

**UFRRJ**  
**INSTITUTO DE FLORESTAS**  
**PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS**  
**AMBIENTAIS E FLORESTAIS**

**DISSERTAÇÃO**

**BIOSSÓLIDO E FERTILIZANTE MINERAL COMO ADUBAÇÃO**  
**DE PLANTIO DE ESPÉCIES DA MATA ATLÂNTICA:**  
**CRESCIMENTO INICIAL E SEUS EFEITOS NO SOLO**

**LUCAS NUNES LOPES**

**Seropédica - RJ**  
**Fevereiro - 2020**



**UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO RIO DE JANEIRO  
INSTITUTO DE FLORESTAS  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS  
AMBIENTAIS E FLORESTAIS**

**BIOSSÓLIDO E FERTILIZANTE MINERAL COMO ADUBAÇÃO  
DE PLANTIO DE ESPÉCIES DA MATA ATLÂNTICA:  
CRESCIMENTO INICIAL E SEUS EFEITOS NO SOLO**

**Lucas Nunes Lopes**

*Sob a Orientação do Professor*  
**Paulo Sérgio dos Santos Leles**

Dissertação submetida como requisito parcial para obtenção do grau de **Mestre em Ciências**, no Curso de Pós-Graduação em Ciências Ambientais e Florestais, Área de Concentração em Silvicultura e Manejo Florestal.

Seropédica - RJ  
Fevereiro - 2020

Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro Biblioteca Central / Seção de  
Processamento Técnico

Ficha catalográfica elaborada  
com os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

L864b      Lopes, Lucas Nunes, 1994-  
              BIOSSÓLIDO E FERTILIZANTE MINERAL COMO ADUBAÇÃO DE  
              PLANTIO DE ESPÉCIES DA MATA ATLÂNTICA: CRESCIMENTO  
              INICIAL E SEUS EFEITOS NO SOLO / Lucas Nunes Lopes. -  
              Seropédica, 2020.  
              55 f.: il.

              Orientador: Paulo Sérgio dos Santos Leles.  
              Dissertação (Mestrado). - Universidade Federal Rural  
              do Rio de Janeiro, Programa de Pós-Graduação em  
              Ciências Ambientais e Florestais, 2020.

              1. lodo de esgoto. 2. nutrição florestal. 3.  
              recuperação de áreas degradadas. I. Leles, Paulo  
              Sérgio dos Santos, 1966, orient. II Universidade  
              Federal Rural do Rio de Janeiro. Programa de Pós  
              Graduação em Ciências Ambientais e Florestais III.  
              Título.

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de  
Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES) - Código de  
Financiamento 001.

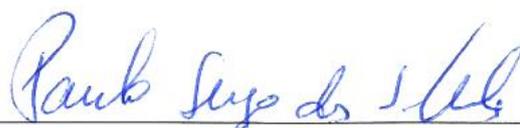
This study was financed in part by the Coordenação de Aperfeiçoamento de  
Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES) - Finance Code 001.

**UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO RIO DE JANEIRO**  
**INSTITUTO DE FLORESTAS**  
**PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS AMBIENTAIS E**  
**FLORESTAIS**

**LUCAS NUNES LOPES**

Dissertação submetida como requisito parcial para obtenção do grau de **Mestre em Ciências**, no Programa de Pós-Graduação em Ciências Ambientais e Florestais, área de Concentração em Silvicultura e Manejo Florestal.

DISSERTAÇÃO APROVADA EM 20/02/2020



Paulo Sérgio dos Santos Leles – Professor Dr. UFRRJ  
(Orientador)



Bruno José Rodrigues Alves – Pesquisador Ph.D. Embrapa  
(Membro externo)



Eduardo Vinicius da Silva – Professor Dr. UFRRJ  
(Membro interno)

## DEDICATÓRIA

*Dedico aos meus pais, por todo apoio e educação.*

*Dedico à amizade.*

## **AGRADECIMENTOS**

Aos meus pais, por todo apoio, incentivo e educação ao longo desses anos.

À Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro por possibilitar a minha formação e grande experiência de vida, em graduar no curso de Eng. Florestal e Mestre pelo Programa de Pós Graduação em Ciências Ambientais e Florestais.

À Reserva Ecológica de Guapiaçu (REGUA), nas pessoas de Nicholas, Rachel, Mauricio, Barata, Dil e toda a equipe de campo, de apoio e cozinha, por ceder área, ajudar a implantar e conduzir um dos experimentos.

A Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES) pela concessão da bolsa.

Agradeço a todo corpo docente, em especial ao Prof. Paulo Leles pela orientação e amizade.

Agradeço também aos amigos que pude fazer no Laboratório de Pesquisas e Estudos em Reflorestamentos (LAPER) ao longo desses anos. Obrigado por toda colaboração e apoio para a realização deste trabalho: João, Juçara, PC urtiga, Jorge, Yuji, Monique, Rodrigo, Delgado, Mariana, Yan e Oclízio.

A Companhia de Água e Esgotos do Estado do Rio de Janeiro (CEDAE) por ceder biossólido e apoiar as pesquisas do LAPER.

Agradeço a toda turma 2012/II, que tive o prazer de conhecer e conviver, uns mais, outros menos, durante todos esses anos. Em especial aos que caminharam juntos nessa missão do mestrado: João, Juçara, Pedro, Stephany, Caio, Fagner, Carol e Ana Carol.

A toda família da república desses últimos anos pelo incentivo e ajuda: Gabriel, Iago, Paulo, Julio, Victor buscafé e Gustavo.

A Julinha que ajudou bastante na correção do texto e nos incentivos a concluir o trabalho.

Ao grupo de pagode mais conceituado dessa Universidade, os amigos do ipê, composto por Pedro, Juçara, Lucas e Stephany. Mas que sempre contou com a presença dos chegados pra tentar fazer um barulho e se divertir.

Aos membros da banca por aceitarem participar e contribuir com este trabalho.

A todos que direta e indiretamente contribuíram para realização deste trabalho

## RESUMO GERAL

LOPES, Lucas Nunes. **BIOSSÓLIDO E FERTILIZANTE MINERAL COMO ADUBAÇÃO DE PLANTIO DE ESPÉCIES DA MATA ATLÂNTICA: CRESCIMENTO INICIAL E SEUS EFEITOS NO SOLO**. 2020. 44 p. Dissertação (Mestrado em Ciências Ambientais e Florestais). Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro: Seropédica, 2020.

Considerando o cenário de degradação e fragmentação dos biomas ao longo do tempo, é necessária a implantação de medidas que visem à recuperação destes ecossistemas. Uma possível alternativa para suprir as demandas nutricionais das plantas, é a utilização do biofósforo. Objetivou-se no primeiro capítulo avaliar a sobrevivência e influência nas variáveis de crescimento, no campo, de *Guarea guidonia*, *Cordia superba* e *Inga edulis*, em função da fertilização de plantio utilizando biofósforo e fertilizante mineral e seus efeitos no solo. O experimento foi instalado e conduzido em área da Reserva Ecológica de Guapiaçu, município de Cachoeiras de Macacu – RJ, em delineamento em blocos ao acaso, utilizando-se três espécies arbóreas, com cinco blocos. Com base na análise química do solo e do biofósforo, foi adotada como dose 4,5 litros de biofósforo por cova, além da fertilização mineral com a quantidade de nutrientes equivalente a dose de biofósforo. Desta forma, os tratamentos consistiram em testemunha, 4,5 litros de biofósforo e fertilização mineral em cova, solo classificado como Latossolo Vermelho-Amarelo Distrófico típico de textura franco-argilo-arenosa, em área que apresenta relevo forte ondulado. Para as espécies *Guarea guidonia* e *Cordia superba* a fertilização com o biofósforo apresentou resultados satisfatórios para o crescimento. A espécie *Inga edulis* respondeu a fertilização na forma mineral. A aplicação de biofósforo aumentou a quantidade de matéria orgânica presente no solo. Para o segundo capítulo o objetivo foi verificar o crescimento de *Guarea guidonia* em função da aplicação de doses crescentes de biofósforo, e seus efeitos no solo, em condições de vaso. Utilizando-se o mesmo solo do capítulo I, coletado em área do experimento, camada de 0-60 cm, e doses de biofósforo (0; 1,5; 3,0 e 6,0 litros por vaso), instalou-se experimento em delineamento inteiramente casualizado, utilizando a espécie *Guarea guidonia*, em área da UFRRJ, com 8 repetições de cada planta por tratamento, em vasos de 18 litros. A espécie apresentou os maiores valores para as variáveis mensuradas com a maior dose utilizada (6,0 l de biofósforo por vaso), além disso, o aumento da dose melhorou as características químicas do solo, assim como o aumento de matéria orgânica. No terceiro capítulo, utilizando as mesmas doses do capítulo II objetivou-se avaliar qual é a mais recomendada para o crescimento de *Lafoensia glyptocarpa*. Além disso, objetivou-se comparar a melhor dose com as fertilizações minerais no crescimento e nutrição de *Lafoensia glyptocarpa*, e seus efeitos na química do solo. Utilizando solo classificado como Latossolo Vermelho-Amarelo Distrófico típico de textura argilosa, instalou-se experimento em delineamento inteiramente casualizado com 6 repetições de cada planta por tratamento. A melhor dose dentre as avaliadas foi a de 6 l de biofósforo por vaso. *Lafoensia glyptocarpa* respondeu à adubação com as fontes utilizadas, ambas diferiram significativamente da testemunha, que apresentou as menores médias para a maioria das variáveis. Em comparação às fertilizações minerais, a dose de 6 l apresentou resultados satisfatórios, sendo recomendada para a adubação desta espécie em solo semelhante ao utilizado no presente estudo.

**Palavras-chave:** lodo de esgoto, nutrição florestal, recuperação de áreas degradadas.

## ABSTRACT

LOPES, Lucas Nunes. **BIOSOLID AND MINERAL FERTILIZER AS FERTILIZER FOR PLANTING OF ATLANTIC FOREST SPECIES: INITIAL GROWTH AND ITS EFFECTS ON THE SOIL**. 2020. 44 p. Dissertation (Master in Environmental and Forest Sciences). Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro: Seropédica, 2020.

Considering the scenario of degradation and fragmentation of biomes over time, it is necessary to implement measures aimed at the recovery of these ecosystems. A possible alternative to meet the nutritional demands of plants is the use of biosolids. The objective of the first chapter was to evaluate the survival and influence on growth variables, in the field, of *Guarea guidonia*, *Cordia superba* and *Inga edulis*, as a result of planting fertilization using biosolids and mineral fertilizers and their effects on the soil. The experiment was installed and conducted in an area of the Reserva Ecológica de Guapiaçu, municipality of Cachoeiras de Macacu - RJ, in a randomized block design, using three tree species, with five blocks. Based on the chemical analysis of the soil and the biosolids, 4.5 liters of biosolids per hole were used, in addition to mineral fertilization with the amount of nutrients equivalent to the biosolids dose. Thus, the treatments consisted of control, 4.5 liters of biosolids and mineral fertilization in a pit, soil classified as a Latossolo Vermelho-Amarelo Distrófico típico with a sandy-clay texture, in an area with strong wavy relief. For the species *Guarea guidonia* and *Cordia superba*, fertilization with biosolids showed satisfactory results for growth. The species *Inga edulis* responded to fertilization in mineral form. The application of biosolids increased the amount of organic matter present in the soil. For the second chapter, the objective was to verify the growth of *Guarea guidonia* due to the application of increasing doses of biosolids, and their effects on the soil, under pot conditions. Using the same soil as in Chapter I, collected in the experiment area, 0-60 cm layer, and doses of biosolids (0; 1.5; 3.0 and 6.0 liters per pot), an experiment was installed in a completely randomized design, using the species *Guarea guidonia*, in an area of UFRRJ, with 8 replicates of each plant per treatment, in 18-liter pots. The species showed the highest values for the variables measured with the highest dose used (6.0 l of biosolids per pot), in addition, the increase in the dose improved the chemical characteristics of the soil, as well as the increase in organic matter. In the third chapter, using the same doses as in Chapter II, the objective was to evaluate which is the most recommended for the growth of *Lafoensia glyptocarpa*. In addition, the objective was to compare the best dose with mineral fertilizers in the growth and nutrition of *Lafoensia glyptocarpa*, and their effects on soil chemistry. Using soil classified as a Latossolo Vermelho-Amarelo Distrófico típico with a clayey texture, an experiment was set up in a completely randomized design with 6 replicates of each plant per treatment. The best dose among those evaluated was 6 l of biosolids per pot. *Lafoensia glyptocarpa* responded to fertilization with the sources used, both differed significantly from the control, which had the lowest averages for most variables. In comparison to mineral fertilizations, the dose of 6 l showed satisfactory results, being recommended for fertilizing this species in soil similar to that used in the present study.

**Key words:** sewage sludge, forest nutrition, recovery of degraded areas.

## LISTA DE FIGURAS

- Figura 1: Incremento em altura de três espécies florestais submetidas a diferentes tipos de fertilização, em dois intervalos de tempo, na formação de povoamento florestal em Cachoeiras de Macacu – RJ ..... 10
- Figura 2: Crescimento de três espécies arbóreas submetidas a duas fertilizações e testemunha, 18 meses após o plantio das mudas na implantação de povoamento para restauração da Mata Atlântica em Cachoeiras de Macacu - RJ. Para cada espécie e variável de crescimento, as médias indicadas com a mesma letra nas colunas não diferem entre si pelo teste de Tukey ( $P \geq 95\%$ ), as barras nas colunas são referentes ao desvio padrão ..... 12
- Figura 3: Análise de componentes principais para as características químicas de solo coletado em Cachoeiras de Macacu (RJ) após ser submetido a dois tipos de fertilização e a tratamento testemunha. MO - matéria orgânica; H.Al - acidez potencial; Al - alumínio solúvel; pH - potencial hidrogeniônico; K - potássio solúvel; Mg - magnésio solúvel; V - índice de saturação por bases; S - soma de bases; Ca - cálcio solúvel; P - fósforo solúvel .....14
- Figura 4: Comportamento de plantas de *Guarea guidonia* sob tratamentos de fertilização ao longo do tempo, cultivadas em vasos de 18 litros.  $R^2_{aj}$  = coeficiente de determinação ajustado;  $S_{yx(\%)}$  = erro padrão da estimativa. \*significativo a 1% de probabilidade pela estatística t ..... 25
- Figura 5: Análise de componentes principais. Ht – altura total; DC – diâmetro do coleto; MSPA – massa seca de parte aérea; MSR – massa seca de raízes; AF – área foliar; macronutrientes; S – soma de bases; V – índice de saturação por bases; m – índice de saturação por alumínio; MO – matéria orgânica ..... 26
- Figura 6: Crescimento de *Lafoensia glyptocarpa* em função de testemunha e três doses de bio sólido, aos sete meses após o plantio das mudas, em condições de vaso. \*Significativo ao nível  $\alpha = 0,01$  pelo teste t. \*\*Significativo ao nível  $\alpha = 0,01$  pelo teste F (F tabelado = 8,01) ..... 37

## LISTA DE TABELAS

|  |  |
|--|--|
| Tabela 1: Análise química Latossolo Vermelho-Amarelo Distrófico típico (0-30 cm) ..8   |  |
| Tabela 2: Análise química do bio sólido (amostra base seca), utilizado como fertilizante no crescimento das espécies arbóreas ..... 8  |  |
| Tabela 3: Teores totais de metais pesados (mg/kg) presentes no bio sólido (amostra base seca) utilizado como fertilizante no crescimento das espécies arbóreas ..8   |  |
| Tabela 4: Sobrevivência, em %, de três espécies arbóreas e média geral, aos 18 meses de idade em povoamento implantado em Cachoeiras de Macacu- RJ ..... 10  |  |
| Tabela 5: Média e desvio padrão das variáveis químicas do solo três meses após o plantio ..... 13  |  |
| Tabela 6: Análise química do solo utilizado para o preenchimento dos vasos (0-30 cm de profundidade) ..... 22  |  |
| Tabela 7: Análise química do bio sólido (amostra base seca), utilizado como fertilizante no crescimento das espécies arbóreas ..... 22   |  |
| Tabela 8: Teores totais de metais pesados (mg/kg) presentes no bio sólido (amostra base seca) utilizado como fertilizante no crescimento das espécies arbóreas.23  |  |
| Tabela 9: Média e desvio padrão das variáveis de crescimento (10 meses após plantio) de <i>Guarea guidonia</i> e química do solo (3 meses após plantio), sob diferentes tratamentos de fertilização ..... 24 |  |
| Tabela 10: Análise química do solo utilizado para o crescimento de <i>Lafoensia glyptocarpa</i> para os diferentes tratamentos de fertilização .....35   |  |
| Tabela 11: Análise química do bio sólido, em dag.kg <sup>-1</sup> (amostra base seca), utilizado como fertilizante no crescimento de <i>Lafoensia glyptocarpa</i> ..... 35                                   |  |
| Tabela 12: Teores totais de metais pesados (mg.kg <sup>-1</sup> ) presentes no bio sólido (amostra base seca) utilizado como fertilizante no crescimento de <i>Lafoensia glyptocarpa</i> . ..... 35          |  |
| Tabela 13: Crescimento de <i>Lafoensia glyptocarpa</i> submetida à adubação com diferentes fontes, aos sete meses após o transplantio em vasos .....38   |  |
| Tabela 14: Teor foliar de nutrientes (dag.kg <sup>-1</sup> ) para <i>Lafoensia glyptocarpa</i> submetida à adubação de plantio com diferentes fontes, aos sete meses após o transplantio ..... 40            |  |
| Tabela 15: Nutrientes em Latossolo Vermelho-Amarelo distrófico típico cultivado com <i>Lafoensia glyptocarpa</i> submetida à adubação com diferentes fontes, aos sete meses após o transplantio .....40      |  |

## SUMÁRIO

|  |           |
|--|-----------|
| INTRODUÇÃO GERAL .....   | 1         |
| REFERÊNCIAS .....  | 2         |
| <b>CAPÍTULO I - BIODOSSÍLIDO DE LODO DE ESGOTO E FERTILIZANTES MINERAIS<br/>COMO ADUBAÇÃO DE PLANTIO PARA ESPÉCIES ARBÓREAS: CRESCIMENTO<br/>INICIAL E SEUS EFEITOS NO SOLO.....</b> | <b>4</b>  |
| RESUMO .....   | 5         |
| ABSTRACT .....   | 5         |
| INTRODUÇÃO .....   | 6         |
| MATERIAL E MÉTODOS .....   | 7         |
| RESULTADOS E DISCUSSÃO .....   | 9         |
| CONCLUSÃO .....  | 15        |
| REFERÊNCIAS .....  | 16        |
| <b>CAPÍTULO II - BIODOSSÍLIDO COMO ADUBAÇÃO DE PLANTIO DE <i>Guarea guidonia</i><br/>E SEUS EFEITOS NA QUÍMICA DO SOLO .....</b>   | <b>19</b> |
| RESUMO .....   | 20        |
| ABSTRACT .....   | 20        |
| INTRODUÇÃO .....   | 21        |
| MATERIAL E MÉTODOS .....   | 21        |
| RESULTADOS E DISCUSSÃO .....   | 23        |
| CONCLUSÃO .....  | 27        |
| REFERÊNCIAS .....  | 28        |
| <b>CAPÍTULO III - BIODOSSÍLIDO E FERTILIZANTES MINERAIS NO CRESCIMENTO<br/>E NUTRIÇÃO DE <i>Lafoensia glyptocarpa</i> E OS EFEITOS NA QUÍMICA DO SOLO.....</b>                       | <b>31</b> |
| RESUMO .....   | 32        |
| ABSTRACT .....   | 32        |
| INTRODUÇÃO .....   | 33        |
| MATERIAL E MÉTODOS .....   | 34        |
| RESULTADOS E DISCUSSÃO .....   | 36        |
| CONCLUSÕES .....   | 41        |
| REFERÊNCIAS .....  | 41        |
| CONCLUSÕES GERAIS .....  | 44        |

## INTRODUÇÃO GERAL

Historicamente no país, avançaram-se os processos de degradação e fragmentação dos ecossistemas naturais, devido principalmente à expansão urbana - que ocorreu de forma intensa no bioma Mata Atlântica - e agropecuária. Assim, com cenário de degradação deste bioma que é representativo na biodiversidade mundial, é importante recuperar e reabilitar as funções dele.

Uma das técnicas utilizadas para a recomposição destes ambientes é o plantio de mudas de espécies arbóreas. Este método pode ser uma opção viável para a implantação dos povoamentos florestais que, após consolidados, permitem o reestabelecimento das funções ecossistêmicas e condições de equilíbrio (MORAES et al., 2010). Os locais disponíveis para a formação destes povoamentos, geralmente, apresentam baixos teores nutricionais e de matéria orgânica, além de alta declividade, considerando que as melhores áreas são utilizadas pelos produtores para a agricultura e pecuária. Assim, ao atuar nestes ambientes, normalmente, há necessidade do fornecimento de nutrientes por meio de adubações.

Entre as técnicas de fertilização encontra-se a adubação de plantio, que tem como principal objetivo fornecer  $P_2O_5$ . Diversos estudos de fertilização mineral se desenvolveram ao longo dos anos para a cultura do eucalipto, com o intuito acelerar o seu crescimento e aumentar sua produtividade (GRACIANO et al., 2006; ALMEIDA et al., 2010; BORDRON et al., 2018). No entanto, pouco se conhece sobre nutrição das espécies arbóreas da Mata Atlântica. Tal fato ocorre devido ao grande número de espécies existentes, que apresentam características fisiológicas diversificadas e alta variabilidade genética. Além disso, as mesmas normalmente apresentam ritmos distintos de crescimento, relacionados às condições edafoclimáticas e ao tipo de adubo fornecido.

Tradicionalmente para as espécies de eucalipto são utilizados fertilizantes fosfatados de média e alta solubilidade, devido ao seu rápido crescimento. Para as espécies arbóreas da mata atlântica, que nos povoamentos mistos apresentam ritmo de crescimento distinto, presume-se que o fornecimento destes seja por meio de fontes de baixa solubilidade, de forma que os mesmos fiquem disponíveis gradualmente por mais tempo. Tal ação ajuda a reduzir consideravelmente os processos de perda de fósforo por adsorção nos minerais de argila, visto que o nutriente não está em sua totalidade prontamente disponível na solução do solo.

Em estudo desenvolvido por Lima Filho (2015) com espécies arbóreas da Mata Atlântica, verificou-se que a adubação orgânica apresentou diferença significativa para as variáveis altura, diâmetro, área foliar e biomassa em relação à testemunha e fertilização mineral com 178 g de superfosfato simples por vaso de 18 litros para as plantas de *Ceiba speciosa*.

Uma alternativa como fonte orgânica de nutrientes pode ser o biossólido de estação de tratamento de esgoto (ETE), que apresenta em sua composição quantidades consideráveis de nutrientes (macro e micro), além de matéria orgânica (BETTIOL e CAMARGO, 2006; ABREU et al., 2017). A matéria orgânica, presente no biossólido, desempenha papel fundamental na preservação da fertilidade do solo, podendo melhorar a retenção de água, porosidade e por consequência a infiltração (MACEDO et al., 2006). Além disso, apresenta potencial de complexar o  $Al^{3+}$  tóxico ao crescimento de raízes dos vegetais (STEVENSON, 1986; ROCHA et al., 2004; LIMA FILHO, 2015). O composto utilizado é proveniente da ETE Ilha do Governador, que passa pelo tratamento primário convencional, tratamento secundário (lodos ativados), adensamento do material secundário (centrífuga), estabilização biológica anaeróbia, desaguamento e desidratação em leitos de secagem e destinação final.

A destinação final do biossólido produzido no Brasil, na sua maioria, é realizada em aterros sanitários, angariando custos às ETEs e dificultando a reentrada no ciclo biogeoquímico dos nutrientes contidos no mesmo. Desta forma, é necessário o avanço das pesquisas relacionadas ao assunto, buscando um uso mais nobre de tal composto, para que esse não seja uma fonte causadora de custos, e possivelmente, passivos ambientais (ABREU et al., 2017). Tendo em vista as potenciais vantagens já conhecidas sobre a aplicação do biossólido, esta deve ser realizada em dose adequada. Também, o composto deve estar devidamente higienizado e estabilizado, de forma que atenda a resolução nº 498 do Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA), para que possam ser reduzidos os riscos com a sua aplicação (BRASIL, 2020).

## REFERÊNCIAS

- ABREU, A. H. M.; LELES, P. S. S.; ALONSO, J. M.; ABEL, E. L. S.; OLIVEIRA, R. R. Characterization of sewage sludge generated in Rio de Janeiro, Brazil, and perspectives for agricultural recycling. **Semina: Ciências Agrárias**, v.38, n.4, p. 1710-1718, 2017.
- ALMEIDA, J. C. R.; LACLAU, J. P.; DE MORAES, G. J. L.; RANGER, J.; SAINT-ANDRE, L. A positive growth response to NaCl applications in *Eucalyptus* plantations established on K-deficient soils. **Forest ecology and management**, v. 259, n. 9, p. 1786-1795, 2010.
- BETTIOL, W.; CAMARGO, O. de. **Lodo de esgoto: Impactos ambientais na agricultura**. Jaguariuna: Embrapa Meio Ambiente, 2006. 349 p.
- BORDRON, B.; ROBIN, A.; OLIVEIRA, I. R.; GUILLEMOT, J.; LACLAU, J. P.; JOURDAN, C.; PLASSARD, C. Fertilization increases the functional specialization of fine roots in deep soil layers for young *Eucalyptus grandis* trees. **Forest Ecology and Management**, v. 431, p. 6-16, 2018.
- BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. Conselho Nacional do Meio Ambiente. **Resolução – CONAMA. Resolução nº 498/2020**. Define critérios e procedimentos para produção e aplicação de biossólido em solos. Diário Oficial da República Federativa do Brasil, Brasília, n. 161, p. 265-273, 2020.
- GRACIANO, C.; GOYA, J. F.; FRANGI, J. L.; GUIAMET, J. J. Fertilization with phosphorus increases soil nitrogen absorption in young plants of *Eucalyptus grandis*. **Forest Ecology and Management**, v. 236, n. 2-3, p. 202-210, 2006.
- LIMA FILHO, P. **Biossólido na restauração florestal: produção de mudas e adubação de plantio**. 2015. 98 f. Dissertação (Mestrado) - Instituto de Florestas, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica, Rio de Janeiro, 2015.
- MACEDO, J. R.; SOUZA, M. D.; REICHARDT, K.; BACCHI, O. O. S. Atributos físicos e hídricos em solo tratado com lodo de esgoto. In: BETTIOL, W.; CAMARGO, O. **Lodo de esgoto: Impactos ambientais na agricultura**. 2006, Jaguariúna: EMBRAPA Meio Ambiente, 2006, p. 193-206.
- MORAES, L. F. D.; CAMPELLO, E. F. C.; FRANCO, A. A. Restauração florestal: do diagnóstico de degradação ao uso de indicadores ecológicos para o monitoramento das ações. **Oecologia Australis**, v. 14, n. 2, p.437-451, 2010.

ROCHA, G. N.; GONÇALVES, J. L. M.; MOURA, I. M. Mudança da fertilidade do solo e crescimento de um povoamento de *Eucalyptus grandis* fertilizado com biossólido. **Revista Brasileira de Ciências do Solo**, v. 28, n. 4, p. 623-639, 2004.

STEVENSON, F. J. **Cycles of carbon, nitrogen, phosphorus, sulphur, micronutrients**. New York: John Wiley & Sons, 1986.

## **CAPÍTULO I**

### **BIOSSÓLIDO DE LODO DE ESGOTO E FERTILIZANTES MINERAIS COMO ADUBAÇÃO DE PLANTIO PARA ESPÉCIES ARBÓREAS: CRESCIMENTO INICIAL E SEUS EFEITOS NO SOLO**

## RESUMO

O bio sólido é composto rico em nutrientes e matéria orgânica, e apresenta potencial para ser utilizado como adubo e condicionador de solos nos setores agrícola e florestal. Objetivou-se no presente estudo avaliar a influência da utilização de bio sólido e fertilizante mineral no crescimento e na sobrevivência de três espécies arbóreas, bem como os efeitos de ambos sobre as características químicas do solo. O experimento foi instalado no município de Cachoeiras de Macacu (RJ). Adotou-se a dose de 4,5 litros de bio sólido por cova. Também foi utilizada fertilização mineral com a quantidade de fósforo equivalente àquela dose e testemunha. O solo foi classificado como Latossolo Vermelho-Amarelo Distrófico típico de textura franco-argilo-arenosa. Para *Guarea guidonia* e *Cordia superba*, a fertilização com o bio sólido proporcionou crescimento superior em altura, diâmetro e área de copa. As plantas de *Inga edulis* responderam a fertilização na forma química. Conclui-se que a fertilização com o bio sólido é recomendada para as espécies *Guarea guidonia* e *Cordia superba*. Para o *Inga edulis*, recomenda-se a fertilização mineral. A aplicação de bio sólido aumentou a matéria orgânica presente no solo, essencial para a manutenção do carbono no sistema.

**Palavras-chave:** restauração florestal, Mata Atlântica, fertilização florestal.

## ABSTRACT

Biosolid is a compound rich in nutrients and organic matter, and has potential for use in the agricultural and forestry sectors, as fertilizer and soil conditioner. The objective of this study was to evaluate the survival and influence on growth variables of three tree species as a function of base fertilization using sewage sludge and mineral fertilizer, and their effects on soil chemical characteristics. The experiment was installed in Cachoeiras de Macacu/RJ. Based on the chemical analysis of soil and sewage sludge, 4.5 liters of sewage sludge per pit was adopted, chemical fertilization was also used with the amount of nutrients equivalent to this dose and control. The soil was classified as Latossolo Vermelho-Amarelo Distrófico típico with a sandy-loam-clay texture. For *Guarea guidonia* and *Cordia superba* fertilization with biosolid provided satisfactory results for growth in height, diameter and crown area. *Inga edulis* showed preference for fertilization in chemical form. It is concluded that fertilization with biosolid is recommended for *Guarea guidonia* and *Cordia superba*, for *Inga edulis* chemical fertilization is recommended. The application of biosolid increased the organic matter present in the soil, essential for the maintenance of carbon in the system.

**Keywords:** forest restoration, Atlantic Forest, forest fertilization.

## INTRODUÇÃO

Os processos de fragmentação florestal da Mata Atlântica avançaram ao longo do tempo, devido, principalmente, à abertura de áreas para produção agrícola e pecuária, e, também, à expansão urbana. Diante desse cenário, surge a necessidade da recuperação dos ambientes perturbados, objetivando a manutenção do equilíbrio nos sistemas.

Entre as principais técnicas utilizadas para a recomposição florestal, encontra-se o plantio de mudas de espécies arbóreas, que possibilita o alcance dos resultados esperados em menor tempo (TRENTIN et al., 2018). As áreas disponíveis para a recuperação geralmente apresentam alta declividade, além de baixos teores nutricionais e de matéria orgânica, visto que as melhores áreas são utilizadas para a pecuária e produção de alimentos. Por esse motivo, ao atuar nesses ambientes, há a necessidade de prover ao solo nutrientes por vias externas, como ocorre na fertilização.

Entre as técnicas de fertilização, encontra-se a adubação de plantio, que tem como objetivo principal fornecer fósforo aos vegetais. Estudos sobre fertilização florestal foram realizados ao longo dos anos com a finalidade de acelerar o crescimento e aumentar a produtividade do gênero *Eucalyptus*, haja vista o seu alto valor econômico como principal fonte de madeira no Brasil (BORDRON et al., 2019).

Pouco se conhece sobre a nutrição das espécies arbóreas nativas da Mata Atlântica, uma vez que a maioria delas não passou por processos de melhoramento florestal e se comportam de maneira distinta (SCHEER et al., 2017). Lima Filho (2015), em trabalho com *Ceiba speciosa* (St.-Hill.), conhecida vulgarmente como paineira, explicita que as espécies arbóreas nativas preferem suprir suas necessidades nutricionais por meio da liberação gradativa proporcionada pela mineralização da matéria orgânica. Porém, o que é comumente empregado é a nutrição com fertilizantes químicos de alta solubilidade utilizando-se doses recomendadas para a cultura do eucalipto, não ocorrendo, nesses casos, o esperado crescimento das plantas arbóreas nativas da Mata Atlântica.

Como opção para o fornecimento de nutrientes para as plantas surge o biossólido, que é o resíduo proveniente das estações de tratamento de esgoto (ETEs) após os devidos processos de higienização e estabilização do lodo. Segundo Abreu et al. (2017), na Região Metropolitana do Rio de Janeiro, os lodos de esgoto apresentam, em média, 1,8% de nitrogênio (N), 0,8% de fósforo (P), 0,2% de potássio (K), 1,65% de cálcio (Ca), 0,3% de magnésio (Mg), 0,8% de enxofre (S) e 26% de matéria orgânica.

Estudos explicitam o potencial uso desse material no setor florestal, de forma eficiente e segura, seja como substrato para a produção de mudas (CABREIRA et al., 2017), seja como fertilizante e condicionador de solos no campo (KEYS et al., 2018), desde que se atente para os parâmetros da Resolução nº 498/2020 do CONAMA e, dessa maneira, se reduzam os possíveis riscos derivados da sua aplicação (BRASIL, 2020).

A reciclagem desse material é de suma importância para a sustentabilidade das grandes cidades, visto que, em 2013, aproximadamente 365 toneladas de lodo de esgoto eram produzidas diariamente nas ETEs do Estado do Rio de Janeiro (PERS, 2014), enquanto, os custos relacionados ao descarte desse resíduo podem equivaler de 40% a 60% dos custos totais de funcionamento de uma ETE (GHAZY et al., 2009). Portanto, o descarte desse material rico em nutrientes e matéria orgânica causa não só grandes prejuízos econômicos às estações de tratamento de esgoto, mas, também, prejuízo ambiental, pois impossibilita a reciclagem do lodo.

Entre as espécies comumente utilizadas em projetos de reflorestamento na Mata Atlântica, estão a *Guarea guidonia*, considerada uma espécie não pioneira (GANDOLFI

et al., 1995); a *Cordia superba*, considerada uma espécie pioneira (LORENZI, 1992); e o *Inga edulis*, também uma espécie pioneira (LORENZI, 2000).

O objetivo deste trabalho é avaliar a sobrevivência e o crescimento das três espécies florestais mencionadas, plantadas e fertilizadas com biossólido de lodo de esgoto e adubação mineral, bem como os efeitos da aplicação de ambos os tratamentos no solo, em comparação com plantas que não receberam nenhum tipo de adubação.

## MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi implantado e conduzido em área inserida na Bacia Hidrográfica do Alto Rio Guapiaçu, pertencente à Região Hidrográfica V (Baía de Guanabara), no município de Cachoeiras de Macacu (RJ). Segundo Azevedo et. al. (2018), a região apresenta precipitação média anual de 2.050 mm, com a média mensal variando entre 337,8 mm (fevereiro) e 59,3 mm (julho). A temperatura média anual é de 21,9° C, sendo janeiro o mês mais quente, e julho, o mais frio. O clima da região, segundo a classificação de Köppen, é Af, isto é, tropical com verão chuvoso e inverno mais seco, sem uma estação marcadamente seca. O solo, com textura franco-argilo-arenosa e composto por argila (35%), silte (14%) e areia (51%), foi classificado como Latossolo Vermelho-Amarelo Distrófico típico. O local apresenta relevo fortemente ondulado (20-45%) e forma côncava.

O experimento foi implantado a pleno sol, em dezembro de 2016, em delineamento em blocos ao acaso. O plantio com as três espécies arbóreas foi feito em cinco blocos e incluiu três tratamentos de fertilização: aplicação de biossólido de lodo de esgoto, adubação química e testemunha (sem adubação). Devido às diferenças ecológicas, cada espécie constituiu um experimento. As espécies com seus respectivos tratamentos totalizaram 225 indivíduos nos cinco blocos. Foi ocupada uma área de, aproximadamente, 1.350 m<sup>2</sup>, mais o entorno do experimento. A fim de evitar o efeito de borda, utilizou-se 1.800 m<sup>2</sup> de área experimental.

A definição dos tratamentos baseou-se na análise química do solo (Tabela 1), na análise química do biossólido utilizado (Tabela 2) e em informações dos trabalhos de Lima Filho (2015) e Silva (2017). Com base nessas informações e na análise da operação necessária para transportar o biossólido até o alto do morro, foi adotada a dose de 4,5 litros de biossólido por cova, quantidade que corresponde, teoricamente, a 75% do recomendado como ideal para o gênero do eucalipto (PORTZ et al., 2013). Além disso, as espécies do gênero *Eucalyptus* apresentam ritmo de crescimento mais acelerado em comparação com as espécies nativas da Mata Atlântica, motivo pelo qual utilizou-se a dosagem mencionada. A dose de biossólido utilizada por cova corresponde a aproximadamente 2,5 kg do produto, pois, segundo Vieira (2018), o material apresenta densidade média de 0,65 kg.dm<sup>-3</sup>. A fertilização mineral aplicada foi de 300 g de calcário calcítico por cova, sessenta dias antes do plantio das mudas das espécies arbóreas. No dia do plantio, a adubação foi com 50 g.planta<sup>-1</sup> de fosfato natural de rocha (contendo 20% de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>) em fundo de cova e mais 150 g.cova<sup>-1</sup> de NPK 06-30-06 misturados à terra retirada da cova, totalizando aproximadamente 54 g de pentóxido de fósforo (P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>). Essa adubação corresponde à quantidade de nutrientes presentes na dose de 4,5 litros biossólido e está dentro dos padrões de adubação recomendados por Furtini Neto et al. (2000) para as espécies arbóreas nativas.

Tabela 1: Análise química Latossolo Vermelho-Amarelo Distrófico típico (0-30 cm)

| pH               | P                               | K <sup>+</sup> | Ca <sup>2+</sup> | Mg <sup>2+</sup> | Al <sup>3+</sup> | H+Al  | MO    | V     |
|------------------|---------------------------------|----------------|------------------|------------------|------------------|-------|-------|-------|
| H <sub>2</sub> O | ----- mg.dm <sup>-3</sup> ----- | -----          | -----            | -----            | -----            | ----- | ----- | ----- |
| 4,9              | 2,7                             | 23,4           | 0,12             | 0,09             | 1,1              | 5,95  | 2,5   | 4,36  |

pH em água – relação 1:2,5; P e K: extrator Mehlich 1; Ca, Mg e Al: extrator de KCl 1,0M; H+Al: acetato de cálcio; C. Org: Walkley-Black; MO = COrg x 1,724. Em que: H+Al acidez potencial; MO matéria orgânica; V índice de saturação por bases

Tabela 2: Análise química do bio sólido (amostra base seca), utilizado como fertilizante no crescimento das espécies arbóreas

| pH               | N     | P     | K     | Ca    | Mg    | S     | C     | MO    | B     |
|------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| H <sub>2</sub> O | ----- | ----- | ----- | ----- | ----- | ----- | ----- | ----- | ----- |
| 5,6              | 17,8  | 8,1   | 1,9   | 16,4  | 2,9   | 8,1   | 147,5 | 25,43 | 9,7   |

pH em água – Relação 1:2,5; Teores Totais, determinados no extrato ácido (ácido nítrico com ácido perclórico); N – Método Kjeldahl; C - Método Walkley – Black; MO = COrg x 1,724; MO = matéria orgânica

A Tabela 3 apresenta os teores de metais pesados presentes no bio sólido, mostrando que encontram-se abaixo do limite determinado pelo Conselho Nacional do Meio Ambiente (Resolução CONAMA nº 498/2020), que estabelece os parâmetros para a utilização do bio sólido em atividades agrícolas.

Tabela 3: Teores totais de metais pesados (mg/kg) presentes no bio sólido (amostra base seca) utilizado como fertilizante no crescimento das espécies arbóreas

| As     | Ba    | Cd  | Pb   | Cu    | Cr    | Ni    | Zn    |
|--------|-------|-----|------|-------|-------|-------|-------|
| <0,011 | 178,6 | 1,2 | 54,8 | 182   | 45,2  | 156,8 | 907,6 |
| 41*    | 1300* | 39* | 300* | 1500* | 1000* | 420*  | 2800* |

Teores Totais, determinados no extrato ácido (ácido nítrico com ácido perclórico). \*Valores limites aceitáveis constados na resolução nº 498 de 2020 do Conselho Nacional do Meio Ambiente

Não houve necessidade de limpeza da área pré-plantio, tendo em vista que essa sofreu uma queimada por terceiros. O espaçamento das covas, na dimensão 3 x 2 m, foi marcado no sentido da curva de nível. Posteriormente, covas de 30 x 30 x 25 cm (largura x comprimento x profundidade) foram abertas manualmente, com o auxílio de enxadão, e 300 g de calcário (somente para a fertilização mineral) foram misturados à terra das covas, que foram preenchidas com a mistura. Cerca de sessenta dias após a aplicação (6 de dezembro de 2016), as covas foram novamente abertas, e os tratamentos (testemunha, 4,5 litros de bio sólido e fertilização mineral), aplicados. Em seguida, foram plantadas mudas de *Guarea guidonia* (L.) Sleumer (carrapeta), *Cordia superba* Cham. (babosa branca) e *Inga edulis* Mart. (ingá- de-metro). As mudas utilizadas foram produzidas a partir de sementes coletadas de árvores matrizes localizadas na região. Cultivados em sacos plásticos de 9 x 16 cm (diâmetro x altura), os brotos receberam substrato – com 70% terra de subsolo argilo-arenoso e 30% de esterco bovino curtido – e passaram pelas fases de crescimento e rustificação, conforme procedimento usual de produção de mudas de espécies arbóreas.

A manutenção do plantio se deu por meio do controle de formigas-cortadeiras. Além do uso de isca formicida, recorreu-se a duas intervenções de controle de plantas daninhas com coroamento em torno da planta e a uma aplicação de calda à base de glifosato.

Nas avaliações, a altura da parte aérea das mudas foi medida aos seis, doze e aos dezoito meses após o plantio, com o auxílio de uma régua graduada. Na última medição, avaliou-se, ainda, o diâmetro do caule 5 cm acima da superfície do solo, o que foi feito com o uso de paquímetro digital, além da sobrevivência e das larguras transversal e longitudinal da copa, medidas com uma trena. Para o cálculo da área de copa, utilizou-se a fórmula da elipse (Equação 1).

$$AC = a \times b \times \pi \quad \text{Equação 1}$$

Em que:

$AC$  - área de copa;

$a$  - raio maior;

$b$  - raio menor;

$\pi$  - 3,14159265359

A fim de verificar o efeito das diferentes fontes de nutrientes sobre as variáveis mensuradas, a testemunha, a fertilização mineral e a dose de 4,5 litros de biossólido foram submetidas a uma análise de variância (ANOVA), na qual se atentou para os principais pressupostos para a realização da mesma: homocedasticidade de variância e distribuição normal dos resíduos. Constatada a diferença significativa entre os tratamentos, realizou-se o teste de Tukey ( $P \geq 0,95$ ).

Para avaliar o efeito dos tratamentos sobre as características químicas do solo, três meses após o plantio, quatro amostras por tipo de tratamento foram retiradas de forma sistemática, totalizando 12 unidades amostrais. Obtidos os dados das análises químicas do solo (rotina e matéria orgânica) submetido aos três tratamentos, procedeu-se à análise de componentes principais (ACP).

As análises estatísticas foram realizadas no software R versão 3.5.1 (R Core Team, 2019), utilizando-se os pacotes ExpDes.pt (FERREIRA et al., 2018), para a estatística experimental, e FactoMineR (LE et al., 2008) e Factoextra (MUNDT, 2017), para a análise de componentes principais.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

Observa-se que, doze meses após o plantio das mudas, as plantas de *Guarea guidonia* tratadas com biossólido apresentaram crescimento, em média, semelhante ao que as plantas não adubadas registravam aos 18 meses de idade e superior ao das plantas que receberam fertilização mineral (Figura 1). Os exemplares de *Cordia superba* tratados com biossólido apresentaram incremento similar e, aos 12 meses, estavam maiores que as plantas não adubadas aos 18 meses de idade. As plantas que receberam fertilização mineral apresentaram maior ganho inicial em altura entre o sexto e o décimo segundo mês de plantio, enquanto aquelas fertilizadas com o biossólido cresceram mais entre o 12º e o 18º meses. A explicação para isso provavelmente está na ação da matéria orgânica presente no biossólido, que apresenta nutrientes que, além de menos solúveis do que os de origem mineral, são disponibilizados de forma gradativa (ABREU et al., 2019). Em relação às plantas de *Inga edulis*, aparentemente apresentaram maior crescimento ao receber os nutrientes na forma mineral (Figura 1). Sob os três tratamentos, a espécie apresentou maior incremento entre o 12º e o 18º mês.

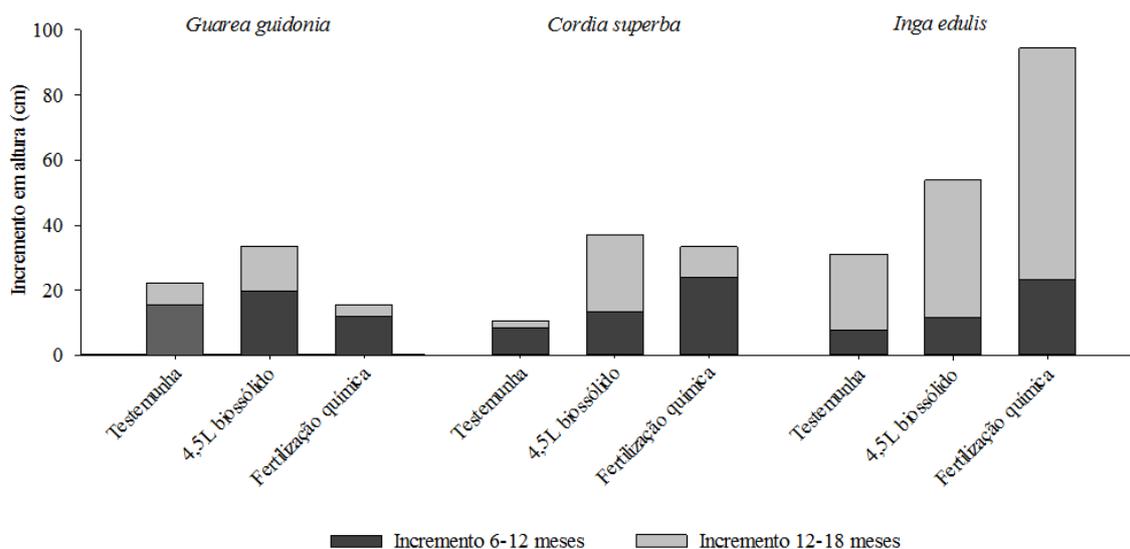


Figura 1: Incremento em altura de três espécies florestais submetidas a diferentes tipos de fertilização, em dois intervalos de tempo, na formação de povoamento florestal em Cachoeiras de Macacu – RJ.

Os indivíduos submetidos à fertilização mineral apresentaram menor taxa de sobrevivência para *Guarea guidonia*, enquanto a fertilização com biossólido e testemunha comportaram-se de forma semelhante (Tabela 4). Essa diferença de comportamento pode ser atribuída à solubilidade do fertilizante mineral, que torna este prontamente disponível para as plantas. A dose, porém, pode ter sido alta para a espécie, já que houve queima das raízes de algumas plantas pelo excesso de salinidade do adubo mineral. Para a *Cordia superba*, a taxa de sobrevivência foi maior entre as plantas fertilizadas com biossólido e, em seguida, entre as submetidas à fertilização mineral e ao tratamento do tipo testemunha (Tabela 4). No que diz respeito ao *Inga edulis*, apesar de não ter registrado maior crescimento quando fertilizado com biossólido, apresentou maior taxa de sobrevivência sob esse tratamento do que quando submetido à fertilização mineral ou foi tratado como testemunha (Tabela 4).

A sobrevivência das plantas no campo é importante para o sucesso do reflorestamento. A média mais alta obtida pelo tratamento com aplicação de biossólido explicita a importância e o potencial da matéria orgânica contida nesse composto como fator auxiliar na retenção de água, aspecto que proporcionou as condições para que a mortalidade das mudas fosse menor (Tabela 2). Tal fato corrobora a viabilidade técnica da utilização do biossólido como adubo de plantio, visto que não ocorreram fertilizações complementares, o que, conseqüentemente, reduz custos de implantação e manutenção do povoamento associados à aquisição de fertilizantes e mão de obra para aplicação e possível replantio.

Tabela 4: Sobrevivência, em %, de três espécies arbóreas e média geral, aos 18 meses de idade em povoamento implantado em Cachoeiras de Macacu- RJ

| Tratamento            | <i>Guarea guidonia</i> | <i>Cordia superba</i> | <i>Inga edulis</i> | Média |
|-----------------------|------------------------|-----------------------|--------------------|-------|
| Testemunha            | 93,4                   | 62,5                  | 92,3               | 82,7  |
| 4,5 litros biossólido | 93,4                   | 100,0                 | 100,0              | 97,8  |
| Fertilização mineral  | 86,7                   | 86,7                  | 92,9               | 88,7  |

Com base na análise de variância dos dados realizada 18 meses após o plantio das mudas, verificou-se que não ocorreram diferenças significativas entre os blocos para as variáveis mensuradas, embora tenha havido diferenças entre os tratamentos, com variações de comportamento entre espécies.

No tratamento com aplicação de 4,5 litros de biossólido, as espécies *Guarea guidonia* e *Cordia superba* apresentaram média de altura da parte aérea significativamente superior à registrada quando receberam fertilização mineral ou serviram de testemunha (Figura 2a) para o experimento. Esse comportamento pode estar relacionado à preferência das espécies pelo teor relativamente alto de matéria orgânica presente no biossólido (Tabela 2) em comparação com a fertilização mineral – que não inclui matéria orgânica – visto que, em ambos os tratamentos, as plantas, teoricamente, receberam a mesma quantidade de nutrientes. Em relação ao diâmetro do caule 5 cm acima do solo, (Figura 2b), constatou-se que, quando fertilizada com o biossólido, a *Guarea guidonia* apresentou valores médios significativamente superiores aos registrados quando recebeu fertilização mineral ou foi tratada como testemunha. A *Cordia superba* comportou-se de forma semelhante em relação à fertilização com o biossólido, apresentando a maior média para essa variável. Entretanto, não houve uma diferença significativa em relação à média das plantas que receberam fertilização mineral. Já na comparação com as plantas tratadas como testemunha, houve diferenças nas médias registradas pelas duas espécies. Segundo Lima Filho (2015) e Abreu et al. (2017), a matéria orgânica presente no biossólido tem o potencial de melhorar as características químicas e físicas do solo, proporcionando, assim, ambientes mais favoráveis ao crescimento de plantas arbóreas nativas da Mata Atlântica.

A avaliação da área de copa é importante em trabalhos de restauração, pois os povoamentos com maior área de copa proporcionam maior cobertura de solo e, conseqüentemente, melhor controle das plantas daninhas, principalmente as gramíneas. Com isso, há um melhor crescimento das espécies arbóreas, que irão auxiliar nos processos da restauração florestal. Observa-se que, em média (Figura 2c), as plantas de *Guarea guidonia* apresentaram áreas de copa significativamente maiores quando fertilizadas com o biossólido, assim como ocorreu em relação à altura e ao diâmetro. No caso da espécie *Cordia superba*, a área de copa foi maior entre as plantas que receberam fertilização, seja a química ou a com o biossólido. Sob esse dois tratamentos, os valores de área de copa diferiram significativamente em relação ao registrado pelas plantas tratadas como testemunha. Em estudo com *Ceiba speciosa*, Lima Filho (2015), ao comparar a fertilização com biossólido ( $1,6 \text{ l.cova}^{-1}$ ), superfosfato simples ( $178 \text{ g.cova}^{-1}$ ) e testemunha em latossolo vermelho-amarelo, constatou que a fertilização com o biossólido proporcionou as maiores médias para altura, diâmetro do coleto, área foliar e massa seca de parte aérea e raízes. Os valores obtidos sob esse tipo de tratamento diferiram significativamente dos registrados pelas plantas tratadas com fertilização mineral e testemunha.

As plantas de *Inga edulis*, em média, comportaram-se de modo diferente das outras duas espécies (Figura 2c), uma vez que obtiveram melhores resultados para altura quando tratadas com fertilização mineral. Na fertilização com o biossólido, o crescimento foi intermediário, diferente do registrado pelas plantas tratadas como testemunha, que apresentaram as menores médias. No tratamento com fertilização mineral, os valores para diâmetro 5 cm acima do solo (Figura 2b) e para área de copa (Figura 2c) foram significativamente maiores do que as médias registradas nos tratamentos com biossólido e testemunha, as quais não diferiram entre si. Esse comportamento em relação à fertilização mineral pode ser atribuído ao ritmo de crescimento da *Inga edulis*, considerado rápido por Lorenzi (2000), e à capacidade da

espécie, tida como muito rústica, de se adaptar aos diferentes ambientes e níveis nutricionais e de responder aos distintos níveis de fertilidade do solo, como ocorre com as espécies do gênero *Eucalyptus* (DIAS et al., 2015). O resultado obtido pelas plantas de ingá corrobora as informações de Carvalho (2003), que menciona que, em experimentos, a espécie *Inga sesselis*, do mesmo gênero da *Inga edulis*, cresce melhor em solo com fertilidade química elevada, devido à elevada solubilidade desse tipo de adubo em relação ao biossólido. Esse desempenho dos vegetais corrobora a necessidade de estudos sobre a nutrição das espécies arbóreas da Mata Atlântica, visto que é grande a variação no comportamento delas (SCHEER et al., 2017).

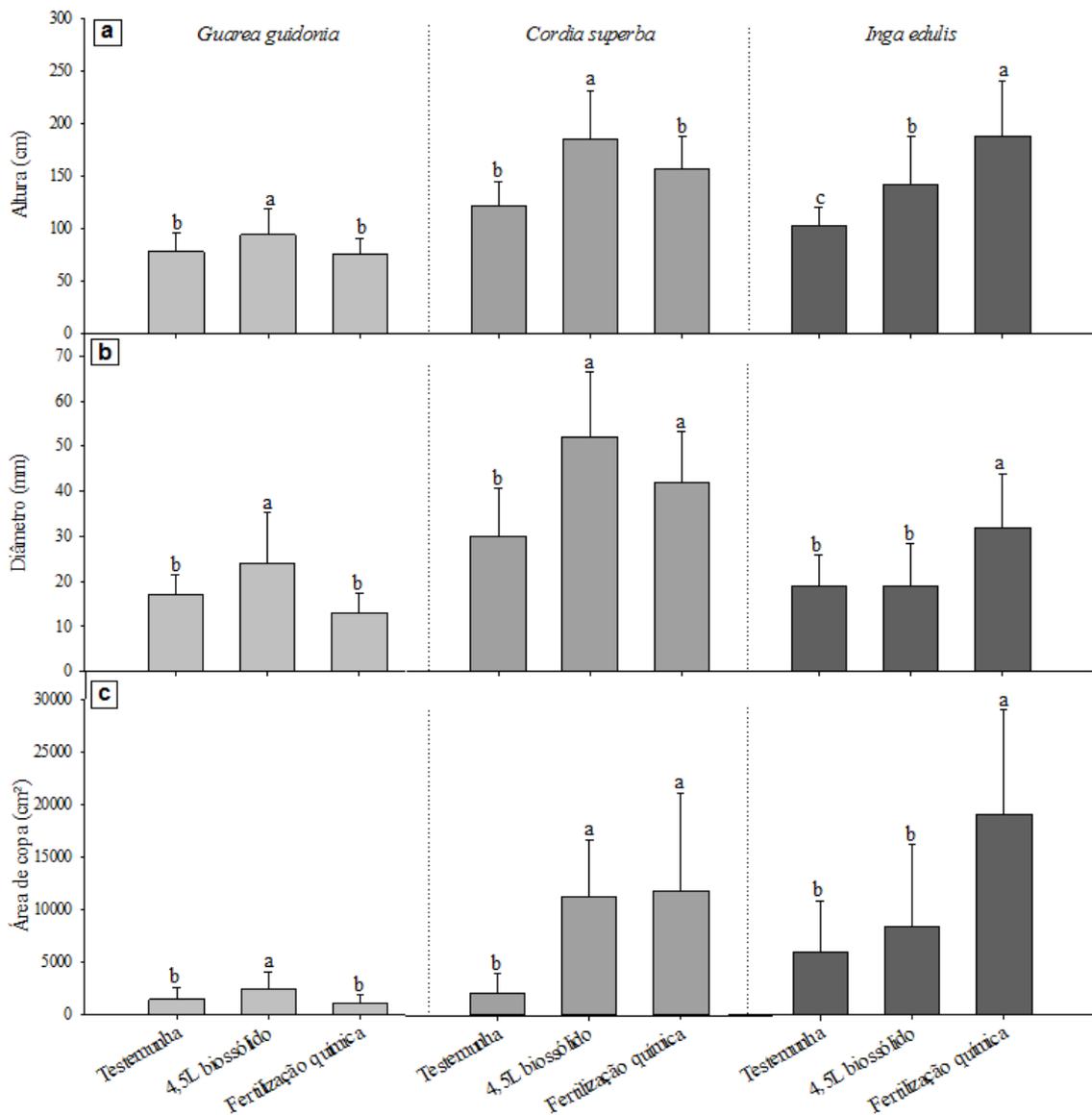


Figura 2: Crescimento de três espécies arbóreas submetidas a duas fertilizações e testemunha, 18 meses após o plantio das mudas na implantação de povoamento para restauração da Mata Atlântica em Cachoeiras de Macacu - RJ. Para cada espécie e variável de crescimento, as médias indicadas com a mesma letra nas colunas não diferem entre si pelo teste de Tukey ( $P \geq 95\%$ ), as barras nas colunas são referentes ao desvio padrão.

Ao avaliar o crescimento do híbrido *Eucalyptus urophylla* x *E. grandis* (urograndis) em latossolo vermelho 75 dias após a aplicação de biossólido em vasos de

11 litros (proporções de 25%, 50% e 75% do volume) e de fertilizante mineral (36 g de monoamônio fosfato, 68 g de nitrato de potássio e 91 g de nitrato de cálcio por vaso), Bertolazi et al. (2017) verificaram que não houve diferença significativa entre os tratamentos no que se refere aos seus efeitos sobre a altura das plantas. No entanto, no tratamento com 75% de bio sólido, a média de biomassa aérea e radicular não só foi a maior, como foi significativamente superior à registrada no tratamento testemunha. Essa resposta indica a viabilidade do uso daquela proporção na adubação de plantas da espécie, em substituição parcial ou total à fertilização mineral, como explicitado pelos autores. Em outro trabalho, Ferraz et al. (2016) compararam a aplicação de adubo químico e de bio sólidos oriundos do lodo de três ETEs em povoamento de *Eucalyptus grandis* cultivados em Latossolo Vermelho-Amarelo no Estado de São Paulo. Constatou-se que, cinco anos após o plantio, não houve diferença significativa para o crescimento (altura, diâmetro à altura do peito e volume de madeira) das árvores entre dois dos três bio sólidos utilizados e a fertilização mineral completa. Além disso, a aplicação de lodo aumentou os teores nutricionais e de matéria orgânica do solo na camada de 0-5 cm. Esses estudos mostram que, normalmente, as plantas arbóreas, mesmo os eucaliptos, que passam por programas de melhoramento genético, respondem à adubação orgânica, o que evidencia o potencial de uso do bio sólido na área de restauração florestal, como mostram os trabalhos de Abreu (2017) e Alonso (2019).

Observa-se na tabela 5 que em média a fertilização mineral apresentou a maior quantidade de nutrientes, conseqüentemente soma de bases e índice de saturação por bases. A fertilização orgânica apresentou em média os maiores teores de matéria orgânica no solo, enquanto que a testemunha apresentou as menores médias para a maioria das variáveis químicas do solo.

Tabela 5: Média e desvio padrão das variáveis químicas do solo três meses após o plantio

| Variável                                   | Testemunha  | Bio sólido  | Mineral     |
|--|-------------|-------------|-------------|
| pH(unid)                                   | 4,83 ± 0,05 | 4,73 ± 0,19 | 6,01 ± 0,17 |
| P (mg.L <sup>-1</sup> )                    | 28 ± 8      | 61 ± 381    | 1761 ± 214  |
| K <sup>+</sup> (mg.L <sup>-1</sup> )       | 71 ± 8      | 70 ± 14     | 279 ± 55    |
| Ca <sup>2+</sup> (cmolc.dm <sup>-3</sup> ) | 0,73 ± 0,25 | 1,83 ± 0,58 | 7,15 ± 0,57 |
| Mg <sup>2+</sup> (cmolc.dm <sup>-3</sup> ) | 0,33 ± 0,09 | 0,40 ± 0,11 | 1,35 ± 0,30 |
| Al <sup>3+</sup> (cmolc.dm <sup>-3</sup> ) | 0,68 ± 0,12 | 0,41 ± 0,09 | 0,00 ± 0,00 |
| H+Al (cmolc.dm <sup>-3</sup> )             | 10,2 ± 0,6  | 11,2 ± 0,5  | 5,8 ± 0,6   |
| S (cmolc.dm <sup>-3</sup> )                | 1,3 ± 0,3   | 2,4 ± 0,5   | 9,2 ± 0,9   |
| V (%)                                      | 10,8 ± 2,3  | 17,6 ± 3,1  | 61,4 ± 1,8  |
| m (%)                                      | 36,1 ± 10,7 | 15,4 ± 6,1  | 0,0 ± 0,0   |
| MO (dag.kg <sup>-1</sup> )                 | 2,72 ± 0,49 | 5,34 ± 0,68 | 2,57 ± 0,36 |

pH em água – relação 1:2,5; P e K: extrator Mehlich 1; Ca, Mg e Al: extrator de KCl 1,0M; H+Al: acetato de cálcio; C. Org: Walkley-Black; MO = COrg x 1,724. Em que: H+Al = acidez potencial; MO = matéria orgânica; S = soma de bases; V = índice de saturação por bases; m = índice de saturação por alumínio

A Figura 3 apresenta os resultados da ACP realizada para avaliar as características químicas do solo três meses após o plantio das mudas. Segundo Hongyu et al. (2016), a ACP é uma técnica de análise multivariada, que lineariza um conjunto original de variáveis em um conjunto menor, reduzindo a massa de dados e mantendo a maior parte possível da informação original. Verifica-se na Figura 3 que, três meses após o plantio das mudas, a quantidade de nutrientes era maior no solo que recebeu

fertilização mineral. Essa diferença se deve ao fato do fertilizante químico ser mais solúvel do que o biossólido, que apresenta parte dos seus nutrientes na forma orgânica, necessitando da mineralização deles para liberação no ambiente. A ACP explicita ainda que há maiores quantidades de matéria orgânica nas amostras que contêm biossólido como fertilizante, e que esse composto, devido à retenção de água e à liberação gradativa dos nutrientes, pode ter sido responsável pela maior taxa média de sobrevivência entre as plantas (Tabela 4) submetidas a esse tratamento. Segundo Garlet et al. (2019), a matéria orgânica é de grande importância para a manutenção das vias de ciclagem dos nutrientes, principalmente nos solos tropicais intemperizados, como é o caso do utilizado neste trabalho.

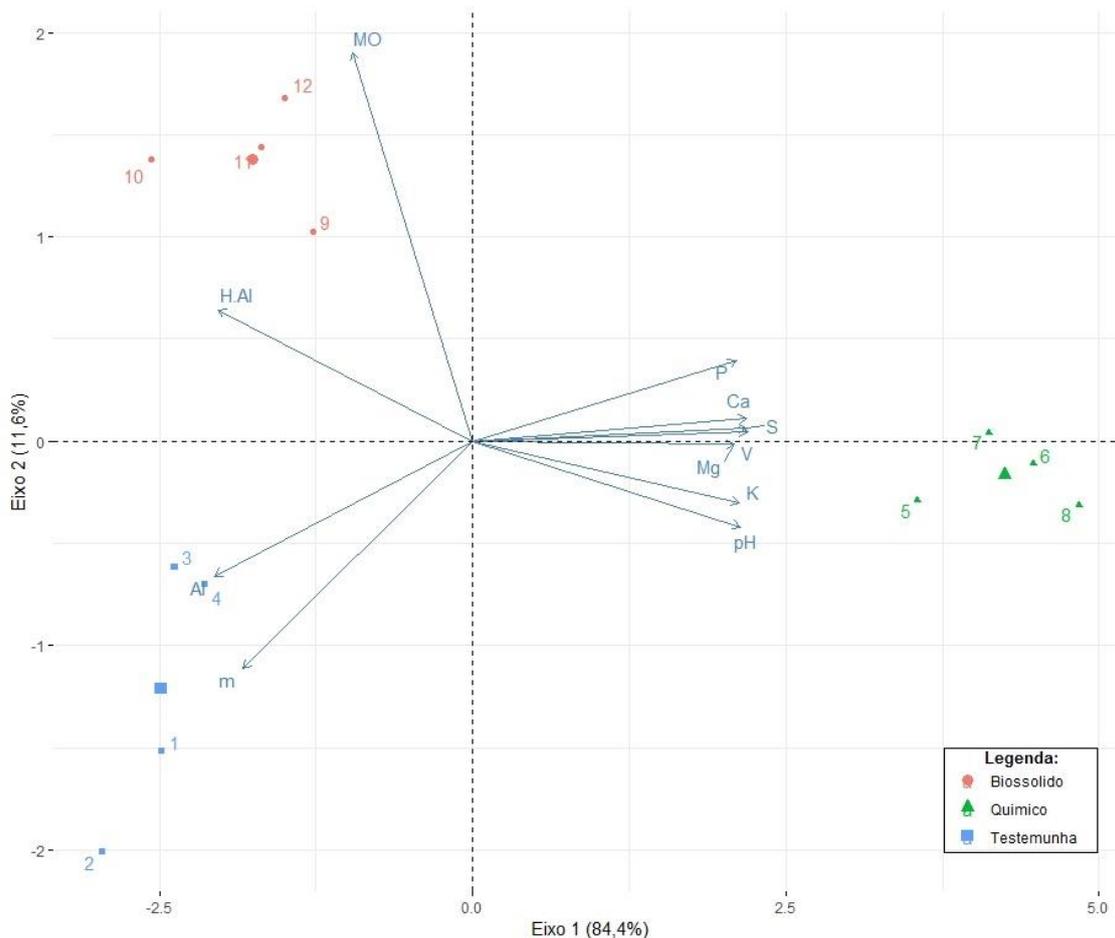


Figura 3: Análise de componentes principais para as características químicas de solo coletado em Cachoeiras de Macacu (RJ) após ser submetido a dois tipos de fertilização e a tratamento testemunha. MO - matéria orgânica; H.Al - acidez potencial; Al - alumínio solúvel; pH - potencial hidrogeniônico; K - potássio solúvel; Mg - magnésio solúvel; V - índice de saturação por bases; S - soma de bases; Ca - cálcio solúvel; P - fósforo solúvel.

A testemunha apresentou as menores concentrações de nutrientes no solo, exceto para o alumínio e seu respectivo índice de saturação, que apresentaram os maiores valores sob esse tratamento. É amplamente conhecido que o alumínio, em altas concentrações no solo, é tóxico para a maioria das espécies cultivadas, podendo comprometer o crescimento radicular e, como consequência, a absorção de água e nutrientes, que são importantes para o crescimento dos vegetais. Lima Filho (2015) explicitou no seu estudo em latossolo vermelho-amarelo que a aplicação de biossólido

na dose de 1,6 l.cova<sup>-1</sup> foi capaz de precipitar metade do alumínio disponível no solo. Quando essa dose foi dobrada para 3,2 l.cova<sup>-1</sup>, o elemento foi totalmente neutralizado, apresentando comportamento exponencial negativo da concentração de alumínio, em função do aumento da dose de biofertilizante. A fertilização com biofertilizante, apesar de não prover as maiores quantidades de nutrientes, foi eficiente para o crescimento de duas (*Guarea guidonia* e *Cordia superba*) das três espécies avaliadas, corroborando que a matéria orgânica presente no material é capaz de proporcionar condições para o crescimento desses indivíduos.

O Estado do Rio de Janeiro apresenta grande potencial de utilização do biofertilizante como adubo e condicionador de solos, visto que, entre as dez culturas agrícolas que ocupam maior área, o composto poderia ser utilizado em oito (ABREU, 2017). A prática geraria economia para o produtor na aquisição de adubos, por exemplo, considerando que o preço médio do saco de 50 kg dos fertilizantes utilizados neste estudo (NPK 06-30-06 - R\$ 95,00; fosfato natural de rocha - R\$ 60,00; calcário dolomítico - R\$ 12,00) faria a fertilização por hectare em espaçamentos 3 x 2 m, como o utilizado neste estudo, custar em torno de R\$ 695,00.

Segundo Abreu (2017), no início do ano de 2017 o descarte do biofertilizante no Centro de Tratamento de Resíduos de Seropédica, custava R\$ 160,00 por tonelada para materiais com umidade abaixo de 30%, sem incluir os gastos com o frete. Levando em conta que a produção de biofertilizante no Estado do Rio de Janeiro chega a 133.225 Mg/ano (PERS, 2014), somente os custos com o descarte no aterro girariam em torno de R\$ 21,3 milhões. Abreu (2017) explicita que o valor agregado do biofertilizante, considerando os teores nutricionais e de matéria orgânica do composto, ficaria em torno de R\$ 52 milhões. Devido a esses fatores, é urgente a implementação de políticas públicas para que esse material seja utilizado de forma mais nobre, de maneira que os nutrientes presentes na sua composição sejam reintroduzidos nos ciclos biogeoquímicos. Por ser um composto rico em matéria orgânica, o biofertilizante apresenta elevadas quantidades de carbono que poderiam estar retornando para os solos e sendo aproveitadas de melhor forma nos setores agrícola e florestal. Outro aspecto positivo é que, com o uso do biofertilizante, os agricultores e empresários do setor florestal estariam contribuindo para a redução do uso de fontes minerais que podem não ser renováveis, como o fósforo, que, segundo previsões, pode se esgotar nos próximos 50 a 130 anos, caso o atual ritmo de exploração se mantenha (TORRI et al., 2012).

## CONCLUSÃO

É recomendado para as espécies não pioneiras *Guarea guidonia* e *Cordia superba* a fertilização orgânica com o biofertilizante, indicando que essas espécies podem ser mais sensíveis às condições de solo. Para o *Inga edulis*, espécie pioneira, é recomendada a fertilização mineral, em condições semelhantes que o presente trabalho foi realizado.

A fertilização com o biofertilizante proporcionou os maiores teores de matéria orgânica no solo, sendo, por isso, recomendada para a conservação dos solos e a manutenção do carbono nos sistemas florestais.

Considerando os custos de transporte e deposição do biofertilizante em aterros sanitários, o crescimento das plantas arbóreas deste e de outros estudos e a melhora da fertilidade do solo, recomenda-se o uso de biofertilizante de lodo de esgoto como adubação de plantio para a formação de povoamentos com espécies de ocorrência na Mata Atlântica na recomposição da cobertura florestal deste bioma.

## REFERÊNCIAS

- ABREU, A. H. M. **Reciclagem agrícola e florestal de lodo de esgoto no estado do Rio de Janeiro**. 82f. Tese (Doutorado em Ciências Ambientais e Florestais), Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro: Seropédica, 2017.
- ABREU, A. H. M.; LELES, P. S. S.; ALONSO, J. M.; ABEL, E. L. S.; OLIVEIRA, R. R. Characterization of sewage sludge generated in Rio de Janeiro, Brazil, and perspectives for agricultural recycling. **Semina: Ciências Agrárias**, v.38, n.4, p. 1710-1718, 2017.
- ABREU, A. H. M.; ALONSO, J. M.; MELO, L. A.; LELES, P. S. S.; SANTOS, G. R. Caracterização de biossólido e potencial de uso na produção de mudas de *Schinus terebinthifolia* Raddi. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, v. 24, n. 3, p. 591-599, 2019.
- ALONSO, J. M. **Caracterização de biossólidos para produção de mudas de espécies arbóreas da Mata Atlântica**. 116f. Tese (Doutorado em Ciências Ambientais e Florestais) - Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro: Seropédica, 2018.
- AZEVEDO, A. D.; FRANCELINO, M. R.; PEREIRA, M. G.; LELES, P. S. S. Estoque de carbono em áreas de restauração florestal da Mata Atlântica. **Floresta**, v. 48, n. 2, p. 183-194, 2018.
- BERTOLAZI, K. B.; AFÁZ, D. C. S.; VIANI, R. A. G.; SOUZA, C. F. Viabilidade da aplicação de composto de lodo de esgoto no cultivo inicial de eucalipto. **Revista Ciência, Tecnologia & Ambiente**, v.4, n.1, p. 72-78, 2017.
- BORDRON, B.; ROBIN, A.; OLIVEIRA, I. R.; GUILLEMOT, J.; LACLAU, J. P.; JOURDAN, C.; PLASSARD, C. Fertilization increases the functional specialization of fine roots in deep soil layers for young *Eucalyptus grandis* trees. **Forest Ecology and Management**, v. 431 p. 6-16, 2019.
- BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. Conselho Nacional do Meio Ambiente. **Resolução – CONAMA. Resolução nº 498/2020**. Define critérios e procedimentos para produção e aplicação de biossólido em solos. Diário Oficial da República Federativa do Brasil, Brasília, n. 161, p. 265-273, 2020.
- CABREIRA, G. V.; LELES, P. S. S.; ARAÚJO, E. J. G.; SILVA, E. V.; LISBOA, A. C.; LOPES, L. N. Produção de mudas de *Schinus terebinthifolius* utilizando biossólido como substrato em diferentes recipientes e fertilizantes. **Scientia Agrária**, v. 18, n.2, p.30-42, 2017.
- CARVALHO, P. E. R. **Espécies arbóreas brasileiras**. Brasília: Embrapa Informação Tecnológica, 641p., 2003.
- COSCIONE, A. R.; SILVA, L. F. M.; MARIA, I. C.; ANDRADE, C. A.; FERRACINI, V. L. Solução do solo e análise de componentes principais para monitoramento da aplicação de lodo de esgoto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 38, n. 5, p. 1654-1662, 2014.
- DIAS, L. P. R.; GATIBONI, L. C.; BRUNETTO, G.; SIMONETE, M. A.; BICARATTO, B. Eficiência relativa de fosfatos naturais na adubação de plantio de mudas de *Eucalyptus dunnii* Maiden e *Eucalyptus benthamii* Maiden et cambage em solo sem e com calagem. **Ciência Florestal**, v. 25, n. 3 p. 37-48, 2015.

FERRAZ, A. V.; MOMENTEL, L. T.; POGGIANI, F. Soil fertility, growth and mineral nutrition in *Eucalyptus grandis* plantation fertilized with different kinds of sewage sludge. **New forests**, v. 47, n. 6, p. 861-876, 2016.

FERREIRA, E. B.; CAVALCANTI, P. P.; NOGUEIRA, D. A. **ExpDes.pt: Pacote Experimental Designs (Portuguese)**. R package version 1.2.0., 2018.

FURTINI NETO, A. E.; SIQUEIRA, J. O.; MOREIRA, F. M. S. Fertilização em reflorestamentos com espécies nativas. In: GONÇALVES, J. L. M.; BENEDETTI, V. **Nutrição e fertilização florestal**. Piracicaba: IPEF, 2000, p. 352 - 383.

GANDOLFI, S.; LEITÃO FILHO, H.F. & BEZERRA, C.L.F. Estudo florístico e caráter sucessional das espécies arbustivo-arbóreas de uma floresta mesófila semidecidual no município de Guarulhos, SP. **Revista Brasileira de Biologia**, v. 55, n. 4, p. 753-767, 1995.

GARLET, C.; SCHUMACHER, M. V.; DICK, G.; VIERA, M. Ciclagem de nutrientes em povoamento de *Eucalyptus dunnii* Maiden: produção de serapilheira e devolução de macronutrientes no bioma Pampa. **Revista Ecologia e Nutrição Florestal**, v. 7, p. 1-9, 2019.

GHAZY, M. DOCKHORN, T. DICHTL, N. Sewage Sludge Management in Egypt: Current Status and Perspectives towards a Sustainable Agricultural Use. **World Academy of Science Engineering and Technology**. v. 3, n. 9, p. 270-278, 2009.

HONGYU, K.; SANDANIELO, V. L. M.; OLIVEIRA JUNIOR, G. J. Análise de componentes principais: resumo teórico, aplicação e interpretação. **E&S Engineering and Science**, v. 5, n. 1, p. 83-90, 2016.

INEA – INSTITUTO ESTADUAL DO AMBIENTE. Resolução INEA nº 143, de 14/07/2017. **Diário Oficial do Estado do Rio de Janeiro**, Rio de Janeiro, RJ, 2017.

KEYS, K.; BURTON, D. L.; PRICE, G. W.; DUINKER, P. N. Forest floor chemistry and mineral soil ion exposure after surface application of alkaline-treated biosolids under two white spruce (*Picea glauca*) plantations in Nova Scotia, Canada. **Forest Ecology and Management**, v. 417, p. 208-221, 2018.

LE, S.; JOSSE, J.; HUSSON, F. FactoMineR: An R Package for Multivariate Analysis. **Journal of Statistical Software**, v. 25, n. 1, p. 1-18, 2008.

LIMA FILHO, P. **Biossólido na restauração florestal: produção de mudas e adubação de plantio**. 98 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Ambientais e Florestais), Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro: Seropédica, 2015.

LORENZI, H. Árvores brasileiras: **Manual de identificação e cultivo de plantas arbóreas nativas do Brasil**. v. 2, n. 1, ed. Nova Odessa: Instituto Plantarum, 368p., 2000.

LORENZI, H. Árvores brasileiras: **Manual de identificação e cultivo de plantas arbóreas nativas do Brasil**. v. 1, n. 1, ed. Nova Odessa: Instituto Plantarum, 368p., 1992.

MUNDT, F.; KASSAMBARA, A. **factoextra: Extract and Visualize the Results of Multivariate Data Analyses**. R package version 1.0.5., 2017.

MYERS, N.; MITTERMEIER, R. A.; MITTERMEIER, C. G.; DA FONSECA, G. A.; KENT, J. Biodiversity hotspots for conservation priorities. *Nature*, v. 403, n. 6772, p. 853-858, 2000.

**PLANO ESTADUAL DE RESÍDUOS SÓLIDOS DO RIO DE JANEIRO - PERS.**  
Rio de Janeiro: SEA / INEA, 2014. 137 p.

PORTZ, A.; RESENDE, A. S.; TEIXEIRA, A. J.; ABBOUD, A. C. S.; MARTINS, C. A. C.; CARVALHO, C. A. B.; LIMA, E.; ZONTA, E.; PEREIRA, J. B. A.; BALIEIRO, F. C.; ALMEIDA, J. C. C.; SOUZA, J. F.; GUERRA, J. G. M.; MACEDO, J. R.; SOUZA, J. N.; FREIRE, L. R.; VASCONCELOS, M. A. S.; LEAL, M. A. A.; FERREIRA, M. B. C.; MANHÃES, M.; GOUVEA, R. F.; BUSQUET, R. N. B.; BHERING, S. B. Recomendação de adubos, corretivos e de manejo da matéria orgânica para as principais culturas do Estado do Rio de Janeiro In: FREIRE, L. R.; BALIEIRO, F. C.; ZONTA, E.; ANJOS, L. H. C.; PEREIRA, M. G.; LIMA, E.; GUERRA, J. G. M.; FERREIRA, M. B. C.; LEAL, M. A. A.; CAMPOS, D. V. B.; POLIDORO, J. C. **Manual de calagem e adubação do Estado do Rio de Janeiro**. 2013, Brasília: EMBRAPA; Seropédica: UFRRJ, 2013, p. 257-414.

R CORE TEAM (2018). R: A language and environment for statistical computing. **R Foundation for Statistical Computing**, Vienna, Austria.

SCHEER, M. B.; CARNEIRO, C.; BRESSAN, O. A.; SANTOS, K. G. Crescimento inicial de quatro espécies florestais nativas em área degradada com diferentes níveis de calagem e de adubação. *Floresta*, v. 47, n. 3, p. 279-287, 2017.

Serviço Florestal Brasileiro. Inventário **Florestal Nacional: Rio de Janeiro: principais resultados**. Brasília, DF: MMA, 2018, 111p.

SILVA, M. V. **Uso de biossólido de lodo de esgoto em plantios de espécies da Mata Atlântica**. 40 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Ambientais e Florestais) - Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro: Seropédica, 2017.

TORRI, S. I.; CORRÊA, R. S.; RENELLA, G.; VADECANTOS, A.; PERELOMOV, L. Biosolids soil application: Why a new special on old issue? *Applied and Environmental Soil Science*, v. 2012, p. 1-3, 2012.

TRENTIN, B. E.; ESTEVAN, D. A.; ROSSETTO, E. F. S.; GORENSTEIN, M. R.; BRIZOLA, G. P.; BECHARA, F. C. RESTAURAÇÃO FLORESTAL NA MATA ATLÂNTICA: PASSIVA, NUCLEAÇÃO E PLANTIO DE ALTA DIVERSIDADE. *Ciência Florestal*, v. 28, n. 1, p. 160-174, 2018.

VIEIRA, A. V. G. **Biosolid in the composition of substrate for three urban afforestation species seedlings production**. 16f., Monografia (Conclusão do Curso de Engenharia Florestal). Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, 2018.

## **CAPÍTULO II**

### **BIOSSÓLIDO COMO ADUBAÇÃO DE PLANTIO DE *Guarea* *guidonia* E SEUS EFEITOS NA QUÍMICA DO SOLO**

## RESUMO

Biossólido é rico em matéria orgânica e nutrientes, sendo indicada a sua aplicação para a recuperação de áreas degradadas e perturbadas, é interessante conhecer sobre a dose mais adequada como adubação para as espécies arbóreas. Objetivou-se verificar o crescimento de *Guarea guidonia* em função da aplicação de doses crescentes de biossólido como adubação de plantio, e seus efeitos em Latossolo Vermelho Amarelo Distrófico típico, da camada de 0-60 cm. Utilizaram-se três doses de biossólido (1,5; 3,0 e 6,0 litros por vaso de 18 litros) e testemunha absoluta, com oito repetições, em delineamento inteiramente casualizado. Mudanças de *Guarea guidonia* foram plantadas nos vasos quando estavam com altura em torno de 25 cm. A espécie apresentou os maiores valores para as variáveis mensuradas com a maior dose de biossólido. Aumento da dose acarretou em melhoria das características químicas do solo, assim como o aumento teor de matéria orgânica. Recomenda-se a dose de 6,0 l de biossólido como adubação de plantio para *Guarea guidonia*, em solo semelhante ao que foi realizado o estudo.

**Palavras-chave:** fertilização orgânica, nutrição florestal, lodo de esgoto.

## ABSTRACT

Biosolid is rich in organic matter and nutrients, and its application is indicated for the recovery of degraded and disturbed areas, being interesting to know about the most suitable dose as fertilizer for tree species. The objective of this study was to verify the growth of *Guarea guidonia* as a function of the application of increasing doses of sewage sludge as planting fertilization, and its effects on a Latossolo Vermelho-Amarelo Distrófico típico, with a 0-60 cm layer. Three doses of sewage sludge (1.5, 3.0 and 6.0 liters per 18-liter vessel) and absolute control with eight replications were used in a completely randomized design. *Guarea guidonia* seedlings were planted in the pots when they were about 25 cm tall. The species presented the highest values for the variables measured with the highest biosolid dose. Increasing the dose resulted in improved soil chemical characteristics, as well as increased organic matter content. The dose of 6.0 l of biosolid is recommended as planting fertilization for *Guarea guidonia*, in soil similar to the study.

**Key-words:** organic fertilization, forest nutrition, sewage sludge.

## INTRODUÇÃO

A degradação dos ambientes naturais é uma realidade em todo o território nacional, seja pela herança de uma colônia extrativista, avanço da frente agrícola, expansão urbana ou conjunto destes fatores. Ademais, o contingente populacional é cada vez maior nos grandes centros urbanos, fato que gera consequências para os ecossistemas, devido a crescente produção de resíduos sólidos.

Entre os resíduos urbanos *in natura* que podem apresentar riscos à saúde humana e ao ambiente, encontram-se os esgotos, devido, principalmente, à presença de substâncias tóxicas, vírus e bactérias (BETTIOL & CAMARGO, 2006). Por isso, devem ser destinados às Estações de Tratamento de Esgoto (ETEs) para que após os processos de estabilização e higienização possam ser utilizados com segurança. Este material é rico em matéria orgânica, macro e micronutrientes (ABREU et al., 2017, 2019), surgindo assim uma alternativa ao seu uso como adubo de plantio e não só como condicionador de solos no setor florestal, visto que não ocorre consumo direto pelos humanos, apresentando-se como uma forma segura de reciclagem ao se utilizarem os devidos equipamentos de proteção individual para o seu manuseio.

A utilização do biossólido na área de implantação de povoamentos florestais é potencialmente viável e economicamente vantajosa, principalmente ao utilizá-lo em áreas perturbadas e degradadas, visto que o mesmo pode atuar como condicionador de solos, melhorando as características químicas e físicas do mesmo (GUERRINI et al., 2017; KEYS et al., 2018) e sem contaminação ao solo (CAMPOS et al., 2019; GOULART et al., 2019). Estas áreas apresentam geralmente baixos teores nutricionais e de matéria orgânica e são as declivosas, pois as áreas planas com melhor fertilidade são destinadas para agricultura e pecuária. Com isso, a utilização do biossólido nestas áreas mostra-se uma alternativa exequível em auxiliar no crescimento das plantas arbóreas (LIMA FILHO, 2015; SILVA, 2017) e para a recuperação dos solos, conciliando duas demandas: a reciclagem dos nutrientes presentes no material, reduzindo a pressão sobre os aterros sanitários, e a recuperação de áreas degradadas. Todavia, só devem ser utilizados os compostos que se enquadrem nas características exigidas pela Resolução nº 498 de 2020 do Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA).

Entre as espécies comumente utilizadas para formação de povoamentos visando restauração da Mata Atlântica encontra-se *Guarea guidonia* (L.) Sleumer, conhecida vulgarmente como carrapeta. É considerada espécie não pioneira (GANDOLFI et al., 1995) que apresenta frutos, em geral, bastante apreciados pela fauna, característica de grande relevância por beneficiar no processo de disseminação da espécie, favorecendo a instalação dos povoamentos florestais.

O objetivo deste trabalho é avaliar o efeito doses de biossólido como adubação para o crescimento de *Guarea guidonia* (L.) Sleumer, e como condicionador para as características químicas do solo.

## MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi instalado e conduzido a pleno sol, em região de clima do tipo Aw (tropical com invernos secos e verões chuvosos), segundo a classificação de Köppen-Geiger (1948). Os dados da Estação Meteorológica Automática (Ecologia Agrícola) instalada no município de Seropédica/RJ indicam que no período de dezembro de 2017 a outubro de 2018 (duração do experimento) a precipitação pluviométrica acumulada foi de 847 mm, sendo os meses mais chuvosos janeiro, março e fevereiro (272; 113,2 e 102,4 mm, respectivamente), e os meses menos chuvosos foram outubro, junho e julho (24,4; 32,2 e 33 mm, respectivamente). As temperaturas médias mensais variaram de 20,2 °C a 27,3 °C, sendo que janeiro a março foram em

média mais quentes (temperatura máximas chegando a 40 °C) e julho e agosto os meses considerados frios (temperatura mínima de 12 °C).

O solo utilizado foi coletado em morro com forma côncava, sendo retirada a camada de 0-60 cm de profundidade no terço inferior da encosta. Foi classificado como Latossolo Vermelho-Amarelo Distrófico típico, composto por 35 % argila, 16 % silte e 49 % areia, textura franco-argilo-arenosa.

Para a definição dos tratamentos, foi utilizada como base a análise química do solo (Tabela 6) e análise química do bio sólido (Tabela 7), que passou pelos processos de: estabilização apresentando tratamento primário convencional, tratamento secundário (lodos ativados), adensamento de lodo secundário (centrífuga), estabilização do lodo (biológica anaeróbia), desidratação (leito de secagem) e destinação final. Com base nessas informações e experiência da equipe, foi adotada como padrão a dose de 3 litros de bio sólido por vaso de capacidade volumétrica de 18 litros (dimensões de diâmetro superior de 30 cm, inferior de 25 cm e altura de 28 cm). Esta quantidade corresponde à metade do P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> recomendado por Portz et al. (2013) para o gênero do *Eucalyptus*, cultura mais estudada da área florestal, em condições de solo similares ao da Tabela 6. As espécies deste gênero apresentam ritmo de crescimento mais acelerado quando comparadas as espécies arbóreas da Mata Atlântica, por isso se utilizou a metade da dose recomendada. Sendo assim, as outras doses corresponderam a metade e o dobro da dose padrão adotada, respectivamente 1,5 e 6,0 litros de bio sólido por vaso. Também foi utilizado tratamento testemunha (sem adubação). Dessa forma, os tratamentos foram testemunha; 1,5; 3,0 e 6,0 litros de bio sólido por vaso.

Tabela 6: Análise química do solo utilizado para o preenchimento dos vasos (0-30 cm de profundidade)

| pH               | P                               | K <sup>+</sup> | Ca <sup>2+</sup>                                | Mg <sup>2+</sup> | Al <sup>3+</sup> | H+Al | MO                   | V    |
|------------------|---------------------------------|----------------|---|------------------|------------------|------|----------------------|------|
| H <sub>2</sub> O | ----- mg.dm <sup>-3</sup> ----- |                | ----- cmol <sub>c</sub> .dm <sup>-3</sup> ----- |                  |                  |      | dag.kg <sup>-1</sup> | %    |
| 4,9              | 2,7                             | 23,4           | 0,12  | 0,09             | 1,1              | 5,95 | 2,5                  | 4,36 |

pH em água – relação 1:2,5; P e K: extrator Mehlich 1; Ca, Mg e Al: extrator de KCl 1,0M; H+Al: acetato de cálcio; C. Org: Walkley-Black; MO = COrg x 1,724. Em que: H+Al acidez potencial; MO matéria orgânica; V índice de saturação por bases

Tabela 7: Análise química do bio sólido (amostra base seca), utilizado como fertilizante no crescimento das espécies arbóreas

| pH               | N                             | P   | K   | Ca   | Mg  | S   | C                    | MO                  | B   |
|------------------|-------------------------------|-----|-----|------|-----|-----|----------------------|---------------------|-----|
| H <sub>2</sub> O | -----g.kg <sup>-1</sup> ----- |     |     |      |     |     | dag.kg <sup>-1</sup> | mg.kg <sup>-1</sup> |     |
| 5,6              | 17,8                          | 8,1 | 1,9 | 16,4 | 2,9 | 8,1 | 147,5                | 25,43               | 9,7 |

pH em água – Relação 1:2,5; Teores Totais, determinados no extrato ácido (ácido nítrico com ácido perclórico); N – Método Kjeldahl; C - Método Walkley – Black; MO = COrg x 1,724; MO = matéria orgânica

A Tabela 8 apresenta os teores de metais pesados presentes no bio sólido, mostrando que se encontram abaixo do limite determinado pelo Conselho Nacional do Meio Ambiente (Resolução CONAMA n° 498/2020), que define critérios e procedimentos para produção e aplicação de bio sólido em solos.

Tabela 8: Teores totais de metais pesados (mg/kg) presentes no biossólido (amostra base seca) utilizado como fertilizante no crescimento das espécies arbóreas

| As     | Ba    | Cd  | Pb   | Cu    | Cr    | Ni    | Zn    |
|--------|-------|-----|------|-------|-------|-------|-------|
| <0,011 | 178,6 | 1,2 | 54,8 | 182   | 45,2  | 156,8 | 907,6 |
| 41*    | 1300* | 39* | 300* | 1500* | 1000* | 420*  | 2800* |

Teores Totais, determinados no extrato ácido (ácido nítrico com ácido perclórico). \*Valores limites aceitáveis constados na resolução nº 498 de 2020 do Conselho Nacional do Meio Ambiente

Inicialmente, no fundo dos vasos foi colocada camada de brita (1,5 cm) para ajudar na drenagem. As doses de biossólido foram misturadas ao solo e, em seguida, os vasos foram preenchidos com a mistura solo-biossólido. Para testemunha absoluta, os vasos foram preenchidos apenas com o solo. Mudanças de *Guarea guidonia* foram produzidas em tubetes de 280 cm<sup>3</sup> e o substrato utilizado foi formado por 80% de biossólido e 20% de vermiculita. Quando as mudas estavam dentro dos padrões indicados por Souza Junior e Brancalion (2015) e rustificadas, foram transplantadas para os vasos, e neste momento apresentavam altura média da parte aérea de 25 cm, as plantas médias foram selecionadas para o experimento, não utilizando assim as que apresentaram menor e maior crescimento.

O experimento foi instalado em delineamento inteiramente casualizado, composto por quatro tratamentos e oito repetições (de única planta), totalizando 32 vasos. Para evitar a mortalidade e perda de repetições, o solo dos vasos foi irrigado quando ocorria o início de murcha das folhas, colocando aproximadamente 2 litros de água por vaso, buscando aproximar ao máximo as condições de campo. Quando necessário, foram retiradas as plantas espontâneas, para evitar as interferências da competição.

Para avaliar o crescimento ao longo do tempo em função das doses, mensurou-se bimestralmente até o décimo mês a altura da parte aérea (Ht) e o diâmetro do coleto (Dc). Com estes dados foram estimadas equações de crescimento destas características, produzidas em cada dose de biossólido e da testemunha (tratamentos) em função do tempo.

Nos casos em que um mesmo modelo de regressão foi selecionado para altura e diâmetro em função dos tratamentos ao longo do tempo, foi aplicado o teste de identidade de Graybill (2000). Este permitiu verificar a possibilidade de equações distintas apresentarem os mesmos efeitos ao longo do tempo para os tratamentos.

Após a última avaliação de Ht e Dc (10 meses após o transplante), todas as plantas foram cortadas para coleta de folhas e determinação da área foliar, utilizando medidor de bancada LI-COR 3100. Em seguida, coletou-se também o caule, e o sistema radicular foi lavado em água corrente e colocado para secar a sombra durante três dias em bancada do laboratório. De cada planta, caule e folhas foram colocados juntos em sacos papel e em outros o sistema radicular, que foram levados para estufa a 65 °C, até atingir peso constante. Após secagem, o material foi pesado e determinou-se a massa de matéria seca da parte aérea e do sistema radicular.

Para avaliar o efeito das doses no solo foram retiradas amostras, camada da superfície a 20 cm, dos vasos aos cinco meses (metade da duração do experimento), para realização de análises químicas, sendo 4 amostras por tratamento, totalizando 16 amostras. Realizou-se análise e determinação de pH, fósforo, potássio, cálcio, magnésio, alumínio, H+Al, índice de saturação por alumínio (m), índice de saturação por bases (V), soma de bases (SB) e matéria orgânica (MO).

A fim de indicar a dose dentre as avaliadas, que proporcionasse o melhor crescimento dos indivíduos e melhoria das características químicas do solo, procedeu-se análise de componentes principais (ACP), utilizando-se as 16 variáveis mensuradas de crescimento e determinadas do solo. Os dados da matriz foram relativizados, visando proporcionar a mesma importância para todas as variáveis utilizadas. Não foi detectada a presença de *outliers* adotando o valor de desvio padrão como 2,5. Utilizou-se o software estatístico R versão 3.5.1 (R CORE TEAM, 2018), e os pacotes FactoMineR (LE et al., 2008) e factoextra (MUNDT, 2017).

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

Em média, as plantas cultivadas no tratamento contendo 6 litros de biofósforo apresentaram os maiores valores para maioria das variáveis de crescimento e química do solo (**Tabela 9**) e também apresentou a maior variabilidade dos dados. A testemunha apresentou os menores valores médios para a maioria das variáveis mensuradas. Apesar de terem sido utilizadas 8 repetições por planta, a alta variabilidade dos dados indica que é necessário o aumento do número de repetições para que a variabilidade possa ser reduzida, considerando que os indivíduos utilizados não passaram por nenhum processo de melhoramento genético.

Tabela 9: Média e desvio padrão das variáveis de crescimento (10 meses após plantio) de *Guarea guidonia* e química do solo (3 meses após plantio), sob diferentes tratamentos de fertilização

| Variável                                   | Testemunha  | 1,5 l biofósforo | 3 l biofósforo | 6 l biofósforo |
|--|-------------|------------------|----------------|----------------|
| Altura (cm)                                | 45,2 ± 7,0  | 60,1 ± 7,9       | 56,3 ± 15,1    | 68,8 ± 14,7    |
| Diâmetro (mm)                              | 13,4 ± 1,5  | 13,8 ± 2,6       | 15,1 ± 2,6     | 16,7 ± 2,1     |
| Área foliar (cm <sup>2</sup> )             | 832 ± 186   | 1189 ± 347       | 1781 ± 703     | 2088 ± 578     |
| MSPA (g)                                   | 19,5 ± 4,4  | 29,8 ± 14,4      | 38,3 ± 18,7    | 50,1 ± 18,8    |
| MSR (g)                                    | 17,4 ± 8,8  | 20,4 ± 9,4       | 22,1 ± 9,4     | 33,1 ± 10,1    |
| pH(unid)                                   | 4,7 ± 0,1   | 4,8 ± 0,2        | 4,6 ± 0,1      | 4,8 ± 0,3      |
| P (mg.L <sup>-1</sup> )                    | 2 ± 0,1     | 39 ± 10          | 82 ± 8         | 140 ± 4        |
| K <sup>+</sup> (mg.L <sup>-1</sup> )       | 118 ± 32    | 136 ± 32         | 114 ± 13       | 100 ± 32       |
| Ca <sup>2+</sup> (cmolc.dm <sup>-3</sup> ) | 0,40 ± 0,11 | 1,38 ± 0,12      | 2,05 ± 0,43    | 3,80 ± 0,20    |
| Mg <sup>2+</sup> (cmolc.dm <sup>-3</sup> ) | 0,17 ± 0,05 | 0,35 ± 0,10      | 0,32 ± 0,05    | 0,40 ± 0,08    |
| Al <sup>3+</sup> (cmolc.dm <sup>-3</sup> ) | 0,52 ± 0,08 | 0,35 ± 0,12      | 0,47 ± 0,09    | 0,25 ± 0,09    |
| H+Al (cmolc.dm <sup>-3</sup> )             | 3,59 ± 0,28 | 4,16 ± 0,49      | 4,74 ± 0,08    | 5,90 ± 0,77    |
| S (cmolc.dm <sup>-3</sup> )                | 0,88 ± 0,18 | 2,07 ± 0,27      | 2,66 ± 0,45    | 4,45 ± 0,27    |
| V (%)                                      | 19,7 ± 4,2  | 33,3 ± 4,8       | 35,8 ± 3,6     | 43,2 ± 4,3     |
| m (%)                                      | 48,1 ± 6,2  | 14,8 ± 6,2       | 15,1 ± 2,0     | 4,9 ± 2,1      |
| MO (dag.kg <sup>-1</sup> )                 | 1,68 ± 0,05 | 2,18 ± 0,08      | 2,78 ± 0,11    | 4,03 ± 0,50    |

pH em água – relação 1:2,5; P e K: extrator Mehlich 1; Ca, Mg e Al: extrator de KCl 1,0M; H+Al: acetato de cálcio; C. Org: Walkley-Black; MO = C<sub>Org</sub> x 1,724. Em que: MSPA = massa de matéria seca de parte aérea; MSR = massa de matéria seca de raízes; H+Al = acidez potencial; MO = matéria orgânica; S = soma de bases; V = índice de saturação por bases; m = índice de saturação por alumínio

Constata-se, pela **Figura 4**, que as plantas apresentaram comportamento de crescimento linear da altura da parte aérea – Ht e do diâmetro do coleto - DC ao longo do tempo. Para Ht a partir do quarto mês a dose de 6,0 L começou a se distanciar dos

outros tratamentos, principalmente testemunha, as quais diferiram significativamente ao serem submetidas ao teste de identidade de modelos ao nível de 10% de significância, explicitando que esta dose, em média, proporcionou maior arranque das plantas *Guarea guidonia*. Observa-se também que as doses de 1,5 e 3,0 L apresentaram comportamento semelhante ao longo do tempo e que, em média, as plantas crescendo nestas duas doses não diferiram significativamente da testemunha. Em relação ao DC, observa-se que em torno de seis meses após o plantio nos vasos, as plantas cultivadas da dose de 6,0 L começam, em média, a distanciar das outras doses utilizadas, acentuando gradativamente esta distância entre as curvas até o último mês de avaliação. As plantas cultivadas nas outras duas doses e testemunha não apresentam este distanciamento, comportaram-se de forma semelhante ao longo do tempo para esta variável. Não ocorreu diferença significativa entre as doses e a testemunha para o diâmetro do coleto em relação ao crescimento ao longo do tempo.

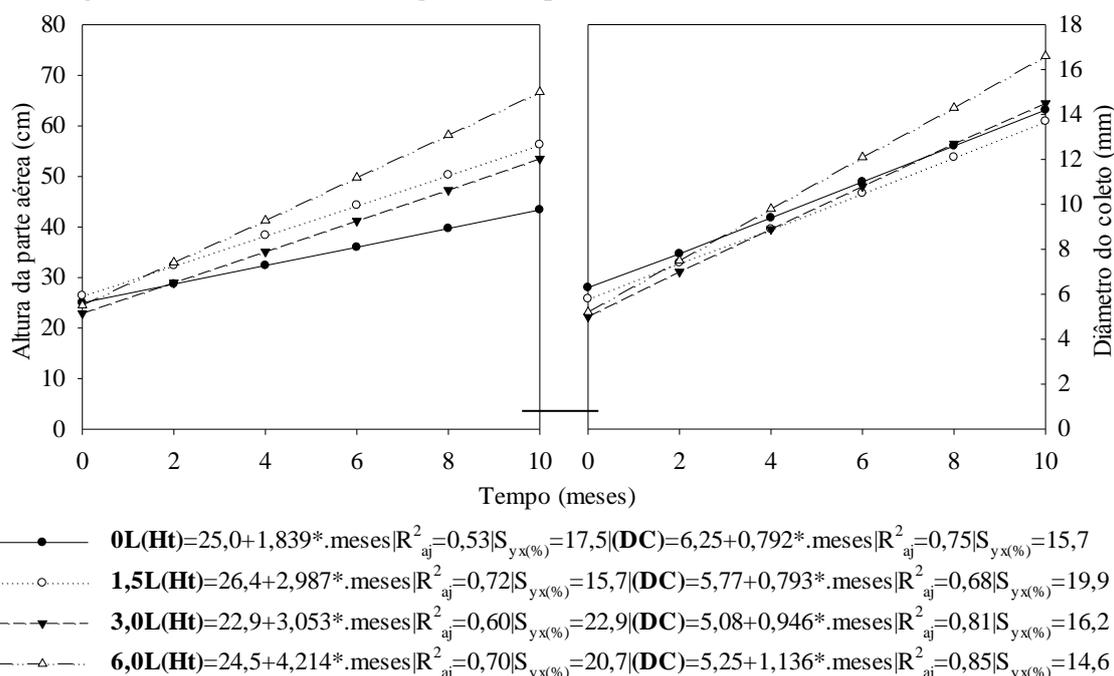


Figura 4: Comportamento de plantas de *Guarea guidonia* sob tratamentos de fertilização ao longo do tempo, cultivadas em vasos de 18 litros.  $R^2_{aj}$  = coeficiente de determinação ajustado;  $S_{yx(\%)}$  = erro padrão da estimativa. \*significativo a 1% de probabilidade pela estatística t.

Ao trabalhar com doses crescentes de biofósforo (0,8; 1,6; 3,2 e 6,4 L) em vasos de 18 litros – mesma dimensão deste trabalho e solo semelhante, Lima Filho (2015) observou que a partir dos três meses após o transplante para as plantas da espécie *Ceiba speciosa* (A.St.-Hil.) Ravenna, ocorreu um distanciamento das curvas de crescimento em função do tempo, tanto para altura quanto para diâmetro das plantas, mesmo ao aplicar a menor dose (0,8 l). Observou também que a menor dose promoveu maior taxa de crescimento plantas ao longo do tempo, ao comparar com a testemunha e aplicação de 178 g planta<sup>-1</sup> de superfosfato simples, explicitando que os nutrientes e matéria orgânica contidos no material proporcionam grande potencial ao uso do biofósforo como adubo além de condicionador de solos. Resultados de Lima Filho (2015) e deste trabalho mostram que as espécies arbóreas respondem de maneira diferente a adubação com biofósforo.

Verifica-se pela Figura 5 que houve a individualização dos tratamentos entre si, por meio da relação entre os componentes principais dos eixos 1 e 2, ocorrendo a

separação em três grupos distintos. As plantas do tratamento testemunha alinharam-se à esquerda, enquanto as do tratamento 6,0 L à direita, e as dos vasos com 1,5 e 3,0 L agrupados no centro. Ou seja, considerando conjunto de 16 características (envolvendo as de crescimento das plantas aos 10 meses e solo aos cinco meses após o plantio), as doses intermediárias não diferiram entre si em relação às características mensuradas, mas diferiram da testemunha e a maior dose. Coscione et al. (2014) ao trabalhar com monitoramento do solo em povoamentos submetidos a sete anos com aplicações sucessivas de doses de lodo de esgoto e adubação mineral, após 46 meses da última aplicação, explicitaram por meio da análise de componentes principais (ACP) que para os nutrientes presentes na solução do solo ocorreu a divisão em três grupos distintos: dose de 1 L, 2 L e adubação mineral (sulfato de amônio no plantio e ureia em cobertura), respectivamente. Os autores concluíram que foi possível por meio da ACP distinguir as áreas em função da fertilização adotada, mostrando que ACP pode ser boa ferramenta para os estudos com adubação.

A fim de avaliar de forma conjunta as variáveis estudadas em função das doses, observa-se ainda pela **Figura 5**, pelos resultados obtidos na ACP, que os dois primeiros eixos comportam efetivamente um resumo da variabilidade total no conjunto de dados. O eixo 1 é altamente explicativo, e ocorre um grande decréscimo da proporção de variabilidade explicada no eixo 2. Tais eixos são responsáveis por explicar aproximadamente 83% da variabilidade total para as características inerentes a planta e solo, o que é considerado por Jolliffe (2002) como bom indicador. Para a determinação do número de eixos a se utilizar na análise, recomenda-se a escolha dos eixos que tenham autovalores  $> 1$  (FRAGA et al., 2016), assim como ocorreu para os dois primeiros.

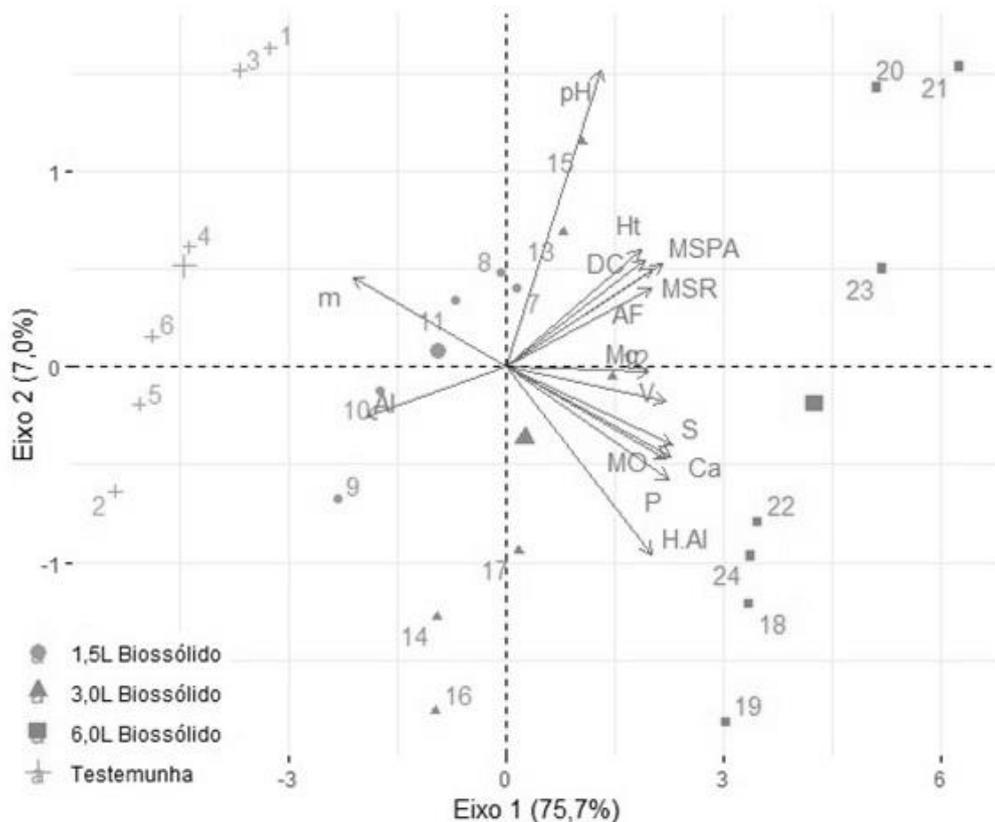


Figura 5: Análise de componentes principais. Ht – altura total; DC – diâmetro do coleto; MSPA – massa seca de parte aérea; MSR – massa seca de raízes; AF – área foliar; macronutrientes; S – soma de bases; V – índice de saturação por bases; m – índice de saturação por alumínio; MO – matéria orgânica.

Os indivíduos cultivados nos vasos com a dose de 6,0 l de biossólido apresentaram os melhores valores para a maioria das características de crescimento das plantas, avaliadas aos 10 meses e solo determinadas aos cinco meses após o início do experimento – plantio das mudas nos vasos (Figura 4 - análise de regressão; Figura 5 - ACP), demonstrando que dose de 6,0 L por vaso, implicou em aumento do crescimento das plantas e melhoria nas características químicas do solo. Os resultados apresentados nas Figuras 4 e 5 indicam que as doses de 1,5 e 3 litros de biossólido por vaso, usando o solo do trabalho, proporcionaram crescimento relativamente pequeno às plantas de *Guarea guidonia* até 10 meses após o plantio. Lima Filho (2015) definiu que a melhor dose aproximada para o crescimento de *Ceiba speciosa* ficou entre 3,9 e 4,2 l por cova, usando solo semelhante ao deste trabalho. Este autor observou que o aumento até a dose máxima de 6,4 l de biossólido por vaso ocasionou decréscimo no crescimento destes indivíduos, explicitando possível relação de toxicidade em função do aumento da disponibilidade de nutrientes presentes no substrato. Este comportamento diferenciado das espécies florestais nativas, que não passaram por nenhum tipo de melhoramento genético, evidencia a necessidade dos estudos acerca da nutrição (SCHEER et al., 2017), objetivando maximizar os efeitos positivos e minimizar os negativos envolvidos na fertilização florestal.

O biossólido utilizado apresenta quantidades consideráveis de nutrientes e matéria orgânica (Tabela 7), principalmente nitrogênio, cálcio, fósforo e enxofre, que neste caso apresentam-se em maiores quantidades, além de outros macro e micronutrientes, como também utilizados por Abreu et al. (2017, 2019), que provêm da mesma estação de tratamento de esgoto, mas de lotes (épocas) diferentes. Os nutrientes presentes no mesmo encontram-se em sua maioria na forma orgânica (BONINI et al., 2015; ABREU et al., 2019), o que possibilita a liberação de forma mais gradativa ao longo do tempo, podendo assim evitar perdas em comparação com a fertilização mineral (CAMPOS et al., 2019) e proporcionar aumento no crescimento dos vegetais, além de gerar melhorias nas características químicas e físicas do solo.

Adubando com biossólido, por ser material orgânico, parte do fósforo fica disponível para os vegetais logo nos primeiros meses, aumentando a viabilidade técnica do biossólido como adubo de plantio (ABREU et al., 2019), visto que este nutriente é essencial desde a fase inicial de crescimento (FURTINI NETO et al., 2002). Para cálcio, magnésio e matéria orgânica observa-se que estes se encontram inicialmente pouco presentes no solo, e ao aumentar as doses de biossólido acarreta aumento deles, que são essenciais para o crescimento das plantas e manutenção das vias de ciclagem (VIEIRA e WEBER, 2017; GARLET et al., 2019).

Observa-se também pela **Figura 5**, que o aumento da dose de biossólido decresce a concentração de alumínio no solo, conforme também observado no trabalho de Lima Filho (2015). Esta diminuição da concentração de alumínio, que em altos valores podem ser tóxico as plantas (CAMPOS et al., 2013), proporcionou aumento em quase todas as variáveis de crescimento mensuradas das plantas *Guarea guidonia*. O teor de alumínio presente no solo (**Tabela 6**) é segundo Freire et al. (2013), cerca de três vezes maior que o recomendado para as culturas agrícolas. Tal fato corrobora que a matéria orgânica presente nas doses do biossólido utilizado é capaz de neutralizar e precipitar este alumínio tóxico. Esta redução ocorre, segundo Stevenson (1986), devido à ocupação de sítios ativos e ação de ácidos orgânicos de alto peso molecular.

Na **Figura 5**, vetores apontados em sentidos opostos apresentam correlação negativa, de forma que ao aumentar a unidade de um reduz a do outro. Exemplo desta situação, observa-se para o Al e as variáveis inerentes ao crescimento da planta (**Figura 5**), o nutriente que apresentou maior correlação positiva com estas foi o Mg. Neves et al.

(2016) ao trabalhar com espécies arbóreas nativas explicitaram por meio da ACP que os nutrientes Ca e Mg apresentaram uma alta correlação com a variável altura, de forma que alterações nas quantidades destes nutrientes afetam diretamente o crescimento da planta, corroborando o resultado encontrado no presente estudo.

## CONCLUSÃO

Para solos semelhantes ao utilizado neste trabalho, dentre as doses utilizadas 6 litros de bio sólido por cova é recomendado como adubação de plantio na implantação de povoamentos florestais com *Guarea guidonia* e para a melhoria das características químicas do solo.

## REFERÊNCIAS

- ABREU, A. H. M., LELES, P. S. S.; ALONSO, J. M.; ABEL, E. L. S.; OLIVEIRA, R. R. Characterization of sewage sludge generated in Rio de Janeiro, Brazil, and perspectives for agricultural recycling. **Semina: Ciências Agrárias**, v.38, n.4, p. 1710-1718, 2017.
- ABREU, A. H. M.; ALONSO, J. M.; MELO, L. A.; LELES, P. S. S.; SANTOS, G. R. Caracterização de bio sólido e potencial de uso na produção de mudas de *Schinus terebinthifolia* Raddi. **Engenharia Sanitaria e Ambiental**, v. 24, n. 3, p. 591-599, 2019.
- BETTIOL, W.; CAMARGO, O. de. **Lodo de esgoto: Impactos ambientais na agricultura**. Jaguariuna: Embrapa Meio Ambiente, 2006. 349 p.
- BONINI, C.S.B.; ALVES, M.C.; MONTANARI, R. Lodo de Esgoto e Adubação Mineral na Recuperação de Atributos Químicos de Solo Degradado. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 19, n. 4, p. 388-393. 2015.
- BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. Conselho Nacional do Meio Ambiente. **Resolução – CONAMA. Resolução nº 498/2020**. Define critérios e procedimentos para produção e aplicação de bio sólido em solos. Diário Oficial da República Federativa do Brasil, Brasília, n. 161, p. 265-273, 2020.
- CAMPOS, D. V. B.; FREIRE, L. R.; ZONTA, E.; EIRA, P. A.; DUQUE, F. F.; DEPOLLI, H.; SOUTO, S. M.; SANTOS, G. A.; ANJOS, L. H. C. Adubos e corretivos. In: FREIRE, L. R.; BALIEIRO, F. C.; ZONTA, E.; ANJOS, L. H. C.; PEREIRA, M. G.; LIMA, E.; GUERRA, J. G. M.; FERREIRA, M. B. C.; LEAL, M. A. A.; CAMPOS, D. V. B.; POLIDORO, J. C. **Manual de calagem e adubação do Estado do Rio de Janeiro**. 2013, Brasília: EMBRAPA; Seropédica: UFRRJ, p. 107-130.
- CAMPOS, T.; CHAER, G.; LELES, P. S.; SILVA, M.; SANTOS, F. Leaching of heavy metals in soils conditioned with biosolids from sewage sludge. **Floresta e Ambiente**, v. 26, p. 1-10, 2019.
- COSCIONE, A. R.; SILVA, L. F. M.; MARIA, I. C.; ANDRADE, C. A.; FERRACINI, V. L. Solução do solo e análise de componentes principais para monitoramento da aplicação de lodo de esgoto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 38, n. 5, p. 1654-1662, 2014.
- FRAGA, A.B.; SILVA, F.L.; HONGYU, K.; SANTOS, D.D.S.; MURPHY, T.W.; LOPES, F.B. Multivariate analysis to evaluate genetic groups and production traits of crossbred Holstein × Zebu cows. **Tropical Animal Health and Production**, v. 48, p. 533-538. 2016.

FREIRE, L. R. RECOMENDAÇÕES GERAIS. IN: FREIRE, L. R.; BALIEIRO, F. C.; ZONTA, E.; ANJOS, L. H. C.; PEREIRA, M. G.; LIMA, E.; GUERRA, J. G. M.; FERREIRA, M. B. C.; LEAL, M. A. A.; CAMPOS, D. V. B.; POLIDORO, J. C. **Manual de calagem e adubação do Estado do Rio de Janeiro**. 2013, Brasília: EMBRAPA; Seropédica: UFRRJ, p. 243-256.

GANDOLFI, S.; LEITÃO FILHO, H.F. & BEZERRA, C.L.F. Estudo florístico e caráter sucessional das espécies arbustivo-arbóreas de uma floresta mesófila semidecidual no município de Guarulhos, SP. **Revista Brasileira de Biologia**, v. 55, n. 4, p. 753-767, 1995.

GARLET, C.; SCHUMACHER, M. V.; DICK, G.; VIERA, M. Ciclagem de nutrientes em povoamento de *Eucalyptus dunnii* Maiden: produção de serapilheira e devolução de macronutrientes no bioma Pampa. **Revista Ecologia e Nutrição Florestal**, v. 7, p. 1-9, 2019.

GOULART, L. M. L.; DE FARIA, M. F.; SPADA, G.; SILVA, T. T. S.; GUERRINI, I. A. Micronutrient Contents in the Profile of a Recovered Soil with Sewage Sludge and Native Species of Atlantic Forest. **Floresta**, v. 49, n. 3, p. 485-492, 2019.

GRAYBILL, F. A. **Theory and application of the linear model**. Belmont: Duxbury, 2000. 704p.

GUERRINI, I. A.; CROCE, C. G. G.; BUENO, O. C.; JACON, C. P. R. P.; NOGUEIRA, T. A. R.; FERNANDES, D. M.; GANGA, A.; CAPRA, G. F. Composted sewage sludge and steel mill slag as potential amendments for urban soils involved in afforestation programs. **Urban forestry & urban greening**, v. 22, p. 93-104, 2017.

HONGYU, K.; SANDANIELO, V. L. M.; OLIVEIRA JUNIOR, G. J. Análise de componentes principais: resumo teórico, aplicação e interpretação. **E&S Engineering and Science**, v. 5, n. 1, p. 83-90, 2016.

JOLLIFFE, I. T. **Principal component analysis**. 2th ed. New York: Springer Verlag, 2002. 487p.

KEYS, K.; BURTON, D. L.; PRICE, G. W.; DUINKER, P. N. Forest floor chemistry and mineral soil ion exposure after surface application of alkaline-treated biosolids under two white spruce (*Picea glauca*) plantations in Nova Scotia, Canada. **Forest Ecology and Management**, v. 417, p. 208-221, 2018.

LE, S.; JOSSE, J.; HUSSON, F. FactoMineR: An R Package for Multivariate Analysis. **Journal of Statistical Software**, v. 25, n. 1, p. 1-18, 2008.

LIMA FILHO, P. **Biossólido na restauração florestal: produção de mudas e adubação de plantio**. 2015. 98 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Ambientais e Florestais) - Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro: Seropédica 2015.

MUNDT, F.; KASSAMBARA, A. **factoextra: Extract and Visualize the Results of Multivariate Data Analyses**. R package version 1.0.5., 2017.

NEVES, P. A. P. F. G.; PAULA, M. T.; AMARANTE, C. B.; CARNEIRO, B. S.; FAIAL, K. C. F.; MENDES, L. C. S.; BOTERO, W. G.; SERRÃO, C. R. G.; FILHO, H. A. D. Determinação de Metais em Espécies Florestais da Amazônia. **Revista Virtual de Química**, v. 8, n. 5, p. 1404-1420, 2016.

PAIVA, A.V.; POGGIANI, F.; GONÇALVES, J.L.M.; FERRAZ, A.V. Crescimento de mudas de espécies arbóreas nativas, adubadas com diferentes doses de lodo de esgoto seco e com fertilização mineral. **Scientia Forestalis**. v. 37, n. 84, p. 499-511, 2009.

PORTZ, A.; RESENDE, A. S.; TEIXEIRA, A. J.; ABBOUD, A. C. S.; MARTINS, C. A. C.; CARVALHO, C. A. B.; LIMA, E.; ZONTA, E.; PEREIRA, J. B. A.; BALIEIRO, F. C.; ALMEIDA, J. C. C.; SOUZA, J. F.; GUERRA, J. G. M.; MACEDO, J. R.; SOUZA, J. N.; FREIRE, L. R.; VASCONCELOS, M. A. S.; LEAL, M. A. A.; FERREIRA, M. B. C.; MANHÃES, M.; GOUVEA, R. F.; BUSQUET, R. N. B.; BHERING, S. B. Recomendação de adubos, corretivos e de manejo da matéria orgânica para as principais culturas do Estado do Rio de Janeiro In: FREIRE, L. R.; BALIEIRO, F. C.; ZONTA, E.; ANJOS, L. H. C.; PEREIRA, M. G.; LIMA, E.; GUERRA, J. G. M.; FERREIRA, M. B. C.; LEAL, M. A. A.; CAMPOS, D. V. B.; POLIDORO, J. C. **Manual de calagem e adubação do Estado do Rio de Janeiro**. 2013, Brasília: EMBRAPA; Seropédica: UFRRJ, p. 257-414.

R CORE TEAM (2018). R: A language and environment for statistical computing. **R Foundation for Statistical Computing**, Vienna, Austria.

SCHEER, M. B.; CARNEIRO, C.; BRESSAN, O. A.; SANTOS, K. G. Crescimento inicial de quatro espécies florestais nativas em área degradada com diferentes níveis de calagem e de adubação. **Floresta**, v. 47, n. 3, p. 279-287, 2017.

SOUZA JUNIOR, C.N.; BRANCALION, P.H.S. **Sementes e mudas: guia para propagação de árvores brasileiras**. São Paulo: Oficina de Textos, 2016, 463p.

STEVENSON, F. J. **Cycles of carbon, nitrogen, phosphorus, sulphur, micronutrients**. New York: John Wiley & Sons, 1986.

VIEIRA, C. R.; WEBER, O. L. S. Fertilização mineral e calagem no crescimento de mudas de *Eucalyptus camaldulensis*. **Revista Ecologia e Nutrição Florestal**, v. 5, n. 2, p. 45-52, 2017.

## **CAPÍTULO III**

### **BIOSSÓLIDO E FERTILIZANTES MINERAIS NO CRESCIMENTO E NUTRIÇÃO DE *Lafoensia glyptocarpa* E OS EFEITOS NA QUÍMICA DO SOLO**

## RESUMO

Para a formação de povoamentos florestais com espécies nativas, comumente são utilizados adubos minerais como fonte de nutrientes. Uma alternativa a esta prática é a adubação com compostos ricos em matéria orgânica, como é o caso do biossólido. Objetivou-se avaliar o crescimento de *Lafoensia glyptocarpa*, em relação à adubação de plantio, em condições de vasos, utilizando doses crescentes de biossólido e verificar a melhor dose de biossólido comparando com adubações minerais no crescimento e nutrição de *Lafoensia glyptocarpa*, e seus efeitos na química do solo. Foi conduzido experimento com vasos de 18 l de capacidade, utilizando LATOSSOLO VERMELHO-AMARELO Distrófico típico de textura argilosa, em delineamento inteiramente casualizado, com seis repetições de uma única planta por tratamento, sendo eles: Testemunha absoluta (apenas solo); 1,5; 3,0 e 6,0 l de biossólido; 113g N-P-K 06-30-06; 117 g N-P-K 06-29-06; 170 g fosfato natural reativo (FNR) e 62,5 g monoamônio fosfato (MAP). Todos os tratamentos que receberam a fertilização mineral foram complementados com adubação de cobertura. As doses de biossólido foram submetidas ao ajuste de regressão, no qual 6 l se destacou entre elas, para o crescimento de *Lafoensia glyptocarpa*. Comparou os dados de crescimento de 6 l biossólido e os adubos químicos pelo teste de Tukey ( $P \geq 0,95$ ). A *Lafoensia glyptocarpa* apresentou respostas à adubação com as diferentes fontes, diferindo significativamente da testemunha para a maioria das variáveis avaliadas. É recomendada a adubação com a dose de 6 litros de biossólido, visto que a mesma apresentou crescimento satisfatório em relação às adubações minerais. Comparando os adubos minerais, recomenda-se utilizar fosfato natural reativo ou NPK 06-29-06.

**Palavras-chave:** nutrição florestal, adubação orgânica, fertilização química.

## ABSTRACT

For the formation of forest stands with native species, chemical fertilizers are commonly used as a source of nutrients. An alternative to this practice is fertilization with compounds rich in organic matter, as is the case with biosolids. The objective of this study was to evaluate the growth response of *Lafoensia glyptocarpa*, such as planting fertilization, in pot conditions, to increasing doses of biosolids and to compare the best dose of biosolids with chemical fertilizers in the growth and nutrition of *Lafoensia glyptocarpa*, and their effects on chemistry from soil. An experiment was conducted with 18-liter pots, using a Latossolo Vermelho-Amarelo Distrófico típico with a clay texture, in a completely randomized design, with six repetitions of a single plant per treatment, namely: Absolute control (soil only); 1.5; 3.0 and 6.0 l of biosolid; 113g N-P-K 06-30-06; 117 g N-P-K 06-29-06; 170 g reactive natural phosphate (FNR) and 62.5 g monoammonium phosphate (MAP). All treatments that received chemical fertilization were supplemented with top dressing. The doses of biosolids were submitted to the regression adjustment, in which 6 l stood out among them, for the growth of *Lafoensia glyptocarpa*. He compared the growth data of 6 l biosolids and chemical fertilizers by the Tukey test ( $P \geq 0.95$ ). *Lafoensia glyptocarpa* showed responses to fertilization with different sources, differing significantly from the control for most of the variables evaluated. Fertilization with a dose of 6 liters of biosolid is recommended, as it showed satisfactory growth in relation to mineral fertilizers. Comparing mineral fertilizers, it is recommended to use reactive natural phosphate or N-P-K 06-29-06.

**Key-words:** forest nutrition, organic fertilization, chemical fertilization.

## INTRODUÇÃO

Em geral, as áreas destinadas para formação de povoamentos visando restauração florestal são pobres em nutrientes, pois as melhores são usadas para as atividades de agricultura ou pecuária. Segundo Gonçalves (1995) na implantação de povoamentos florestais, o solo nem sempre é capaz de fornecer todos os nutrientes necessários para o crescimento das plantas, sendo em muitas situações indicado realizar adubações, como suprimento de nutrientes e fonte de matéria orgânica.

A adubação normalmente utilizada na implantação dos povoamentos florestais é com fertilização mineral concentrada em fósforo, com aplicação de fosfatos ou N-P-K. Isto ocorre devido principalmente as respostas positivas das plantas dos gêneros *Eucalyptus* a este tipo de adubação (Bordron et al., 2019) e presume-se também que as espécies arbóreas de ocorrência da mata atlântica, devem responder a fertilização de plantio. Segundo Novais et al. (2007), as características de solubilidade das fontes de fósforo são de grande importância em relação à sua eficiência - os fosfatos de maior solubilidade, sendo mais prontamente disponíveis, favorecem a absorção e o aproveitamento do nutriente. No entanto, essa rápida liberação do fósforo, pode também favorecer o processo de adsorção e precipitação das formas solúveis pelos componentes do solo, originando compostos fosfatados de baixa solubilidade e indisponibilizando o nutriente para as plantas, principalmente nos solos mais intemperizados e argilosos. Dessa maneira, os fertilizantes de menor reatividade, ao disponibilizarem mais lentamente o P, minimizariam os processos de fixação e poderiam favorecer maior eficiência de utilização do nutriente (Novais et al., 2007), principalmente para as plantas de crescimento mais lento, como as espécies florestais nativas.

Outra possibilidade de adubação é o uso de materiais orgânicos. Entre estes, encontra-se o lodo de esgoto, que é oriundo das estações de tratamento de esgoto, que atendendo aos critérios microbiológicos e químicos estabelecidos na resolução do CONAMA nº 498/2020 (BRASIL, 2020) é denominado biossólido. Segundo Berton e Nogueira (2010) e Abreu et al. (2017), biossólido de lodo de esgoto é relativamente rico em nutrientes e matéria orgânica e tem grande potencial para ser usado em atividades agrícolas e florestais. Na área de restauração florestal, o biossólido foi estudado e indicado para produção de mudas (Abreu et al., 2017; Cabreira et al., 2017; Alonso et al., 2018; Sousa et al., 2019), como adubação de plantio para algumas espécies arbóreas de ocorrência na mata atlântica (Lima Filho, 2015; Lopes e Leles, 2020; Silva et al., 2020) e também como condicionador de solos (Sampaio et al., 2016; Guerrini et al., 2017). Biossólido, normalmente apresenta teor de matéria orgânica superior a 30% e relação C/N inferior a 10:1 (Abreu et al., 2017; Sousa et al., 2019) e segundo Guerrini et al. (2017), Boudjabi et al. (2019) e Breda et al. (2020) pode atuar positivamente nas características físicas, químicas e biológicas do solo.

O destino de grande parte do biossólido produzido nas estações de tratamento de esgoto (ETE) da região metropolitana do Rio de Janeiro são os aterros sanitários de Gericinó e de Seropédica, e segundo engenheiro da Companhia Estadual de Águas e Esgotos ao custo de R\$ 122,85 / tonelada (preço tomado em dezembro 2019). Tendo em vista as características químicas e físicas e que o biossólido das ETES da região metropolitana do Rio de Janeiro atendem aos parâmetros da Resolução CONAMA nº 498/2020 (Lima Filho, 2015; Abreu et al., 2017; Cabreira et al., 2017; Alonso et al., 2018; Sousa et al., 2019), a sua utilização como adubação de plantio de espécies arbóreas pode dar destino mais sustentável a este material e evitar gastos com fertilizantes químicos, que na maioria das vezes os insumos são importados. Além disso, o Art. 20, § 2º da resolução CONAMA 498/2020 menciona que “não há restrição

para aplicação de biossólido em florestas plantadas, recuperação de solos e de áreas degradadas”.

Existem alguns estudos que compararam uso de biossólido de lodo de esgoto e fertilizantes minerais como adubação de plantio de espécies arbóreas de ocorrência da mata atlântica. Paiva et al. (2009) observaram que quatro espécies estudadas responderam de maneira semelhante a adubação com superfosfato triplo em comparação com 80 gramas de biossólido por vaso. Por outro lado, Silva et al. (2020) verificaram que a maior parte das espécies não responderam, em condições de campo, a adubação com biossólido e adubação mineral concentrada em  $P_2O_5$ . Lopes e Leles (2020) verificaram que plantas de *Inga laurina* obtiveram maior crescimento com adubação mineral, *Cordia superba* e *Guarea guidonia* responderam à fertilização orgânica com aplicação de 4,5 litros de biossólido por cova diferindo significativamente da testemunha, aos 18 meses após o plantio em campo. Estes e outros estudos indicam que há diversidade de resposta a adubação de plantio devido a(s) espécie(s) arbórea(s) utilizada(s), solos e as condições que foram realizados os experimentos.

Entre as espécies arbóreas de ocorrência mata atlântica comumente utilizada na formação de povoamentos mistos para restauração florestal encontra-se *Lafoensia glyptocarpa* Koehne (mirindiba), pertence à família Lythraceae. Esta espécie ocorre de São Paulo até a Bahia, é considerada uma espécie que apresenta rápido crescimento (LORENZI, 1992).

Os objetivos deste trabalho são: i) avaliar respostas de doses de biossólido, como adubação de plantio, em condições de vasos, no crescimento de *Lafoensia glyptocarpa*; ii) comparar a melhor dose de biossólido com as adubações químicas no crescimento e nutrição de *Lafoensia glyptocarpa*, e seus efeitos nas características químicas do solo.

## MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi instalado em vasos de capacidade volumétrica de 18 litros (altura de 28 cm e diâmetro superior de 30 e inferior de 25 cm) a pleno sol. O clima da região, segundo a classificação de Köppen-Geiger (1948), é do tipo Aw com verões quentes e chuvosos e invernos moderadamente frios e secos. Os dados da Estação Meteorológica Automática Ecologia Agrícola no período de dezembro de 2018 a julho de 2019 (duração do experimento) indicam precipitação pluviométrica acumulada de 864,8 mm, em que o mês mais chuvoso foi fevereiro (258,6 mm), o menos chuvoso julho (13,4 mm), apresentando temperatura média no período de 25,1 °C, o mês mais quente foi janeiro (37,2 °C em média) e junho apresentou as menores temperaturas médias (20,4 °C). A umidade relativa do ar média foi de 72,5%.

As sementes de *Lafoensia glyptocarpa* foram coletadas de 12 matrizes. As mudas foram produzidas em tubetes de 280 cm<sup>3</sup>, utilizando 80% de substrato comercial Carolina Soil<sup>®</sup> e 20% de vermiculita.

Os tratamentos consistiram em adubos químicos ou doses de biossólido de lodo de esgoto, além de testemunha absoluta. Para a definição dos tratamentos foi adotada como base a análise química do solo (**Tabela 10**), a análise química do biossólido (**Tabela 11**) e recomendações para adubação de plantio (com base em  $P_2O_5$ ) de espécies florestais de acordo com Portz et al. (2013). Com base nestas informações, foi adotada como dose padrão 34 gramas de  $P_2O_5$  equivalente a 3 litros de biossólido por vaso, sendo também adicionados tratamentos com metade e o dobro da dose, respectivamente 1,5 e 6 litros de biossólido por vaso. Os adubos utilizados foram escolhidos com base na diferença de solubilidade entre eles, sendo: N-P-K 06-30-06 + 0,3% de Zn; N-P-K 06-29-06, sendo 20%  $P_2O_5$  solúvel em ácido cítrico + 14% de Ca + 2% S + 0,2% B + 0,2% Cu + 0,2% Zn; fosfato natural reativo (FNR) que contém 30% de  $P_2O_5$  (10%

solúvel em ácido cítrico) + 33% de Ca; monoamônio fosfato (MAP) que contém 52% P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> e 11% de N.

Considerando a densidade do bioestabilizado utilizado de 0,6 kg.dm<sup>-3</sup>, em 3 litros tem-se 1,8 kg, que teoricamente apresenta em torno de 34 gramas de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, que corresponde a dose 62,5 g de MAP, 113 g de N-P-K 06-30-06, 117 g de N-P-K 06-29-06 e 170 g de FNR, representando os tratamentos T2, T3, T4 e T5, respectivamente. T6 foram os vasos com 1,5 litros de bioestabilizado, que corresponde teoricamente a 17 g de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, T7 com 3,0 litros e T8 com 6,0 litros (68 g de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>) de bioestabilizado, além dos vasos de testemunha absoluta (T1). Os vasos dos quatro tratamentos com adubos químicos foram complementados com adubação de cobertura, para que a quantidade de macronutrientes correspondesse, teoricamente, a existente nos vasos com 3,0 litros de bioestabilizado.

Tabela 10: Análise química do solo utilizado para o crescimento de *Lafoensia glyptocarpa* para os diferentes tratamentos de fertilização

| pH               | P                             | K <sup>+</sup> | Ca <sup>2+</sup>                   | Mg <sup>2+</sup> | Al <sup>3+</sup> | H+Al | MO                       |
|------------------|-------------------------------|----------------|------------------------------------|------------------|------------------|------|--------------------------|
| H <sub>2</sub> O | ---- mg.dm <sup>-3</sup> ---- |                | ----- cmolc.dm <sup>-3</sup> ----- |                  |                  |      | - dag.kg <sup>-1</sup> - |
| 4,9              | 4,2                           | 12             | 0,6                                | 0,2              | 0,8              | 2,3  | 0,9                      |

pH em água – Relação 1:2,5; P e K: extrator Mehlich 1; Ca, Mg e Al: extrator de KCl 1,0M; H+Al: acetato de cálcio; C. Org: Walkley-Black; MO = COrg x 1,724.

Tabela 11: Análise química do bioestabilizado, em dag.kg<sup>-1</sup> (amostra base seca), utilizado como fertilizante no crescimento de *Lafoensia glyptocarpa*

| pH  | N    | P    | K    | Ca   | Mg   | S    | C     | MO    |
|-----|------|------|------|------|------|------|-------|-------|
| 5,6 | 1,78 | 0,81 | 0,19 | 1,64 | 0,29 | 0,81 | 14,75 | 25,43 |

pH em água – Relação 1:2,5; Teores Totais, determinados no extrato ácido (ácido nítrico com ácido perclórico); N – Método Kjeldahl; C - Método Walkley – Black; MO = COrg x 1,724. MO = matéria orgânica

A **Tabela 12** apresenta os teores de metais pesados presentes no bioestabilizado, indicando que estes encontram abaixo do considerado como limite pelo Conselho Nacional do Meio Ambiente (Resolução CONAMA 498/2020), que define critérios e procedimentos para produção e aplicação de bioestabilizado em solos.

Tabela 12: Teores totais de metais pesados (mg.kg<sup>-1</sup>) presentes no bioestabilizado (amostra base seca) utilizado como fertilizante no crescimento de *Lafoensia glyptocarpa*

| As     | Ba    | Cd  | Pb   | Cu    | Cr    | Ni    | Zn    |
|--------|-------|-----|------|-------|-------|-------|-------|
| <0,011 | 178,6 | 1,2 | 54,8 | 182   | 45,2  | 156,8 | 907,6 |
| 41*    | 1300* | 39* | 300* | 1500* | 1000* | 420*  | 2800* |

Teores Totais, determinados no extrato ácido (ácido nítrico com ácido perclórico). \*Valores limites aceitáveis constados na resolução nº 498 de 2020 do Conselho Nacional do Meio Ambiente.

Para implantação do experimento, utilizou-se Latossolo Vermelho-Amarelo distrófico típico (**Tabela 10**) que apresenta 48% de argila, 38% de areia e 14% de silte, classificado como textura argilosa, coletado em área de relevo declivoso, camada de 0-60 cm. Inicialmente, foi colocada camada de 2 cm de brita no fundo do vaso, para auxiliar drenagem da água. Para os tratamentos T6, T7 e T8, as definidas doses de bioestabilizado foram misturadas ao solo e para os tratamentos T2 a T5 os respectivos fertilizantes minerais foram misturados ao solo e, em seguida, os vasos foram preenchidos. Para a testemunha absoluta, os vasos foram preenchidos apenas com o

solo. Após preenchimento, foram plantadas mudas de *Lafoensia glyptocarpa*, em condições de serem plantadas em campo e apresentavam média de altura de 45 cm.

O experimento foi instalado em delineamento inteiramente casualizado, composto por seis repetições, de uma única planta. Para evitar a mortalidade e perda de repetições, as plantas foram irrigadas quando apresentaram visualmente baixa disponibilidade de água (início de murcha das folhas), colocando aproximadamente 2 litros de água por vaso, buscando aproximar ao máximo as condições de campo. Quando necessário, retirou-se as plantas espontâneas, para evitar as interferências da competição. Após o terceiro mês, foram realizadas as adubações de cobertura para os tratamentos que receberam a adubação química, mensalmente, com N, K, Ca<sup>2+</sup> e Mg<sup>2+</sup>, utilizando ureia, cloreto de potássio e calcário dolomítico.

Aos 210 dias após o transplântio mediu-se a altura e diâmetro do coleto, utilizando-se respectivamente régua e paquímetro digital. Em seguida, as plantas foram cortadas para determinação da área foliar (AF), em medidor de bancada LI-COR 3100. Folhas, ramos e caule foram colocados juntos em sacos de papel e constituíram a parte aérea. Sistema radicular de cada planta foi cuidadosamente lavado em água corrente e colocado para pré-secagem em papel toalha, à sombra. Três dias após, foram acondicionados em sacos de papel e levados para estufa a 65° C, até atingirem peso constante. Após secagem, pesou-se o material, em balança de duas casas decimais, para determinar a massa de matéria seca da parte aérea (MSPA) e do sistema radicular (MSR).

No final do experimento, para avaliar o efeito da melhor dose de biofósforo em comparação aos adubos químicos comumente utilizados na área de formação de povoamentos com espécies arbóreas nativas, coletou-se amostras de solo com trado, até 20 cm profundidade do vaso, dos tratamentos N-P-K 06-30-06 (T3), N-P-K 06-29-06 (T4), FNR (T5), 6 l biofósforo (T8) e testemunha (T1), para determinação do teor de macronutrientes e matéria orgânica. Também, após secagem e pesada a parte aérea, as folhas das plantas destes tratamentos foram trituradas em moinho e enviadas para laboratório para análise do teor N, P, K, Ca e Mg.

A análise dos dados de crescimento procedeu-se em duas etapas. Primeiramente, os dados dos tratamentos testemunha e as doses de biofósforo foram submetidos à análise de regressão. Na segunda etapa, realizou-se análise de variância – ANOVA ( $P \geq 0,95$ ) para as variáveis que atenderam as principais pressuposições da ANOVA (distribuição normal de resíduos e homocedasticidade de variância), envolvendo os adubos químicos e a melhor dose de biofósforo por vaso para crescimento de *Lafoensia glyptocarpa*. Havendo diferenças significativas, os dados foram submetidos ao teste de Tukey ( $P \geq 0,95$ ). Os dados do teor de nutrientes no solo e nas folhas coletados dos cinco tratamentos também foram submetidos à ANOVA e, havendo diferenças significativas, ao teste de Tukey ( $P \geq 0,95$ ). Todas as análises estatísticas foram realizadas por meio do software R versão 3.5.1 (R CORE TEAM, 2018).

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

Em relação respostas de crescimento de *Lafoensia glyptocarpa* às doses de biofósforo, aos sete meses após o transplântio nos vasos, a equação ajustada que melhor representou o conjunto de dados na análise de regressão para todas as variáveis mensuradas originou-se do modelo linearizado ( $\ln y = b_0 + b_1 \cdot \ln x + e_i$ ), apresentando os melhores parâmetros de ajuste (**Figura 6**). Em geral, observa-se que até a dose de 1,5 litros de biofósforo por vaso, com o solo relativamente pobre em nutriente (**Tabela 10**), praticamente não houve efeito e a partir desta dose houve efeito linear. Para as cinco variáveis analisadas, maiores crescimento foram atingidos na maior dose de biofósforo

utilizada, indicando que as plantas podem responder a doses maiores que 6,0 litros por vaso.

Os valores de coeficiente de determinação ajustado ( $R^2_{aj}$ ) estão entre 0,72 e 0,93, evidenciando alta relação de causa e efeito entre as doses de biofóssido e as variáveis de crescimento. O erro padrão da estimativa apresentou valores entre 8,2 e 29,9 %, sendo a variável que apresentou menor dispersão dos dados foi a altura, enquanto que a maior dispersão ocorreu para área foliar.

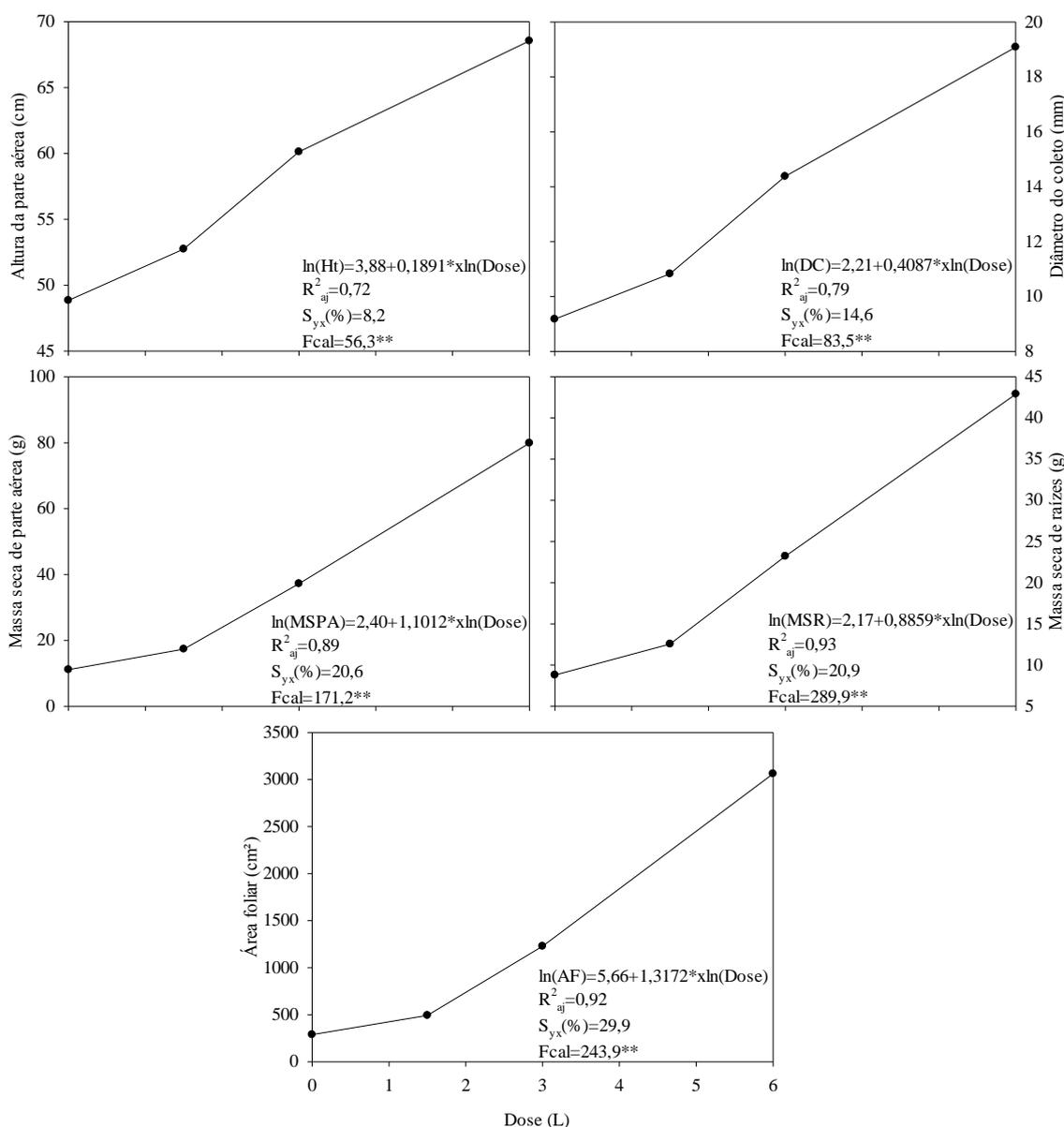


Figura 6: Crescimento de *Lafoensia glyptocarpa* em função de testemunha e três doses de biofóssido, aos sete meses após o plantio das mudas, em condições de vaso. \*Significativo ao nível  $\alpha = 0,01$  pelo teste t. \*\*Significativo ao nível  $\alpha = 0,01$  pelo teste F (F tabelado = 8,01).

O teor de matéria orgânica relativamente alta (**Tabela 11**) presente no biofóssido tem a capacidade de melhorar as características químicas, físicas e biológicas do substrato (GUERRINI et al., 2017), mais rápido do que a escala natural de tempo dos processos ecossistêmicos (SAMPAIO et al., 2016). O aumento da dose de biofóssido implica no conseqüente incremento da quantidade de nutrientes e matéria orgânica

presentes na cova de plantio, fato que pode ter acarretado em maior crescimento dos indivíduos adubados com a dose de 6 litros para todas as variáveis mensuradas, em comparação as outras doses e testemunha. Além disso, as espécies arbóreas, nas florestas da Mata Atlântica, vivem em ambientes relativamente ricos em matéria orgânica, com isso respondendo a maiores doses de bio sólido. Nobrega et al. (2017) explicitam que o conhecimento sobre os efeitos da aplicação de bio sólido no crescimento das espécies nativas são insuficientes, sendo assim, há a necessidade de estudos sobre o assunto e Scheer et al. (2017) mencionam que estas espécies se comportam de maneira distinta ao serem submetidas à adubação, conforme também evidenciado por Paiva et al. (2009).

Em estudo utilizando sete espécies em PLANOSSOLO HÁPLICO de textura arenosa, Silva et al. (2020) constataram para *Lafoensia glyptocarpa* não ocorreram respostas positivas no crescimento em função da aplicação de doses crescentes de bio sólido (0; 2; 4 e 8 l por cova), até os 19 meses de avaliação. Diferente do resultado encontrado neste trabalho realizado em LATOSSOLO VERMELHO-AMARELO Distrófico típico, corroborando que as espécies podem se comportar de maneira distinta em função das condições edafoclimáticas.

Considerando que a dose de 6 litros foi capaz de proporcionar os melhores valores de crescimento para *Lafoensia glyptocarpa* esta dose foi utilizada para comparação com as demais adubações realizadas com as fontes de adubos minerais. Além disso, segundo dados de engenheiro da CEDAE, a companhia paga R\$ 122,85 a tonelada (valor dezembro 2019) para dispor bio sólido gerados pelas estações de tratamento de esgoto da região metropolitana do Rio de Janeiro, em aterro sanitário de Alcântara, município de São Gonçalo – RJ. Outro fator para o uso desta dose para comparação é que a resolução CONAMA 498/2020 (BRASIL, 2020) menciona que não há restrição para aplicação de bio sólido em recuperação de solos e áreas degradadas (§2º, Art. 20 e §3º, Art. 21).

Constata-se pela **Tabela 13**, que as plantas de *Lafoensia glyptocarpa* produzidas nos vasos dos tratamentos com fosfato natural reativo (FNR), N-P-K 06-29-06 e com 6,0 l de bio sólido apresentaram, em média, crescimento significativamente superior pelo teste de Tukey ( $P \geq 0,95$ ) em relação aos demais tratamentos. Observa-se também, que no tratamento sem adubação, as plantas, em média, apresentaram valores de crescimento significativamente inferiores aos demais, evidenciando resposta desta espécie a adubação. Para área foliar não são apresentadas letras do teste de Tukey ( $P \geq 0,95$ ), pois para este parâmetro os dados não atenderam as pressuposições da análise de variância.

Tabela 13: Crescimento de *Lafoensia glyptocarpa* submetida à adubação com diferentes fontes, aos sete meses após o transplantio em vasos

| Fonte                    | Altura (cm) | Diâmetro (mm) | MSPA (g) | MSR (g) | AF (cm <sup>2</sup> )* |
|--------------------------|-------------|---------------|----------|---------|------------------------|
| Fosfato natural de rocha | 71 a        | 17,8 a        | 87,9 ab  | 33,8 ab | 4620                   |
| N-P-K 06-29-06           | 71 a        | 19,6 a        | 105,2 a  | 37,0 a  | 3963                   |
| N-P-K 06-30-06           | 68 a        | 17,9 a        | 65,0 b   | 19,9 c  | 2919                   |
| Monoamônio fosfato       | 66 a        | 17,4 a        | 55,5 b   | 22,7 bc | 1732                   |
| 6 litros de bio sólido   | 67 a        | 17,7 a        | 75,2 ab  | 38,3 a  | 2772                   |
| Testemunha               | 47 b        | 9,4 b         | 13,2 c   | 8,1 d   | 301                    |

MSPA – massa de matéria seca de parte aérea; MSR – massa de matéria seca de raízes; AF – área foliar. Médias seguidas das mesmas letras nas colunas não diferem entre si pelo teste de Tukey ( $P \geq 0,95$ ). \*Não atendeu aos principais pressupostos para realização da ANOVA.

Constata-se pela **Tabela 13** para altura da parte aérea e diâmetro do coleto, que são as variáveis de crescimento não destrutivas e mais comuns de serem utilizadas nos trabalhos, que em média não há diferenças significativas de crescimento das plantas cultivadas sobre os adubos utilizados e dose de 6 litros de biofósforo, aos 7 meses após o plantio das mudas nos vasos. Porém, todos estes tratamentos apresentaram valores médios significativamente superiores ao tratamento testemunha. Este resultado indica que, para condições edafoclimáticas semelhantes ao deste estudo, pode-se utilizar qualquer adubação de plantio, dando preferência ao uso de 6 litros de biofósforo por cova, devido ao custo de disposição e espaço ocupado nos aterros sanitários ou adubo de menor preço de aquisição.

Plantas cultivadas com N-P-K 06-29-06 apresentaram, no geral, os melhores resultados em biomassa da parte aérea e do sistema radicular, dando destaque também ao biofósforo na MSR. Ambas as fontes apresentam formas de fósforo mais e menos solúveis em sua composição, fato que pode ter acarretado neste ganho em biomassa devido à liberação mais gradativa deste nutriente ao longo do tempo. Matéria seca do sistema radicular é variável importante na formação dos povoamentos florestais, principalmente nas fases iniciais após o plantio, pois sistema radicular bem formado é capaz de absorver mais água e nutrientes (ISLAM et al., 2019), em especial o fósforo que se movimenta no solo por meio da difusão, e é absorvido pela planta via contato íon-raiz (FURTINI NETO et al., 2001), aumentando assim a possibilidade de sucesso dos reflorestamentos.

Ao comparar o crescimento de *Ceiba speciosa* submetida a diferentes formas de adubação de plantio (1,6 l de biofósforo, 178 g de superfosfato simples e testemunha absoluta) utilizando Latossolo Vermelho-Amarelo em vasos de 18 litros, Lima Filho (2015) constatou que ao aplicar 1,6 l de biofósforo misturado ao solo do vaso, as plantas apresentaram as maiores médias para altura, diâmetro, área foliar, massa seca de parte aérea e raízes, sendo significativamente superiores aos demais tratamentos. O autor atribuiu o maior crescimento dos indivíduos adubados com o biofósforo devido à ação da matéria orgânica. Resultado diferente do presente trabalho, evidenciando que as espécies arbóreas de ocorrência da mata atlântica respondem de forma diferenciada.

Informações de diversos autores, como Dechen e Nachtigall (2006) consideram que normalmente plantas nas idades jovens, como deste trabalho, com maior teor de nutrientes, apresentam maior potencial de resistirem a condições adversas como déficit hídrico no solo e serem mais competitivas com plantas consideradas daninhas. Constata-se pela **Tabela 14** que, entre as plantas *Lafoensia glyptocarpa*, dos tratamentos testados, as adubadas com N-P-K 06-30-06 apresentaram valores significativamente superiores de N, P e K. Isto ocorreu provavelmente devido, entre os adubos testados, a alta solubilidade do 06-30-06, permitindo maior absorção destes nos tecidos foliares da planta, porém não resultou em aumento do crescimento, em comparação aos outros adubos utilizados (**Tabela 13**). Para cálcio valores significativamente superiores são observados, em média para as plantas que foram produzidas com 6 litros de biofósforo, conforme também observado para plantas de *Ceiba speciosa* por Lima Filho (2015), devido concentração relativamente alta deste elemento no biofósforo (**Tabela 11**).

Tabela 14: Teor foliar de nutrientes ( $\text{dag.kg}^{-1}$ ) para *Lafoensia glyptocarpa* submetida à adubação de plantio com diferentes fontes, aos sete meses após o transplântio

| Fonte                    | N       | P      | K       | Ca      | Mg      |
|--------------------------|---------|--------|---------|---------|---------|
| Fosfato natural de rocha | 2,02 bc | 0,12 b | 1,08 ab | 1,10 bc | 0,16 bc |
| N-P-K 06-29-06           | 2,40 b  | 0,15 b | 1,04 ab | 0,94 c  | 0,12 c  |
| N-P-K 06-30-06           | 3,13 a  | 0,24 a | 1,23 a  | 0,82 c  | 0,20 bc |
| 6 litros biossólido      | 2,01 bc | 0,14 b | 0,86 b  | 1,81 a  | 0,23 a  |
| Testemunha               | 1,26 c  | 0,12 b | 0,86 b  | 0,87 c  | 0,09 c  |

Médias seguidas das mesmas letras nas colunas não diferem entre si a 95% de probabilidade pelo teste de Tukey ( $P \geq 0,95$ ).

As maiores médias para cálcio e magnésio se encontram no tratamento que recebeu a adubação com o biossólido, sendo significativamente superior à testemunha, visto que estes nutrientes estão presentes no material (**Tabela 11**) e conseqüentemente no solo (**Tabela 15**). Plantas adubadas com FH e 06-30-06 apresentaram as menores médias. Taiz et al. (2017) explicitam que o cálcio e magnésio estão envolvidos como reguladores de diversos processos celulares, e que as plantas bem nutridas poderão responder de forma mais eficiente frente às possíveis variações ambientais.

Em relação aos teores de nutrientes e de matéria orgânica no solo, observa-se que sete meses após aplicação dos tratamentos, o solo adubado N-P-K 06-29-06 apresentou a maior média para o fósforo no solo, diferindo significativamente da testemunha que apresentou a menor média (**Tabela 15**). Para o potássio a maior média encontra-se nos tratamentos 06-30-06, o tratamento com o biossólido e a testemunha apresentaram as menores médias (**Tabela 15**). O biossólido apresenta baixas quantidades de potássio, no decorrer do seu tratamento ocorre a fase de desaguamento do material, etapa que leva junto a água alguns nutrientes (VON SPERLING, 2016), principalmente o potássio, por se tratar de uma base trocável com número de oxidação +1, a qual faz ligação simples com os oxi-hidróxidos e argilas enquanto que as bases trocáveis +2 ( $\text{Ca}^{2+}$  e  $\text{Mg}^{2+}$ ) fazem dupla ligação.

Tabela 15: Nutrientes em Latossolo Vermelho-Amarelo distrófico típico cultivado com *Lafoensia glyptocarpa* submetida à adubação com diferentes fontes, aos sete meses após o transplântio

| Fonte                    | P<br>----- $\text{mg.dm}^{-3}$ ----- | K     | $\text{Ca}^{2+}$<br>----- $\text{cmol.c.dm}^{-3}$ ----- | $\text{Mg}^{2+}$ | MO<br>$\text{dag.kg}^{-1}$ |
|--------------------------|--------------------------------------|-------|---|------------------|----------------------------|
| Fosfato natural de rocha | 89 c                                 | 62 a  | 2,70 b  | 0,29 ab          | 1,4 b                      |
| N-P-K 06-29-06           | 185 a                                | 42 ab | 2,09 b  | 0,27 ab          | 1,2 b                      |
| N-P-K 06-30-06           | 171 ab                               | 61 a  | 1,27 b  | 0,19 b           | 1,2 b                      |
| 6 litros biossólido      | 134 b                                | 30 b  | 5,05 a  | 0,39 a           | 4,3 a                      |
| Testemunha               | 3 d                                  | 25 b  | 0,44 c  | 0,16 b           | 1,3 b                      |

P e K: extrator Mehlich 1; Ca e Mg: extrator de KCl 1,0M; C. Org: Walkley-Black; MO = COrg x 1,724. Médias seguidas das mesmas letras nas colunas não diferem entre si, pelo teste de Tukey ( $P \geq 0,95$ ).

A dose de 6 l de biossólido apresentou as maiores médias para o cálcio, magnésio e matéria orgânica diferindo significativamente dos demais tratamentos (**Tabela 15**). Cálcio e matéria orgânica são presentes em grande quantidade no biossólido utilizado (**Tabela 11**), fato que contribuiu para o aumento destes no solo. A matéria orgânica é um importante indicador na recuperação de solos degradados (como é o caso do solo utilizado neste experimento), ela pode atuar de diferentes formas na aceleração da recuperação destes, seja química, física ou biologicamente (GUERRINI et

al., 2017; ABREU et al., 2017; ABREU et al., 2019; BOUDJABI et al., 2019; DEBIASE et al., 2016).

Ao trabalhar com doses variando de 0 a 30 Mg.ha<sup>-1</sup> de biossólido de lodo de esgoto, Ouimet et al. (2015) explicitaram que houve melhora nas características químicas e físicas do solo, em comparação com a testemunha, além disso, não ocorreu o acúmulo de metais pesados. Grobelak et al. (2017) ao aplicar o biossólido em solo degradado também constataram melhorias nas características químicas do solo, aumentando o conteúdo de macronutrientes e carbono após cinco anos de avaliação. Além disso, os nutrientes foram altamente aproveitados pelas plantas, devido à liberação gradativa proporcionada pelo material rico em matéria orgânica.

## CONCLUSÕES

Dentre as doses avaliadas, 6 litros de biossólido é recomendado para o crescimento de *Lafoensia glyptocarpa* em solos semelhantes ao utilizado no presente estudo.

Em comparação aos adubos químicos a dose de 6 litros de biossólido apresentou resultados satisfatórios. Tendo em vista o ganho ambiental envolvido na reutilização do biossólido nos ambientes florestais, este é recomendado para a adubação de plantio de *Lafoensia glyptocarpa* em povoamentos que visam à restauração florestal.

## REFERÊNCIAS

- ABREU, A. H. M., LELES, P. S. S.; ALONSO, J. M.; ABEL, E. L. S.; OLIVEIRA, R. R. Characterization of sewage sludge generated in Rio de Janeiro, Brazil, and perspectives for agricultural recycling. *Semina: Ciências Agrárias*, v.38, n.4, p. 1710-1718, 2017.
- ABREU, A. H. M.; ALONSO, J. M.; MELO, L. A.; LELES, P. S. S.; SANTOS, G. R. Caracterização de biossólido e potencial de uso na produção de mudas de *Schinus terebinthifolia* Raddi. *Engenharia Sanitaria e Ambiental*, v. 24, n. 3, p. 591-599, 2019.
- ALONSO, J. M.; ABREU, A. H. M.; MELO, L. A.; LELES, P. S. S.; CABREIRA, G. V. Biosolids as substrate for the production of *Ceiba speciosa* seedlings. *Cerne*, v. 24, p. 420-429, 2018.
- BORDRON, B.; ROBIN, A.; OLIVEIRA, I. R.; GUILLEMOT, J.; LACLAU, J. P.; JOURDAN, C.; NOUVELLON, Y.; ABREU-JUNIOR, C. H.; TRIVELIN, P. C. O.; GONÇALVES, J. L. M.; PLASSARD, C.; BOUILLET, J. P. Fertilization increases the functional specialization of fine roots in deep soil layers for young *Eucalyptus grandis* trees. *Forest Ecology and Management*, v. 431, p. 6-16, 2019.
- BOUDJABI, S.; KRIBAA, M.; CHENCHOUNI, H. Sewage sludge fertilization alleviates drought stress and improves physiological adaptation and yield performances in Durum Wheat (*Triticum durum*): A double-edged sword. *Journal of King Saud University-Science*, v. 31, n. 3, p. 336-344, 2019.
- BREDA, C. C.; SOARES, M. B. ; TAVANTI, R. F. R.; VIANA, D. G.; FREDDI, O. S.; PIEDADE, A. R.; MAHL, D.; TRABALLI, R. C.; GUERRINI, I. A. Successive sewage sludge fertilization: Recycling for sustainable agriculture. *Waste Management*, v. 109, p. 38-50, 2020.

CABREIRA, G. V.; LELES, P. S. S.; ALONSO, J. M.; ABREU, A. H. M.; LOPES, N. F.; SANTOS, G. R. Biossólido como componente de substrato para produção de mudas florestais. **Floresta**, v. 47, n. 2, p. 165–176, 2017.

DEBIASE, G.; MONTEMURRO, F.; FIORE, A.; ROTOLO, C.; FARRAG, K.; MICCOLIS, A.; BRUNETTI, G. Organic amendment and minimum tillage in winter wheat grown in Mediterranean conditions: effects on yield performance, soil fertility and environmental impact. **European Journal of Agronomy**, v. 75, p. 149–157, 2016.

DECHEN, A. R.; NACHTIGALL, G.R. Elementos essenciais e benefícios às plantas superiores. In: FERNANDES, M. S. **Nutrição mineral de plantas**. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo. 2006, p.1-6.

FURTINI NETO, A.E.; VALE, F.R.; RESENDE, A.V.; GUILHERME, L.R.G. & GUEDES, G.A.A. FÓSFORO NO SOLO, FERTILIZANTES E ADUBAÇÃO FOSFATADA In: FURTINI NETO, A.E.; VALE, F.R.; RESENDE, A.V.; GUILHERME, L.R.G. & GUEDES, G.A.A. **Fertilidade do solo**. Lavras, UFLA/FAEPE, 2001. p. 151-177.

GONÇALVES, J. L. M. **Recomendações de adubação para Eucalyptus, Pinus e espécies típicas da Mata Atlântica**. Documentos Florestais, Piracicaba, v. 15, p. 23, 1995.

GROBELAK, A.; PLACEK, A.; GROSSER, A.; SINGH, B. R.; ALMÁS, Á. R.; NAPORA, A.; KACPRZAK, M. Effects of single sewage sludge application on soil phytoremediation. **Journal of Cleaner Production**, v. 155, p. 189-197, 2017.

GUERRINI, I. A.; CROCE, C. G. G.; BUENO, O. G.; JACON, C. P. R. P.; NOGUEIRA, T. A. R.; FERNANDES, D. M. F.; GANGA, A.; CAPRA, G. F. Composted sewage sludge and steel mill slag as potential amendments for urban soils involved in afforestation programs. **Urban forestry & urban greening**, v. 22, p. 93-104, 2017.

ISLAM, N. U.; ALI, G.; DAR, Z. A.; MAQBOOL, S.; KHULBE, R. K.; BHAT, A. VARIABILITY IN ROOT ARCHITECTURAL TRAITS IN MAIZE (*Zea mays* L.) INBRED LINES UNDER MOISTURE STRESS CONDITIONS. **Plant Archives**, v. 19, n.2, p. 1682-1688, 2019.

LIMA FILHO, P. **Biossólido na restauração florestal: formação de mudas e adubação de plantio**. 88p. Dissertação (Mestrado em Ciências Ambientais e Florestais) – Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica, RJ, 2015.

LORENZI, H. **Árvores brasileiras: Manual de identificação e cultivo de plantas arbóreas nativas do Brasil**. v. 1, n. 1, ed. Nova Odessa: Instituto Plantarum, 368p., 1992.

NOBREGA, M. A. D. S.; PONTES, M. D. S.; SANTIAGO, E. F. Incorporação do lodo de esgoto na composição de substrato para produção de mudas nativas. **Acta Biomedica Brasiliensia**, v. 8, n. 1. p. 43-55, 2017.

NOVAIS, R. F.; SMYTH, T. J.; NUNES, F. N. Fósforo. In: NOVAIS, R.F.; ALVAREZ V. V.H.; BARROS, N.F; FONTES, R. L. F.; CANTARUTTI, R. B.; NEVES, J. C. L. **Fertilidade do solo**. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, p. 471-550, 2007.

OUIMET, R., PION, A.-P., AND HÉBERT, M. Long-term response of forest plantation productivity and soils to a single application of municipal biosolids. **Canadian Journal of Soil Science**, v. 95, p. 187–199, 2015.

**PLANO ESTADUAL DE RESÍDUOS SÓLIDOS DO RIO DE JANEIRO - PERS.** Rio de Janeiro: SEA / INEA, 2014. 137 p.

PORTZ, A.; RESENDE, A. S.; TEIXEIRA, A. J.; ABBOUD, A. C. S.; MARTINS, C. A. C.; CARVALHO, C. A. B.; LIMA, E.; ZONTA, E.; PEREIRA, J. B. A.; BALIEIRO, F. C.; ALMEIDA, J. C. C.; SOUZA, J. F.; GUERRA, J. G. M.; MACEDO, J. R.; SOUZA, J. N.; FREIRE, L. R.; VASCONCELOS, M. A. S.; LEAL, M. A. A.; FERREIRA, M. B. C.; MANHÃES, M.; GOUVEA, R. F.; BUSQUET, R. N. B.; BHERING, S. B. Recomendação de adubos, corretivos e de manejo da matéria orgânica para as principais culturas do Estado do Rio de Janeiro *In*: FREIRE, L. R.; BALIEIRO, F. C.; ZONTA, E.; ANJOS, L. H. C.; PEREIRA, M. G.; LIMA, E.; GUERRA, J. G. M.; FERREIRA, M. B. C.; LEAL, M. A. A.; CAMPOS, D. V. B.; POLIDORO, J. C. **Manual de calagem e adubação do Estado do Rio de Janeiro**. 2013, Brasília: EMBRAPA; Seropédica: UFRRJ, p. 257-414.

R CORE TEAM (2018). R: A language and environment for statistical computing. **R Foundation for Statistical Computing**, Vienna, Austria.

SAMPAIO, T. F.; GUERRINI, I. A.; OTERO, X. L.; VAZQUEZ, F. M.; BOGIANI, J. C.; OLIVEIRA, F. C.; GAVA, J. L.; CIOL, M. A.; LITTKE, K. M.; HARRISON, R. B. The impact of biosolid application on soil and native plants in a degraded brazilian atlantic rainforest soil. **Water, Air & Soil Pollution**, v. 227, n. 1, 2016.

SCHEER, M. B.; CARNEIRO, C.; BRESSAN, O. A.; SANTOS, K. G. Crescimento inicial de quatro espécies florestais nativas em área degradada com diferentes níveis de calagem e de adubação. **Floresta**, v. 47, n. 3, p. 279-287, 2017.

SILVA, M. V. **Uso de biossólido de lodo de esgoto em plantios de espécies da Mata Atlântica**. 2017. 49f. Dissertação (Mestrado em Ciências Ambientais e Florestais). Instituto de Florestas, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica, RJ, 2017.

SILVA, M. V.; CHAER, G. M.; LELES, P. S. S.; RESENDE, A. S.; SILVA, E. V.; CAMPOS, T. O. Uso de biossólido em plantios de espécies da Mata Atlântica. **Scientia Forestalis**, v. 48, n. 126, p. e2728, 2020.

SOUSA, T. J. S.; ALONSO, J. M.; LELES, P. S. S.; ABEL, E. L. S.; RIBEIRO, J. G.; SANTANA, J. E. S. Mudanças de *Luehea divaricata* produzidas com biossólido de duas estações de tratamento de esgoto. **Advances in Forestry Science**, v. 6, p. 595-601, 2019.

TAIZ, L., ZEIGER, E., MØLLER, I. M., MURPHY, A. Nutrição mineral *In*: TAIZ, L., ZEIGER, E., MØLLER, I. M., & MURPHY, A. **Fisiologia e desenvolvimento vegetal**. 2017, Porto Alegre: Artmed Editora, p. 1-51.

VON SPERLING, M. **Lodos ativados**. Belo Horizonte: Editora UFMG, 2016, 461 p.

## CONCLUSÕES GERAIS

As espécies de crescimento mais lento são menos responsivas à adubação e apresentaram preferência pela fertilização orgânica, devido, principalmente, à liberação mais gradativa dos nutrientes para a solução do solo. Essas espécies podem ser mais sensíveis as condições de solo, sendo assim, a fertilização orgânica atuou não só como fonte de nutrientes, mas também representou papel importante para o condicionamento dos solos degradados.

As espécies de crescimento mais acelerado, como as pioneiras, foram mais responsivas á adubação, sendo ela na forma mineral ou orgânica, exceto para o *Inga edulis* que apresentou preferência pela fertilização na forma mineral. Este fato indica que estas espécies pioneiras utilizadas não são tão sensíveis às condições de solo como as não pioneiras.

A adubação orgânica com o bio sólido proporcionou aumento nos teores de matéria orgânica do solo, esta é considerada por diversos autores como um excelente indicador de monitoramento dos solos degradados. De forma que ao aumentar a quantidade de matéria orgânica, pode também ocasionar em melhorias nas características químicas, físicas e biológicas dos nossos solos degradados, proporcionando assim ambientes mais favoráveis ao crescimento dos vegetais.