



**ELOÁ DE LIMA SOUZA CASTILHO**

**UTILIZAÇÃO DO LODO DE ESTAÇÃO DE TRATAMENTO DE ÁGUA  
NA PRODUÇÃO DE MUDAS DE ARAUCÁRIA**

**INCONFIDENTES – MG**

**2018**

**ELOÁ DE LIMA SOUZA CASTILHO**

**UTILIZAÇÃO DO LODO DE ESTAÇÃO DE TRATAMENTO DE ÁGUA  
NA PRODUÇÃO DE MUDAS DE ARAUCÁRIA**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado como pré-requisito de conclusão do curso de Graduação Curso Superior de Tecnologia em Gestão Ambiental no Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Sul de Minas Gerais – Campus Inconfidentes, para obtenção do título de Tecnólogo em Gestão Ambiental.

Orientadora: Lilian Vilela Andrade Pinto

**INCONFIDENTES - MG**

**2018**

**ELOÁ DE LIMA SOUZA CASTILHO**

**UTILIZAÇÃO DO LODO DE ESTAÇÃO DE TRATAMENTO DE ÁGUA  
NA PRODUÇÃO DE MUDAS DE ARAUCÁRIA**

**Data de aprovação: 08 de Maio de 2018.**

---

**Prof.<sup>a</sup> DSc. Lilian Vilela Andrade Pinto**  
**IFSULDEMINAS Campus Inconfidentes**

---

**Prof. DSc. Ademir José Pereira**  
**IFSULDEMINAS Campus Inconfidentes**

---

**Prof. DSc. Fernando da Silva Barbosa**  
**IFSULDEMINAS Campus Inconfidentes**

**INCONFIDENTES - MG**

**2018**

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço em primeiro lugar ao Autor da Existência, Aquele que permite que todas as coisas se concretizem, nosso único e verdadeiro Deus. Em segundo lugar a minha mãe Ana Clara de Lima Souza Mota e ao meu pai Luciano Carlos Mota, meus irmãos e minha avó, que são minhas fortalezas. A D.Sc. Lilian Vilela Andrade Pinto D. Sc. Ademir José Pereira e D.Sc Fernando da Silva Barbosa., que me deram o amparo necessário a esta conquista, demais mestres e todos os que compartilharam um pouco do que sabem comigo, em especial ao Sr. Benedito Aparecido de Moraes (Ditinho) e os meus amigos nesta vida acadêmica.

“Que os vossos esforços desafiem as impossibilidades, lembrai-vos de que as grandes coisas do homem foram conquistadas do que parecia impossível.”

-Charles Chaplin

## RESUMO

A produção de água potável é responsável por gerar resíduos sólidos, denominado LETA (Lodo de Estação de Tratamento de Água). Este é proveniente do tratamento da água bruta, captada de mananciais superficiais. Um dos problemas que as ETAs enfrentam é a dificuldade de tratar o lodo e dispor de maneira a não causar impactos no meio ambiente. Por isso, várias alternativas são sugeridas para a disposição deste resíduo, entre elas a aplicação do lodo em solos agrícolas pode gerar diversos benefícios. Neste trabalho foi avaliado a germinação e o desenvolvimento da *Araucaria angustifolia* em seis substratos, dois contendo doses de lodo de ETA (25% e 50%) e outros quatro substratos utilizados para espécies florestais. O lodo utilizado no estudo foi coletado no DMAAE de Ouro Fino/MG, na qual é utilizado o sulfato de alumínio como coagulante. O experimento foi instalado seguindo o delineamento inteiramente casualizado (DIC) tendo oito repetições para cada um dos seis tratamentos/substratos (T1: 75% substrato do IF + 25% lodo; T2: 50% substrato do IF + 50% lodo; T3: 100% substrato do IF; T4: 100% substrato Pindstrup Substrato® (fino); T5: 100% substrato Pindstrup Substrato®(grosso); T6: 100% substrato Rohrbacher®) utilizados para produção de mudas de araucária. As coletas dos dados foram realizadas aos 160 dias após o plantio. Os parâmetros avaliados foram a germinação, diâmetro do coleto, altura e massa da parte aérea e da raiz, comprimento da raiz e o índice de qualidade de desenvolvimento (IQD). A dose de 50% e 25% de lodo de ETA não foram nocivas a germinação e desenvolvimento das mudas. A dose de 25% foi a que promoveu maior crescimento em diâmetro do coleto (DC), altura (H), acúmulo de biomassa da parte aérea (PSPA) e da raiz (PSR) e melhor índice de qualidade de desenvolvimento (IQD), apresentando-se como uma alternativa sustentável de tecnologia de produção de mudas de *Araucaria angustifolia*. Verificou-se que a destinação de lodo de ETA para viveiros é uma alternativa ambientalmente adequada, visto que toneladas deste resíduo são descartados, gerando poluição.

**Palavras-chave:** Estação de tratamento de água; produção de mudas, araucária.

## ABSTRACT

The production of drinking water is responsible for generating solid waste, called LETA (Water Treatment Plant Sludge). This comes from the treatment of raw water, taken from surface water sources. One of the problems that ETAs face is the difficulty of treating the sludge and disposing of it in a way that does not cause impacts on the environment. Therefore, several alternatives are suggested for the disposal of this residue, among them the application of sludge in agricultural soils can generate several benefits. This work evaluated the germination and development of *Araucaria angustifolia* in six substrates, two containing ETA sludge (25% and 50%) and other four substrates used for forest species. The sludge used in the study was collected in the DMAAE of Ouro Fino / MG, in which aluminum sulfate is used as a coagulant. The experiment was carried out in a completely randomized design (DIC) with eight replicates for each of the six treatments / substrates (T1: 75% IF substrate + 25% sludge; T2: 50% IF substrate + 50% sludge; T3: 100% substrato IF; T4: 100% substrato Pindstrup Substrato® (fino); T5: 100% substrato Pindstrup Substrato®(grosso); T6: 100% substrato Rohrbacher®) used for the production of *Araucaria* seedlings. Data were collected at 160 days after planting. The evaluated parameters were germination, collection diameter, height and mass of shoot and root, root length and development quality index (IQD). The 50% and 25% doses of ETA sludge were not harmful to germination and seedling development. The 25% dose was the one that promoted greater growth in collection diameter (DC), height (H), shoot biomass accumulation (PSPA) and root (PSR) and better development quality index (IQD) presenting itself as a sustainable alternative technology for the production of *Araucaria angustifolia* seedlings. It has been found that the allocation of ETA sludge to nurseries is an environmentally appropriate alternative, since tons of this waste are discarded, generating pollution.

**Keywords:** water treatment plant, production of seedlings, araucaria.

## SUMÁRIO

RESUMO .....	V
ABSTRACT .....	VI
LISTA DE FIGURAS .....	VIII
LISTA DE TABELAS.....	IX
1 INTRODUÇÃO .....	10
2 REFERENCIAL TEÓRICO .....	11
2.1 ASPECTOS GERAIS .....	11
2.2 GERAÇÃO DO LODO.....	12
2.3 CARACTERÍSTICAS DOS RESÍDUOS DE ETA .....	12
2.4 FORMAS DE DESTINAÇÃO.....	13
2.5 ESPÉCIE ESTUDADA.....	14
3 MATERIAIS E MÉTODOS .....	16
3.1 OBTENÇÃO E SECAGEM DO LODO E LOCAL DA CONDUÇÃO DO EXPERIMENTO.....	16
3.2 PREPARO DOS SUBSTRATOS, DEFINIÇÃO DOS TRATAMENTOS E DELINEAMENTO EXPERIMENTAL.....	18
3.3 SELEÇÃO DA ESPÉCIE E OBTENÇÃO DAS SEMENTES.....	21
3.4 CULTIVO DAS PLANTAS .....	21
3.5 PARÂMETROS AVALIADOS.....	22
3.6 TRATAMENTO ESTATÍSTICO .....	24
4 RESULTADOS E DISCUSSÕES .....	25
4.1 GERMINAÇÃO DA ESPÉCIE .....	25
4.2 INCREMENTO DO DIÂMETRO DO COLETO E ALTURA .....	27
4.3 COMPRIMENTO RADICULAR .....	28
4.4 BIOMASSA .....	28
4.5 ÍNDICE DE QUALIDADE DE DESENVOLVIMENTO(IQD) .....	29
5 CONCLUSÕES.....	31
6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	32

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Araucária adulta.....	15
Figura 2 - Esquema de uma estação de tratamento de água convencional.....	17
Figura 3 - Estufa de secagem .....	17
Figura 4 - Procedimentos para a instalação do experimento.....	20
Figura 5 - Experimento Inteiramente Casualizado.....	20
Figura 6 - Sementes da Araucária (Pinhão).....	21
Figura 7 - Raízes e partes aéreas das mudas expostas ao sol para pré-secagem .....	23
Figura 8 - Germinação das sementes da <i>Araucaria angustifolia</i> em diferentes substratos. ....	26
Figura 9 - Mudas das Araucárias germinadas aos 160 dias do início do experimento.....	26
Figura 10 - Diâmetro do coleto (A) e altura das mudas (B) de Araucária aos 160 dias do início do experimento.....	27
Figura 11 - Comprimento da raiz das mudas de Araucária aos 160 dias do início do experimento.....	28
Figura 12 - Peso da matéria seca da parte aérea (PMSPA) (A) e das raízes (PMSR) (B) das mudas de araucária aos 160 dias do início do experimento.....	29
Figura 13 - Índice de qualidade de desenvolvimento (IQD) das mudas de Araucária aos 160 dias do início do experimento.....	30

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1- Análise do lodo seco da estação de tratamento de água (ETA) do DMAAE - Departamento Municipal Autônomo Água e Esgoto, Ouro Fino/MG.....	18
Tabela 2 - Características dos substratos comerciais utilizados no experimento. ....	19

## 1 INTRODUÇÃO

As estações de tratamento de água (ETAs) têm como objetivo a captação de águas de mananciais a qual passa por diversas etapas para remoção de diversas partículas dissolvidas e suspensas para poder abastecer a população com água de qualidade.

Com a demanda por água aumentada pelo crescimento populacional e sua concentração nas cidades e também pelo aumento do consumo pelas indústrias houve, conseqüentemente, um aumento significativo deste resíduo, chamado de lodo. Só no Brasil existe cerca de 7.500 ETAs convencionais, e atualmente, esse número pode ser maior, sendo gerado por dia 2.000 toneladas de lodo, sendo lançados nos cursos d'água sem nenhum tipo de tratamento (CORDEIRO, 2001).

Por haver a existência de macro e micronutrientes essenciais ao desenvolvimento de plantas, o lodo de ETA tem potencial para ser usado na agricultura e silvicultura (TEIXEIRA, et al.,2005).

A aplicação de lodo em plantas cultivadas em viveiros pode ser uma alternativa de aproveitamento deste resíduo. O lodo ao ser incorporado na produção de mudas pode contribuir para a redução de custos e impactos causados pela disposição incorreta e ainda trazer benefícios para as plantas, como nutrição e não há alteração nas características do solo (BITTENCOURT et al., 2009). Dessa forma esse tipo de disposição pode ser uma alternativa viável do ponto de vista ambiental e econômico.

O objetivo deste trabalho foi avaliar a germinação e o desenvolvimento de mudas de araucária com a aplicação de lodo de ETA no substrato, a fim de testar sua viabilidade como parte do composto, buscando uma alternativa ambiental para o gerenciamento desse resíduo.

## **2 REFERENCIAL TEÓRICO**

### **2.1 ASPECTOS GERAIS**

O abastecimento de água nos centros urbanos torna-se cada vez mais centrado na qualidade do produto a ser distribuído à população. Em contrapartida, a qualidade da água bruta está piorando e exige uma maior concentração de produtos químicos aplicados no seu tratamento. Como consequência, há um significativo aumento nos rejeitos ou lodo, provenientes das Estações de Tratamento de Água (ETA), os quais são gerados principalmente nos decantadores (PORTELLA et al., 2002).

O lodo durante anos vem sendo despejados nos mananciais de captação (REIS et al.,2007), porém, com as atuais legislações classificando o lodo como “resíduo sólido”, classe IIA- não inerte, devem ser tratados, reutilizados e/ou reciclados, disposto conforme exigência dos órgãos reguladores (NBR 10.004/87).

Por causar possíveis impactos ambientais, é possível a identificação das formas de tratamento da água e pela determinação de sua composição química, da distribuição e tamanho das partículas, da filtrabilidade e de sua resistência específica. Por conter alguns metais, o lodo pode causar reações tanto positivas quanto negativas de acordo com as técnicas de tratamento, disposição e reutilização deste resíduo (HOPPEN et al.,2006).

## **2.2 GERAÇÃO DO LODO**

Para atender aos padrões de potabilidade, a água que chega à população deve passar por um processo de tratamento para ser retirado ou reduzido alguns constituintes da água bruta (RICHTER 2009). Geralmente os processos utilizados para o tratamento da água é coagulação, floculação, decantação, filtração e desinfecção havendo adição de outros procedimentos ou até sendo um tratamento mais simplificado dependendo da qualidade da água desejada (TSUTIYA; HIRATA, 2001).

A água bruta é constituída por organismos patogênicos e substâncias químicas orgânica e inorgânicas, a quais durante o tratamento na ETA ficam sedimentados nos decantadores e retidos pelos filtros durante a etapa de decantação e filtração, tendo a origem do lodo de decantadores e água de lavagem de filtros (PÁDUA, 2006; ALVAREZ ROSARIO, 2007), tendo apresentado geralmente na forma pastosa e com grande quantidade de umidade, cerca de 95% (CODEIRO, 2001).

Segundo Richter (2001), levando-se em conta o tipo de tratamento, o coagulante, a produção diária e os produtos químicos utilizados em uma ETA têm a capacidade de produzir entre 0,2 e 5% de lodo sendo proporcional à dosagem de coagulante utilizado em função do volume total da água tratada.

## **2.3 CARACTERÍSTICAS DOS RESÍDUOS DE ETA**

O lodo de ETA é caracterizado como um fluído não newtoniano, volumoso e tixotrópico, apresentando-se em estado gel quando em repouso e relativamente líquido quando agitado (DI BERNARDO; DANTAS; VOLTAN, 2012). Geralmente, os lodos provenientes de decantadores com limpeza manual apresentam alta concentração de sólidos, e os originados de decantadores com descarga contínua de lodo e das águas de lavagem dos filtros, baixa concentração de sólidos (RICHTER, 2001).

Em uma ETA, a quantidade de lodo produzida tem influência de fatores como: qualidade da água bruta, tipo e dosagem de produtos químicos utilizados, frequência e forma de limpeza dos decantadores e eficiência da sedimentação. Em termos volumétricos, a maior quantidade é proveniente da lavagem dos filtros, porém, em termos de carga de sólidos, a

maior quantidade de lodo é proveniente dos decantadores onde se dá a separação sólido/líquido.

O lodo de uma ETA convencional é gerado principalmente no decantador, resultante da acumulação de sólidos que ficam retidos por conta da sedimentação dos flocos, sendo caracterizados por apresentarem bastante umidade e estarem na forma fluída. Em sistemas nas quais as limpezas são realizadas com menor frequência podem apresentar maior concentração de metais nos resíduos/lodo. (CORDEIRO, 2001; FERRANTI, 2005).

Por apresentar sulfato de alumínio em seu conteúdo, o lodo torna os solos mais porosos, retendo assim maior quantidade de água (FEITOSA; CONSONI, 2008), além de melhorar a estrutura do solo, agregação de nutrientes e micronutrientes e ajuste de pH (SILVA; MELO; TEIXEIRA, 2005; DOLGEN; ALPSLAN; DELEN, 2007).

## **2.4 FORMAS DE DESTINAÇÃO**

Para a disposição do lodo é necessário realizar um estudo de viabilidade econômica, técnica e ambiental de acordo com cada tipo, dando a melhor alternativa, como, por exemplo (REALI 1999):

- a) Incineração dos resíduos: a qual os lodos são incinerados. Alto custo e gerando poluição do ar, necessitando de tratamento;
- b) Aplicações industriais diversas: podem ser utilizados na fabricação de cerâmicas, tijolos, dentre outros materiais de construção, dependendo das características do resíduo;
- c) Usos no solo: deve-se observar a ocorrência de impactos negativos no solo;
- d) Junção de biossólidos de ETA e Estações de Tratamento de Esgotos (ETEs): usado como fertilizantes para compostos de plantas.

No entanto, Silveira et al. (2013) concluíram que o lodo de ETAs quando desidratado pode ser disposto como cobertura de células em aterro sanitário in natura, uma vez que os metais presentes não foram disponibilizados quando em contato com a água, mesmo para a condição crítica de precipitação aplicada, e, portanto, muito provavelmente não oferecerão riscos ao meio ambiente.

Outra opção para o lodo desidratado é a disposição controlada no solo. Há alguns exemplos de aplicação de lodo de ETAs que utilizam sais de ferro e alumínio em solos para agricultura, e para recuperação de áreas degradadas (BITTENCOURT et al., 2012; HSU;

HSEU, 2011; MOREIRA et al., 2011). A viabilidade desta aplicação é determinada pelas características físicas e químicas do lodo, notadamente, pela existência de nutrientes benéficos às culturas e pela ausência de contaminantes (DAYTON; BASTA, 2001).

## 2.5 ESPÉCIE ESTUDADA

A *Araucaria angustifolia* (Bert. O. Kuntze.), também conhecida como pinheiro brasileiro ou pinheiro-do-Paraná, é nativa do Brasil e possui ampla área de distribuição. Trata-se de uma espécie perenifólia, cuja árvore, comumente com 10 a 35 m de altura e 50 a 120 cm de diâmetro, pode chegar a 50 m de altura e 250 cm de diâmetro na idade adulta. A espécie apresenta adaptabilidade fisiológica às condições de luminosidade do ambiente. Quando adulta, é heliófila e tolerante a temperaturas baixas (Carvalho, 2003).

De acordo com Mattos (1994), a araucária normalmente é dioica, havendo casos de serem monoicas. Neste último caso, tem-se o pinheiro „macho-e-fêmea“, como é conhecido pelos agricultores do sul do país. Os frutos da araucária são, botanicamente, classificados como pseudofrutos, popularmente conhecidos como pinha (Carvalho, 1994). Já as sementes, são conhecidas como pinhões, desenvolvem-se a partir de óvulos nus, sem a presença de ovários e possuem geralmente tegumento duro e endosperma abundante.

Atualmente, a distribuição fitogeográfica da araucária, no Brasil, é disjunta, ocorrendo em duas áreas distintas: nos estados do Rio Grande do Sul, Santa Catarina e Paraná e na Serra da Mantiqueira, nos estados de São Paulo, sudeste de Minas Gerais e sul do Rio de Janeiro. Sendo que se adapta melhor a altitude de 500 a 2300 metros, sendo encontrada preferencialmente de 500 a 1500 metros (Carvalho, 1994).

Segundo o mesmo autor, as araucárias preferem solos ricos em nutrientes, profundos e com pH ácidos variando de 4 a 6.

De acordo com Carvalho (1994) as sementes de araucária são retiradas da pinha, as quais não necessitam de retirada de dormência, pois possuem boa germinação natural, mas é costumeira a imersão em água à temperatura ambiente por 24 a 48 horas para embebição e semear somente os pinhões que afundarem. A produção de mudas em viveiros deve ser feita de forma direta em sacos de polietileno, contendo, no mínimo volume de 300 a 500 ml de substrato, sendo este bem drenado de baixa densidade e homogêneo.

Segundo Mainieri e Chimelo (1989), a madeira da araucária apresenta densidade básica de 0,42 g/cm<sup>3</sup> a 0,48 g/cm<sup>3</sup>, sendo fácil de ser trabalhada, com coloração branco- amarelada e bastante uniforme.

Além da madeira, a araucária tem importantes utilizações, tais como artesanato, uso medicinal e alimentação humana e animal. Os pinhões constituem um alimento muito nutritivo e energético para alimentação humana, assim como para a fauna silvestre (GAMA,2006).

Por suas inúmeras utilidades, sofreu o extrativismo desenfreado, sendo a araucária (Figura 1) incluída na lista oficial de espécies ameaçadas de extinção (Brasil, 1992 citado por Angeli, 2004) e na lista das espécies ameaçadas de extinção ou raras (KLEIN, 1988; PARANÁ,1995).

Figura 1- Araucária adulta.



Fonte: plantasonya.com.br

### **3 MATERIAIS E MÉTODOS**

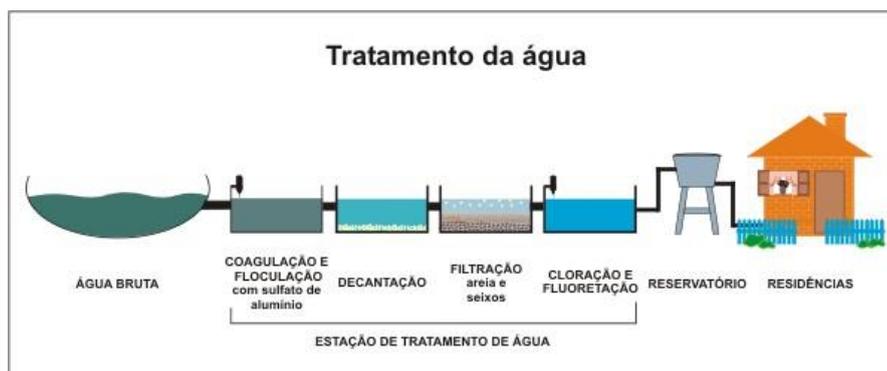
#### **3.1 OBTENÇÃO E SECAGEM DO LODO E LOCAL DA CONDUÇÃO DO EXPERIMENTO**

O lodo foi coletado em 13/06/2017 dos decantadores dos resíduos da estação de tratamento água (ETA) do DMAAE - Departamento Municipal Autônomo Água e Esgoto - que está localizado em Ouro Fino/MG (22°17'10.0" S, 46°22'16.9" W). A ETA é composta por calha de Parshall, conjunto de flocladores, decantadores convencionais, filtros e câmara de desinfecção, apresenta tratamento convencional e usa como coagulante o sulfato de alumínio  $(Al_2SO_4)^3$ .

O sulfato de alumínio encontrado no lodo de ETAs não é prejudicial ao meio ambiente, pois usado em solo degradados promove a imobilização de alumínio trocável e chumbo, além de transferir nutrientes para os horizontes mais profundos, dando mais fixação dos vegetais (MOREIRA et al., 2009).

Na figura 2 é apresentado um esquema de uma estação de tratamento de água convencional.

Figura 2 - Esquema de uma estação de tratamento de água convencional.



Fonte: [server.pelotas.com.br/sanep/tratamento/](http://server.pelotas.com.br/sanep/tratamento/)

O lodo coletado encontrava-se precipitado nos decantadores da ETA e no estado pastoso. Para a retirada do lodo utilizou-se uma pá para facilitar a coleta e sua disposição em um tambor com capacidade de 30 litros de modo que permitisse o seu transporte até ao viveiro de mudas do IFSULDEMINAS – Campus Inconfidentes.

O lodo foi colocado em uma estufa de 3 m x 0,6 m coberta por plástico de filme polietileno difusor de luz com espessura de 150 micras e tratamento contra raios UV (Figura 3) visando a secagem do mesmo, a qual ocorreu de forma natural em um período de 113 dias. O total de lodo após a secagem foi de 3.300 ml.

Figura 3 - Estufa de secagem.



Fonte: Elaboração do Autor (2018)

Toda a condução do experimento ocorreu no viveiro do IFSULDEMINAS - Campus Inconfidentes, localizado a 22°18'49.8" S, 46°20'10.0" W, a altitude de 869 m, o qual apresenta disponibilidade de materiais, equipamentos e espaço.

### 3.2 PREPARO DOS SUBSTRATOS, DEFINIÇÃO DOS TRATAMENTOS E DELINEAMENTO EXPERIMENTAL

Após a secagem do lodo foi realizada a fragmentação do mesmo com o auxílio de uma peneira a fim de se obter fragmentos menores do resíduo. Em seguida procedeu-se o preparo dos substratos/tratamentos, ainda na área do viveiro.

Para a definição dos tratamentos variou-se a dose de lodo de modo a se obter dois tratamentos com lodo objetivando avaliar se as diferentes doses do resíduo da ETA podem ser utilizadas em substituição aos três substratos comerciais mais utilizados pelo viveiro do IFSULDEMINAS - Campus Inconfidentes e ao substrato caipira (substrato do viveiro do IFSULDEMINAS – Campus Inconfidentes) para a produção de mudas da araucária.

No momento do preparo dos tratamentos com o lodo já seco, foram retiradas amostras dos mesmos as quais foram enviadas ao laboratório de análise de solos do IFSULDEMINAS - Campus Inconfidentes para caracterização química; exposta na Tabela 1.

Tabela 1- Análise do lodo seco da estação de tratamento de água (ETA) do DMAAE - Departamento Municipal Autônomo Água e Esgoto, Ouro Fino/MG.

<b>pH em água</b>	<b>P</b> (mg/dm <sup>3</sup> )	<b>K</b> (mg/dm <sup>3</sup> )	<b>Al</b> (Cmol/dm <sup>3</sup> )	<b>Ca</b> (Cmol/dm <sup>3</sup> )	<b>Mg</b> (Cmol/dm <sup>3</sup> )	<b>H+ Al</b> (Cmol/dm <sup>3</sup> )
7,05	11,1	84,3	Ø	6,2	1,18	0,83

Fonte: Laboratório Solos IFSULMINAS- Campus Inconfidentes

Já as características químicas e físicas dos substratos comerciais foram obtidas por meio das embalagens e contato com as empresas; sendo compiladas e expostas na tabela 2.

Tabela 2 - Características dos substratos comerciais utilizados no experimento.

Características dos substratos <sup>1</sup>	Substratos comerciais		
	T4: Pindstrup Substrato®	T5: Pindstrup Substrato®	T6: Rohrbacher®
Matérias primas	Turfa de <i>Sphagnum</i>	Turfa de <i>Sphagnum</i>	Casca de pinus, vermiculita e calcário
U. máx. (%)	63%	63%	60%
pH (em água)	5,9 (+/-0,5)	5,9 (±0,5)	6,0 (±0,5)
Micronutrientes	0,05 kg por m <sup>3</sup>	0,05 kg por m <sup>3</sup>	-----
NPK	12-14-24* (0,5 kg)	12-14-24* (0,8 kg)	-----
Granulometria	0-10mm	5-20mm	< 5mm

Fonte: REZENDE (2016)

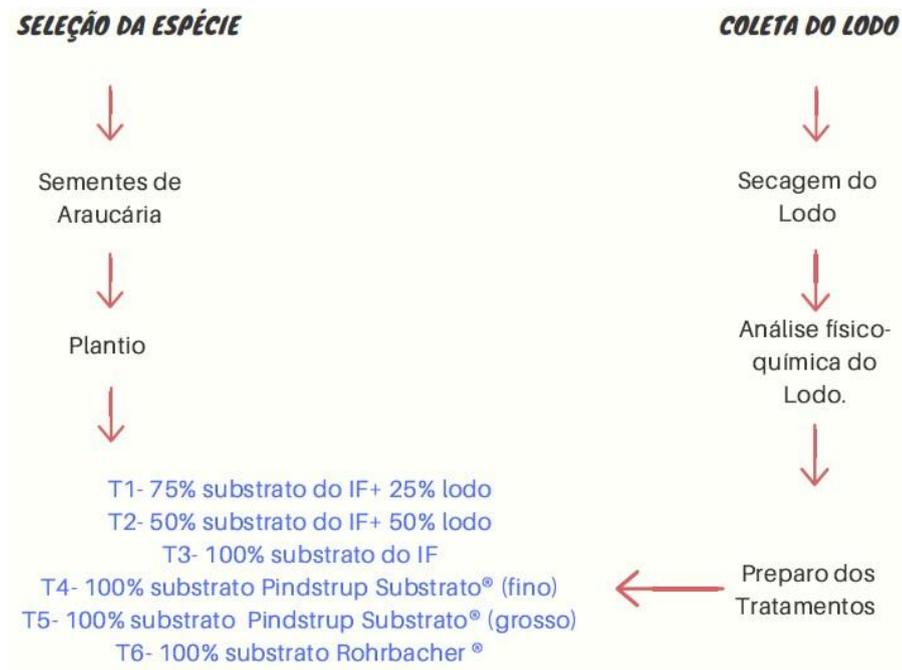
Os valores em porcentagem do lodo tiveram como base o volume do saco de polietileno utilizado para cultivos de mudas, sendo de aproximadamente 550 ml. As dosagens foram preparadas com o auxílio de recipientes graduados (baldes) adotando-se como parâmetro o volume, devido a diferença de densidade das matérias primas utilizadas.

Assim, no experimento foram utilizados seis tratamentos:

- T1: 75% substrato do IF + 25% lodo;
- T2: 50% substrato do IF + 50% lodo;
- T3: 100% substrato caipira (Substrato do IF);
- T4: 100% substrato Pindstrup Substrato® (fino);
- T5: 100% substrato Pindstrup Substrato®(grosso);
- T6: 100% substrato Rohrbacher®.

Os procedimentos para instalação do experimento encontram-se representados visualmente no diagrama apresentado na figura 4.

Figura 4 - Procedimentos para a instalação do experimento.



Fonte: Elaboração do Autor (2018)

Para essa pesquisa foi adotado o Delineamento Experimental Inteiramente Casualizado (DIC) visando evitar o favorecimento ou o prejuízo de possíveis interferências de luminosidade, irrigação e vento. O experimento foi composto por seis substratos (tratamentos) e oito repetições, totalizando 48 unidades experimentais. A forma como os tratamentos e as unidades amostrais foram dispostos encontram-se apresentados na figura 5.

Figura 5 - Experimento Inteiramente Casualizado

T1	T6	T5	T2	T3	T1	T4	T2
T3	T5	T2	T6	T6	T2	T3	T6
T4	T1	T4	T3	T4	T5	T3	T5
T5	T2	T5	T1	T2	T6	T6	T4
T1	T4	T3	T4	T3	T2	T1	T1
T3	T6	T1	T5	T5	T4	T6	T2

Fonte: Elaboração do Autor (2018)

■ 75% IF+ 25% lodo      ■ 50% IF+ 50% lodo

### 3.3 SELEÇÃO DA ESPÉCIE E OBTENÇÃO DAS SEMENTES

Foi utilizado a espécie *Araucaria angustifolia*, popularmente conhecida como pinheiro-do-paraná, que está na lista de espécies ameaçadas, apresentando a necessidade de sua conservação, tanto por sua importância econômica e ecológica, como paisagística e cultural.

As sementes (Figura 6) utilizadas no experimento não tiveram procedência conhecida, ou seja, não houve seleção de plantas matrizes. O lote de sementes utilizado foi comprado em uma fruticultura na cidade de Inconfidentes/MG.

Figura 6 - Sementes da Araucária (Pinhão).



Fonte: todosobrexanxere.com.br

### 3.4 CULTIVO DAS PLANTAS

Antes da sementeira as sementes ficaram imersas por 48h em água, conforme recomendação de Carvalho (1994).

A sementeira foi realizada no dia 06/10/2017 em sacos de polietileno com capacidade volumétrica de 550 ml contendo os diferentes substratos (tratamentos), descritos no item 3.2. Os sacos de polietileno foram preparados individualmente com os vários substratos até a borda e enfileirados. Na sequência foram espetados os pinhões com a ponta fina para baixo, deixando-os levemente inclinados (deitados), observando que a outra extremidade, ficou para

fora, acima da camada de substrato, (entre 0,5 a 1,0 cm). Posteriormente as sementes foram regadas.

O cultivo das mudas ocorreu de outubro de 2017 a 16 de março de 2018, totalizando 160 dias de cultivo. Todo o cultivo foi realizado no viveiro em uma área de produção de mudas coberta por tela de sombreamento que permite a passagem de 50 % da luz. Dentro da estrutura os sacos de polietileno foram dispostos no chão e foram irrigadas por aspersores duas vezes ao dia.

### 3.5 PARÂMETROS AVALIADOS

As avaliações da germinação e do desenvolvimento das mudas ocorreram por meio dos indicadores descritos a seguir.

a) Percentual de germinação (% G)

Calculada pela equação  $G = (N/ 8) \times 100$ , em que N = número de sementes germinadas ao final do teste. Unidade em porcentagem (%).

b) Diâmetro do coleto (DC)

O diâmetro do coleto foi medido com paquímetro digital, tomando-se como referência a posição da planta rente ao substrato.

c) Altura (H)

Para medição de altura utilizou-se de uma régua métrica graduada, considerando-se a altura da muda rente ao solo em relação ao ponto máximo de sua copa.

d) Comprimento radicular

Com o auxílio de uma régua, foi mensurado o comprimento radicular de cada indivíduo, tomando como base toda a região não aérea da planta até a parte mais extrema (raiz principal).

e) Biomassa

Realizou-se o peso de matéria seca da parte aérea (PMSPA) e das raízes (PMSR): após as raízes serem separadas e lavadas em água corrente sobre peneira de malha 0,02 mm, as raízes e parte aérea foram secadas ao sol para retirada de água superficial (Figura 7) e em seguida acondicionadas separadamente em sacos de papel craft identificados, para posterior secagem em estufa com circulação/renovação de ar a 65 °C até atingirem peso constante.

Esse procedimento durou uma semana e neste tempo os sacos de papel craft foram

invertidos nas grades em dias alternados para melhor secagem e circulação do ar quente. As raízes e a parte aéreas secas foram retiradas dos saquinhos e tiveram suas massas quantificadas em balança analítica eletrônica (0,001 g). Estes indicadores foram quantificados aos 160 dias após o início do experimento em todas as unidades amostrais que apresentaram germinação.

Figura 7 - Raízes e partes aéreas das mudas expostas ao sol para pré-secagem.



Fonte: Elaboração do autor (2018)

f) Índice de Qualidade de Desenvolvimento (IQD)

Aos 160 dias foi determinado em função da altura da parte aérea (H), do diâmetro do coleto (DC), do peso de matéria seca da parte aérea (PMSPA), do peso de matéria seca das raízes (PMSR) e do peso de matéria seca total (PMST = PMSPA + PMSR), por meio da equação de Dickson, Leaf e Hosner (1960) (Equação 1):

$$IQD = \frac{PMST(g)}{H(cm)/DC(mm) + PMSPA(g)/PMSR(g)}, \text{ em que:} \quad (1)$$

Unidade: adimensional.

### **3.6 TRATAMENTO ESTATÍSTICO**

Os dados biométricos foram submetidos a análise de variância ANOVA. As médias dos fatores que apresentaram diferenças significativas foram comparadas pelo teste de Scott- Knott, a 5% de probabilidade. Essa análise permite avaliar a influência do lodo em substratos para o desenvolvimento das mudas de araucária.

Para as análises estatísticas foi utilizado o programa “Sisvar 4.2” (FERREIRA, 2008).

## **4 RESULTADOS E DISCUSSÕES**

### **4.1 GERMINAÇÃO DA ESPÉCIE**

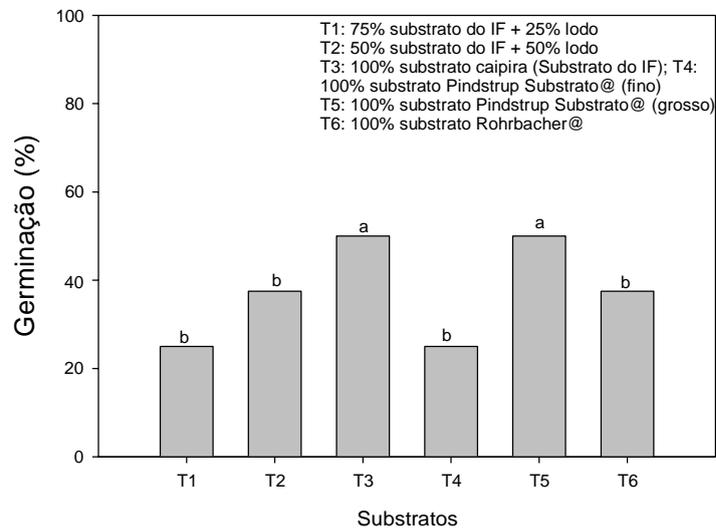
A porcentagem de germinação da araucária variou de baixa a média nos substratos estudados, variando de 25% a 50% (Figura 8). Segundo a CEMIG (s/d) as espécies florestais podem apresentar germinação considerada baixa ( $G\% < 30\%$ ), média ( $G\%$  entre 30% e 70%) e alta ( $G\%$  maior que 70%). A taxa de germinação da araucária encontradas em literatura é de 45 a 90% (CARVALHO, 1994), ou seja, pode servir como subsídio para trabalhos que procurem entender processos relacionados ao desenvolvimento, manutenção e regeneração de populações naturais.

Nos substratos T1 (75% substrato do IF + 25% lodo) e T2 (50% substrato do IF + 50% lodo) em que foram aplicadas as doses de lodo da ETA a germinação foi de 25% e 37,5%, valores de percentuais de germinação também observados em nos substratos comumente utilizados no viveiro do IFSULDEMINAS T4 (100% substrato Pindstrup® Substrato - fino) e T6 (100% substrato Rohrbacher®), respectivamente, indicando que as doses de lodo da ETA não foram nocivos para a espécie estudada.

Os substratos que promoveram maiores percentuais de germinação da araucária foram T3 (100% substrato caipira - Substrato do IF) e T5 (100% substrato Pindstrup Substrato® - grosso).

As sementes que germinaram (Figura 9) sobreviveram até o final do experimento

Figura 8 - Germinação das sementes da *Araucaria angustifolia* em diferentes substratos.



\*Médias seguidas de mesma letra não diferem significativamente entre si pelo teste de Scott - Knott a 5 % de probabilidade

Fonte: Elaboração do autor (2018).

Figura 9 - Mudanças das Araucárias germinadas aos 160 dias do início do experimento.



Fonte: Elaboração do autor (2018).

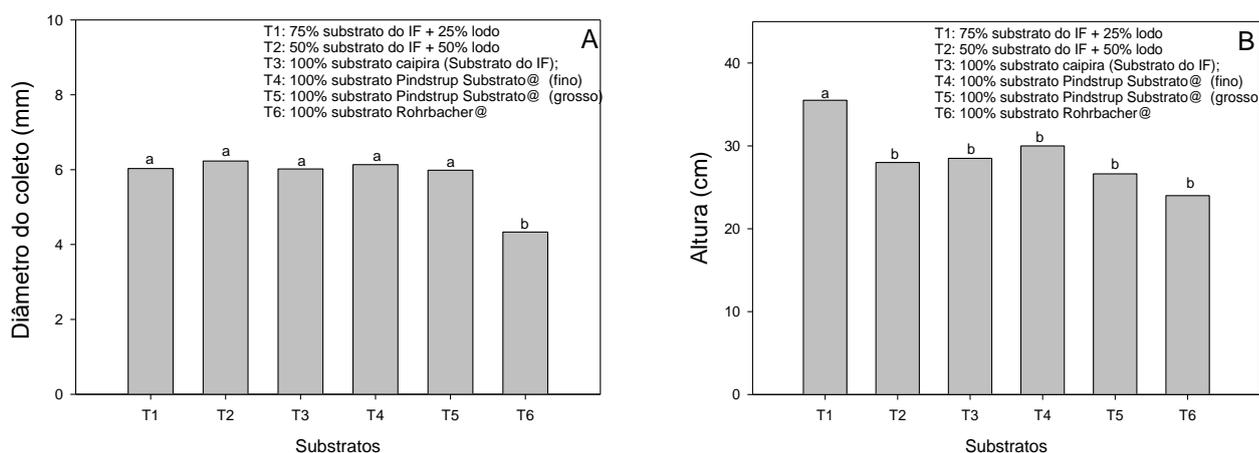
## 4.2 INCREMENTO DO DIÂMETRO DO COLETO E ALTURA

Para determinação do diâmetro do coleto e da altura da araucária em cada substrato foram considerados os valores médios absolutos de cada muda e os resultados encontram-se apresentados nas figuras 10A e 10B.

O diâmetro do coleto (DC) apresentou pequena variação entre os substratos, tendo apresentado diferença significativa ( $P>0,05$ ) pelo teste de Skott-Knott apenas no T6 (100% substrato Rohrbacher®) o qual apresentou o menor valor de DC (Figura 10A).

Os valores de altura apresentaram respostas diferentes estatisticamente ( $P>0,05$ ) pelo teste de Skott-Knott tendo sido superiores no substrato T1 (75% substrato do IF + 25% lodo) em relação aos demais tratamentos (Figura 10B).

Figura 10 - Diâmetro do coleto (A) e altura das mudas (B) de Araucária aos 160 dias do início do experimento.



\*Médias seguidas de mesma letra não diferem significativamente entre si pelo teste de Scott - Knott a 5 % de probabilidade

Fonte: Elaboração do autor (2018).

Melhores crescimentos no diâmetro do coleto também foram observados nos estudos de Rocha et al.(2015) na produção de mudas de eucalipto com a utilização de até 50% de lodo. Em estudo realizado por Augusto et al. (2015) o tratamento com 40% de lodo + 10% de esterco bovino + 50% de solo foi o que apresentou os melhores resultados no crescimento das plântulas com as espécies angico, aroeira e sabiá, quando comparada aos demais tratamentos.

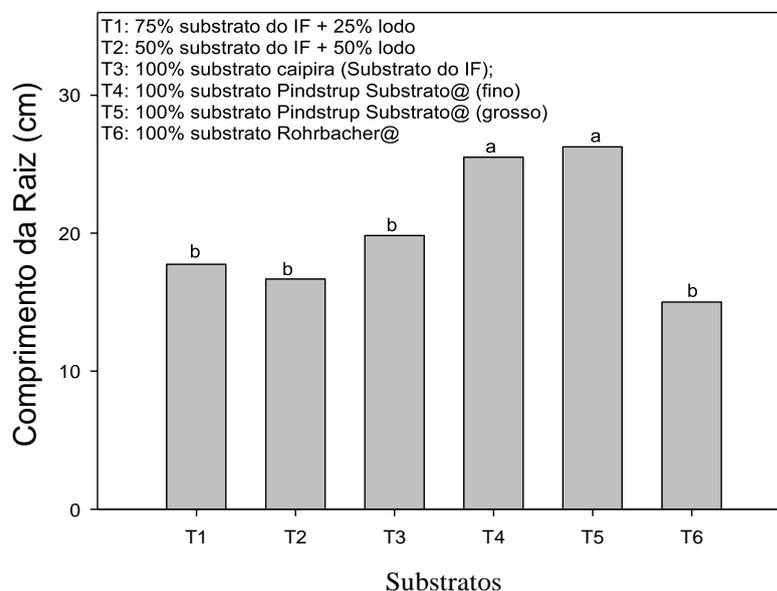
Estes dados reforçam que a taxa de crescimento varia de acordo com as espécies submetidas ao tratamento com lodo, mas, pode-se observar que a adição do lodo nos tratamentos estudados pelos autores trouxe resultados satisfatórios.

### 4.3 COMPRIMENTO RADICULAR

As raízes apresentaram maiores crescimentos nos substratos contendo Turfa de *Sphagnum* (T4: 100% Pindstrup Substrato® - fino; T5: 100% substrato Pindstrup Substrato® - grosso) (Figura 11).

A presença de lodo da ETA presentes nos substratos T1 (75% substrato do IF + 25% lodo) e T2 (50% substrato do IF + 50% lodo) não promoveu maiores crescimento das raízes (Figura 11), como observado no Diâmetro do coleto e altura das plantas (Figura 10).

Figura 11 - Comprimento da raiz das mudas de Araucária aos 160 dias do início do experimento.



\*Médias seguidas de mesma letra não diferem significativamente entre si pelo teste de Scott - Knott a 5% de probabilidade

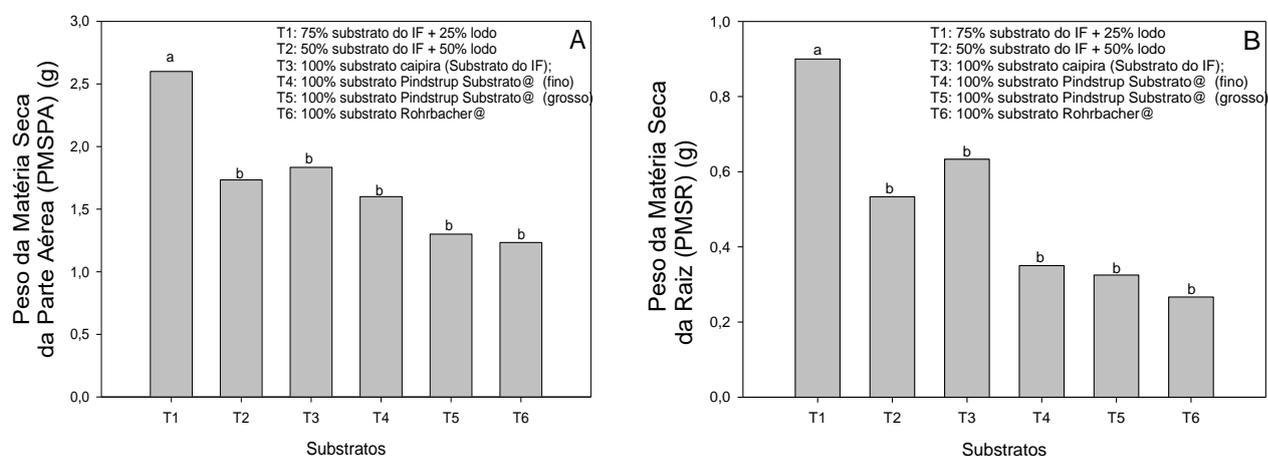
Fonte: Elaboração do autor (2018).

#### 4.4 BIOMASSA

Os resultados dos pesos de matéria seca da parte aérea (PMSPA) e peso da matéria seca da raiz (PMSR) são apresentados nas figuras 12A e 12B.

Observou-se que o substrato T1 que apresenta a menor quantidade de lodo (25%) propiciou o maior acúmulo de biomassa na parte aérea e na raiz de mudas de araucária, resultados diferentes estatisticamente em relação aos demais tratamentos. Esses resultados são relevantes e devem ser destacados vistos que para ter qualidade e sucesso das mudas em campo, é importante que o sistema radicular esteja bem desenvolvido, não enovelados, com boa agregação do substrato, raiz principal reta e secundária bem distribuídas, além de uma boa rigidez na haste, de acordo com Fonseca (1988) apud Gomes (2001).

Figura 12 - Peso da matéria seca da parte aérea (PMSPA) (A) e das raízes (PMSR) (B) das mudas de araucária aos 160 dias do início do experimento.



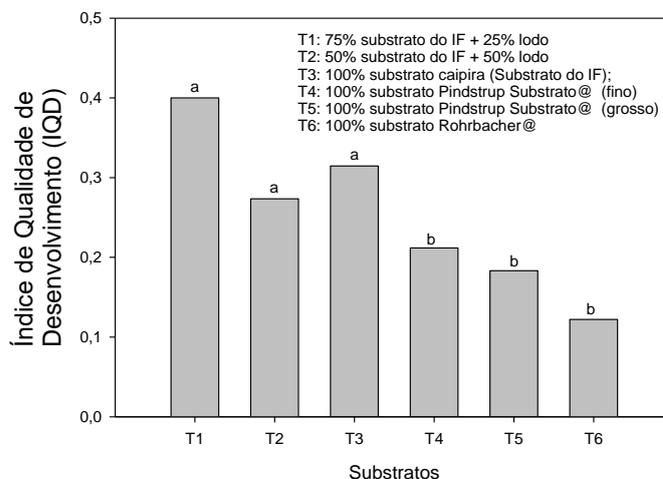
\*Médias seguidas de mesma letra não diferem significativamente entre si pelo teste de Scott - Knott a 5 % de probabilidade

Fonte: Elaboração do autor (2018).

#### 4.5 ÍNDICE DE QUALIDADE DE DESENVOLVIMENTO(IQD)

Os maiores valores do índice de qualidade de desenvolvimento (IQD) das mudas ocorreram nos substratos T1 (75% substrato do IF + 25% lodo) (IQD = 0,4), T2 (50%) substrato do IF + 50% lodo) (IQD = 0,27) e T3 (100% substrato caipira - Substrato do IF) (IQD= 0,31) os quais diferiram estatisticamente dos demais substratos T4, T5 e T6 (Figura 13). Destaca-se que o T1 promoveu IQD 32,5% superior a T2 e 22,5% superior a T3. Segundo Gomes (2001) as mudas que apresentam maior IQD apresentam maiores chances de sobreviverem e apresentarem maior crescimento em campo por considerar a relação parte aérea e raízes das mudas, mostrando bom equilíbrio entre as partes.

Figura 13 - Índice de qualidade de desenvolvimento (IQD) das mudas de Araucária aos 160 dias do início do experimento.



\*Médias seguidas de mesma letra não diferem significativamente entre si pelo teste de Scott - Knott a 5 % de probabilidade

Fonte: Elaboração do autor (2018).

## 5 CONCLUSÕES

As doses de 25% e 50% de lodo de ETA nos substratos não foram nocivas a germinação e desenvolvimento das mudas de *Araucaria angustifolia* quando comparados aos outros substratos avaliados.

A dose de 25% de lodo de ETA foi a que promoveu maior crescimento em diâmetro do coleto (DC), altura (H), acúmulo de biomassa da parte aérea (PSPA) e da raiz (PSR) e melhor índice de qualidade de desenvolvimento (IQD), apresentando-se como uma alternativa sustentável de tecnologia de produção de mudas de *Araucaria angustifolia*.

De acordo com os resultados encontrados nos parâmetros testados, a utilização do lodo que se forma nas paredes dos floculadores e decantadores de ETA, como parte do composto de substrato na produção de mudas de *Araucaria angustifolia*, é viável ambientalmente em concentrações até 25%, tornando-se uma alternativa para utilização desse lodo, o que evitaria sua deposição nos cursos d'água.

## 6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 10004:** Resíduos sólidos. Rio de Janeiro, 2004.

AUGUSTO, J.; HAFLE, O. M.; SENA, R. F.; ROLIM, H. O.; PORDEUS, P. R. F. **Desenvolvimento inicial de mudas de sabiá (*Mimosa caesalpinieaefolia* Benth) em substratos com utilização do lodo de Estação de Tratamento de Água.** In: CONGRESSO BRASILEIRO DE AGROECOLOGIA, 4, 2015, Belém/PA. Cadernos de Agroecologia –v. 10, n. 3, 2015. Disponível em: Acesso em 01 abril 2016.

BITTENCOURT, S. et al. Aplicação de lodos de estações de tratamento de água e de tratamento de esgoto em solo degradado. **Revista Engenharia Sanitária e Ambiental**, Rio de Janeiro, v. 17, n. 3, p. 315-324, jul./set. 2012

CARVALHO, P. E. R. **Espécies florestais brasileiras:** recomendações silviculturais, potencialidades e usos da madeira. Colombo: EMBRAPA/CNPQ, 1994. 640 p.

CARVALHO, P. E. R. **Espécies arbóreas brasileiras.** Brasília, DF: Embrapa Informação Tecnológica; Colombo: Embrapa Florestas, 2003. 1039 p

CEMIG. Informações botânicas, ecológicas e silviculturais de algumas espécies florestais. s/d. 28p.

CORDEIRO, J. S. Processamento de Lodos de Estação de Tratamento de Água (ETA). In: ANDREOLI, C.V. (coord.) **Resíduos Sólidos do Saneamento: Processamento, Reciclagem e Disposição Final.** Rio de Janeiro: RiMa / ABES / PROSAB, 2001. p. 121 – 142.

DAYTON, E. A.; BASTA, N. T. Characterization of drinking water treatment residuals for use as a soil substitute. **Journal of Water Resource and Protection**, Essex, v. 73, n. 1, p. 52-57, Jan./Feb. 2001.

DI BERNARDO, L.; DANTAS, A. B.; VOLTAN, P. E. N. **Métodos e técnicas de tratamento e disposição dos resíduos gerados em estações de tratamento de água**. São Carlos: Ldibe, 2012. 540 p.

DI BERNARDO, L.; PAZ, L. P. S. **Seleção de tecnologias de tratamento de água**: volume 1. São Carlos: Ldibe, 2008. 1600 p.

DICKSON, A.; LEAF, A. L.; HOSNER, J. F. Quality appraisal of white spruce and white pine seedling stock in nurseries. **For. Chron.**, v. 36, p. 10-13, 1960.

FERRANTI, E.M. **Desidratação do lodo de Estação de Tratamento de Água**. 2005. 101p. Dissertação (Mestrado em Recursos Hídricos e Saneamento), Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2005.

FERREIRA, D. SISVAR: um programa para análises e ensino de estatística. **Revista Symposium**, Lavras, v. 6, p. 36-41, 2008. Disponível em: <<http://www.dex.ufla.br/~danielff/meusarquivospdf/art63.pdf>>. Acesso em: 21 mar. 2018

GAMA, T. M. T. B. **Estudo comparativo dos aspectos físico-químicos do pinhão nativo e do pinhão proveniente de processos de polinização controlada de Araucaria angustifolia e da influência do tratamento térmico**. 89f. Curitiba. Dissertação (Mestrado em Tecnologia de Alimentos), Setor de Tecnologia, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2006.

GOMES, J. M. **Parâmetros morfológicos na avaliação da qualidade de mudas de Eucalyptus grandis, produzidas em diferentes tamanhos de tubete e de dosagens de N-P-K**. Viçosa, MG: UFV, 2001. 126f. Tese (Doutorado em Ciência Florestal) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa

HOPPEN, C; PORTELLA, K. F.; JOUKOSKI, A.; TRINDADE, E. M.; ANDREOLI, C. V. Uso de lodo de estação de tratamento de água centrifugado em matriz de concreto de cimento portland para reduzir o impacto ambiental. **Quím. Nova**, v. 29, n. 1, p. 79-84, 2006.

KLEIN, R. M. Espécies raras ou ameaçadas de extinção do Estado de Santa Catarina. **Estudos de Biologia**, Curitiba, n. 18, p. 3-9, 1988.

MAINIERI, C.; CHIMELO, J. P. **Fichas de características da madeira brasileira**. São Paulo: IPT, 1989. 418 p.

MOREIRA, R.C.A.; GUIMARÃES, E.M.; BOAVENTURA, G.R.; MOMESSO, A. M.; LIMA, G.L. (2009). Estudo geoquímico da disposição de lodo de estação de tratamento de água em área degradada. **Química Nova**, v.32,n.8,p. 2085-2093.

PÁDUA, V. L. Introdução ao tratamento de água. In: HELLER, L.; PÁDUA, V. L. **Abastecimento de água para consumo humano**. Belo Horizonte: Editora UFMG, 2006, Cap. 12, p. 519 - 570

PORTELLA, K. F.; HOPPEN, C.; SALES, A.; BARON, B. **Estudo da Utilização do Lodo da Estação de Tratamento de Água (ETA) Passauna em Matrizes de Concreto**. Curitiba: LACTEC, 2002. Relatório Técnico.

REALI, M. A. P. Principais Características Quantitativas e Qualitativas do Lodo de ETAs. In: REALI, M. A. P. (coord.) **Noções Gerais de Tratamento de Disposição Final de Lodos de ETA**. Rio de Janeiro: ABES / PROSAB, 1999. p. 21-39.

REIS, E. L. T.; COTRIM, M. E. B.; RODRIGUES, C.; PIRES, M. A. F.; BELTRAME FILHO, O.; ROCHA, S. M.; CUTOLO, S. A. Identificação da influência do descarte de lodo de estação de tratamento de água. **Quim. Nova**, v. 30, n. 4, p. 865-872, 2007.

RESENDE, L. A. de. **Efeito de substratos na germinação e no desenvolvimento de mudas de duas espécies nativas com potencial de implantação em sistemas silvipastoris no município de Inconfidentes/MG**. 2016. 33 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Agrônômica, Instituto Federal do Sul de Minas Gerais, Inconfidentes, 2016. Disponível em:  
<[https://www.ifs.ifsuldeminas.edu.br/images/secretaria\\_sup/pagina\\_sec\\_sup/tcc/Luana\\_Auxiliadora\\_de\\_Resende.pdf](https://www.ifs.ifsuldeminas.edu.br/images/secretaria_sup/pagina_sec_sup/tcc/Luana_Auxiliadora_de_Resende.pdf)>. Acesso em: 12 mar. 2017.

RICHTER, C. **Tratamento de lodos de estação de tratamento de água**. São Paulo: Blucher, 2001.

ROCHA et al. Utilização do lodo da estação de tratamento de água na produção de mudas de eucalipto. **Revista Agrogeoambiental**, Pouso Alegre, v. 7, n. 3, p.11-20, jul. 2015.

SILVA, E. T.; MELO, W. J.; TEIXEIRA, S. T. Chemical attributes of a degraded soil after application of water treatment sludges. **Scientia agrícola (Piracicaba, Braz.)**, Piracicaba, v.62, n. 6, dez. 2005.

TEIXEIRA, S. T.; MELO, W. J.; SILVA, E. T. da. Aplicação de lodo da estação de tratamento de água em solo degradado. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 40, n. 1, jan. 2005.

TSUTIYA, M. T.; HIRATA, A. Y. Aproveitamento e disposição final de lodos de estações de tratamento de água do estado de São Paulo. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL, 21, 2001, João Pessoa. **Anais eletrônicos I- 025**, João Pessoa: ABES, 2001. 9p.