Environmental Impacts* (second ed.), CRC Press Taylor and Francis Group, Boca Raton/London/New York (2012). parte I, seção 7-1.

KOLLMEIER M.; FELLE H.H.; HORST W.J. Genotypical differences in Al resistance of *Zea mays* (L.) are expressed in the distal part of the transition zone. Is reduced basipetal auxin flow involved in inhibition of root elongation by Al? *Plant Physiol.* v. 122, p. 945-956, 2000.

KULKARNI M.G.; ASCOUGH G.D.; VAN STADEN J. Smoke-water and a smoke-isolated butenolide improve growth and yield of tomatoes under greenhouse conditions. *Hort. Technology*, v. 18, p. 449-454, 2008.

KULKARNI M.G.; LIGHT M.E.; VAN STADEN J. Plant-derived smoke: old technology with possibilities for economic applications in agriculture and horticulture. *S. Afr. J. Bot.* v. 77, p. 972-979, 2011.

LEHTO T.; RUUHOLA T.; DELL B. Boron in forest trees and forest ecosystems. *Forest Ecology and Management*, v. 260, n. 12, p. 2053-2069, 2010.

LIGHT M.E.; DAWS M.I.; VAN STADEN J. Smoke-derived butenolide: towards understanding its biological effects. *S. Afr. J. Bot.* v. 75, p. 1-7, 2009.

LIGHT, M. E.; BURGER, B. V.; STAERK, D.; KOHOUT, L.; VAN STADEN, J. Butenolides from Plant-Derived Smoke: Natural Plant-Growth Regulators with Antagonistic Actions on Seed Germination. *Journal of Natural Products*, Columbus, v. 73, p. 267-269, 2010.

LIU G.M.; YANG J.S.; YAO R.J. Electrical Conductivity in Soil Extracts: Chemical Factors and Their Intensity. *Pedosphere*, v. 16, n. 1, p. 100-1007, 2006.

LOO A. Y.; JAIN, K. A., DARAH, I. B. Antioxidant activity of compounds isolated from the pyrolygneous acid *Rhizophora apiculata*. *Food Chemistry*, Whiteknights, n. 107, p. 1151-1160, 2008.

LLUGANY M.; POSCHENRIEDER C.; BARCELÓ J. Monitoring of aluminum-induced inhibition of root elongation in four maize cultivars differing in tolerance to aluminum and proton toxicity. *Physiol Plant*, v. 93, p. 265-271, 1995.

MA, X.; WEI, Q.; ZHANG, S.; SHI, L.; ZHAO, Z. Isolation and bioactivities of organic acids and phenols from walnut shell pyrolygneous acid. *Journal of Analytical and Applied Pyrolysis*, v. 91, n. 2, p. 338-343, 2011.

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

MALAVOLTA, E. Manual de nutrição mineral de plantas. São Paulo: Agronômica Ceres, 2006. 638 p.

MIYASAKA, S.; OHKAWRA, T.; UTSUMI, B. Boletim Agroecológico: O ponto de encontro da Agroecologia. São Paulo: 1999. n. 14, p.17.

MORTVEDT, J.J. Bioavailability of micronutrients. In: *Handbook Soil Science*. London: CRC Press LLC, 1999. p. D71-D88.

MOURANT D.; YANG D.Q.; LU X.; ROY C. Anti-fungal properties of the pyrolygneous liquors from the pyrolysis of softwood bark. *Wood Fiber Sci*, v. 37, p. 542-548, 2005.

MOURANT D.; YANG, D.Q.; RIEDL B.; ROY C. Mechanical properties of wood treated with PF-pyrolytic oil resins. *Holz Roh Werkst*, v. 66, p. 163-171, 2008.

MU J.; UEHARA, T.; FURUNO, T. Effect of bamboo vinegar on regulation of germination and radicle growth of seed plants. *Journal of Wood Science*, Tokyo, v. 49, n. 3, p. 262–270, 2003.

MU J.; UEHARA, T.; FURUNO, T. Effect of bamboo vinegar on regulation of germination and radicle growth of seed plants II: composition of moso bamboo vinegar at different collection temperature and its effects. *Journal of Wood Science*, Tokyo, n. 5, v. 50, p. 470–476, 2004.

MULLEN, C.A. et al. Bio-oil and bio-char production from corn cobs and stover by fast pyrolysis. *Biomass Bioenergy*. v. 34, p. 67-74, 2010.

MUN, S. & KU, C. Pyrolysis GC–MS analysis of tars formed during the aging of wood and bamboo crude vinegars. *J. Wood Sci.* v. 56, p. 47–52, 2010.

MUNGKUNKAMCHAO T.; KESMALA T.; PIMRATCH S.; TOOMSAN B.; JOTHITYANGKOON D. Wood vinegar and fermented bioextracts: Natural products to

enhance growth and yield of tomato (*Solanum lycopersicum* L.). *Scientia Horticulturae*, v. 154, p. 66-72, 2013.

NACHENIUS R.W.; RONSSE F.; VENDERBOSCH R.H.; PRINS W. Chapter Two – Biomass Pyrolysis. *Advances in Chemical Engineering*. v. 42, p. 75-139, 2013.

NELSON, D. C.; RISEBOROUGH, J. A.; FLEMATTI, G. R.; STEVENS, J.; GHISALBERTI, E. L.; DIXON, K. W.; SMITH, S. M. Karrikins Discovered in Smoke Trigger Arabidopsis Seed Germination by a Mechanism Requiring Gibberellic Acid Synthesis and Light. *Plant Physiology, Waterbury*, v. 149, p. 863–873, 2009.

NWACHUKWU O.I.; PULFORD I.D. Comparative effectiveness of selected adsorbant materials as potential amendments for the remediation of lead-, copper- and zinc-contaminated soil. *Soil Use and Management*, v. 24, p. 199–207, 2008.

OLIVEIRA F.C.; MATTIAZZO M.E.; MARCIANO C.R.; ABREU JUNIOR C.H. Alterações em atributos químicos de um Latossolo pela aplicação de composto de lixo urbano. *Pesq. Agropec. Bras.*, v. 37, n. 4, p. 529-538, 2002.

OLSSON, M.; KJÄLLSTRAND, J.; PETERSSON, G. Oxidative pyrolysis of integral softwood pellets. *J. Anal. Appl. Pyrol.* v. 67, p. 135–141, 2003.

OLSSON, M.; RAMNÄS, O.; PETERSSON, G. Specific volatile hydrocarbons in smoke from oxidative pyrolysis of softwood pellets. *J. Anal. Appl. Pyrol.* v. 71, p. 847–854, 2004.

PAKRASHI A.C.; HALDAR M. Effect of moisture regime and organic matter application on the changes in hws B an acid soil of terai region of North Bengal. *Environ. Ecol.*, v. 10, p. 292-296, 1992.

PARK, C.; CHOI Y.H.; LEE W.H.; CHOI B.T.; LEE Y.T.; KIM G.C. Up-regulation of Bax and downregulation of Bcl-2 in oak smoke flavoring (Holyessing)-induced apoptosis of human prostate carcinoma cells. *Kor. J. Orient. Med. Physiol. Pathol.* v. 17, p. 85-90, 2003.

PÉREZ-DE-MORA A.; MADRID F.; CABRERA F.; MADEJÓN E. Amendments and plant cover influence on trace element pools in a contaminated soil. *Geoderma*, v. 139, p. 1-10, 2007.

PÉREZ-DE-MORA A.; BURGOS P.; CABRERA F.; MADEJÓN E. “In Situ” amendments and revegetation reduce trace element leaching in a contaminated soil. *Water, Air, and Soil Pollution*, v. 185, p. 209-222, 2007.

PÉREZ-NOVO C.; PATEIRO-MOURE M.; OSORIO F.; NÓVOA-MUÑOZ J.C.; LÓPEZ-PERIAGO E.; ARIAS-ESTÉVEZ M. Influence of organic matter removal on competitive and noncompetitive adsorption of copper and zinc in acid soils. *Journal of Colloid and Interface Science*, v. 322, n. 1, p. 33-40, 2008.

POSCHENRIEDER C.; GUNSÉ B.; CORRALES I.; BARCELÓ J. A glance into aluminum toxicity and resistance in plants. *Science of The Total Environment*. v. 400, n. 1-3, p. 356-368, 2008.

RAIJ, B.V; ANDRADE, J.C.; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J.A. (Ed.). Análise química para avaliação da fertilidade de solos tropicais. Campinas: Instituto Agrônômico, 2001. 285p.

ROKICH D.P.; DIXON K.W. Recent advances in restoration ecology, with a focus on the Banksia woodland and the smoke germination tool. *Aust. J. Bot.* v. 55, p. 375-389, 2007.

SANGSRICHAN, R.M.S. Evaluation of antioxidation and radical scavenging Activities in pyroigneous acid samples. *Pure and Applied Chemistry International Conference. PACCON. Phitsanulok*, p.51-53, 2009.

SENTHURPANDIAN V.K.; VENKATESAN S.; JAYAGANESH S. Calcium and magnesium releasing capacity of Alfisols under tea in south India. *Geoderma*, v. 152, n. 3-4, p. 239-242, 2009.

SYMONDS, W.L.; CAMPBELL, L.C.; CLEMENS J. Response of ornamental *Eucalyptus* from acidic and alkaline habitats to potting medium ph. *Scientia Horticulturae*. v. 88, n. 2, p. 121-131, 2001.

SONG, J.Z. & PENG, P.A. Characterisation of black carbon materials by pyrolysis-gas chromatography–mass spectrometry. *J. Anal. Appl. Pyrol.* v. 87, p. 129–137, 2010.

SOUZA-SILVA, A.; ZANETTI, R.; CARVALHO, G. A.; MENDONÇA, L. A. Qualidade de mudas de eucalipto tratadas com extrato pirolenhoso. *Cerne, Lavras*, v. 12, n. 1, p. 19-26, 2006.

SHAFIZADEH, F., 1984. *The chemistry of solid wood*. Washington, DC: American Chemical Society.

SHIBAYAMA, H.; MASHIMA, K.; MITSUTOMI, M.; ARIMA, S. Effects of application of pyroigneous acid solution produced in Karatsu city on growth and free sugar contents of storage roots of sweet potatoes. *Marine and Highland Bioscience Center Report, Phukel*, v. 7, p. 15-23, 1998.

SHIM K. S.; JI, J. R.; NA C.S.; PARK, J.H. Effect of Pyrolygneous Acid Supplementation on Growth Performance, Blood Parameter, Ammonia Gas Emission and Fatty Acid Composition of Breast Meat in Korean Native Chicken. Korean J. Poult. Sci. v. 37, n.3, p. 207-213, 2010.

SHIRAKAWA, N.; FUKAZAWA, M.; TERADA, S. Studies on the pyrolygneous acid. Plant physiological activities of several main components in pyrolygneous acid. Japanese Journal of Crop Science, Tokyo, v. 62, p. 168-189, 1993.

SHIRAKAWA, N.; FUKAZAWA, M.; TERADA, S. Studies on the pyrolygneous acid IV. Plant physiological activities of several main components in pyrolygneous acid. Japanese Journal of Crop Science, Tokyo, v. 62, p. 168-189, 1993.

STIJN B.; FIEN D.; LIESBETH V.; ROEL M.; ERIK S. Metal complexation properties of freshwater dissolved organic matter are explained by its aromaticity and by anthropogenic ligands. Environ. Sci. Technol., v. 45, p. 2584-2590, 2011.

STEINER, C., et al. Charcoal and Smoke Extract Stimulate the Soil Microbial Community in a Highly Weathered Xanthic Ferralsol. Pedobiologia, vol. 51, no 5-6, p. 359-366, 2008.

SUZUKI T.; DOI S.; YAMAKAWA M.; YAMAMOTO K.; WATANABE T.; FUNAK M.V. Recovery of wood preservatives from wood pyrolysis tar by solvent extraction. Holzforschung, v. 51, p. 214-218, 1997.

TIILIKKALA, K.; FAGERNÄS, L.; TIILIKKALA, J. History and use of wood pyrolysis liquids as biocide and plant protection product. Open Agric. J. v. 4, p. 111-118, 2010.

TRINDADE, A.V.; MUCHOVEJ, R.M.C.; NEVES, J.C.L.; BARROS, N.F. Crescimento e nutrição de mudas de *Eucalyptus grandis* em resposta a composto orgânico ou adubação mineral. Revista Ceres, v. 48, p. 181-194, 2001.

TSUZUKI, E.; MORIMITSU, T.; MATSUI, T.; Effects of chemical compounds in pyrolygneous acid on root rice plant. Japan Journal Crop Science, Tokyo, v. 66, n. 4, p. 15-16, 2000.

UDDIN, S. M. M.; MURAYAMA, S.; ISHIMINE, Y.; TSUZUKI, E.; Effect of the mixture of charcoal with pyrolygneous acid on cane and sugar yield of spring and ratoon crops of sugarcane (*Saccharum officinarum* L.). Japan Journal Crop Science, Tokyo, v. 38, n. 4, p. 281-285, 1994.

VAN STADEN, J.; BROWN, N. A. C.; JÄGER, A. K.; JOHNSON, T. A. smoke as a germination cue. Plant Species Biology, Sapporo, v. 15, n. 2, p. 167-178, 2000.

VAN STADEN J.; JÄGER A.K.; LIGHT M.E.; BURGER B.V. Isolation of the major germination cue from plant-derived smoke. *S. Afr. J. Bot.*, v. 70, p. 654-659, 2004.

VAN STADEN, J.; SPARG, S. G.; KULKARNI, M. G.; LIGHT, M. E. Post-germination effects of the smoke-derived compound 3-methyl-2Hfuro[2,3-c]pyran-2-one, and its potential as a preconditioning agent. *Field Crops Research*, Amsterdam, v. 98, p. 98– 105, 2006.

VERSCHAEVE L.; MAES J.; LIGHT M.E.; VAN STADEN J. Genetic toxicity testing of 3-methyl-2H-furo[2,3-c]pyran-2-one, an important biologically active compound from plant-derived smoke. *Mutat. Res. Genet. Toxicol. Environ. Mutagen.* v. 611, p. 89-95, 2006.

WAHLA I.H.; KIRKHAM M.B. Heavy metal displacement in salt-water-irrigated soil during phytoremediation. *Environmental Pollution*, v. 155, p. 271-283, 2008.

WANG F.; LI L.Q.; DONG C.X.; PAN G.X. Sorption and desorption of  $\text{Cu}^{2+}$  by size fractions of micro-aggregates from two paddy soils. *Environmental Chemistry*, v. 26, n. 2, p. 135-140, 2007.

WANG F.; PAN G.; LI L. Effects of free iron oxyhydrates and soil organic matter on copper sorption-desorption behavior by size fractions of aggregates from two paddy soils. *Journal of Environmental Sciences*, v. 21, n. 5, p. 618-624, 2009.

WANG, Z.; LIN, W.; SONG, W.; YAO, J. Preliminary investigation on concentrating of acetol from wood vinegar. *Energy Conversion and Management*, Belton, v. 51, n. 2, p. 346–349, 2010.

WEI Q.; MA X.; ZHENG T. Preparation, chemical constituent analysis and antimicrobial activities of pyrolygneous acid of walnut shell. *Trans. CSAE*, v. 24, p. 276-279, 2008.

WEI Q.; MA X.; XU M. Bacteriostasis and chemical components of pyrolygneous acid from poplar wood. *Sci. Silvae Sin.*, v. 44, p. 98-102, 2008.

WEI Q.; MA X.; ZHU W.; ZHANG S.; LI X. Comparison of chemical compositions, antimicrobial and antioxidant activities of pyrolygneous acids of apple branches. *Sci. Silvae Sin.*, v. 45, p. 16-21, 2009.

WEI, Q.; MA X.; DONG J. Preparation, chemical constituents and antimicrobial activity of pyrolygneous acids from walnut tree branches. *Journal of Analytical and Applied Pyrolysis*, v. 87, n. 1, p. 24-28, 2010.

WEI, Q.; MA, X.; ZHAO, Z.; ZHANG, S.; LIU, S. Antioxidant activities and chemical profiles of pyroligneous acids from walnut Shell. *Journal of Analytical and Applied Pyrolysis*, v. 88, p. 149-154, 2010.

WENG L.P.; TEMMINGHOFF E.J.M.; LOFTS S.; TIPPING E.; VAN RIEMSDIJK W.H. Complexation with dissolved organic matter and solubility control of heavy metals in a sandy soil. *Environ. Sci. Technol.*, v. 36, p. 4804-4810, 2002,

WILLIAMS P.T.; BESLER S. The influence of temperature and heating rate on the slow pyrolysis of biomass. *Renew Energy*. v. 7, n. 3, p. 233-250, 1996.

XIAO-CHUN, W. et al. Effects of Wood Vinegars Addition on Fermentation and Maturity of Sawdust. *Journal of Anhui Agricultural Sciences*. 2009. ISSN: 0517-6611. DOI CNKI:SUN:AHNY.0.2009-02-009.

YAN Y.; LU X.D.; LI L. Components of pyroligneous solution from straw pyrolysis and its effect on growth and quality of pepper spice. *J. Nanjing Agric. Univ.* v. 34, p. 58-62, 2011.

YANG H.; YAN R.; CHEN H.; LEE D.H.; ZHENG C. Characteristics of hemicellulose, cellulose and lignin pyrolysis. *Fuel*. v. 8, n. 12-13, p. 1781-1788, 2007.

YERMIYAHU U.; KEREN R.; CHEN Y. Boron sorption by soil in the presence of composted organic matter. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, v. 59, p. 405-409, 1995.

YERMIYAHU U.; KEREN R.; CHEN Y. Effect of composted organic matter on boron uptake by plants. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, v. 65, n. 5, p. 1436-1441, 2001.

YIN Y.; IMPELLITTERI C.A.; YOU S.J.; ALLEN H.E. The importance of organic matter distribution and extract soil: solution ratio on the desorption of heavy metals from soils *Science of The Total Environment*, v. 287, n. 1-2, p. 107-119, 2002.

YOUN, S.K.; LEE S.J; YOON S.O.; PARK S.Y.; KIM, H.K. Effect of quality improvement and the preservation on soybean sauce and paste by adding pyroligneous liquor treated with supercritical carbon dioxide. *Kor. J. Biotechnol. Bioeng.* v. 18, p. 117-121, 2003.

YU, F. et al. Physical and chemical properties of bio-oils from microwave pyrolysis of corn stover. In: MIELENZ, J.R., KLASSON, K.T., ADNEY, W.S., MCMILLAN, J.D. (Eds.). *Applied Biochemistry and Biotechnology*. Humana Press, New York, p. 957-970, 2007.

ZANETTI, M. et al. Uso de subprodutos de carvão vegetal na formação do porta-enxerto limoeiro cravo em ambiente protegido. *Revista Brasileira de Fruticultura*, Jaboticabal, n. 3, v. 25, p.1-8, 2003.

ZECH W.; ZIEGLER F.; KÖGEL-KNABNER I.; HAUMAIER L. Humic substances distribution and transformation in forest soils. *The Science of the Total Environment*, v. 117-118, p. 155-174, 1992.

ZHANG A.; CUI L.; PAN G.; LI L.; HUSSAIN Q.; ZHANG X.; ZHANG J.; CROWLEY D. Effect of biochar amendment on yield and methane and nitrous oxide emissions from a rice paddy from Tai Lake plain. China. *Agric. Ecosyst. Environ.* v. 139, pp. 469–475, 2010.

ZHANG A.; LIU Y.; PAN G.; HUSSAIN Q.; LI L.; ZHENG J.; ZHANG X. Effect of biochar amendment on maize yield and greenhouse gas emission from a soil organic carbon poor calcareous loamy soil from Central China Plain. *Plant and Soil*. v. 351, n. 1-2, p. 263-275, 2012.

ZHELJAZKOV V.D.; WARMAN P.R. Phytoavailability and fractionation of copper, manganese, and zinc in soil following application of two composts to four crops. *Environmental Pollution*, v. 131, n. 2, p. 187-195, 2004.

ZOBEL R.W.; KINRAIDE T.B. Fine root diameters can change in response to nutrient concentrations. *Plant Soil*, v. 297, p. 243-254, 2007.