

UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ
SETOR DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS
DEPARTAMENTO DE ECONOMIA RURAL E EXTENSÃO
CURSO DE ESPECIALIZAÇÃO EM MBA EM GESTÃO FLORESTAL

**ANÁLISE DA PRODUÇÃO DE MADEIRA EM PLANTAÇÃO DE
Eucalyptus grandis COM EFEITO RESIDUAL DE LODO DE
ESGOTO NO ESTADO DE SÃO PAULO**

Ana Paula Fonseca Kupper

Curitiba - 2020

UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ
SETOR DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS
DEPARTAMENTO DE ECONOMIA RURAL E EXTENSÃO
CURSO DE ESPECIALIZAÇÃO EM MBA EM GESTÃO FLORESTAL

**ANÁLISE DA PRODUÇÃO DE MADEIRA EM PLANTAÇÃO DE
Eucalyptus grandis COM EFEITO RESIDUAL DE LODO DE
ESGOTO NO ESTADO DE SÃO PAULO**

Ana Paula Fonseca Kupper

Orientador: Prof. Dr. Julio Eduardo Arce

Co-orientador: Prof. Msc. Gustavo Silva Oliveira

Curitiba – PR
2020

SUMÁRIO

RESUMO.....	4
1. INTRODUÇÃO.....	6
2. MATERIAL E MÉTODOS	7
2.1 Caracterização da área de estudo	7
2.2 Viabilidades técnica e econômica.....	9
2.3 Delineamento experimental.....	10
2.4 Avaliação do crescimento.....	13
2 RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	14
3 CONCLUSÃO	20
4. REFÊRENCIAS	22

ANÁLISE DA PRODUÇÃO DE MADEIRA EM PLANTAÇÃO DE *Eucalyptus grandis* COM EFEITO RESIDUAL DE LODO DE ESGOTO NO ESTADO DE SÃO PAULO

RESUMO

O lodo de esgoto tratado pelas estações de tratamentos, têm se mostrado uma opção promissora no setor florestal e agrário, sendo alternativa de fertilizante em diversos países, rico em matéria orgânica e nutrientes. Este estudo teve como objetivo quantificar a produtividade da floresta em base ao efeito residual do lodo de esgoto aplicado há 14 anos para um povoamento de *Eucalyptus grandis* com 6 anos de idade. O experimento foi conduzido em blocos ao acaso, com 8 tratamentos e 3 repetições sendo os tratamentos: T1 - Controle absoluto (C); T2 - Fertilização mineral (FM); T3, T4 e T5 com doses de 10, 20 e 30 t ha⁻¹ de lodo de esgoto úmido (LU); T6, T7 e T8 com lodo seco (LS) com doses de 10, 20 e 30 t. ha⁻¹, respectivamente e ambos os tratamentos com lodo teve complementação de K e B. Os tratamentos foram na área útil da parcela, local onde efetivamente realizou-se as avaliações, com 36 árvores, 6 x 6 árvores, com área de 216 m². Os tratamentos de 10 t ha⁻¹ LU e 10 t ha⁻¹ LS que são as menores doses, apresentaram ótimo desempenho, aumentando o volume da madeira e não havendo diferença significativa sobre o tratamento de fertilização mineral. O uso do lodo de esgoto poderia substituir a fertilização mineral comum, além de ser uma ótima opção de descarte para as Estações de Tratamentos de Esgoto, assim a utilização deve ser estimulado no setor florestal, pois a sua aplicação beneficia as propriedades do solo e favorece o aumento da produção.

Palavras-Chave: Estações de tratamento. Fertilizantes. Recomendação. Setor florestal.

WOOD PRODUCTION IN *Eucalyptus grandis* PLANTATION WITH RESIDUAL EFFECT OF SEWAGE SLUDGE IN THE STATE OF SAO PAULO

ABSTRACT: The sewage sludge treated by the treatment plants has been shown to be a promising option in the forestry and agrarian sector, being a fertilizer alternative in several countries, rich in organic matter and nutrients. This study aimed to quantify the productivity of the forest based on the residual effect of sewage sludge applied 14 years ago for a 6 year old *Eucalyptus grandis* stand. The experiment was conducted in randomized blocks, with 8 treatments and 3 replicates. The treatments were: T1 - Absolute control (C); T2 - Mineral fertilization (FM); T3, T4 and T5 with doses of 10, 20 and 30 t.ha⁻¹ of wet sewage sludge (LU); T6, T7 and T8 with dry sludge (LS) at doses of 10, 20 and 30 t. ha⁻¹, respectively, and both treatments with mud were complemented with K and B. The treatments were in the useful area of the plot, where the evaluations were carried out, with 36 trees, 6 x 6 trees, with an area of 216 m². The treatments of 10 t ha⁻¹ LU and 10 t ha⁻¹ LS showed excellent performance, increasing the volume of the wood and showing no significant difference over the treatment of mineral fertilization. The use of sewage sludge could replace common mineral fertilization, in addition to being a great disposal option for the Sewage treatment plants, so use should be encouraged in the forestry sector, as its application benefits soil properties and favors increased production

Keyword: Treatment plants. Fertilizers. Recommendation. Forestry sector.

1. INTRODUÇÃO

O aumento da população mundial gera a cada dia um alto consumo de matéria-prima e produtos manufaturados, que contribuem para uma maior geração de resíduos. Os resíduos de centros urbanos não tratados, como de áreas domésticas e de indústria, podem causar danos para à saúde humana.

A demanda por saneamento básico tem estimulado empresas públicas e privadas a implementar políticas ambientais mais avançadas, como o tratamento de águas residuárias (esgoto doméstico) em Estações de Tratamento de Esgoto. Há algumas alternativas de destinação deste resíduo como, aplicação em áreas agrícolas. Esta prática contribui para o fornecimento de macro e micronutrientes para a nutrição da planta, além de propiciar melhorias físicas, químicas e biológicas no solo.

Portanto, o uso do lodo de esgoto tratado como adubo está sendo incentivado em diversos países, visto que aumenta a produtividade e gera benefícios pela reciclagem da matéria orgânica e nutrientes contidos em sua composição (FERRAZ, 2013).

A reciclagem agrícola do Lodo de Esgoto (LE) deve ser monitorada quanto a presença de organismos patogênicos e metais pesados, necessitando de melhor interpretação e a falta de conhecimento sobre o seu efeito residual no ambiente, principalmente, em casos onde há a alteração do uso agrícola do solo, têm contribuído para a sua disposição final em aterros agrícola (FERRAZ, 2013).

Deste modo, a legislação brasileira por meio da resolução CONAMA nº 375/2006. estabelece os limites e critérios para o uso agrícola do lodo de esgoto (BRASIL, 2006). Assim para manter ou elevar produtividade em um plantio de eucalipto, a fertilização das árvores, torna-se um fator estratégico que depende do clima, solo e intensidade de manejo.

Diante desta contextualização, foi proposto a seguinte hipótese: o efeito residual de lodo de esgoto em plantação de eucalipto aumenta o volume de madeira.

Para responder a hipótese este trabalho teve por objetivo avaliar o volume de madeira de plantação de *Eucalyptus grandis* aos 6 anos de idade, após 14 anos de aplicação de lodo de esgoto no solo.

2. MATERIAL E MÉTODOS

2.1 Caracterização da área de estudo

O estudo foi desenvolvido na área experimental I-37F-143II da Estação Experimental de Ciências Florestais de Itatinga (EECFI), a qual faz parte do Departamento de Ciências Florestais da ESALQ/USP, no município de Itatinga-SP, a $23^{\circ}03'S$ e $48^{\circ}37'W$, com altitude média de 714 metros. O uso desse solo até a década de 1940, era constituído pela vegetação natural do Bioma Cerrado e a sua pastagem para criação de gado leiteiro e de corte. A partir do ano de 1940, iniciou-se o cultivo com espécies do gênero eucalipto. Na Figura 1, verifica-se o mapa de uso do solo da Estação Experimental de Ciências Florestais de Itatinga ESALQ/USP.

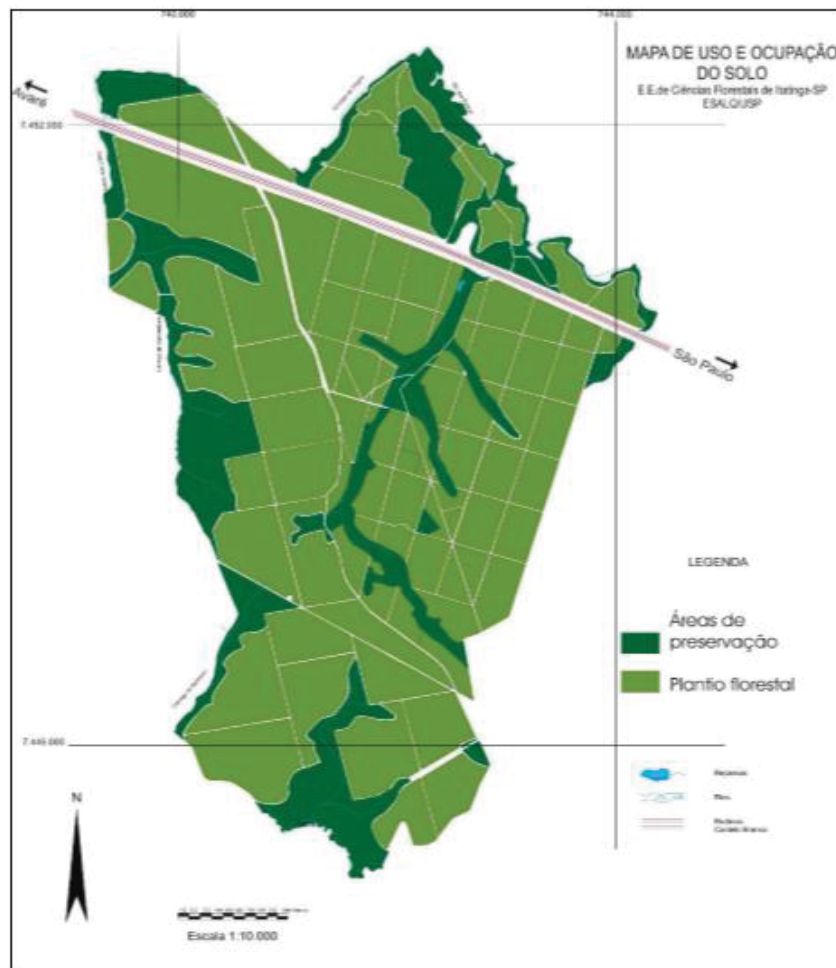


Figura 1 – Mapa de uso e ocupação do solo da Estação Experimental de Ciências Florestais de Itatinga – ESALQ/USP.

Fonte: Departamento de Ciências florestal/ ESALQ-USP.

O solo da área experimental foi classificado como Latossolo Vermelho-Amarelo distrófico típico, camada A moderado, textura média e relevo plano. Para análise do solo foi realizado coleta de terra na camada de 0-5, 5-10 e 10-20 cm, e posteriormente foram submetidas a análise química. (GONÇALVES, 2003)

Na classificação climática de Koppen, Itatinga-SP apresenta clima Cwa – mesotérmico úmido com inverno seco. A média histórica para a precipitação anual é cerca de 1300 mm, temperatura média anual próximo de 20°C, com período chuvoso de outubro a março e período seco de abril a setembro (FLORENTINO, 2016). (Figura 2).

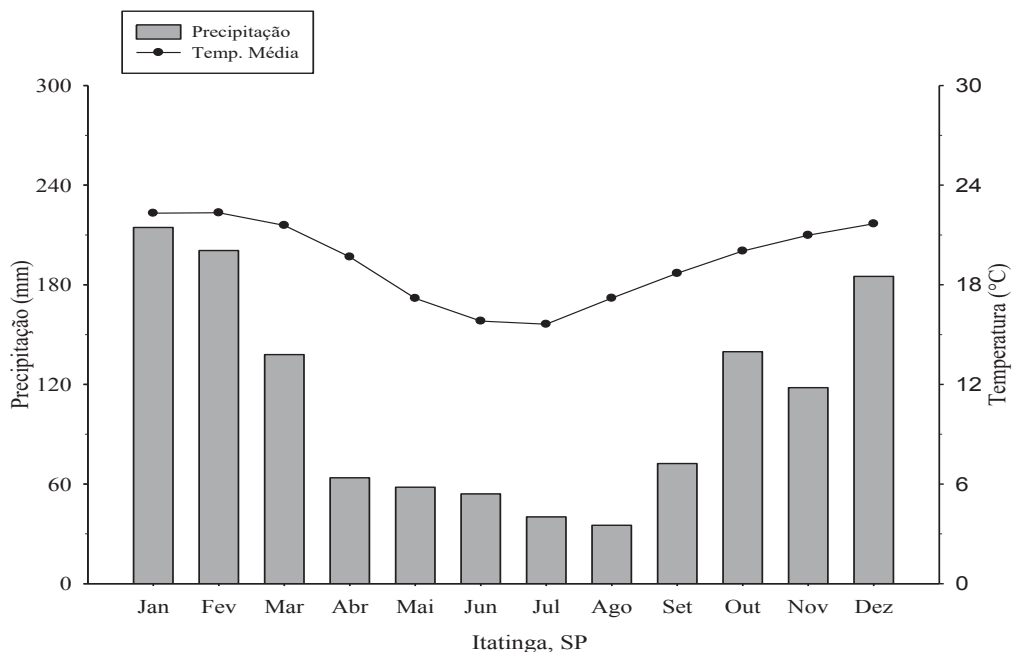


Figura 2 - Distribuição normal da precipitação (mm) e temperatura média (°C) do município de Itatinga, SP (23°03'S; 48°37'W), de acordo com a série histórica de 1950 a 1990.

Fonte: Alvares et al. (2017).

Os lodos foram obtidos da Estação de Tratamento de Esgoto (ETE) de Barueri-SP, que no ano de 2003 foi aplicado o LE na forma úmido ou “torta” (LUB) e seco ou granulado (LSB) condicionava o resíduo com polieletrólito (SILVA, 2006). E deixava o pH próximo de 7 e contribuía para aumento de matéria orgânica, nitrogênio, fósforo e zinco (FLORENTINO, 2016) (Tabela 1).

Tabela 1 Atributos químicos dos lodos de esgoto (LE), lodo úmido (LU) e lodo seco (LS), que foram aplicados no solo da área experimental AE-37, em abril de 2003.

Características ⁽¹⁾	Lodo Úmido (LU)	Lodo Seco (LS)	CONAMA ⁽²⁾
pH CaCl ₂ (0,01 mol L ⁻¹)	7,3	...	...
Umidade a 65°C (%)	76	4,1	...
Relação C/N	9,4	8,5	...
		----- g kg ⁻¹ -----	
Matéria orgânica	546	530	...
Carbono total	308	295	...
Nitrogênio total	33	35	...
Fósforo	33	38	...
Potássio	2,7	2,7	...
Cálcio	25	25	...
Magnésio	4,9	3,9	...
Enxofre	6,6	6,8	...
Sódio	0,6	0,9	...
Ferro	39	45	...
		----- mg kg ⁻¹ -----	
Manganês	194	300	...
Cobre	570	700	1500
Zinco	2380	3200	2800
Cádmio	19	...	39
Crômio	556	...	1000
Chumbo	130	...	300
Níquel	204	...	420

Nota: ⁽¹⁾ Todos os valores de concentração são dados com base na matéria seca. ⁽²⁾ Teores máximos permitidos de metais pesados no lodo para uso agrícola, resolução N° 375/2006 do CONAMA (CONAMA, 2006). Metais pesados extraídos com HNO₃+HCl+H₂O₂ pelo método SW 846-3051a (USEPA, 2007), determinação por ICP-OES. ... Dado numérico não disponível. Fonte: Adaptada de Silva (2006).

2.2 Viabilidades técnica e econômica

Das restrições locacionais e da aptidão do solo das áreas de aplicação, não é permitido a aplicação de lodo de esgoto em áreas de preservação permanente – APP. Numa distância mínima de 15 (quinze) metros de vias de domínio público e drenos interceptadores e divisores de águas superficiais de jusante e de trincheiras drenantes de águas subterrâneas e superficiais. E raio mínimo de 100 m para poços rasos e residências, podendo este limite ser ampliado para garantir que não ocorram incômodos à vizinhança (CONAMA, 2006).

A viabilidade técnica do gerenciamento do lodo depende da análise de diversos fatores como: áreas disponíveis (para processamento e aplicação),

instalações existentes e adequações necessárias, tipo de transporte e manuseio, existência de mão de obra especializada ou treinada e a gestão e controle da Unidade de Gerenciamento de lodo que pode ser a parte ou dentro de uma Estação de Tratamento de Esgoto (GODOY, 2013).

Em relação ao transporte do lodo os custos com movimentação estão diretamente ligados ao seu teor de umidade. O custo de transporte é um importante parâmetro para a viabilidade econômica do uso agrícola do lodo de esgoto. Quanto maior o volume transportado por viagem, menor o custo unitário de transporte (VON SPERLING, 2001).

Manzochi (2008), em seu estudo de logística do lodo de esgoto na região sul do Brasil apresenta um valor médio do custo da tonelada transportada por quilometro, sendo de R\$ 0,23 /ton x km. Segundo o autor estes valores devem ser avaliados para cada caso, em função das características das vias facilidades de acesso e tipo de veículo utilizado para o transporte. Esse valor médio se encontra somente para o traslado, outras questões do tratamento do lodo devem ser levantadas.

Assim as ETE devem reestruturar-se e incluir em suas atividades o processamento do lodo para fins de reuso em grande escala para produção. Ficou claro que, para isso, as empresas de saneamento também precisam estabelecer critérios para o recebimento de seus efluentes, já que as características do esgoto recebido determinarão as possibilidades de reuso.

2.3 Delineamento experimental

O experimento foi implantado em abril de 2003, com lodo de esgoto fornecido pela Estação de Tratamento de Esgoto (ETE) de Barueri-SP. Os tratamentos de interesse foram: fertilização mineral, com NPK, B, Zn e sem lodo de esgoto (FM); lodo úmido (LU), que é um material pastoso com grande concentração de micro-organismos, sólidos orgânicos e minerais e o lodo seco (LS), efluente líquido que é devolvido ao meio ambiente nas doses (base seca) de 10, 20 e 30 t ha⁻¹ (10LU, 20LU, 30LU, 10LS, 20LS e 30LS, respectivamente) com complementação de K e B na mesma quantidade que o FM, reciprocamente; e o controle (sem LU, LS e FM).

A aplicação do lodo no solo foi em dose única com uma semana de plantio das mudas, numa faixa continua cerca de 50 cm na linha de plantio das árvores. O

delimitação experimental foi em bloco casualizados, com três repetições, com oito tratamentos. O plantio das mudas de *Eucalyptus grandis* foi no espaçamento de 3 x 2 m totalizando 64 árvores, 8 x 8 árvores, na área total, que representava 384 m², 24 x 16 m. A área útil da parcela, local onde efetivamente será realizado as avaliações têm 36 árvores, 6 x 6 árvores, com área de 216 m², envolta de bordadura simples de 28 árvores. No croqui da área experimental, os tratamentos testados na área AE-37 foram identificados da seguinte forma (Figura 3).

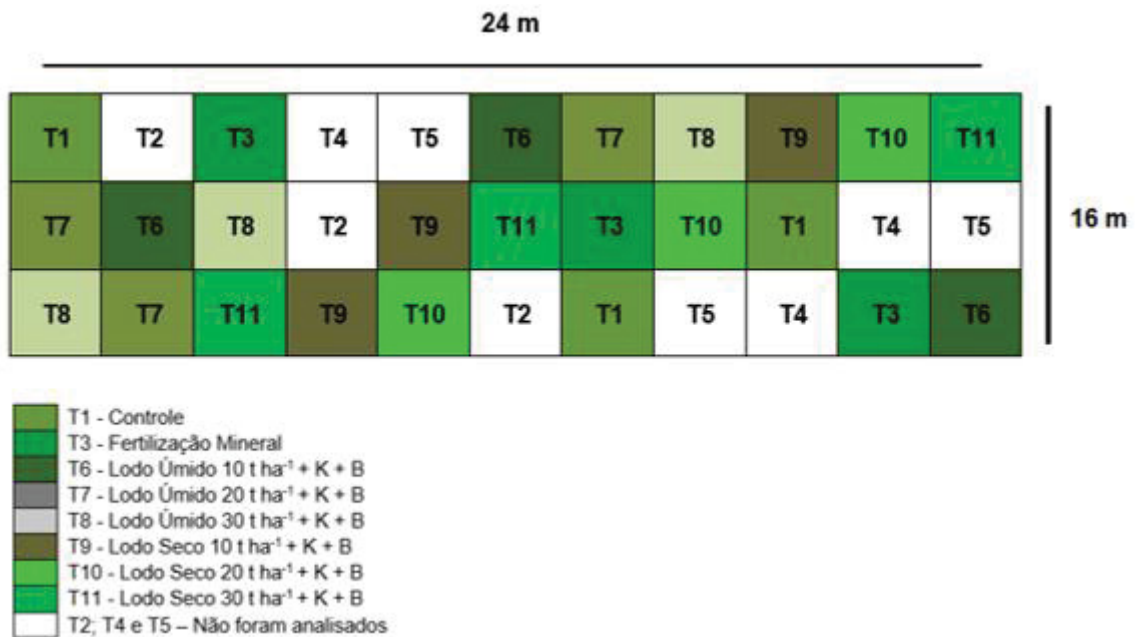


Figura 3 – Croqui da área experimental I-37F-143.

Fonte: autoria própria, 2019

Em 2003, a recomendação de adubação mineral de base para o tratamento FM foi de 1,5 t ha⁻¹ de calcário dolomítico, aplicado a lanço em área total; 110 kg ha⁻¹ de fertilizante NPK (0-45-0), disposto no sulco de plantio; 150 kg ha⁻¹ de NPK (10-20-10), disposto no sulco de plantio; e 80 kg ha⁻¹ de NPK (20-0-20), aplicado ao redor das mudas após 45 dias do plantio. A adubação de cobertura foi conduzida aos 6 e 12 meses após o plantio das mudas, com aplicação de 180 e 240 kg ha⁻¹ de NPK, B e Zn (16-0-32, 0,3 % de boro e 0,5 % de zinco, respectivamente), numa faixa contínua de 40 cm na entrelinha de plantio, reciprocamente (FLORENTINO, 2016).

A complementação de Potássio (KCl) e Boro (Bórax) para os tratamentos com LE foi necessária devido aos baixos teores destes elementos encontrados no

lodo de esgoto, bem como no solo. Estes nutrientes foram adicionados, portanto, até atingirem valores iguais aos do tratamento com adubação mineral. A aplicação dos diferentes lodos (seco e úmido) e da adubação mineral propiciou uma adição considerável de nutrientes ao solo.

O preparo de solo foi conduzido no sistema de cultivo mínimo, com subsolagem na linha de plantio até 45 cm de profundidade. Este método é o mais utilizado nas empresas florestais e foi utilizado no experimento.

Os tratamentos com lodo foram realizados com adubação mineral com complementação de potássio (K) e boro (B), devido à baixa concentração destes nutrientes nos lodos e no solo, principalmente pela alta demanda da planta para o crescimento vegetal. Para cada tratamento (LU, LS, FM e controle) foram aplicadas quantidades diferentes de nutrientes minerais, exceto para potássio (K₂O) e boro (Tabela 2).

Tabela 2 - Nutrientes adicionados ao solo nos tratamentos (Tratamento) com lodo de esgoto (LU = lodo úmido e LS = lodo seco) nas doses de 10, 20 e 30 t ha⁻¹, respectivamente; fertilização mineral (FM) e controle (sem LU, LS e FM), desde a implantação do experimento, em 2003.

Trat ⁽¹⁾	Nutrientes (kg ha ⁻¹)											
	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	Ca	Mg	S	B	Zn	Fe	Cu	Mn	Na
10LU	327	327	160	252	49	66	1,3	24	390	6	2	6
20LU	654	654	160	504	97	133	1,3	48	780	11	3	12
30LU	981	981	160	755	146	199	1,3	71	1170	17	6	17
10LS	347	384	160	246	39	68	1,3	32	452	7	3	9
20LS	695	768	160	492	78	136	1,3	64	904	14	6	18
30LS	1042	1152	160	738	117	204	1,3	97	1356	21	9	27
FM	100	80	160	440	160	5	1,3	2	...	...	...	...
Controle	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...

Nota: ⁽¹⁾ aos 3 e 9 meses de plantio na 2ª e 3ª rotação de cultivo, foram aplicados 75 kg ha⁻¹ de cloreto de potássio (KCl), exceto no tratamento controle, respectivamente. ... não foi adicionado o nutriente ao tratamento correspondente. Fonte: Adaptada de Silva (2006).

No primeiro semestre de 2008, foi realizado o corte raso das árvores de eucalipto em toda a área AE-37. Para tanto, os motosserristas foram orientados a efetuar o corte dos troncos entre 10 e 15 cm de altura da superfície do solo e, após isso, evitar qualquer dano mecânico às cepas tanto no momento da retirada das

toras quanto na ocasião do enleiramento dos resíduos (ex. folhas) no campo. Em seguida com o mesmo delineamento optou-se em conduzir um sistema de talhadia no que explica que ao passar de dois anos foi avaliado que os tratamentos não estavam sendo produtivos e tornando-se mais viável realizar o corte no segundo semestre de 2010, momento da segunda rotação. Onde nesse novo estudo, objetivou-se estudar o efeito residual de LU e LS na produção de biomassa aérea das árvores e do estoque de nutrientes nos respectivos componentes arbóreos: folhas, galhos, casca e lenho. (FERRAZ, 2013).

Nesta 2ª rotação de cultivo, em todos os tratamentos (exceto o controle), foi realizada adição de cloreto de potássio (KCl), na dose de 75 kg há⁻¹, aos 3 e 9 meses de condução, respectivamente (FLORENTINO, 2016). Esta adubação potássica foi necessária devido à baixa concentração de K nos lodos (Tabela 1). Aos sete meses após o corte foi conduzido o controle da brotação, ao qual optou-se em deixar 1 fuste e/ou cepa por touça, em que o critério de seleção utilizado foi a superioridade de crescimento em altura e vigor da planta.

No início de 2011, realizou-se a reforma da área para implantar a terceira rotação, no entanto o plantio em fevereiro do mesmo ano foi perdido por conta de uma forte geada. Assim, foi plantado novamente em setembro de 2011 com mudas clonais de *Eucalyptus grandis* em um sistema de alto fuste. Nessa rotação de cultivo, aos 3 e 9 meses de plantio, cada tratamento recebeu adubação mineral de 75 kg ha⁻¹ de KCl, com exceção do tratamento controle, reciprocamente (Tabela 2).

Os tratamentos 2, 4 e 5 foram descartados devido ao número de indivíduos não ser o suficiente para análise, tornando-se inviáveis para continuação da pesquisa. A partir de 2003 a área AE- 37 foi manejada com as principais atividades de manutenção do povoamento como: capinha manual de plantas daninhas ao redor das mudas, aplicação de herbicidas nas entrelinhas de plantio e controle de formigas cortadeiras.

2.4 Avaliação do crescimento

A estimativa de crescimento em altura, diâmetro e volume de madeira nos diferentes tratamentos foi realizada por meio do inventário florestal em agosto 2017, na qual foram medidos a altura e circunferência à altura do peito de todas as árvores com auxílio do hipsômetro eletrônico modelo Vertex III e fita métrica,

respectivamente. A necessidade de transformação dos dados, que foi realizada pelo método de potência ótima de Box-Cox e os dados foram submetidos à análise de variância (ANOVA) pelo teste F e em seguida comparada entre si por meio do teste de Tukey ao nível de 5 % de significância ($p < 0,05$).

. Com a obtenção do volume de madeira do inventário estimou-se o incremento volumétrico, que foi calculado pela subtração do volume ($m^3 ha^{-1}$) de abril de 2014 pelo volume de agosto de 2017, e o Incremento Médio Anual – IMA aos 6 anos de idade das árvores, em agosto de 2017, para ser avaliado o crescimento de *Eucalyptus grandis* após aplicação de lodo de esgoto.

3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Conforme descrito anteriormente no item 2.2 os lodos úmidos e seco haviam sido inicialmente testados como fertilizantes em abril de 2003. Portanto a avaliação do efeito residual dos lodos sobre a fertilidade do solo foi realizada em dezembro de 2017, ou seja após 14 anos da sua aplicação. Os resultados da circunferência à altura do peito (CAP), a altura e o volume de madeira das árvores com aplicação do lodo podem ser observados na Tabela 3.

Nestes resultados de forma geral verifica-se que os valores obtidos em todas as idades foram superiores em comparação ao tratamento controle. Tais resultados evidenciam efeito positivo do lodo de esgoto para o crescimento das plantas. Silva et al. (2008a) em estudo do crescimento de *E. grandis*, tratado com diferentes doses de lodos de esgoto úmido (torta) e seco (granulado), também verificaram que a altura dos eucaliptos com aplicação de lodos foi superior ao tratamento controle e não se diferenciou do tratamento com fertilização mineral. O crescimento em altura dos tratamentos com lodo variou de 14 a 22 m, valor próximo ao verificado por Faria (2006) que observou alturas totais variando entre 18,8 a 22,5 m para *Eucalyptus grandis* aos 8 anos e três meses de idades em diferentes tratamentos com lodo.

Tabela 3 – Média para a altura (H), circunferência a altura do peito (CAP) e volume de madeira (Vol) das árvores de eucalipto, em função dos tratamentos.

Tratamento	32 meses			62 meses			71 meses		
	CAP (cm)	H (m)	Vol (m ³ ha ⁻¹)	CAP (cm)	H (m)	Vol (m ³ ha ⁻¹)	CAP (cm)	H (m)	Vol (m ³ ha ⁻¹)
	----- Média -----								
Controle	19 c	10 b	12 b	25 b	14 b	33 b	26 b	14 b	37 b
FM	29 b	14 a	34 a	39 a	21 a	117 a	40 a	22 a	133 a
10LU	30 ab	14 a	40 a	38 a	20 a	112 a	39 a	22 a	134 a
20LU	30 ab	14 a	40 a	38 a	20 a	103 a	39 a	21 a	124 a
30LU	31 a	14 a	42 a	39 a	20 a	106 a	40 a	21 a	123 a
10LS	30 ab	14 a	40 a	38 a	20 a	116 a	40 a	21 a	132 a
20LS	31 a	14 a	43 a	38 a	20 a	110 a	39 a	21 a	124 a
30LS	31 a	14 a	43 a	37 a	20 a	107 a	38 a	21 a	120 a
	----- Valor mínimo -----								
Controle	17	8	8	22	11	21	23	12	26
FM	27	13	29	38	20	104	39	21	117
10LU	28	14	34	35	19	90	36	20	99
20LU	29	14	40	36	19	95	37	20	108
30LU	30	14	38	37	19	93	38	20	107
10LS	29	13	36	37	20	102	38	20	112
20LS	29	14	39	35	19	95	36	20	103
30LS	29	14	42	36	19	89	37	19	97
	----- Valor máximo -----								
Controle	21	11	16	27	15	45	28	16	49
FM	31	14	38	41	22	134	42	23	156
10LU	32	15	47	42	22	148	42	23	166
20LU	31	15	41	39	21	119	41	22	144
30LU	33	15	45	41	20	120	42	22	147
10LS	31	15	43	40	21	124	41	22	145
20LS	32	15	46	40	21	126	41	22	147
30LS	31	15	44	39	20	121	40	22	146
	----- Desvio padrão -----								
Controle	2,3	1,4	4,0	2,6	2,2	11,6	2,7	2,0	11,7
FM	1,6	0,4	4,8	1,6	0,8	15,1	1,5	1,2	20,5
10LU	2,0	0,5	6,1	3,3	1,7	31,3	3,0	1,8	33,3
20LU	1,2	0,3	0,9	1,8	0,9	13,7	2,0	1,1	18,4
30LU	1,4	0,7	3,5	2,2	0,9	13,8	2,3	1,2	20,7
10LS	1,2	1,1	3,7	1,5	0,7	12,9	1,9	1,0	17,7
20LS	1,6	0,6	3,5	2,4	1,0	15,2	2,4	1,3	22,4
30LS	1,1	0,6	1,4	1,5	0,7	16,3	1,6	1,3	24,8

Nota: ⁽¹⁾ aos 32 meses os dados de coleta foram obtidos por Florentino (2016), e as demais coleta autoria própria.

Fonte: Autoria própria, 2019.

Nos tratamentos com lodos e FM não houve diferença no crescimento em CAP, aos 71 meses de idade, e estes mesmos tratamentos apresentaram CAP maior que o controle, com diferenças que variam entre 50,0 a 60,0 %. Ferraz (2009)

ao avaliar o crescimento das árvores de eucaliptos observou que o crescimento em CAP dos tratamentos com lodos foram maiores que o tratamento controle, com diferenças entre 15 a 50 %.

Os volumes de madeira aos 32, 62 e 71 meses de idade da plantação de eucalipto não apresentaram diferenças para os tratamentos com lodos e fertilização mineral, porém estes foram superiores ao controle, por exemplo aos 71 meses de idade o tratamento controle apresentou crescimento em volume próximo de quatro vezes inferior ao FM e de lodos (Tabela 4).

Os tipos mais usuais de crescimento em volume são o Incremento Médio Anual (IMA) e o Incremento Corrente Anual (ICA). O ICA não apresentou diferença entre os tratamentos com LE (LU e LS) e FM, gerando uma média de $22 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$, que foi superior ao controle, de $6 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$, atingindo seu máximo valor nos tratamentos com doses de lodo úmido no período de 62 a 71 meses (Figura 4).

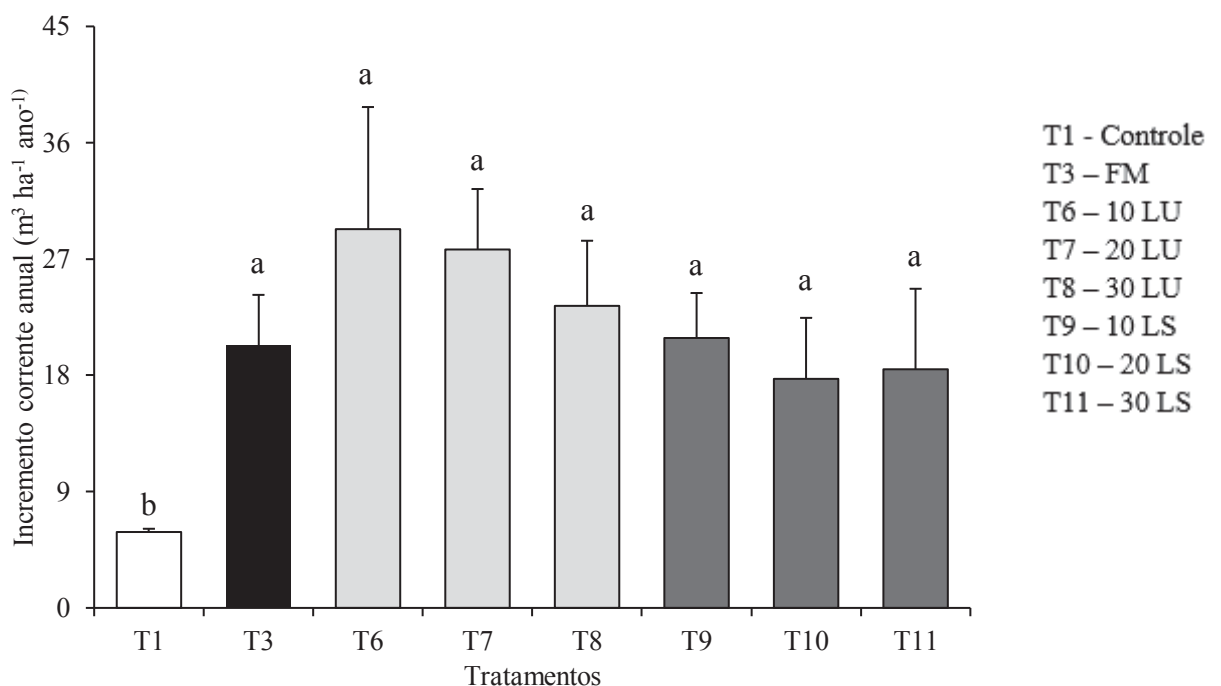


Figura 4 – Incremento corrente anual ($\text{m}^3 \text{ ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$) do período de novembro de 2016 a agosto de 2017 das árvores de eucalipto, em função dos tratamentos: T1; T3; T6; T7; T8; T9; T10 e T11. Barra vertical indica erro padrão médio e médias seguidas pela mesma letra não diferem entre si pelo teste de Tukey ($p < 0,05$).

Fonte: autoria própria, 2019

O incremento médio anual (IMA), aos 71 meses de idade dos eucaliptos, foi de aproximadamente $22 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ nos tratamentos com os lodos, bem como no tratamento com fertilizante mineral (Figura 5). Estes valores de IMA foram superiores aos obtidos no tratamento controle com $6 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$. Ferraz (2008) na mesma estação experimental observou em parcelas experimentais de *Eucalyptus grandis* adubadas com diferentes doses de lodo de esgoto úmido ou seco, proveniente de diferentes ETEs que o Incremento Médio Anual (IMA) variou entre 17 e $30 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$.

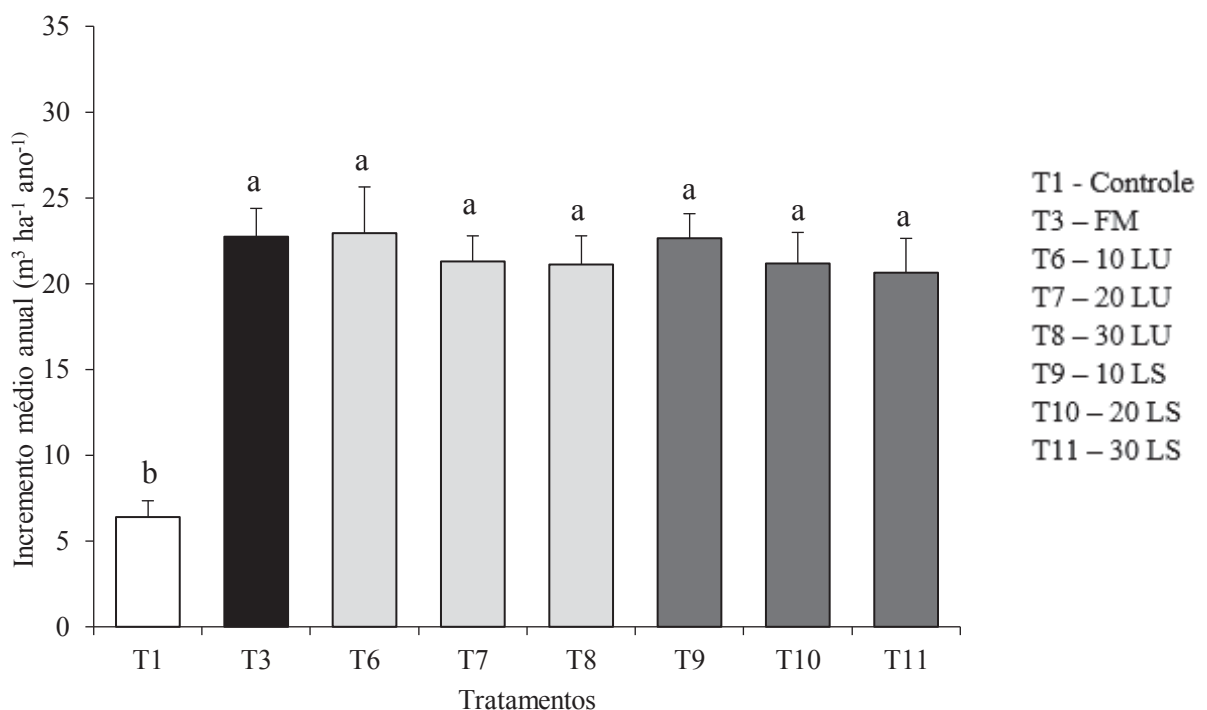


Figura 5 – Incremento médio anual ($\text{m}^3 \text{ ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$), aos 71 meses de idade das árvores de eucalipto, em função dos tratamentos: T1; T3; T6; T7; T8; T9; T10 e T11. Barra vertical indica erro padrão médio e médias seguidas pela mesma letra não diferem entre si pelo teste de Tukey ($p < 0,05$).

Fonte: autoria própria, 2019

Os resultados do volume de madeira evidenciaram que os tratamentos com doses de lodos foram superiores ao controle, com aumento próximo de 240 %, nos períodos analisados e não houve diferença em relação ao tratamento com fertilização mineral. Além disso, não foi observada diferença do volume entre os tratamentos com lodo úmido e lodo seco (Tabela 4 e Figura 6).

Poggiani (2003), afirmou que o crescimento com aplicação de lodo complementado com K e B é acentuado nas árvores, esse fato sugere que a aplicação dos lodos úmido e seco nas linhas de plantio disponibilizou rapidamente os nutrientes necessários para o crescimento dos eucaliptos de maneira similar ao tratamento com fertilização mineral. Neste contexto, a aplicação de lodo de esgoto no solo influenciou no aumento da produtividade, pois os tratamentos com este resíduo apresentaram valores próximos aos obtidos dos tratamentos que foram adubados com fertilizantes minerais, com NPK, B, Zn (ROCHA; et al 2004; GUEDES, 2005).

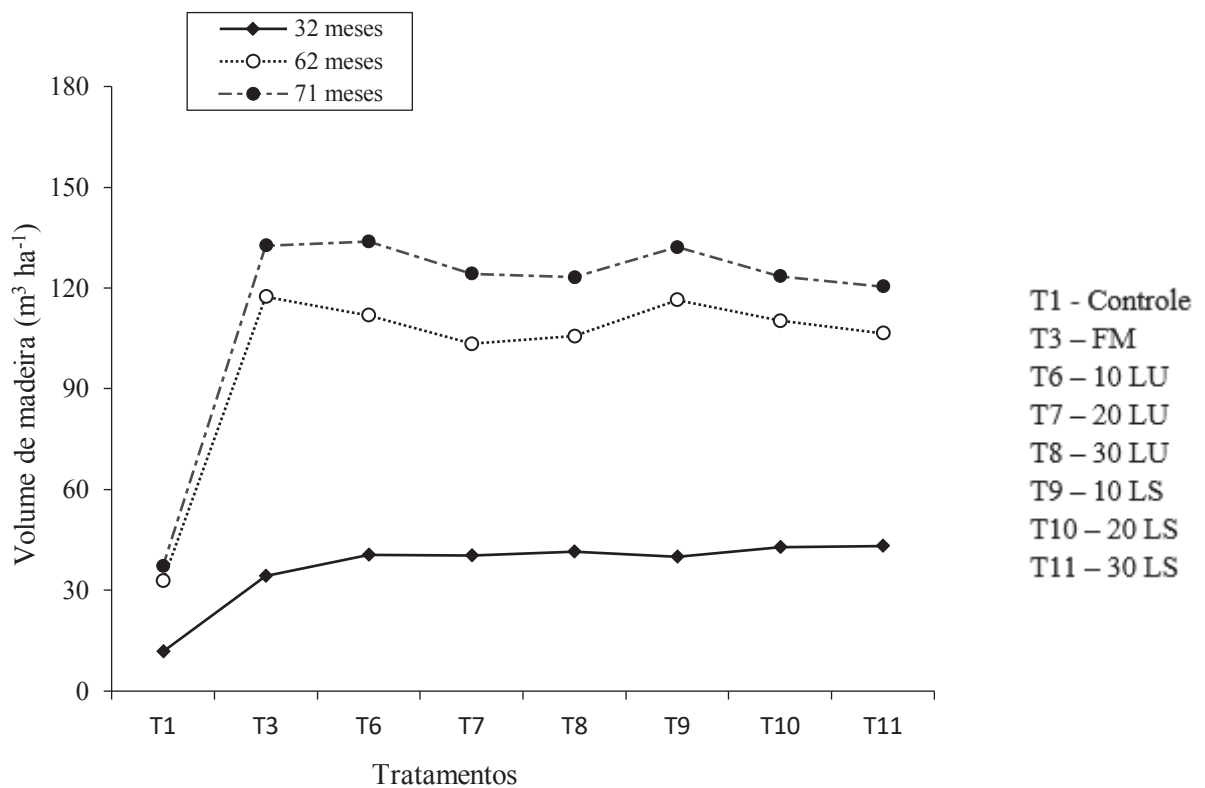


Figura 6 – Volume de madeira ($m^3 ha^{-1}$) nos períodos que foram realizados inventários florestais, em função dos tratamentos: T1; T3; T6; T7; T8; T9; T10 e T11.

Nota: LU - Lodo úmido; LS - Lodo seco; FM - Fertilização mineral

Fonte: autoria própria, 2019

A aplicação de lodo de esgoto no solo, complementado com K e B, aumentou a produtividade florestal, promovendo um maior crescimento dos eucaliptos em relação ao volume de madeira obtido no tratamento controle. Os tratamentos com lodo seco e fertilização mineral atingiram a produtividade máxima em menor tempo quando comparado ao lodo úmido. Nesse contexto os tratamentos com doses de

lodo úmido demoraram mais para atingir a maior produtividade (Figura 6). Uma curva de crescimento possibilita definir o máximo incremento sendo que a rotação beneficia o maior volume possível de extração. A idade ótima de corte ocorre quando o IMA ultrapassa o ICA, pois a floresta está entrando em fase de envelhecimento não gerando mais incremento. Os tratamentos com LU apresentaram valores de ICA superior ao de IMA, ou seja, não atingiu a época de corte e para os tratamentos com LS, FM e controle o ICA está abaixo do IMA mostrando que esses tratamentos já passaram do período ideal de corte, aos seis anos de idade da plantação (Figura 7).

Os resultados dos tratamentos com o lodo de esgoto foram próximos aos obtidos com a FM frequentemente aplicado nos plantios das empresas florestais da região de Itatinga. Esse efeito do lodo sobre o crescimento dos eucaliptos evidenciou sua importância em fornecer nutrientes as plantas, por exemplo, no inventário de 71 meses de idade o volume foi superior ao obtido no tratamento controle e não se diferenciou do tratamento com fertilização mineral.

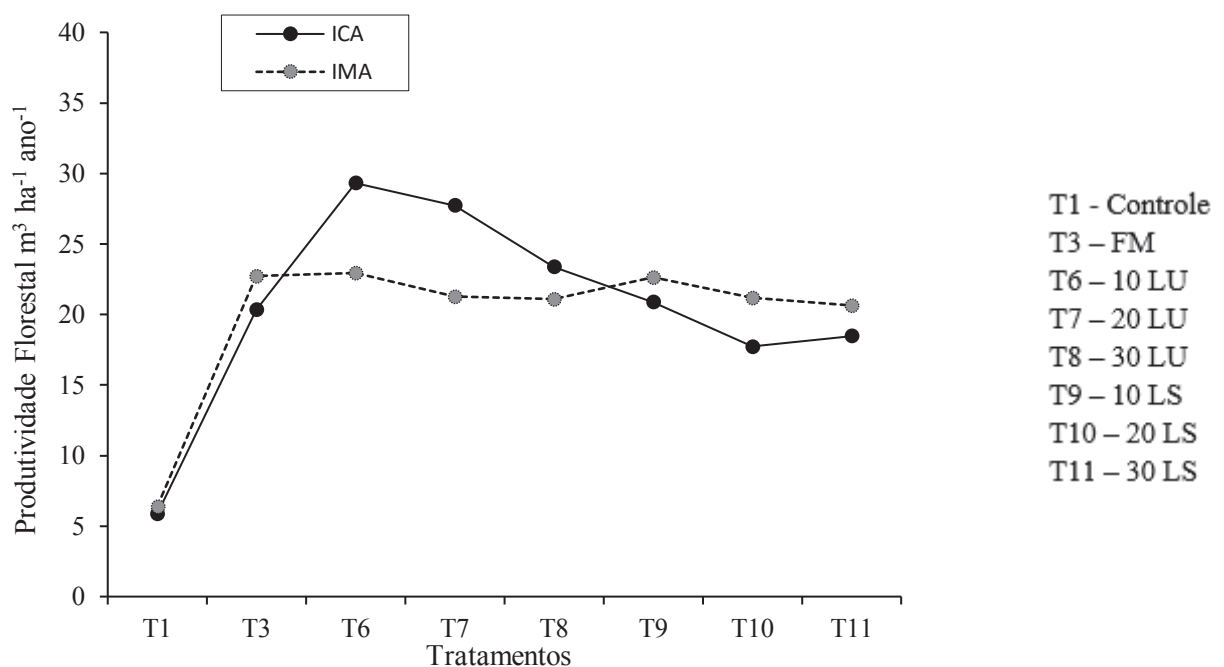


Figura 7 – Incremento Corrente Anual - ICA do período de novembro de 2016 a agosto de 2017 e Incremento Médio Anual – IMA ($\text{m}^3 \text{ha}^{-1} \text{ano}^{-1}$), aos 71 meses de idade, das árvores de eucalipto em função dos tratamentos: T1; T3; T6; T7; T8; T9; T10 e T11.

Nota: LU - Lodo úmido; LS - Lodo seco; FM - Fertilização mineral

Fonte: autoria própria, 2019

Na fase inicial de desenvolvimento os *Eucalyptus grandis* dependem dos nutrientes disponíveis no solo, um dos fatores para que ocorra maior produtividade (GONÇALVES, 2000). Os resultados evidenciaram que até o tratamento com a menor dose de lodo de esgoto (10 t ha^{-1}) complementada com K e B foi capaz de suprir à demanda nutricional. Este resultado também foi obtido por Poggiani (2003) em um ensaio com *Eucalyptus grandis* na Estação Experimental de Ciências Florestais de Itatinga onde o seu teste atingiu um volume de $280 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$ com a menor dose aplicada complementada, torna-se evidente que a adição do potássio ao lodo de esgoto é imprescindível para manter o equilíbrio nutricional necessário para o crescimento das árvores. Deste modo, a aplicação do lodo diretamente nas linhas de plantio disponibiliza rapidamente os nutrientes necessários para o desenvolvimento das árvores.

4. CONCLUSÃO

O efeito residual da aplicação de lodo de esgoto no solo há 14 anos contribuiu para o crescimento das árvores de uma plantação de *Eucalyptus grandis* e influenciou no ganho em volume de madeira.

Os tratamentos T6 e T9 que correspondem a consequentemente 10 t ha^{-1} de lodo úmido e seco não apresentaram diferença significativa quando comparados ao tratamento de fertilização mineral. A aplicação dos lodos nas linhas de plantio, complementados com K e B, incrementou significativamente o volume de madeira produzida pelos eucaliptos, servindo como fonte de nutrientes.

O uso de lodo de esgoto em plantios florestais deve ser incentivado, pois a aplicação do lodo de esgoto garante o aumento da matéria orgânica beneficiando assim as propriedades do solo e favorecendo o aumento da produção. Assim, após a análise de viabilidade técnica para definir o tipo de processamento e de destinação final, se faz necessária uma análise logística do projeto. Levando em consideração o manuseio e transporte desse produto, quanto maior a utilização do mesmo para reciclagem agrícola mais rentável seria a aquisição e utilização.

Portanto, o uso do lodo de esgoto poderia substituir a fertilização mineral comum, além de ser uma ótima opção de descarte para as ETEs. O conhecimento prévio da concentração dos diferentes elementos no lodo de esgoto, antes de sua aplicação em plantios florestais, são práticas de fundamental importância para o bom manejo deste resíduo e do empreendimento florestal.

5. REFERÊNCIAS

ALVARES, C. A.; STAPE, J. L.; SENTELHAS, P. C.; DE MORAES GONÇALVES, J. L. Modeling monthly mean air temperature for Brazil. *Theoretical and Applied Climatology*, Wien, v. 113, n. 3–4, p. 407–427, 2013.

BRASIL. Agência de Vigilância Sanitária – ANVISA. **Decreto nº 55.871 de março de 1965.**

BRASIL. Lei nº 11.445, 05 de janeiro de 2007. Estabelece diretrizes nacionais para o saneamento básico; altera as Leis nºs 6.766, de 19 de setembro de 1999, 8.036, de 11 de maio de 1990, 8.666, de 21 de junho de 1993, 8987, de 13 de fevereiro de 1995, revoga a lei nº 6.528, de 11 de maio 1978; e dá outras providências.

CAMPOS, J. C. G.; LEITE, H. G. **Mensuração florestal: perguntas e Respostas.** Viçosa: UFV, 2002.

CETESB (Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental). **Manual técnico P 4.230.** ago./1999. Aplicação de lodos de sistemas de tratamento biológico em áreas agrícolas - Critérios para projeto e operação. São Paulo, CETESB, 1999. 32 p.

CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE - CONAMA. **Resolução 375 de 29 de Agosto de 2006.**

CORREIA, J. E. **Caracterização físico-química e microbiológica do lodo na estação de tratamento de esgoto contorno feira de santana,** BA. 2009. 82p. Dissertação (Mestrado) – Universidade Estadual de Feira de Santana, Feira de Santana, 2009.

FERRAZ, A.V.; **Efeito residual do lodo de esgoto na produtividade e na ciclagem de nutrientes em plantios de Eucalyptus grandis e no cultivo de plantas alimentícias (simulando alteração do uso agrícola do solo)** 2013 – 159 p: il. Tese (Doutorado). Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Piracicaba, 2013.

FLORENTINO, A.L; **Fertilidade do solo, nutrição mineral, produtividade e metais pesados em plantações de eucalipto com efeito residual de lodo de esgoto.** 2016 - 141 p. : il Dissertação (Mestrado) – Centro de Energia Nuclear na Agricultura da Universidade de São Paulo. Piracicaba, 2016.

GASI, T. M. T. ; ROSSIN, A. C. Remoção de microorganismo indicadores e patogênicos em reator UASB operando com esgotos domésticos. In: 17º Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental. , 1993, Rio de Janeiro. **Remoção de microorganismo indicadores e patogênicos em reator uasb operando com esgotos domésticos.** Rio de Janeiro, 1993.

GODOY, Lucia. **A logística na destinação do lodo de esgoto.** Revista Científica On-line Tecnologia – Gestão – Humanismo, São Paulo, v. 2, n. 1, p.79-90, nov. 2013.

- GONÇALVES, J. L. M.; STAPE, J. L.; BENEDETTI, V.; FESSEL, V. A. G.; GAVA, J. L. Reflexos do cultivo mínimo e intensivo do solo em sua fertilidade e na nutrição das árvores. In: GONÇALVES, J. L. M.; BENEDETTI, V. (Ed.). **Nutrição e fertilização florestal**. Piracicaba: IPEF, 2000. p. 1-57.
- GUEDES, M. C.; POGGIANI, F. Variação dos teores de nutrientes foliares em eucalipto fertilizado com bio sólido. **Scientia Forestalis** n. 63, p. 188-201, jun. 2003.
- GUEDES, M.C, **Ciclagem de nutrientes após aplicação de lodo de esgoto (bio sólidos) sobre latossolo cultivado com Eucalyptus grandis**. 2005 – 154 p. Tese (Doutorado) – Escola Superior de Agricultura Luiz Queiroz, 2005.
- IBÁ - Indústria Brasileira de Árvores. **Relatório anual 2017**. São Paulo. 2017.
- MANZOCHI, C. I. S. **Logística para tratamento e disposição final de lodos de ETE's visando reciclagem agrícola**. 2008. Tese (Doutorado em Engenharia Ambiental) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2008.
- MELO, W. J., MARQUES, M. O. Potencial do lodo de esgoto como fonte de nutrientes para as plantas. In: BETTIOL, W., CAMARGO, O. A. **Impacto ambiental do uso agrícola do lodo de esgoto**. Jaguariúna: Embrapa Meio Ambiente, 2000. p. 109-142.
- MOLINA, M. V. **Nitrogênio e metais pesados em latossolo e eucalipto cinquenta e cinco meses após a aplicação de bio sólido**. 66p. Dissertação (Solos e Nutrição de Plantas). Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Piracicaba, SP, 2004.
- MORA, A. L.; GARCIA, C.H. **A cultura do eucalipto no Brasil**. 112p. São Paulo: Sociedade Brasileira de Silvicultura, 2000.
- ORGANIZAÇÃO MUNDIAL DA SAÚDE (OMS) - UNICEF **Progress on Sanitation and Drinking-Water**". 2014 .
- PIRES, I. C. G. **Lodo de esgoto em plantio de Eucalyptus grandis: produção de madeira e viabilidade econômica** - Piracicaba, 2015. 88 p.: il.
- PLANO NACIONAL DE SANEAMENTO BÁSICO - PLANSAB. Brasília, DF, 2013. Disponível em: <www.cidades.gov.br/index.php/plano-nacional-de-saneamento-basicoplansab>. Acesso em: 18 fev. 2013.
- POGGIANI, F.; GUEDES, M.C.; BENEDETTI, V. Aplicabilidade de bio sólido em plantações florestais: I. reflexo no ciclo dos nutrientes. In: BETTIOL, W.; CAMARGO, O. A. (Ed.). **Impacto ambiental do uso agrícola do lodo de esgoto**. Jaguariúna: Embrapa Meio Ambiente, 2000. cap. 8, p. 163-178.
- POGGIANI, F.; SILVA, P. H. M. Bio sólido aumenta produtividade de eucaliptos. **Visão Agrícola**, Piracicaba, n. 4, p. 105-107, 2005.

POGGIANI, F.; SILVA, P.H.M. da; GUEDES, M.C. Uso do lodo de esgoto em plantações florestais. In: ANDREOLI, C. V. (Org.). **Alternativas de uso de resíduos do saneamento**. Rio de Janeiro, RJ: ABES, 2006. p. 159-188.

REISSMANN, C. B.; WISNIEWSKI, C. Aspectos nutricionais de plantios de Pinus. In: GONÇALVES, J. L. M.; BENEDETTI, V. **Nutrição e fertilização florestal**. Piracicaba: IPEF, p.135-165, 2005.

REZENDE, C. I. O.; **Influência da aplicação do lodo de esgoto (Biossólido) sobre a concentração e o estoque de nutrientes na biomassa do sub-bosque, na serapilheira e no solo de um talhão de *E. grandis***. 2005 – 81p. Dissertação (Mestrado) - Escola Superior de Agricultura Luiz Queiroz, 2005.

ROCHA, G. N. **Monitoramento da fertilidade do solo, nutrição mineral e crescimento de um povoamento de *Eucalyptus grandis* fertilizado com biossólido**. 48p. Dissertação (Mestrado em Recursos Florestais) - Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Piracicaba, 2002.

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

SILVA, P. H. M.; POGGIANI, F.; GONÇALVES, J. L. M.; STAPE, J. L.; Volume de madeira e concentração foliar de nutrientes em parcelas experimentais de *Eucalyptus grandis* fertilizadas com lodos de esgoto úmido e seco. **Revista Árvore**, Viçosa-MG, v.32, n.5, p.845-854, 2008a.

TOLEDO, F.H. S; VENTURIN, N; DIAS, T. C. O uso de biossólidos no setor florestal. **Enciclopédia Biosfera**, Centro Científico Conhecer, Goiânia, v.8, n.15; p. 2276. 2012.

VAL MORAES, Silvana Pompéia. **Impacto do Lodo de Esgoto na Comunidade Bacteriana do Solo: Avaliação por Microarranjo de DNA**. 54p. Dissertação (Doutorado) – Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias Campus de Jaboticabal – Universidade Estadual Paulista, São Paulo, Jaboticabal, 2008.

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**, 26:747-758, 2002.

VON SPERLING, M. **Lodo de esgotos: tratamento e disposição final**. Belo Horizonte: Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental – UFMG; Companhia de Saneamento do Paraná, 2001. 484p.