

INFLUÊNCIA DO LODO DE ESGOTO, COMO SUBSTRATO, NA RECUPERAÇÃO DE UMA COMUNIDADE VEGETAL DO SEMIÁRIDO

Vicente Elício Porfiro Sales Gonçalves da Silva¹, Patrícia Marques Carneiro Buarque², Wanessa Nepomuceno Ferreira³, Maria Amanda Menezes Silva⁴

¹ Engenheiro Sanitarista e Ambiental, doutorando em Engenharia Civil, Departamento de Engenharia Hidráulica e Ambiental, Universidade Federal do Ceará, Campus do Pici, bloco 713, Pici, Fortaleza, CE, CEP 60.455-970

² Professora doutora, Departamento de Química, Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Ceará, campus Quixadá, Avenida José de Freitas Queiroz, 5000, Cedro, Quixadá, CE, CEP 63902-580

³ Professora doutora, Departamento de Biologia, Universidade Federal do Cariri, Instituto de Formação de Educadores, Rua Olegário Emídio de Araújo, S/N, Centro, Brejo Santo, CE, CEP 63270-000

⁴ Professora doutora, Departamento de Biologia, Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Ceará, campus Acopiara, Rodovia CE 060, Km 332, Vila Martins, Acopiara, CE, Cep. 63560-000

Autor para correspondência: Vicente Elício Porfiro Sales Gonçalves da Silva, vicenteelicio@gmail.com

RESUMO: No semiárido nordestino a degradação ambiental, aliada a fatores climáticos e socioeconômicos, podem levar a perda de qualidade dos solos e de diversidade biológica, exigindo aplicação de técnicas que recuperem e ofereçam benefícios ao mesmo, fornecendo aporte nutricional para as espécies introduzidas. Este trabalho avaliou o efeito da aplicação do lodo de esgoto, como adubo, sobre a estrutura horizontal e vertical de uma comunidade em área de Floresta tropical sazonalmente seca (caatinga) em processo de recuperação. A pesquisa foi desenvolvida no Instituto Federal do Ceará, campus Quixadá. Aplicaram-se três tratamentos com três repetições cada: lodo bruto (LB), lodo higienizado (LH) e sem manipulação (SM). Ao todo foram nove parcelas, com 16 mudas em cada, totalizando 144 mudas, que foram etiquetadas, plantadas com distâncias específicas, e que tiveram diâmetros ao nível do solo e alturas medidas ao longo de sete meses. Verticalmente, o LH foi responsável por conferir maiores alturas mínima, média e taxa de crescimento em altura. Para altura máxima, houve diferença entre LH e tratamento SM, mas não houve diferença entre LB e os demais tratamentos. Temporalmente, após sete meses, o LH apresentou mais indivíduos maiores em altura, diferindo dos outros dois tratamentos. Já horizontalmente, os diâmetros mínimos e máximos não aumentaram com o uso do lodo. Mas, houve diferença no diâmetro médio, na taxa de crescimento em diâmetro e na área basal a partir da manipulação com LH. Após sete meses verifica-se que o LH confere diâmetros maiores e apresenta indivíduos mais grossos. Com relação às espécies, a maioria obteve melhor desempenho com o LH, de maneira geral, usando os recursos disponíveis de forma rápida e investindo-os em crescimento. Deste modo, observou-se que o uso do LH pode ser uma boa ferramenta para obtenção de rápida cobertura do solo em ambientes sob processo de recuperação.

PALAVRAS CHAVE: Biossólido; Manejo Florestal; Perfil Horizontal; Perfil Vertical; Restauração.

INFLUENCE OF SEWAGE SLUDGE, AS A SUBSTRATE, ON THE RECOVERY OF A VEGETABLE COMMUNITY IN THE SEMI-ARID

ABSTRACT: In the northeastern semi-arid, environmental degradation, combined with climatic and socioeconomic factors, can cause loss of soil quality and biological diversity, requiring application of techniques that recover and offer benefits to it, providing a nutritional support for the introduced species. This work has assessed the effects of sewage sludge application as fertilizer on the horizontal and vertical structures of a plant community in the seasonally dry tropical forest (caatinga) in the process of recovery. The research took place in the campus of Instituto Federal do Ceará in the city of Quixadá. Three treatments with three repetitions each were applied: raw sludge, sanitized sludge and unmanipulated treatment. There were nine plots containing 20 seedlings each, making a total of 180 seedlings. They were all tagged, and planted away from each other according to specific lengths using the nucleation technique. They also had their ground-level diameter and height measured throughout seven

months. As far as the vertical structure is concerned, sanitized sludge was responsible for producing better results in terms of minimum height, average height and height growth rate. In regard to maximum height, there was a difference between sanitized sludge and unmanipulated treatment, but there was no difference between raw sludge and other treatments. After seven months, sanitized sludge produced more individuals with great height, differing from the other two treatments. When the horizontal structure is taken into consideration, minimum and maximum diameters did not increase as a consequence of sludge use; however, differences in average diameter, diameter growth rate and basal area could be noticed from sanitized sludge manipulation. After six months, sanitized sludge produced increased diameters and thicker individuals. Thus, it was observed that the use of sanitized sludge can be a good tool for obtaining quick soil cover in surroundings under recovery.

KEYWORDS: Biosolid; Forest Management; Horizontal Profile; Vertical Profile; Recovery.

INTRODUÇÃO

A incorporação de nutrientes ao solo é uma estratégia indispensável em áreas que se encontram sob processo de degradação, uma vez que o solo é um elemento chave para a conservação, para a manutenção da biodiversidade e da qualidade ambiental (Salvati et al., 2015). No processo de incorporação diversos materiais (orgânicos ou inorgânicos) e resíduos (como o proveniente de estações de tratamento de esgoto) são utilizados como substrato para fornecer recursos adequados ao crescimento de plantas (Bravo-Martín-Consuegra et al., 2015).

Atualmente, uma das maiores preocupações globais é a degradação do solo, que confere declínio da qualidade, tanto em aspectos físicos, quanto químicos e biológicos, sendo mais intensos sob condições de clima seco ou semiárido (Ferrara, Salvati & Tombolini, 2014; Iturri et al., 2015), como em áreas de Floresta Tropical Sazonalmente Seca (Caatinga). Essa degradação é resultado de práticas não sustentáveis de uso e ocupação do solo, principalmente no âmbito da agricultura, das atividades industriais e da expansão urbana, que são influenciadas por fatores socioeconômicos que refletem nos atributos do sistema (Emadodin, Narita & Bork, 2012; Khaledian et al., 2017).

Os nutrientes estão entre os atributos químicos do solo que comumente sofrem declínio devido à degradação (Ollobarren et al., 2016). Alguns dos nutrientes do solo são essenciais para o crescimento e o desenvolvimento das plantas (Marschner, 2012). O nitrogênio, por exemplo, confere crescimento maior por estar correlacionado com a produção de células e tecidos, tornando-se essencial para a síntese de proteínas, ácidos nucleicos e coenzimas (Castellanos & Morales et al., 2012). Além disso, o mesmo, está ativamente relacionado com a formação de clorofila (Jiang et al., 2012), que é um pigmento envolvido com a

fotossíntese (Zhang et al., 2014), e com a plasticidade nas folhas e raízes (Gifford et al., 2008).

Sendo assim, a heterogeneidade na distribuição dos nutrientes implica que plantas em diferentes locais apresentam plasticidade nas taxas de crescimento, que é comumente avaliada por meio das alturas e dos diâmetros (Yamada, 2004). Estes parâmetros são bons indicadores, uma vez que crescimento em diâmetro é importante na quantificação volumétrica, na produção de biomassa e no povoamento de uma área (Cunha et al., 2006). Já o crescimento em altura está intrinsecamente ligado à qualidade ambiental, à cobertura de solo (dissipando parte da energia e intensidade das chuvas através de suas estruturas aéreas) e atração de polinizadores e dispersores de sementes.

De acordo com a finalidade do uso do solo, e com o objetivo da recuperação, é necessário o uso de estratégias de manejo adequadas (Bravo-Martín-Consuegra et al., 2015). Assim, diversas pesquisas e experimentos têm sido realizados com o intuito de maximizar a incorporação de nutrientes ao solo. Dentre as pesquisas estão a aplicação de nutrientes inorgânicos, que favoreceu a umidificação e o sequestro de carbono (Kirkby et al., 2016), o uso de NPK, que melhorou os componentes de produção e rendimento (Shabbir et al., 2015), a aplicação de hidrogel, reduzindo significativamente o estresse hídrico (Gales et al., 2016), a calagem com fungos, auxiliando na adsorção de ferro pelas plantas (Rodríguez, Campillo & Moraga, 2015) e o adubo com enxofre, favorecendo o crescimento e desenvolvimento de plântulas (Najafian & Zahedifar, 2014).

Outra maneira de aumentar a disponibilidade de nutrientes no solo é através do uso do resíduo gerado a partir do tratamento de água ou esgoto (o lodo), que é rico em matéria orgânica, nitrogênio, fósforo e potássio,

servindo como uma reserva de nutrientes para as plantas, especialmente de nitrogênio (Singh & Agrawal, 2008; Bonano et al., 2013; Bravo-Martín-Consuegra et al., 2015; Ibrahim et al., 2019). Em contrapartida, este resíduo contém metais pesados, que pode prejudicar o solo se for incorporado continuamente em longo prazo (Gawdzik & Gawdzik, 2012), e seres patogênicos, que ameaçam a saúde pública (Conama, 2006), mas se forem tratados adequadamente, esses níveis de contaminação podem ser minimizados e não agredir o ambiente (Lima, 2010).

Uma das maneiras de tratar esse lodo é por meio da caleação, ou estabilização química (Andreoli, 1999), que é a incorporação de um composto alcalino (cal) com o objetivo de aumentar o potencial hidrogeniônico (pH), diminuindo a concentração de microrganismos patogênicos (tanto para o ser humano quanto para as plantas) e reduzindo a liberação de odores (Lima, 2010). Quando há o incremento de compostos alcalinos no lodo, há uma desintegração dos compostos orgânicos presentes e as células microbiológicas entram em processo de solubilização (Akerlund, 2008). Segundo Andreoli (1999) e Tchobanoglous, Burton & Stensel (2003), além de elevar o pH do lodo, a adição de cal proporciona um aumento de temperatura devido a reação entre o óxido de cálcio e a água. Tal aumento, além de modificar mortalmente o protoplasma celular dos seres dispersores de patogenidades, proporciona um ambiente inóspito para estes seres (Pinto, 2001). Além disso, ao reagir com outros elementos presentes no lodo, a cal disponibiliza mais cálcio e magnésio no solo, diminui a concentração de elementos tóxicos, possibilita melhor absorção de recursos pelas espécies vegetais e intensifica e fortalece as atividades dos microrganismos do solo (Lima, 2010).

Considerando-se que o lodo de esgoto tratado é capaz de enriquecer o solo e favorecer a absorção de nutrientes pelas plantas, levantou-se a hipótese de que seu uso pode acelerar o desenvolvimento da cobertura do solo em ambientes sob processo de recuperação. Para testar esta hipótese, realizou-se um experimento no qual avaliou-se a influência de três tratamentos – lodo bruto (LB), lodo higienizado (LH) e sem manipulação (SM) – no crescimento de plantas de espécies nativas da caatinga. Desse modo, foram consideradas as seguintes previsões: (1) plantas adubadas com o lodo higienizado (LH) deverão apresentar taxas de crescimento maior, tanto na estrutura vertical quanto na

horizontal; (2) os parâmetros de altura, diâmetro, área basal e sobrevivência deverão ser maiores na presença do LH; (3) devem existir mais indivíduos nas maiores classes de diâmetro e de altura no tratamento com LH, sendo mais perceptível com o passar do tempo.

MATERIAL E MÉTODOS

Localização e descrição da área de estudo

O estudo foi realizado em uma área de 393 m² (4°58'38.50" N e 39°3'30.69" S) localizada no Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia (IFCE), campus Quixadá, no estado do Ceará. O clima de Quixadá é o Tropical Quente Semiárido, com temperatura média de 26 a 28° C, e pluviosidade de 838,1mm anuais, com chuvas nos períodos de fevereiro a abril (Ipece, 2015).

O solo da área é do tipo Argissolo Vermelho-Amarelo Distrófico que, de forma geral, são solos constituídos por material mineral com argila de atividade baixa, ou atividade alta desde que conjugada com saturação por bases baixa ou com caráter aluminico e horizonte B textural imediatamente abaixo de horizonte A ou E (Embrapa, 2018). Esse tipo de solo apresenta muitos minerais, oriundos da desagregação direta da rocha sem envolvimento de transporte para sua acumulação, bem como características físicas e químicas com poucas restrições para o uso agrícola (Bezerra, 2009).

A área que está sob processo de recuperação é oriunda do aterramento para a construção do Instituto, apresentando baixa riqueza de espécies, com poucos indivíduos de plantas nativas e exóticas (como a *Mangifera indica* L.). Antes de iniciar os estudos, a área foi limpa com o intuito de eliminar todos os indivíduos de qualquer espécie que pudessem vir a competir por recursos; e ao longo do experimento, foi monitorado o surgimento de espécies invasoras ou oportunistas, eliminando-as. Após a limpeza, foram abertas covas de 20cm de largura e de profundidade.

Quantidade do lodo aplicado

O lodo utilizado neste trabalho foi fornecido pela Companhia de Água e Esgoto do Ceará (CAGECE), sendo gerado na Estação de Tratamento de Esgoto do município de Quixadá, CE, a partir de reatores anaeróbios. Para a aplicação do lodo da estação de tratamento utilizou-se como referência

a resolução 375/06 do Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA), que define as especificações e procedimentos para o uso do lodo gerado em estações de tratamento de esgoto sanitário como adubo.

Além da caracterização química, física e biológica do lodo que deve seguir as especificações delimitadas pela resolução, a taxa de aplicação subsuperficial do biossólido leva em conta as quantidades de nitrogênio disponíveis no lodo e o valor máximo de nitrogênio que pode ser incorporado no solo, segundo as normas estaduais.

Para determinar a quantidade de nitrogênio na forma de nitrito, o método utilizado foi o Colorimétrico, para nitrogênio na forma de nitrato, usou-se o método Salicilato e para nitrogênio amoniacal e *Kjeldahl*, seguiu-se o método $4500-N_{org}C$ do *Standard Methods* (Apha, 2012). Ambas as análises (Tabela 1) foram realizadas no LABSAN (Laboratório de Saneamento da Universidade Federal do Ceará, UFC). Portanto, realizando-se os cálculos conforme a Resolução do CONAMA 375/06, com adaptações necessárias às unidades, a taxa máxima de aplicação do lodo foi de 1,2 Kg/m².

Tabela 1. Resultados encontrados para as formas de nitrogênio.

Parâmetro	Valor (mg/Kg)
Nitrogênio Kjeldahl	29,096
Nitrogênio Amoniacal	2,836
Nitrogênio Nitrato	3,87
Nitrogênio Nitrito	Ausente na amostra

Higienização e aplicação do lodo

Para higienização do lodo, adotou-se o método da calagem com base nos procedimentos e técnicas do Programa de Pesquisas em Saneamento Básico, PROSAB (Andreoli, 1999), em que a calagem do lodo é um processo de higienização que consiste na mistura de cal virgem (de construção) ao lodo em proporções que variam de 30 a 50% do peso seco do lodo. Adotou-se que seria utilizado o percentual de cinquenta por cento, ou seja, o peso de cal virgem igual a 50% do peso seco do lodo.

Portanto, foi encontrado que a taxa de cal necessária para higienizar o lodo era de 0,6 Kg/m². A cal virgem utilizada foi da *Hidracal* e a mistura com o lodo foi feita de forma manual, seguindo as especificações da PROSAB, em que ela é aplicada na superfície do lodo formando um monte e após quatro dias muda-se este monte de posição, a fim de homogeneizar toda a massa. Esta mudança ocorreu em duplicata. A PROSAB aconselha que devam ocorrer três mudanças de posição do monte num intervalo de 14 dias.

Depois de misturado, o lodo foi disposto em três montes e recoberto com lona plástica por uma semana, a fim de reter calor e amônia, e finalizar os processos resultantes da reação com a cal. Após este procedimento, o lodo foi deixado por 20 dias na cova, antes de fazer a plantação, para que houvesse um equilíbrio entre lodo e solo. Após este período as mudas foram plantadas.

Espécies utilizadas e delineamento experimental

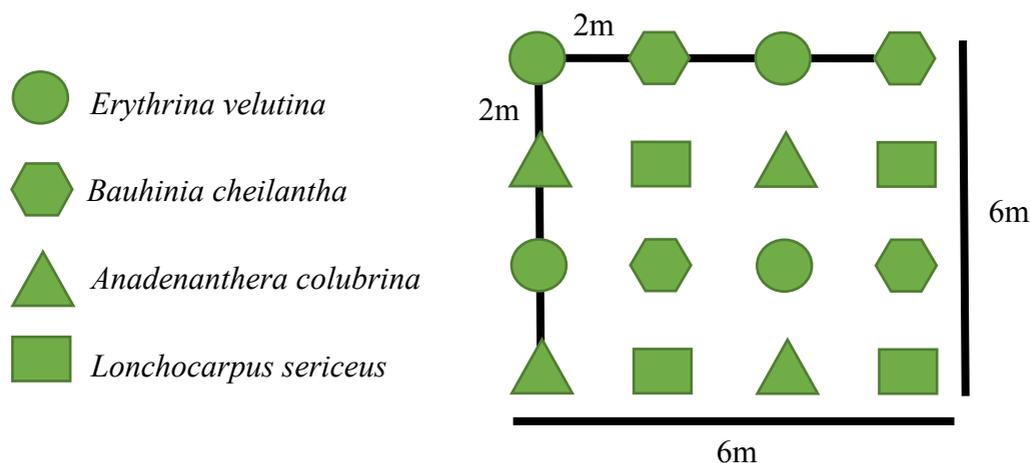
As espécies foram escolhidas pelo fato de serem da caatinga e classificadas como pioneiras ou secundárias iniciais, sendo esses grupos usados nas fases iniciais dos planos de recuperação (Santos et al., 2014; Lima & Barbosa, 2018; Fernandes et al., 2019). Além disso, essas espécies apresentavam alta disponibilidade de mudas no viveiro do Projeto Biomas, que é financiado pela EMBRAPA e desenvolvido em parceria com o Laboratório de Estudos Ecológicos e Ambientais do Bioma Caatinga (LEEABC) do IFCE, campus Quixadá. As mudas selecionadas possuíam a mesma idade e tinham boas características fitossanitárias.

Deste modo, o LEEABC doou 144 mudas de quatro espécies encontradas na caatinga que foram necessárias para a execução do estudo, sendo 36 indivíduos de cada espécie (Tabela 2). Cada indivíduo foi etiquetado e teve altura e diâmetro ao nível do solo (DNS) medidos, com o auxílio de fita métrica e paquímetro, respectivamente.

A área foi dividida em nove parcelas com 36 m², cada uma com 16 mudas, sendo quatro de cada espécie, plantadas com distância de 2m entre si (Figura 1). Nas parcelas foram realizados três tratamentos com três repetições (três parcelas) cada: lodo bruto (LB), lodo higienizado (LH) e sem manipulação (SM). As parcelas distanciavam um metro da outra e foram distribuídas de forma aleatória para dar maior confiabilidade aos resultados.

Tabela 2. Lista de espécies utilizadas e seus respectivos enquadramentos funcionais.

Espécie	Tipo funcional
<i>Anadenanthera colubrina</i> var. <i>cebil</i> (Vell.) Brenan	Secundária inicial; (Lima & Barbosa, 2018)
<i>Lonchocarpus sericeus</i> (Poir.) Kunth ex DC.	Pioneira; (Fernandes et al., 2019)
<i>Erythrina velutina</i> Willd.	Pioneira; (Santos et al., 2014)
<i>Bauhinia cheilantha</i> (Bong.) Steud	Secundária inicial; (Lima & Barbosa, 2018)

Figura 1. Croqui do plantio aplicado em todas as parcelas.

Durante todo o experimento, a irrigação das mudas foi realizada de maneira manual, uma vez ao dia, durante cinco dias na semana. A água era despejada levemente nas folhas e depois acumulada na área de coroamento.

Coleta de dados e análises dos resultados

As medidas de altura e diâmetro ao nível do solo foram realizadas mensalmente durante sete meses; além disso, foram contabilizados os indivíduos que não sobreviveram.

Para analisar o desenvolvimento da comunidade nos parâmetros médios de altura e diâmetro, foi feita uma média aritmética de todos os indivíduos de cada parcela, já para população, fez-se a média aritmética de todos os indivíduos de cada espécie por parcela. Para obtenção dos dados de área basal, altura e diâmetro mínimos e máximos da comunidade e das espécies, e para determinação da dominância relativa das espécies, utilizou-se o software Fitopac 2 (Shepherd, 2009).

As taxas de crescimento em altura e diâmetro tanto para comunidade quanto para espécies foram calculadas por meio da subtração do valor do parâmetro na última medição pela primeira, dividida pelo intervalo de tempo, fazendo uma média aritmética em cada parcela. Após isso, realizou-se temporalmente a distribuição dos

indivíduos em classes de diâmetro e altura, em intervalos de 2 cm e 15 cm, respectivamente. Para as taxas de sobrevivência, tanto nos padrões de comunidade e de espécies, realizou-se a contagem de quem e quantos indivíduos morreram ao longo do experimento.

Ao final do experimento, todos os dados, para comunidade e por espécies, foram comparados entre os tratamentos. Inicialmente foram submetidos ao teste de normalidade Shapiro-Wilk, em seguida foram comparados através da análise de variância (ANOVA), completada pelo teste de Scott-Knott, utilizando-se o software ASSISTAT (Silva, 2010).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Estrutura vertical

Comparando-se os tratamentos em nível de comunidade, verifica-se que a altura mínima e média, bem como a taxa de crescimento em altura, foi maior com a aplicação do LH, no entanto, não houve diferença entre o uso do LB e sua ausência (Tabela 3). Este resultado é similar ao encontrado em outros ambientes semiáridos, onde o LH é utilizado como substrato (Walter et al., 2000), o que se deve ao fato de ocorrer maior absorção de nutrientes nesse tipo de substrato, sendo o nitrogênio o macronutriente mais absorvido (Singh & Agrawal, 2008).

Tabela 3. Médias (cm), por tratamento, dos parâmetros avaliados em plantas jovens submetidas a aplicação de lodo higienizado (LH), lodo bruto (LB) e sem manipulação (SM) durante sete meses. Para cada parâmetro, médias seguidas de letras diferentes apresentam diferenças significativas.

Parâmetros	LH	LB	SM
Altura Mínima	37,00 ^a	23,67 ^b	20,00 ^b
Altura Média	50,74 ^a	39,84 ^b	33,14 ^b
Altura Máxima	86,67 ^a	74,67 ^{ab}	55,00 ^b
Crescimento em altura	27,09 ^a	18,63 ^b	14,05 ^b
Diâmetro Mínimo	0,36 ^a	0,28 ^a	0,25 ^a
Diâmetro Médio	0,98 ^a	0,68 ^b	0,56 ^b
Diâmetro Máximo	2,40 ^a	1,72 ^a	1,32 ^a
Crescimento em diâmetro	0,94 ^a	0,64 ^b	0,56 ^b
Área Basal	0,06451 ^a	0,03903 ^b	0,02457 ^b
Sobrevivência (%)	93,33 ^a	96,67 ^a	95 ^a

A altura máxima reflete um gradiente de transição entre os efeitos da adição do lodo, sendo maior no tratamento LH, que foi semelhante ao LB e este não diferiu das parcelas SM, porém, houve diferença entre LH e SM (Tabela 3). Isto corrobora com as inferências de Adjei & Jack (2002), em que inicialmente as espécies se desenvolvem mais rápido nos tratamentos com lodo.

Ao analisar a altura média no decorrer do tempo (Tabela 4), até o quarto mês após o incremento do lodo, não houve diferença no crescimento em altura entre os três tratamentos. No quinto e sexto mês, a incorporação do lodo confere maiores alturas em relação às parcelas SM, no entanto, não há diferença entre o uso do LB e do LH. O contrário ocorre a partir do sétimo mês, quando há diferença entre o uso do LH

em relação aos outros dois tratamentos, contudo, não há diferença entre o tratamento com LB e o SM. Essa maior altura média apenas no sétimo mês pode estar relacionada à lenta decomposição da matéria orgânica presente no LH, assim, o nitrogênio permanece mais tempo disponível no solo, concedendo maior aproveitamento dos recursos fornecidos pelo lodo de esgoto. Vaz & Gonçalves (2002) também observaram que a resposta à aplicação do lodo de esgoto foi mais evidente com o passar do tempo, refletindo seus efeitos (elevada disponibilidade de nutrientes às árvores) no decorrer de sua decomposição. Do mesmo modo, Souza et al. (2020) ressaltaram que os nutrientes do fertilizante organomineral lodo de esgoto tendem a persistir por um período maior no solo devido a lenta liberação.

Tabela 4. Altura e diâmetro médio (cm), por mês de coleta, avaliada em plantas jovens submetidas a aplicação de lodo higienizado (LH), lodo bruto (LB) e sem manipulação (SM). Dentro das colunas, médias seguidas de letras diferentes apresentam diferenças significativas entre tratamentos.

		1º mês	2º mês	3º mês	4º mês	5º mês	6º mês	7º mês
Altura média	LH	23,57 ^a	33,66 ^a	35,35 ^a	36,58 ^a	39,77 ^a	44,96 ^a	50,74 ^a
	LB	21,12 ^a	29,27 ^a	31,50 ^a	33,49 ^a	34,70 ^a	37,34 ^{ab}	39,84 ^b
	SM	19,08 ^a	26,02 ^a	27,60 ^a	28,60 ^a	30,42 ^b	31,16 ^b	33,16 ^b
Diâmetro médio	LH	0,41 ^a	2,05 ^a	5,97 ^a	6,19 ^a	7,12 ^a	8,39 ^a	9,82 ^a
	LB	0,40 ^a	1,83 ^a	5,01 ^a	5,30 ^a	5,88 ^{ab}	6,41 ^b	6,84 ^b
	SM	0,35 ^a	1,67 ^a	4,51 ^a	4,67 ^a	4,67 ^b	5,02 ^b	5,57 ^b

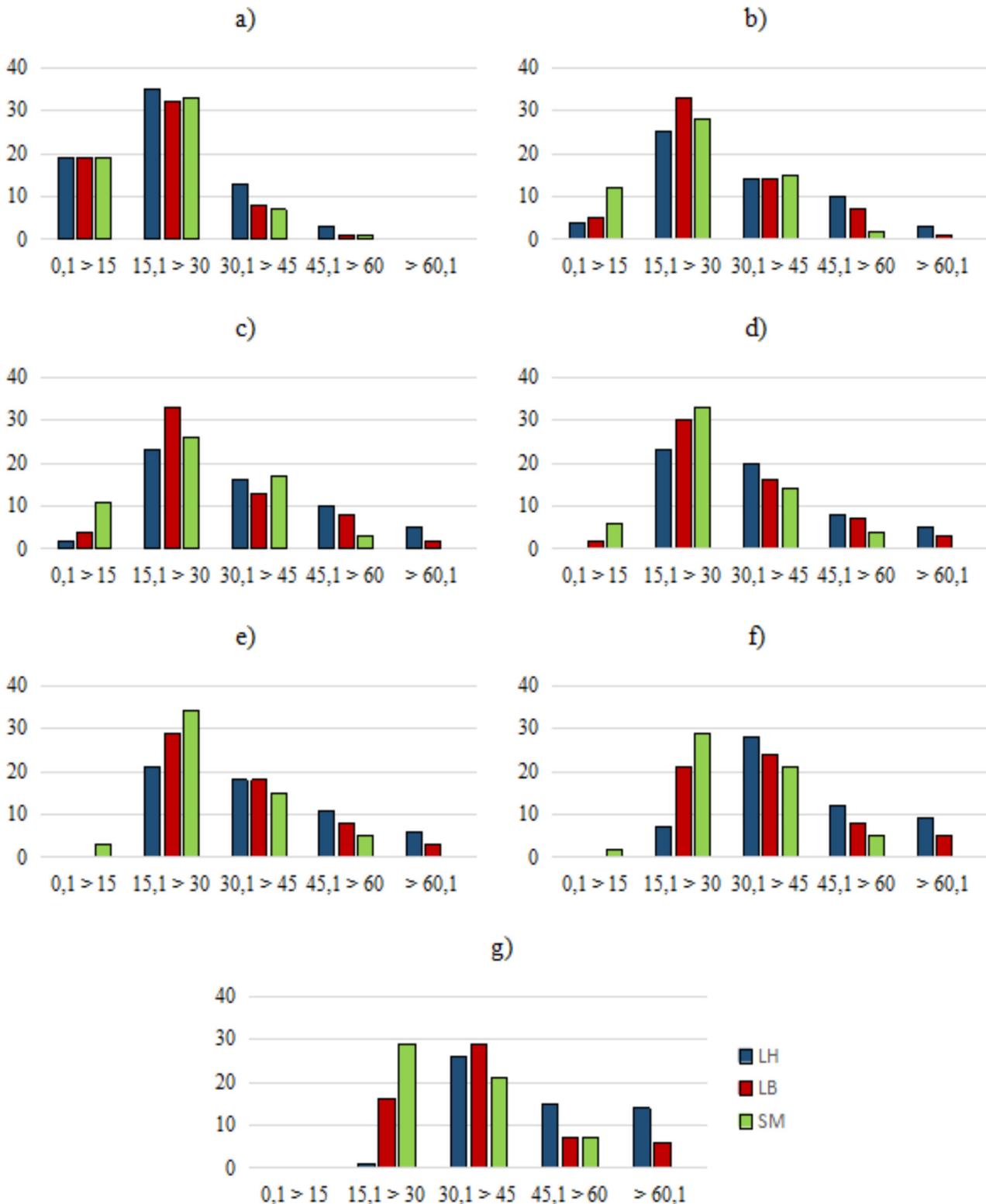
Pode-se observar que o LH contribuiu mais para o crescimento quando se faz uma análise da distribuição de indivíduos em classes de altura ao longo dos sete meses estudados (Figura 2). Na primeira medição (Figura 2a), todos os tratamentos apresentavam mais indivíduos em menores tamanhos

e sem indivíduos na maior classe. Na segunda, terceira e quarta medições (Figura 2b-2d), LH e LB apresentaram indivíduos na classe de maior tamanho, enquanto a testemunha apresentava apenas indivíduos abaixo de 60 cm. Na quinta e na sexta medição (Figura 2e-2f) apenas as parcelas SM apresentaram indivíduos

na primeira classe, e apenas as parcelas com LB e LH apresentaram indivíduos na última classe. Na última medição (Figura 2g), as manipulações com LB e LH conferem maior crescimento em altura, sendo o LH

constituído por mais indivíduos maiores. Portanto, observa-se que a incorporação do lodo é responsável por conferir crescimento maior em menores intervalos de tempo, quando comparado às parcelas SM.

Figura 2. Distribuição em altura dos indivíduos vivos em cada tratamento, separados temporalmente: a) primeira medição, b) segunda medição, c) terceira medição, d) quarta medição, e) quinta medição, f) sexta medição e g) sétima medição. Eixo horizontal: altura em centímetros. Eixo Vertical: número de indivíduos. Legenda: LH-Lodo Higienizado, LB-Lodo Bruto, SM-Sem manipulação.



Em se tratando das populações (Tabela 5), o tratamento LH conferiu alturas mínimas e médias maiores para as quatro espécies, porém, o LH não diferiu do LB na altura média de *Bauhinia cheilantha* e na altura mínima de *Lonchocarpus sericeus*. Além disso, *Anadenanthera colubrina* não apresentou diferenças entre os três tratamentos, em ambas as variáveis. Outro padrão observado em todas as espécies, com exceção de *B. cheilantha*, foi que os tratamentos LB e SM não diferiram

em ambas as variáveis. Quanto à altura máxima e a taxa de crescimento em altura, em *Erythrina velutina* e *B. cheilantha* os tratamentos LH e LB apresentaram melhores resultados, sem diferenças entre si. Para *A. colubrina* LH e SM não diferiram na altura máxima, apresentando valores significativamente maiores que no LB, e a melhor taxa de crescimento ocorreu quando os indivíduos foram plantados com LH ou LB. Tanto altura máxima quando crescimento em altura de *L. sericeus* foram maiores no LH.

Tabela 5. Médias, por tratamento e espécies, dos parâmetros avaliados em plantas jovens submetidas a aplicação de lodo higienizado (LH), lodo bruto (LB) e sem manipulação (SM) durante sete meses. Todos os dados estão em centímetros, exceto dominância relativa e sobrevivência, que estão em porcentagem. Letras minúsculas diferentes representam diferenças estatísticas.

	<i>Erythrina velutina</i>			<i>Bauhinia cheilantha</i>			<i>Anadenanthera Colubrina</i>			<i>Lonchocarpus sericeus</i>		
	LH	LB	SM	LH	LB	SM	LH	LB	SM	LH	LB	SM
Altura mínima	37 ^a	26 ^b	18 ^b	42 ^a	25 ^b	28 ^b	29 ^a	26 ^a	21 ^a	47 ^a	27 ^{ab}	18 ^b
Altura média	54,92 ^a	41,09 ^b	30,08 ^b	60,55 ^a	57,73 ^a	42 ^b	36,92 ^a	32,33 ^a	28,83 ^a	62,6 ^a	38,25 ^b	33,55 ^b
Altura máxima	77 ^a	64 ^a	46 ^b	84 ^a	90 ^a	60 ^b	44 ^a	38 ^b	55 ^a	99 ^a	56 ^b	55 ^b
Crescimento em altura	23,6 ^a	19,17 ^a	7,08 ^b	36,91 ^a	34,55 ^a	20,83 ^b	22,8 ^a	19,17 ^a	14,67 ^b	26,5 ^a	11,42 ^b	10,36 ^b
Diâmetro mínimo	1,78 ^a	0,62 ^a	1,01 ^a	0,02 ^c	0,26 ^b	0,8 ^a	0,4 ^a	0,43 ^a	0,4 ^a	0,04 ^b	0,72 ^a	0,04 ^b
Diâmetro médio	3,42 ^a	2,44 ^b	1,98 ^b	1,54 ^a	1,58 ^a	1,27 ^a	0,7 ^a	0,63 ^a	0,53 ^a	1,68 ^a	1,2 ^b	0,96 ^b
Diâmetro máximo	5,23 ^a	4,67 ^{ab}	3,09 ^b	2,97 ^a	2,92 ^a	1,87 ^a	1,08 ^a	1,11 ^a	0,76 ^a	3,33 ^a	1,45 ^b	1,81 ^b
Crescimento em diâmetro	18,2 ^a	12,11 ^b	9,1 ^b	9,1 ^a	8,15 ^{ab}	6 ^b	4,3 ^a	3,25 ^{ab}	2,6 ^b	10,2 ^a	5,62 ^b	4,7 ^b
Dominância relativa	62,24 ^a	55,6 ^b	55,01 ^b	14,37 ^b	24,29 ^a	21,81 ^b	2,55 ^b	3,43 ^a	3,76 ^a	17,53 ^a	11,99 ^b	14,29 ^b
Sobrevivência	100 ^a	98,33 ^a	100 ^a	98,33 ^a	98,33 ^a	100 ^a	100 ^a	100 ^a	100 ^a	96,67 ^a	100 ^a	98,33 ^a

Estrutura horizontal

Todos os dados para diâmetro estão relacionados entre si e foram parcialmente corroborados com as hipóteses iniciais. Em nível de comunidades (Tabela 3), observa-se que a incorporação do lodo no solo não aumentou os diâmetros mínimo e máximo. No entanto, apresentando maiores valores, o tratamento com LH conferiu diferença no diâmetro médio e nas taxas de crescimento em diâmetro; não sendo averiguadas diferenças entre o tratamento SM e LB. O mesmo aconteceu para os valores de área basal, sendo reflexo desses dados diamétricos, uma vez que área basal corresponde a relação entre diâmetro e área ocupada. Fato comprovado por Singh & Agrawal (2008), ao afirmar que o incremento mais significativo com o uso do lodo foi no desenvolvimento de plantas mais robustas, com desenvolvimento mais rápido e maior produção de biomassa. Resultados similares ao de Tsakou, Roulia & Christodoulakis (2003), em que o LH conferiu maiores diâmetros médios do caule quando comparados à adubação química. Tais resultados são

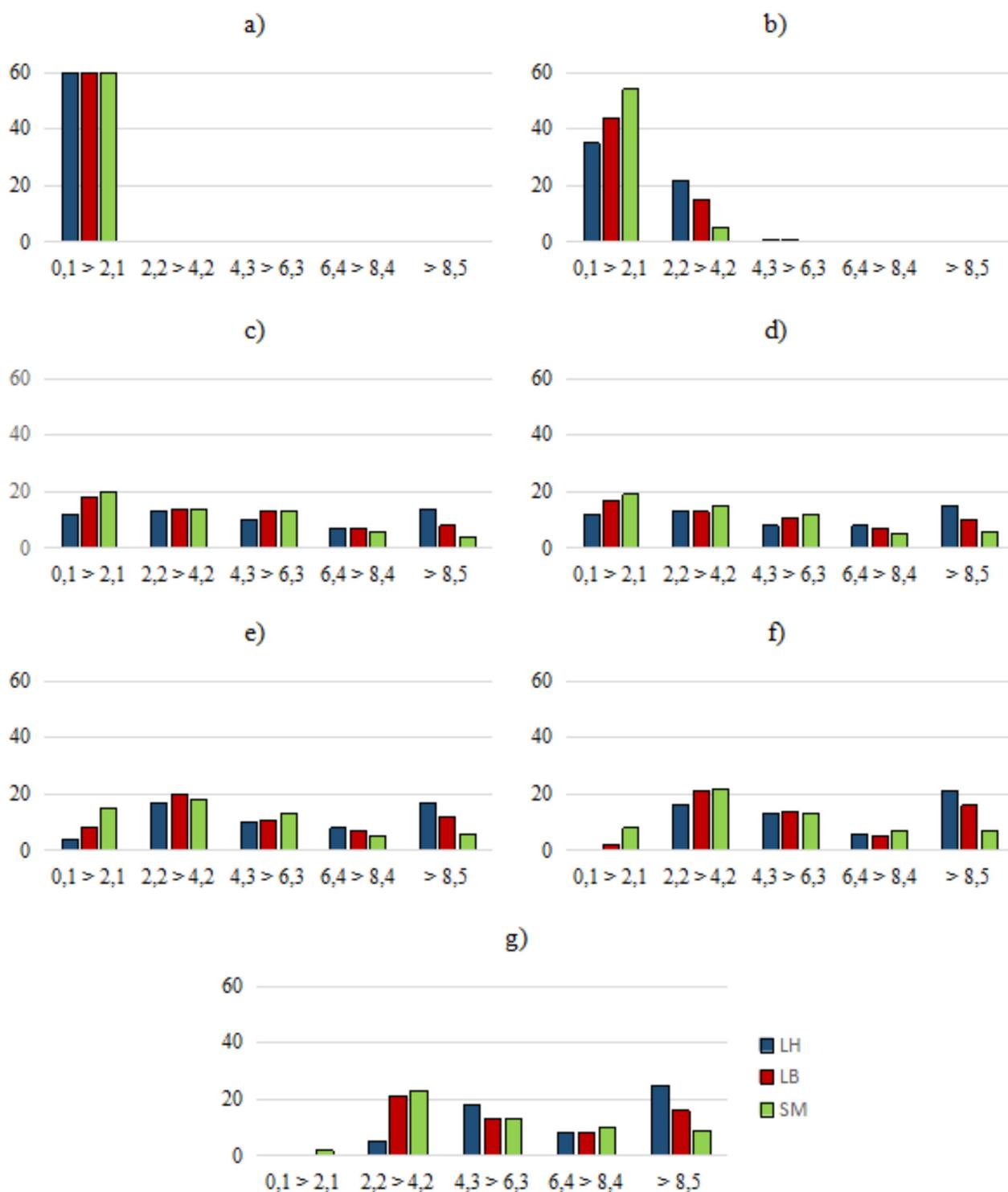
atingidos pelo fato de a aplicação do lodo de esgoto garantir aumento da matéria orgânica e ciclagem de nutrientes de forma prolongada, beneficiando assim as propriedades químicas, físicas e biológicas do solo; favorecendo o aumento da produção e garantindo a sustentabilidade do ecossistema (Ibrahim et al., 2019). Dessa forma, os impactos no solo podem ser minimizados, bem como os riscos de degradação por qualquer tipo de erosão, uma vez que existe maior cobertura de solo.

Analisando o diâmetro médio no decorrer dos levantamentos (Tabela 4), até o quarto mês após a incorporação do lodo, não houve diferença diamétrica entre os três tratamentos. Apenas no quinto mês, o LH começou a sobressair em relação aos demais tratamentos, apresentando diferença em relação a testemunha (SM), no entanto, o LB não se diferiu de LH e SM. Do sexto mês em diante, o LH confere maiores diâmetros, porém, não há diferença entre a incorporação do LB e SM.

Pode-se observar mais explicitamente a diferença entre os três tratamentos quando há comparação entre as classes diamétricas (Figura 3), uma vez que o LH contribuiu mais notoriamente para o crescimento que o LB, e este mais que SM. Lima (2010) aponta que este maior crescimento conferido pelo LH

em relação ao LB pode ser influenciado pela reação da cal com outros elementos, disponibilizando mais cálcio e magnésio que são importantes, respectivamente, pela constituição dos tecidos vegetais e pela constituição da clorofila, base da fotossíntese.

Figura 3. Distribuição diamétrica dos indivíduos vivos em cada tratamento, separados temporalmente: a) primeira medição, b) segunda medição, c) terceira medição, d) quarta medição, e) quinta medição, f) sexta medição e g) sétima medição. Eixo horizontal: diâmetro em centímetros. Eixo Vertical: número de indivíduos. Legenda: LH-Lodo Higienizado, LB-Lodo Bruto, SM-Sem Manipulação



Na primeira medição (Figura 3a) as espécies apresentavam mais indivíduos finos independente do tratamento utilizado. Na segunda medição (Figura 3b) LH e LB apresentaram indivíduos na classe de 4,3cm a 6,3cm, enquanto a testemunha (SM) estava quase que em sua totalidade na primeira classe. Da terceira a sexta medição (Figura 3c-3f), foram registrados indivíduos em todas as classes diamétricas, porém, o tratamento SM e o LB possuíram maior quantidade de indivíduos finos quando comparado ao LH. Na última medição (Figura 3g), verifica-se claramente que as manipulações com LB e LH conferiram maior crescimento diamétrico, sendo esse último responsável pelo maior índice de indivíduos com diâmetros maiores. O tratamento SM ainda apresentava indivíduos com diâmetros referentes a classe inicial, enquanto a maioria dos indivíduos vivos das parcelas com LH encontravam-se na última classe diamétrica. Sabe-se que diversas tendências estruturais são esperadas no desenvolvimento de uma comunidade, como aumento dos diâmetros e das alturas, com conseqüente redução de indivíduos nas primeiras classes e aumento nas classes posteriores (Burda, 2019; Silva et al., 2020). Deste modo, percebe-se que o uso do lodo auxiliou para que a comunidade apresentasse desenvolvimento mais rápido nessas características, contribuindo para que o solo fosse coberto de forma mais rápida.

A sobrevivência de indivíduos na comunidade não diferiu entre os três tratamentos (Tabela 3). No entanto, mesmo não diferindo estatisticamente é possível observar que mais indivíduos morreram quando o lodo havia sido higienizado, o que é contrário ao esperado, uma vez que a higienização adequada do lodo favorece a sobrevivência das espécies vegetais, ao minimizar as causas de morte por patogenicidades (Ferreiro-Domínguez, Rigueiro-Rodríguez & Mosquera-Losada, 2012).

As diferenças observadas no diâmetro mínimo foram encontradas nas espécies *B. cheilantha* e *L. sericeus*, com os tratamentos SM e LB conferindo maior diâmetro mínimo, respectivamente. Com relação aos diâmetros médio e máximo, o tratamento com LH foi responsável por conferir maiores valores para *E. velutina* e *L. sericeus*. Nas quatro espécies, a taxa de crescimento em diâmetro foi maior com a incorporação de LH, não apresentando diferença entre LB e SM, exceto em *B. cheilantha* e *A. colubrina*, em que se

observou claramente a transição do efeito, com o tratamento LB não diferindo do SM e do LH (Tabela 5).

A dominância relativa apresentou diferenças significativas em todas as espécies. Para *A. colubrina* a maior dominância relativa foi nas parcelas SM, apesar de estatisticamente não diferirem das parcelas com LB. Em *B. cheilantha*, a maior dominância relativa foi no tratamento com LB. Já para *E. velutina* e *L. sericeus*, o LH conferiu maior dominância (Tabela 5).

Nas parcelas com LH, morreram 3,33% dos indivíduos de *L. sericeus* e 1,67% dos indivíduos de *B. cheilantha* (Tabela 5). No tratamento com LB morreram apenas 1,67% dos indivíduos de *B. cheilantha* e *E. velutina*. Já nas parcelas SM morreram 1,67% dos indivíduos de *L. sericeus*. Apenas *A. colubrina* não teve nenhum de seus indivíduos mortos em algum tratamento.

Perspectivas

Nos parâmetros de estrutura vertical, por comunidade, o LH foi responsável por atribuir maiores alturas máximas, médias e mínimas, bem como maiores taxas de crescimento em altura e número de indivíduos grandes numa distribuição em classes de altura. Já nos parâmetros de estrutura horizontal, o LH só apresentou diferenças no diâmetro médio e na taxa de crescimento em diâmetro, sendo refletida numa maior área basal e na quantidade de indivíduos mais grossos distribuídos em classes diamétricas. Com relação as espécies, observa-se que a maioria obteve melhor desempenho com o LH, de maneira geral, usando os recursos disponíveis de forma rápida e investindo-os em crescimento. Deste modo, em ordem de eficácia, o LB sempre aparece após o LH, sendo o lodo de esgoto uma boa estratégia para recuperar áreas semiáridas em processo de degradação, quando o objetivo é cobertura do solo, em um intervalo de tempo menor.

Assim, o LH pode ser uma boa estratégia se o objetivo da recuperação for cobertura de solo. Visto que, ao disponibilizar recursos indispensáveis ao desenvolvimento das espécies vegetais, não há necessidade de competição entre elas, e a maioria dos indivíduos conseguem se desenvolver bem. Além disso, o reaproveitamento do lodo como substrato favorece e proporciona um descarte adequadamente sustentável para este resíduo que é oriundo do tratamento de esgoto.

REFERÊNCIAS

- Adjei, M. B.: Rechcigl, J. E. Bahiagrass production and nutritive value as affected by domestic wastewater residuals. *Agronomy Journal*, **2002**, 94, 1400-1410.
- Akerlund, A. *Evaluation of a disintegration technique for increased biogas production from excess activated sludge*. Department of Earth Sciences, Geotryckeriet, Uppsala University, Uppsala, **2008**. 63 p.
- Andreoli, C.V. *Uso e manejo do lodo de esgoto na agricultura*. Curitiba: SANEPAR, **1999**. 92 p.
- Apha - American Public Health Association. *Standard Methods for examination of water and wastewater*. 22nd ed. Washington: American Public Health Association; **2012**. 541 p.
- Bezerra, C. H. A. *Estudo de Viabilidade Ambiental (EVA) da unidade do CEFET – Quixadá – CE*. Documento impresso e disponível na biblioteca do IFCE, Campus –Quixadá, **2009**. 141 p.
- Bonanno, G.; Cirelli, G. L.; Toscano, A.; LoGiudice, R.; Pavone, P. Heavy metal content in ash of energy crops growing in sewage-contaminated natural wetlands: Potential applications in agriculture and forestry? *Science of the Total Environment*, **2013**, 452-453, 349-354.
- Bravo-Martín-Consuegra, S.; García-Navarro, F. J.; Amorós-Ortiz-Villajos, J. Á.; Pérez-de-los-Reyes, C.; Higuera, P. L. Effect of the addition of sewage sludge as a fertilizer on a sandy vineyard soil. *J Soils Sediments*, **2016**, 16, 1360–1365.
- Burda, T. M. *Demografia e alometria de árvores tropicais ao longo da sucessão ecológica*. Paraná, Dissertação (Mestrado em Ecologia e Conservação) - UFPR, **2019**. 98 p.
- Castellanos-Morales, V.; Villegas-Moreno, J.; Vierheilig, H.; Cárdenas-Navarro, R. Nitrogen availability drives the effect of *Glomus intraradices* on the growth of strawberry (*Fragaria x ananassa* Duch.) plants. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, **2012**, 92, 11, 2260-2264.
- Conama - Conselho Nacional do Meio Ambiente. *Conama 375: Resolução no 375, de 29 de Agosto de 2006*. Brasília: Ministério do Meio Ambiente, **2006**.
- Cunha, A. M.; Cunha, G. M.; Sarmiento, R. A.; Cunha, G. M.; Amaral, J. F. T. Efeito de diferentes substratos sobre o desenvolvimento de mudas de *Acacia* sp. *Revista Árvore*, **2006**, 30, 2, 207-214.
- Emadodin, I.; Narita, D.; Bork, H. R. Soil degradation and agricultural sustainability: an overview from Iran. *Environment, Development and Sustainability*, **2012**, 14, 5, 611-625.
- Embrapa - Solos. *Sistema Brasileiro de classificação de solos*. Brasília: EMBRAPA Solos, 5a ed., **2018**. 345 p.
- Fernandes, M. M.; Silva, T. R.; Pinto, A. S.; Souza, I. B. A.; Fernandes, M. R. M. Regeneração natural em fragmento de Floresta Ombrófila Semidecidual em Sergipe, Brasil. *Ecologia e Nutrição Florestal/Ecology and Forest Nutrition*, **2019**, 7, 2, 1-10.
- Ferrara, C.; Salvati, L.; Tombolini, I. An integrated evaluation of soil resource depletion from diachronic settlement maps and soil cartography in peri-urban Rome, Italy. *Geoderma*, **2014**, 232-234, 394-405.
- Ferreiro-Domínguez, N.; Rigueiro-Rodríguez, A.; Mosquera-Losada, M. R. Sewage sludge fertiliser use: Implications for soil and plant copper evolution in forest and agronomic soils. *Science of the Total Environment*, **2012**, 424, 39-47.
- Galeş, D. C.; Trincă, L. C.; Cazacu, A.; Peptu, C. A.; Jităreanu, G. Effects of a hydrogel on the cambic chernozem soil's hydrophysic indicators and plant morphophysiological parameters. *Geoderma*, **2016**, 267, 102-111.
- Gawdzik, J.; Gawdzik, B. Mobility of heavy metals in municipal sewage sludge from different throughput sewage treatment plants. *Polish Journal of Environmental Studies*, **2012**, 21, 6, 1603-1611.
- Gifford, M. L.; Dean, A.; Gutierrez, R. A.; Coruzzi, G. M.; Birnbaum, K. D. Cell-specific nitrogen responses mediate developmental plasticity. *Proceedings of the*

- National Academy of Sciences*, **2008**, 105, 2, 803-808.
- Ibrahim, J. F. O. N.; Silva Junior, I. V.; Barros, F. C.; Paez, D. R. M.; Nascentes, A. L.; Silva, L. D. B. Utilização do lodo de esgoto na produção de mudas e no cultivo do eucalipto (*Eucalyptus* spp). *Brazilian Journal of Animal and Environmental Research*, **2019**, 2, 564-579.
- Ipece - Instituto de Pesquisa e Estratégia Econômica do Ceará. *Perfil Básico Municipal 2015: Quixadá*. Ceará: Secretária de Planejamento e Gestão, **2015**. 18 p.
- Iturri, L. A.; Avecilla, F.; Hevia, G. G.; Buschiazzo, D. E. Comparing adjacent cultivated and "virgin" soils in wind erosion affected environments can lead to errors in measuring soil degradation. *Geoderma*, **2016**, 264, 42-53.
- Jiang, L.; Wang, L.; Yin, C.; Tian, C. Differential salt tolerance and similar responses to nitrogen availability in plants grown from dimorphic seeds of *Suaeda salsa*. *Flora - Morphology, Distribution, Functional Ecology of Plants*, **2012**, 207, 8, 565-571.
- Khaledian, J.; Kiani, F.; Ebrahimi, S.; Brevik, E. C.; Aitkenhead-Peterson, J. Assessment and Monitoring of Soil Degradation during Land Use Change Using Multivariate Analysis. *Land Degradation Development*, **2017**, 28, 128-141.
- Kirkby, C. A.; Richardson, A. E.; Wade, L. J.; Conyers, M.; Kirkegaard, J. A. Inorganic Nutrients Increase Humification Efficiency and C-Sequestration in an Annually Cropped Soil. *Plos One*, **2016**, 11, 5, 1-17.
- Lima, E. G.; Barbosa, V. S. Fitossociologia do estrato arbustivo-arbóreo em regeneração em área de Caatinga, Baixo-CE. *Ecologia e Nutrição Florestal*, **2018**, 6, 3, 79-90.
- Lima, M. R. P. *Uso de estufa agrícola para secagem e higienização de lodo de esgoto*. São Paulo, Tese (Doutorado em Engenharia Hidráulica) - Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, **2010**. 286 p.
- Marschner, H. *Marschner's Mineral Nutrition of Higher Plants*. Londres: Academic Press, 3. ed., **2012**. 2173 p.
- Najafian, S.; Zahedifar, M. Antioxidant activity and essential oil composition of *Satureja hortensis* L. as influenced by sulfur fertilizer. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, **2014**, 95, 12, 2404-2408.
- Ollobarren, P.; Capra, A.; Gelsomino, A.; La Spada, C. Effects of ephemeral gully erosion on soil degradation in a cultivated area in Sicily (Italy). *Catena*, **2016**, 145, 334-345.
- Pinto, M. A. T. Higienização de lodos. In: Andreoli, C. V. *Princípios do tratamento biológico de águas residuárias: Lodo de esgotos: Tratamento e disposição final*. Belo Horizonte: Editora UFMG, p. 261-297, **2001**.
- Rodríguez, A. R.; Campillo, M. C. D.; Moraga, E. Q. *Beauveria bassiana*: An entomopathogenic fungus alleviates Fe chlorosis symptoms in plants grown on calcareous substrates. *Scientia Horticulturae*, **2015**, 197, 193-202.
- Salvati, L.; Mavrikis, A.; Colantoni, A.; Mancino, G.; Ferrara, A. Complex Adaptive Systems, soil degradation and land sensitivity to desertification: A multivariate assessment of Italian agro-forest landscape. *Science of the Total Environment*, **2015**, 521-522, 235-245.
- Santos, L. W. D.; Coelho, M. D. F. B., Azevedo, R. A. B. D.; Lima, A. K. B.; Souza, J. W. N. D. *Erythrina velutina* Willd.-Fabaceae: Árvore de múltiplos usos no nordeste brasileiro. *Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável*, **2014**, 8, 5, 72-80.
- Shabbir, R. N.; Waraich, E. A.; Ali, H. ; Nawaz, F.; Ashraf, M. Y.; Ahmad, R.; Awan, M. I.; Ahmad, S.; Irfan, M.; Hussain, S.; Ahmad, Z. Supplemental exogenous NPK application alters biochemical processes to improve yield and drought tolerance in wheat (*Triticum aestivum* L.). *Environmental Science and Pollution Research*, **2015**, 23, 3, 2651-2662.
- Shepherd, G. J. *FITOPAC 2.1 (versão preliminar)*. Departamento de Biologia Vegetal, Universidade Estadual de Campinas, **2009**.
- Silva, F. A. S. *ASSISTAT Versão Beta 7.5*. Pacote Estatístico. **2010**. Disponível em: <<http://www.assistat.com/>>. Acesso em: 29 out. 2016.
- Silva, L. S.; Costa, T. R.; Salomão, N. V.; Alves, A. R.; Santos, T. R.; Machado, E. L. M. Mudanças temporais

na estrutura vegetacional de um fragmento de Caatinga, sul do Piauí. *Scientia Plena*, **2020**, 16, 2, 1-12.

Singh, R. P.; Agrawal, M. Potential benefits and risks of land application of sewage sludge. *Waste Management*, **2008**, 28, 2, 347-358.

Souza, M. T.; Ferreira, S. R.; Menezes, F. G.; Ribeiro, L. S.; Sousa, I. M.; Peixoto, J. V. M.; Silva, R. V.; Moraes, E. R. Altura de planta e diâmetro de colmo em cana-de-açúcar de segundo corte fertilizada com organomineral de lodo de esgoto e bioestimulante. *Brazilian Journal of Development*, **2020**, 6, 1988-1994.

Tchobanoglous, G.; Burton, F. L.; Stensel, H. D. *Wastewater Engineering: Treatment and Reuse*. New York: Mcgraw-hill, 4. ed., **2003**. 1408 p.

Tsakou, A.; Roulia, M.; Christodoulakis, N. S. Growth parameters and heavy metal accumulation in Poplar tree cultures (*Populuseur americana*) utilising water and sludge from a sewage treatment plant. *Bulletin Environmental Contamination and Toxicology*, **2003**, 71, 330-337.

Vaz, L. M. S; Gonçalves, J. L. M. Uso de biossólidos em povoamento de eucalipto: efeito em atributos químicos do solo, no crescimento e na absorção de nutrientes. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, **2002**, 26, 747-758.

Walter, I.; Cuevas, G.; García, S.; Martínez, F. Biosolid effects on soil and native plants production in a degraded semiarid ecosystem in central Spain. *Waste Management & Research*, **2000**, 18, 259-263.

Yamada, T. *Deficiência de micronutrientes, ocorrência, detecção e correção: o sucesso da experiência brasileira*. Piracicaba, SP – Encarte Técnico – Informações Agronômicas Nº 105, **2004**. 12 p.

Zhang, L.; Garneau, M. G.; Majumdar, R.; Grant, J.; Tegeder, M. Improvement of pea biomass and seed productivity by simultaneous increase of phloem and embryo loading with amino acids. *The Plant Journal*, **2014**, 81, 134-146.