

Biossólido de estações de tratamento de esgotos como adubação de plantio para restauração da mata atlântica

Rodrigo Ferreira Gomes^{1*} Paulo Sérgio dos Santos Leles¹ Monique Muniz Monteiro Dias¹ Yuji Ito Nunes¹ Lucas Britto Delgado¹ Lucas Nunes Lopes¹

¹Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Km 07, Zona Rural, BR-465, CEP 23890-000, Seropédica, RJ, Brasil

Original Article

*Corresponding author:
rodrigoferreiragomes1@hotmail.com

Keywords:
Schizolobium parahyba.

Sewage sludge reuse.

Guapuruvu.

Palavras-chave:
Schizolobium parahyba.

Reaproveitamento de lodo de esgoto.

Guapuruvu.

Received in
2020/02/04

Accepted on
2021/06/10

Published in
2021/12/30



DOI:
<https://doi.org/10.34062/afs.v8i4.10081>



RESUMO: O biossólido de lodo de esgoto tem se mostrado com potencial para uso em atividades florestais com necessidade de utilização mais adequada do que a deposição em aterros sanitários. Objetivou-se avaliar o potencial de biossólidos produzidos por três estações de tratamento de esgoto (ETEs), como adubação de plantio para *Schizolobium parahyba* e resposta da espécie à adubação organomineral e mineral. O experimento foi desenvolvido em pleno sol, em vasos de 18 litros preenchidos com solo, composto por seis tratamentos e cinco repetições, em delineamento inteiramente casualizado. Os tratamentos foram biossólidos provenientes das ETEs Ilha do Governador, Barra da Tijuca e Sarapuí na dose de 3 litros por vaso, além de um tratamento com mistura de 230 gramas de composto organomineral N-P-K (03-13-06), outro com aplicação de 120 gramas de N-P-K (06-30-06) por vaso e tratamento testemunha. Realizou-se a mensuração da altura da parte aérea e do diâmetro do coleto aos 60, 120 e 180 dias após o plantio das mudas. Aos 90 dias após o plantio das mudas foi realizada adubação de cobertura no tratamento que utilizou fertilizante mineral. As plantas adubadas com biossólido apresentaram crescimento significativamente superior, sem diferenças entre elas e as com adubo organomineral e com N-P-K, crescimento intermediário. Vasos com composto organomineral e o biossólido da ETE Barra apresentaram os maiores teores de nutrientes no solo, realizada aos 6 meses após o plantio. Recomenda-se o uso de biossólidos, independente da ETE, para adubação no momento do plantio de mudas de *Schizolobium parahyba* no campo.

Biosolid of three waste treatment stations as planting fertilization for atlantic forest restoration

ABSTRACT: The sewage sludge has been shown to have potential for use in forest activities requiring more appropriate use than landfilling, but the composition and response of tree species may vary according to the sewage treatment plant (ETE). The objective of this study was to evaluate the potential of sewage sludge produced by three ETEs, as planting fertilizer for *Schizolobium parahyba* and the specie response to organomineral and mineral fertilizer. The experiment was carried out in full sun, from November 2018 to May 2019, in 18 liter pots filled with soil, consisting of six treatments and five replications, in a completely randomized design. The treatments were biosolid from the Ilha do Governador, Barra da Tijuca and Sarapuí ETEs at a dose of 3 liters per pot, as well as a treatment with a mixture of 230 grams of NPK organomineral compound (03-13-06), another with application of 120 grams of NPK (06-30-06) per pot and control treatment. After pot filling, *S. parahyba* seedlings were planted. Shoot height and stem diameter were measured at 60, 120 and 180 days after seedling planting. At 90 days after the planting of the seedlings, cover fertilization was performed on the treatment plants that were fertilized with mineral fertilizer. Plants fertilized with biosolid showed significantly higher growth, without differences between them and those with organomineral fertilizer and N-P-K, intermediate growth. Pots with organomineral compost and the sewage sludge from Barra ETE presented the highest nutrient content in the soil, performed at 6 months after planting. The use of sewage sludge-independent sewage is recommended for fertilization at the time of planting *Schizolobium parahyba* seedlings in the field.

Introdução

Devido a ocupação e exploração desordenada de áreas ocupadas por florestas, o bioma Mata Atlântica necessita de recuperar parte de sua cobertura florestal, pelos diversos serviços que as florestas proporcionam à sociedade. Nesse sentido, a formação de povoamentos com espécies arbóreas de ocorrência na Mata Atlântica surge como uma importante estratégia para manutenção da flora arbórea do bioma, além de cumprir outras funções como no auxílio em manter a biodiversidade da floresta, produzindo alimento e abrigo para pássaros e outros tipos de animais. Nas propriedades rurais, a maioria dos solos onde são formados os povoamentos florestais apresenta baixa fertilidade natural, sendo normalmente indicado o uso da adubação de plantio, com o propósito de contribuir para o crescimento inicial das espécies que foram plantadas. Normalmente, as melhores áreas são usadas para agricultura ou pecuária, procurando atender à produção de alimentos para os seres humanos.

Entre os potenciais materiais que podem ser utilizados como adubação de plantio encontra-se o lodo de esgoto, que depois de tratado e estabilizado é denominado biossólido. Na maioria dos estados do Brasil, a maior parte do biossólido gerado pelas estações de tratamento de esgotos (ETE) é levada para aterros sanitários. Segundo Berton e Nogueira (2010) e Abreu et al. (2017; 2019), este resíduo apresenta composição rica em nutrientes e matéria orgânica. Descartá-lo constitui grande desperdício financeiro, pois a companhia de saneamento paga para o descarte do biossólido em aterros, a custo médio de R\$ 122,00 a tonelada (Abreu et al., 2019). Com uso nas atividades agropecuárias e de silvicultura, o biossólido pode reduzir significativamente os custos com fertilizantes químicos e substratos comerciais, conforme evidenciando em trabalho de Abreu et al. (2017) e de Alonso (2019). Além disso, trabalho de Campos et al. (2019) mostra que o biossólido tem baixo poder de lixiviação de fosfatos e nitratos, tanto em solo arenoso, como em argiloso, não correndo riscos de contaminação do lençol freático. Para o uso na implantação de povoamentos visando restauração florestal, adiciona-se a vantagem de que os produtos produzidos não são usados diretamente para alimentação humana. Na área florestal, o biossólido tem sido utilizado com êxito para produção de mudas de espécies arbóreas de ocorrência na Mata Atlântica (CABREIRA et al., 2017; ALONSO et al., 2018; SOUSA et al., 2019), em arborização urbana (GUERRINI et al., 2017; RIBEIRO et al., 2018) e os poucos trabalhos existentes (SILVA e PINTO,

2010; LIMA FILHO, 2015; SILVA, 2017) mostram que este material tem grande potencial como adubação na implantação dos povoamentos visando restauração neste bioma.

A composição química dos biossólidos pode variar entre diferentes ETES, devido a origem do efluente de cada ETE, as técnicas de tratamento de esgoto e lodo empregadas, entre outros fatores (KOMINKO et al., 2017). Segundo Carvalho et al. (2015), o tratamento do lodo por compostagem proporciona maior estabilização da matéria orgânica, indicando o uso como condicionador de solo, enquanto a secagem térmica preserva melhor os nutrientes sendo o material indicado para uso como fertilizante orgânico. Esses fatores reforçam a necessidade de análise química de lotes de biossólidos de diferentes ETES.

Outras possibilidades de fertilização de plantio são os adubos organo-minerais e a adubação química tradicional, concentrada em P_2O_5 . A parte orgânica do primeiro adubo, normalmente, é proveniente da compostagem de alimentos, poda de árvores e outros materiais orgânicos.

Entre as espécies arbóreas bastante utilizada em povoamentos para fins de restauração da Mata Atlântica encontra-se *Schizolobium parahyba* (Vell.) Blake. (RESENDE et al., 2017), conhecida vulgarmente como guapuruvu e bandara. Segundo Carvalho (2003), apresenta crescimento relativamente rápido, tronco principal retilíneo, florada amarela e é utilizada para diversos fins, como sistemas agroflorestais, arborização urbana e restauração de mata ciliar.

Objetivou-se avaliar o potencial de biossólidos produzidos por três estações de tratamento de esgotos como adubação de plantio de *Schizolobium parahyba* e resposta da espécie à adubação organo-mineral e mineral.

Material e Métodos

O experimento foi desenvolvido em vasos, a pleno sol, com capacidade volumétrica de 18 litros, com diâmetro inferior de 25 cm, diâmetro superior de 30 cm e altura de 28 cm, tingidos com coloração prateada a fim de reduzir a temperatura do substrato, simulando dimensões de covas normalmente preparadas para o plantio das mudas no campo. O solo utilizado foi proveniente da camada de 0-60 cm de uma encosta de morro, classificado como LATOSSOLO AMARELO endoálico distrófico de textura argilosa, cujo resultado de análise de rotina encontra-se na Tabela 1.

Tabela 1: Análise química do solo utilizado para o crescimento de *Schizolobium parahyba*, submetidos a tratamentos de adubação de plantio, em condições de vaso

pH	P	K	Ca	Mg	Al	H+Al	Corg
H ₂ O	----- mg.dm ⁻³ -----		----- cmol _c .dm ⁻³ -----			-g.dm ⁻³ -	
5,1	1,0	27	0,42	0,20	0,91	4,5	17

pH em água, KCl e CaCl₂ – relação 1:2,5; P e K: extrator Mehlich-1; Ca, Mg e Al: extrator de KCl 1,0 N. Corg = carbono orgânico.

Os tratamentos consistiram de biossólidos provenientes das estações de tratamento de esgoto da Ilha do Governador, Barra da Tijuca e Sarapuí na dose de 3 litros por vaso, outro com aplicação de 230 gramas de composto organomineral (03-13-06) por vaso, além de um tratamento de 120 gramas por vaso de N-P-K (06-30-06), e por fim a testemunha (sem adubação). As doses foram definidas seguindo as recomendações de P₂O₅ para a adubação de plantio em espécies nativas por Gonçalves (2000), com base na análise química do solo (Tabela 1), e no resultado da análise do biossólido que apresentou o menor teor de fósforo em sua composição (Tabela 3). Segundo especificações de rótulo, o adubo organomineral contém também 8% de carbono orgânico, 4% de Ca, 4% de S, apresenta CTC de 80 mmol_c kg⁻¹ e é formado por matéria orgânica, sulfato de amônio, cloreto de potássio, fosfato monoamônico, superfosfato simples e triplo e turfa. O adubo químico N-P-K (06-30-06) contém também 7% CaO e 6% S.

A fim de caracterizar melhor os biossólidos utilizados, a seguir é apresentada breve descrição de localização e do tratamento para obtenção do lodo de esgoto e origem dos biossólidos utilizados.

ETE Barra da Tijuca: recebe esgoto dos bairros de Jacarepaguá, Recreio dos Bandeirantes e Barra da Tijuca, todos residenciais da cidade do Rio de Janeiro. A capacidade instalada de tratamento de esgoto é de 3.000 litros por segundo. O tratamento do esgoto ocorre a nível primário, sendo realizado o tratamento primário quimicamente assistido, no qual o efluente recebe adição de cloreto férrico antes e depois do gradeamento, visando a coagulação do esgoto, e de polímero orgânico após a desarenação, para promover a floculação e aumentar a sedimentação de sólidos no decantador primário. O lodo retirado dos decantadores é adensado em centrífuga e levado a secador térmico para desidratação e higienização, onde permanece de 10 a 20 minutos em temperatura superior a 240 °C, saindo com umidade de aproximadamente 10%.

ETE Ilha do Governador: trata todo o esgoto da Ilha do Governador, região prioritariamente residencial da cidade do Rio de Janeiro. A capacidade instalada de tratamento de esgoto é de 535 litros por segundo. Realiza tratamento de esgoto a nível secundário pelo sistema de lodos ativados. Nos tratamentos preliminar e primário o efluente é

submetido ao gradeamento, seguido de desarenação e decantação. O tratamento secundário é realizado pelo sistema de lodos ativados, onde o efluente passa por tanque de aeração e depois por decantador. O lodo de esgoto é gerado nos decantadores de ambas as fases do tratamento. Do tratamento primário é misturado ao do tratamento secundário antes do adensamento, que é realizado em centrífuga. Após o adensamento o material é estabilizado em digestor anaeróbico, depois desidratado em centrífuga e disposto em leitos de secagem a pleno sol, onde permanece por pelo menos 90 dias, atingindo umidade abaixo de 20%.

ETE Sarapuí: o esgoto tratado é proveniente dos municípios de Duque de Caxias, Nilópolis, São João de Meriti e Nova Iguaçu, todos da Baixada Fluminense. A capacidade instalada de tratamento de esgoto é de 1.500 litros por segundo. Nesta ETE é realizado tratamento primário quimicamente assistido e tratamento secundário pelo sistema de lodos ativados. O lodo do tratamento secundário é misturado ao do tratamento primário para passagem por centrífuga de desaguamento. A estabilização é realizada em digestor anaeróbico e o material é levado novamente à centrífuga para desidratação, sendo após colocado em secador térmico para desidratação e higienização, no qual permanece de 10 a 20 minutos em temperatura superior a 240 °C, saindo com umidade de aproximadamente 10%.

Com objetivo de facilitar a observação dos principais dados, na Tabela 2 é apresentado um resumo das principais características das três ETes usadas neste trabalho.

Na Tabela 3 são apresentadas as principais características do potencial nutricional dos biossólidos estudados originários das três estações de tratamentos.

As doses usadas para cada tratamento foram homogeneizadas com o solo de enchimento e, em seguida, os vasos foram preenchidos com as respectivas misturas. Apenas no tratamento da testemunha absoluta, que os vasos foram ocupados somente com o solo sem conter adubação. Após o preenchimento, foram plantadas mudas de *Schizolobium parahyba* produzidas em tubetes de 280 cm³ e altura padronizada de 40 cm.

O experimento foi instalado em delineamento inteiramente casualizado, composto por seis

tratamentos e cinco repetições, totalizando 30 vasos de planta.

Tabela 2: Localização e tratamento do esgoto e lodo em estações de tratamento de esgoto da região metropolitana do estado do Rio de Janeiro

ETE	Município	Tratamento de esgoto	Tratamento de lodo
Barra	Rio de Janeiro	Primário quimicamente assistido	Adensamento e desidratação / higienização (secagem térmica)
Ilha	Rio de Janeiro	Primário e secundário (lodos ativados)	Adensamento, estabilização e desidratação (leitos de secagem)
Sarapuí	Belford Roxo	Primário quimicamente assistido e secundário (lodos ativados)	Adensamento, estabilização e desidratação / higienização (secagem térmica)

Tabela 3: Valores médios dos teores totais de macronutrientes, matéria orgânica (MO), pH e relação carbono:nitrogênio (C/N) de bio sólidos de lodo de esgoto de três estações de tratamento de esgoto da região metropolitana do Rio de Janeiro

ETE	N	P	K	Ca	Mg	C	MO	pH	C/N
	g/kg						%	H ₂ O	
Barra	32,32	9,61	1,14	22,09	3,76	296,20	65,16	6,4	9,18
Ilha	20,73	7,91	1,37	18,17	2,47	177,43	39,51	5,7	8,59
Sarapuí	22,49	15,60	2,22	14,95	3,05	136,19	30,60	5,8	6,06

N – método Kjeldhal; P, Ca e Mg – ICP-OES; K – fotometria de chama; MO (matéria orgânica) – método de Walkley e Black.

O período de execução do experimento foi de novembro de 2018 (simulando a época de plantio na região) até maio de 2019. Em dias sem chuvas e bastante sol, cada vaso recebeu em torno de 1,5 litros de água. Os vasos com solo foram mantidos livres de plantas herbáceas, através de arranquio manual das plantas espontâneas. Nas seis plantas do tratamento que foram adubadas N-P-K (06-30-06), aos 90 dias após o plantio das mudas foi realizado adubação de cobertura, utilizando 30 gramas de ureia (45% N) + 95 gramas de calcário (33,5% CaO) por vaso. Esta adubação foi diluída em 10 litros d'água e distribuída igualmente entre as plantas.

Realizou-se a mensuração da altura da parte aérea e do diâmetro do coleto aos 60, 120 e 180 dias após o plantio das mudas, com régua graduada e paquímetro digital, respectivamente. Após a última medição, amostras de solo foram coletadas e enviadas para o laboratório, com o objetivo de obter a análise química após seis meses do plantio das mudas. Em seguida, todas as plantas foram desintegradas para coleta de folhas e determinação da área foliar, utilizando o medidor de bancada LICOR 1600. Também se coletou o caule das plantas e o sistema radicular foi lavado em água corrente.

Posteriormente, as folhas e o caule, que passaram a constituir a parte aérea das plantas, e o sistema radicular foram acondicionados, separadamente, em sacos de papel e levados para estufa a 65° C, até atingir peso constante. Em seguida, o material foi pesado para obtenção da massa de matéria seca da parte aérea e do sistema radicular.

Os dados de crescimento da última medição foram submetidos à pré-disposição para realização de análise de variância (homogeneidade dos resíduos das variâncias e normalidade dos dados), constatando não haver necessidade de transformação. Em seguida, os dados foram submetidos à análise de variância ($P \geq 0,95$) e havendo significância, ao teste de Tukey ($P \geq 0,95$). Para as análises estatísticas utilizou-se o software Sistema para Análises Estatística e Genética (SAEG).

Resultados e Discussão

Constata-se pela Figura 1 que as plantas de *Schyzolobium parahyba* adubadas com bio sólidos apresentaram valores médios de altura e de diâmetro do coleto, aos 6 meses após o plantio das mudas nos vasos, significativamente superiores às adubadas

com adubo mineral e àquelas que não foram adubadas. Provavelmente, tal fato deve-se aos elevados teores de matéria orgânica e nutrientes (ABREU et al., 2017; SOUSA et al., 2019), normalmente existentes nos biossólidos originários das três estações de tratamentos de esgoto, e à dinâmica de liberação dos nutrientes dos compostos orgânicos, que segundo Bonini et al. (2015) são lentamente disponibilizados às plantas cultivadas, proporcionando menor lixiviação de água e macronutrientes. Outro fator do maior crescimento das plantas é que os biossólidos avaliados

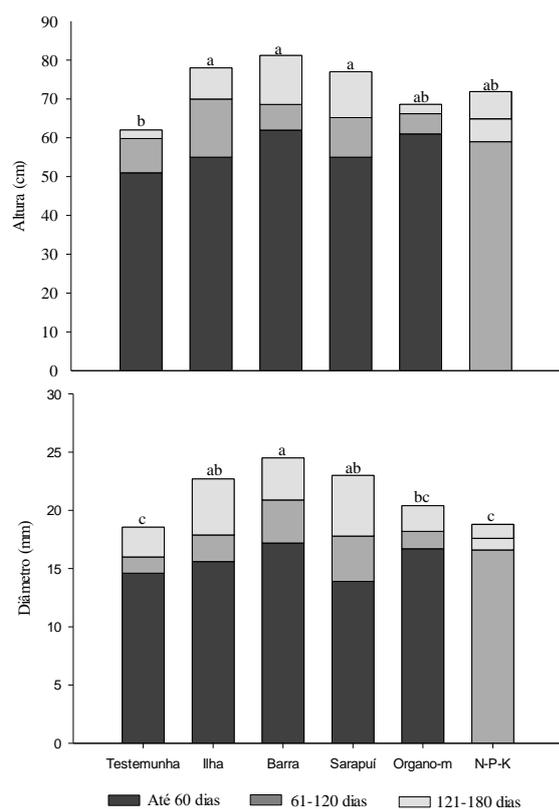


Figura 1: Incrementos em altura da parte aérea (A) e diâmetro do coleto (B) de *Schizolobium parahyba*, sob tratamentos de adubação de plantio, em três intervalos após o plantio, em condições de vasos. Mesma letra indica que não há diferenças significativas entre as médias, das duas características avaliadas, aos 180 dias após o plantio das mudas, pelo teste de Tukey ($P \geq 0,95$).

Apesar das diferenças de origem do esgoto, dos métodos de tratamento do esgoto e do lodo (Tabela 2) e das pequenas diferenças de nutrientes e matéria orgânica (Tabela 3), constata-se pela Figura 1 que não houve diferenças significativas da média crescimento das plantas utilizando os biossólidos originários das três estações. Isto ocorreu devido, provavelmente, todos apresentarem características nutricionais adequadas ao crescimento da espécie

apresentaram relação C/N inferior a 10:1 (Tabela 3) e segundo Kiehl (2002) podem ser considerados compostos maturados e adequados para utilização como substrato. Tal resultado pode ser atribuído aos processos pelos quais passaram esses materiais (Tabela 2), como o tratamento de esgoto pelo sistema de lodo ativados, já que nos tanques de aeração ocorre a digestão da matéria orgânica por microrganismos, bem como o processo de estabilização do lodo, que reduz e estabiliza a fração biodegradável da matéria orgânica presente nos biossólidos (SPERLING, 2017).

arbórea, além do teor de matéria orgânica relativamente alto. Sousa et al. (2019) testando biossólidos da ETE Ilha e Sarapuí para produção de mudas da espécie arbórea *Luehea divaricata* também não verificaram diferenças significativas das mudas oriundas das duas estações, porém significativamente superiores às mudas desta espécie produzidas com substrato comercial a base de sphagnum de pinus e vermiculita.

Observa-se também pela Figura 1 que na primeira medição, aos 60 dias após o plantio das mudas, aparentemente as plantas de guapuruvu cultivadas em solo contendo adubo orgamineral e N-P-K apresentavam maior crescimento. Isto ocorreu devido provavelmente, estes adubos apresentarem nutrientes na forma mais solúvel do que os biossólidos, e com liberação mais rápida e maior perda de nutrientes por lixiviação devido a irrigação do solo.

Outra informação importante é que as plantas não responderam significativamente em crescimento à adubação mineral, em comparação à testemunha. Isto indica que muitas vezes ao usar este tipo de adubo, mesmo em solo relativamente pobre em nutrientes (Furtini Neto et al., 2000), como deste trabalho, as plantas das espécies arbóreas de ocorrência da mata atlântica não obtêm maior crescimento, como também verificado por Lima Filho (2015) e por Silva (2017), representando desperdício de recursos financeiros e humanos. Além disso, o trabalho de Campos et al. (2019) indica que adubos minerais, se aplicados em altas concentrações, podem ocasionar a lixiviação de nutrientes para camadas mais profundas do solo, como nos de textura arenosa.

Constatou-se que não houve diferenças significativas ($P \geq 0,95$) para os parâmetros área foliar e massa de matéria seca da parte aérea e do sistema radicular entre os tratamentos, aos 6 meses após o plantio das mudas nos vasos. Possivelmente, isto ocorreu pela estratégia de crescimento das espécies arbóreas, que em solos com menor fertilidade investem mais em sistema radicular do que em parte aérea a fim de garantir a absorção dos nutrientes com maior eficácia (REIS et al., 1985).

No final do experimento foram coletadas amostras de solo para verificar a disponibilidade de

nutrientes, pois solos mais equilibrados do ponto de vista químico, teoricamente, tendem a oferecer melhor crescimento às plantas a partir seis meses após o plantio. Observa-se pela Tabela 4 que os solos com biofósforos apresentaram melhores qualidades. Todos os elementos químicos dos tratamentos adubados estão dentro da faixa considerados adequados para a nutrição das espécies florestais, de acordo com as recomendações de Sorreano et al. (2012). Outro fator de grande importância do uso de biofósforo é a capacidade de neutralizar o alumínio

do solo, conforme mostra os dados da Tabela 4. Lima Filho (2015) também constatou que a aplicação de 1,0 litro de biofósforo por cova, pode reduzir a concentração de alumínio de 1,3 até 0,3 $\text{cmol}_c \text{dm}^{-3}$, indicando que este composto, além de nutrir a planta tem poder de agir como calcário, ajudando a corrigir a acidez do solo e melhorar as condições de crescimento para as plantas que estão sendo cultivadas.

Tabela 4: Valores médios de análise química do substrato proveniente dos tratamentos que foram cultivadas plantas de *Schyzolobium parahyba*, aos 6 meses após o plantio das mudas em vasos

Tratamento	pH	P	K	Ca	Mg	Al	H+Al
	H ₂ O	----- mg dm^{-3} -----			----- $\text{cmol}_c \text{dm}^{-3}$ -----		
Testemunha	5,1 e	4,8 d	68,5 b	0,9 d	0,5 c	0,5 a	3,7 a
ETE Ilha	5,4 d	57,0 bc	66,7 b	2,4 c	0,5 c	0,1 b	4,2 a
ETE Barra	6,3 d	83,2 b	47,4 b	3,8 ab	1,3 a	0,0 b	3,2 a
ETE Sarapuí	5,7 c	49,4 c	68,2 b	3,3 b	0,9 b	0,0 b	3,6 a
Organo-min	7,6 a	157,1 a	147,2 a	3,7 ab	0,9 b	0,0 b	1,5 b
N-P-K	7,6 a	139,5 a	87,3 b	4,2 a	0,9 b	0,0 b	1,7 b

pH em água, KCl e CaCl_2 – relação 1:2,5; P e K: extrator Mehlich-1; Ca, Mg e Al: extrator de KCl 1,0 N. Médias seguidas pela mesma letra não diferem entre si pelo teste de Tukey ($P \geq 0,95$).

O fósforo apresentou maiores médias nas plantas que foram adubadas com N-P-K e o composto organomineral. Por se apresentar em baixa quantidade e tender a reagir com diversos compostos, o N-P-K é rico neste nutriente e se enquadra como um fertilizante fosfatado. Resíduos orgânicos em associação com fertilizantes químicos que contém na sua composição fósforo e potássio, promovem incremento nos teores destes macronutrientes no solo, o que explica o teor de fósforo em adubos organominerais (RUPPENTHAL & CONTE, 2005). No biofósforo, o fósforo provém de células de microrganismos, detergentes e sabões que utilizam este nutriente como aditivo (ANDREOLI et al., 2014). Abreu et al. (2017) destacam que a tendência é que o fósforo se torne cada vez mais caro, já que a qualidade e quantidade das rochas fosfáticas apresentaram um declínio no mercado, alertando a necessidade de métodos alternativos para a reciclagem do fósforo.

O potássio está presente em maior quantidade no tratamento com adubo organomineral, não apresentando diferença estatística entre os outros tratamentos, incluindo a testemunha. Devido os biofósforos serem muito solúveis em água, durante o tratamento do efluente este elemento é lixiviado, podendo apresentar teores relativamente inferiores no composto (BERTON e NOGUEIRA, 2010). A menor média deste elemento foi da ETE Barra, o que

pode estar relacionado com o sistema de tratamento, embora não tenha sido comprovado na literatura.

O teor de cálcio foi maior no tratamento com N-P-K devido este adubo conter 7% de Ca e aplicação de calcário como adubação de cobertura, que complementou a solução do solo com cálcio e magnésio. Nos biofósforos, este nutriente varia bastante decorrente da higienização realizada em cada ETE. Por não ser adotado o método de estabilização alcalina em nenhuma destas estações, o teor deste nutriente é inferior às estações que aplicam este método, como biofósforo utilizado por Siqueira et al. (2019).

O substrato da ETE Barra foi o que mais obteve magnésio (Mg) em sua composição. Além disso, o tratamento testemunha e o da ETE Ilha apresentaram os piores teores para este elemento. Na ETE Ilha é utilizado secagem ao ar livre (Tabela 2) que, segundo Carvalho et al. (2015) pode ocorrer lixiviação de nutrientes, o que justifica o motivo do resultado da análise química. No entanto, Campos et al. (2019) constataram que o biofósforo proveniente da ETE Ilha do Governador não apresentam nenhum perigo quanto à lixiviação de metais pesados, podendo usufruir deste composto tanto para uso agrícola como florestal.

Conclusões

Os biofósforos das três estações de tratamento de esgoto podem ser utilizados como adubação de

plântio de *Schyzolobium parahyba*. Para a classe de solo e condições climáticas que foi realizado experimento, não é aconselhável o uso de N-P-K (06-30-06) como adubação para as espécies arbóreas.

Agradecimentos

Sinceros agradecimentos à CNPQ pela concessão dos recursos para a pesquisa. À UFRRJ e ao Laboratório de Pesquisas e Estudos em Reflorestamento pelo fornecimento do local da pesquisa e equipe para suporte.

Referências

Abreu AHM, Alonso JM, Melo LA, Leles PSS, Santos GR (2019) Caracterização de biossólido e potencial de uso na produção de mudas de *Schinus terebinthifolia* Raddi. *Engenharia Sanitária e Ambiental*, 24(3):591-599. doi: doi.org/10.1590/s1413-41522019108265

Abreu AHM, Leles PSS, Alonso JM, Abel ELS, Oliveira RR (2017) Characterization of sewage sludge generated in Rio de Janeiro, Brazil, and perspectives for agricultural recycling. *Semina: Ciências Agrárias*, 38(4):1710-1718. doi: dx.doi.org/10.5433/1679-0359.2017v38n4Sup1p2433

Alonso JM, Abreu AHM, Melo LA, Leles PSS, Cabreira GV (2018) Biosolids as substrate for the production of ceiba speciosa seedlings. *Cerne*, 24(4):420-429. doi: doi.org/10.1590/01047760201824042568

Alonso JM (2019) *Caracterização de biossólidos para a produção de mudas de espécies arbóreas da Mata Atlântica*. Tese, Doutorado em Ciências Ambientais e Florestais, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica, 126p.

Andreoli CV, Pegorini ES, Fernandes F (2014) Disposição do lodo no solo In: Andreoli CV, Sperling MV, Fernandes F. *Lodo de esgotos: tratamento e disposição final*. Belo Horizonte: Editora UFMG. 444p.

Berton RS, Nogueira TAR (2010) Uso de lodo de esgoto na agricultura. In: Coscione AR, Nogueira TAR, Pires AMM. *Uso agrícola de lodo de esgoto: avaliação após a resolução nº 375 do CONAMA*. Botucatu: FEPAF. 407 p.

Bonini CSB, Alves MC, Montanari R (2015) Lodo de esgoto e adubação mineral na recuperação de atributos químicos de solo degradado. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, 19(4):388-393. doi: dx.doi.org/10.1590/1807-1929/agriambi.v19n4p388-393

Cabreira GV, Leles PSS, Alonso JM, Abreu AHM, Lopes NF, Santos GR (2017) Biossólido como componente de substrato para produção de mudas florestais. *Floresta*, 47(2):165-176. doi: dx.doi.org/10.5380/ufv.v47i2.44291

Campos T, Chaer G, Leles PS, Silva M, Santos F (2019) Leaching of heavy metals in soils conditioned with biosolids from sewage sludge. *Floresta e Ambiente*, 26(1):1-10. doi: dx.doi.org/10.1590/2179-8087.039918

Carvalho CS, Ribeirinho VS, Andrade CA, Grutmacher P, Pires AMM (2015) Composição química da matéria orgânica de lodos de esgoto. *Revista Brasileira de Ciências Agrárias*, 10(3):413-419. doi: dx.doi.org/10.5039/agraria.v10i3a5174

Carvalho PER (2003) *Espécies Arbóreas Brasileiras*. Embrapa Informação Tecnológica; Colombo, PR: Embrapa Florestas. 1039p.

Furtini Neto AE, Siqueira JO, Moreira FMS (2000) Fertilização em reflorestamentos com espécies nativas. In: Gonçalves JLM.; Benedetti V. *Nutrição e fertilização florestal*. Piracicaba: IPEF. p.352 - 383.

Gonçalves JLM, Santarelli EG, Moraes Neto SP, Manara MP (2000) *Produção de mudas de espécies nativas: substrato, nutrição, sombreamento e fertilização*. p.309-350

Kiehl EJ (2002) *Manual de Compostagem: maturação e qualidade do composto*. Piracicaba. 171p.

Guerrini IA, Croce CGG, Bueno OC, Jacon CPRP, Nogueira TAR, Fernandes DM, Capra GF (2017) Composted sewage sludge and steel mill slag as potential amendments for urban soils involved in afforestation programs. *Urban Forestry & Urban Greening*, 22:93-104. doi: dx.doi.org/10.1016/j.ufug.2017.01.015

Kominko H, Gorazda K, Wzorek Z (2017) The possibility of Organo-Mineral fertilizer production from sewage sludge. *Waste and Biomass Valorization*, 1(1):1 - 11. doi: dx.doi.org/10.1007/s12649-016-9805-9

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

Reis MGF, Kimmins JP, Rezende GC, Barros NF (1985) Acúmulo de biomassa em uma sequência de

idade de *Eucalyptus grandis* plantado no cerrado em duas áreas com diferentes produtividades. *Revista Árvore*, 9(2):149-162.

Resende AS, Leles PSS, Alonso JM, França Junior HM, Machado AFL (2017) Controle de plantas daninhas em propriedades rurais visando a restauração florestal. In: Resende A.S, Leles P.S.S. (eds.). *Controle de plantas daninhas em restauração florestal*. Brasília : Embrapa, p.85-107.

Ribeiro JG, Leles PSS, Fonseca AC, Sousa TJS, Santana JES (2018) Biossólido na composição de substratos para produção de mudas de duas espécies florestais utilizadas na arborização urbana. *Revista da Sociedade Brasileira de Arborização Urbana*, 13(2):01-12. doi: dx.doi.org/10.5380/revsbau.v13i2.63592

Ruppenthal V, Conte MA (2005) Efeito do composto de lixo urbano na nutrição e produção de gladiolo. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 29(1):145-150. doi: doi.org/10.1590/S0100-06832005000100016

Silva BVN, Pinto LVA (2010) Potencial do uso do lodo de esgoto como adubo orgânico em cobertura de espécies florestais nativas plantadas em área degradadas por pastagem. *Revista Agrogeoambiental*, 2(1):50 - 56. doi: dx.doi.org/10.18406/2316-1817v2n12010251

Silva MV (2017) *Uso de biossólido de lodo de esgoto em plantio de espécies da Mata Atlântica*. 2017. Dissertação, Mestrado em Ciências Ambientais e Florestais, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica, 42p.

Siqueira DP, Barroso DG, Carvalho GMW, Erthal RM, Rodrigues MCC, Marciano CR (2019) Lodo de esgoto tratado na composição de substrato para produção de mudas de *Plathymenia reticulata* Benth. *Ciencia Florestal*, 29(2):728-739. doi: doi.org/10.5902/1980509827297

Sorreano MCM, Rodrigues RR, Boaretto AE (2012) *Guia de nutrição para espécies florestais nativas*. São Paulo: Oficina de Textos. 254p.

Sousa TJS, Alonso JM, Leles PSS, Abel ELS, Ribeiro JG, Santana JES (2019) Mudas de *Luehea divaricata* produzidas com biossólidos de duas estações de tratamento de esgoto. *Advances in Forestry Science*, 6(2):595-601. doi: dx.doi.org/10.34062/afs.v6i2.6992

Sperling MV (2017) *Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos*. Belo Horizonte: Editora UFMG, 470p.