

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SÃO CARLOS  
CAMPUS SOROCABA  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM SUSTENTABILIDADE NA GESTÃO  
AMBIENTAL

DANILA SANTIAGO DE ALBUQUERQUE MIRANDA

**CARACTERIZAÇÃO DE RESÍDUOS DA FABRICAÇÃO DE ALUMÍNIO (LAMA  
VERMELHA E LAMA PRETA) E SEUS EFEITOS NO CRESCIMENTO DE MUDAS  
DE EUCALIPTO.**

Sorocaba  
2017



UNIVERSIDADE FEDERAL DE SÃO CARLOS  
CAMPUS SOROCABA  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM SUSTENTABILIDADE NA GESTÃO  
AMBIENTAL

DANILA SANTIAGO DE ALBUQUERQUE MIRANDA

**CARACTERIZAÇÃO DE RESÍDUOS DA FABRICAÇÃO DE ALUMÍNIO (LAMA  
VERMELHA E LAMA PRETA) E SEUS EFEITOS NO CRESCIMENTO DE MUDAS  
DE EUCALIPTO.**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-  
Graduação em 2017, para obtenção do título  
de mestre em Sustentabilidade na Gestão  
Ambiental

Orientação: Prof.<sup>a</sup> Dra. Janaina Braga do Carmo (UFSCAR, campus Sorocaba)  
Co-Orientador: Prof. Dr. Leandro José Grava de Godoy (UNESP, campus Registro)

Sorocaba  
2017



**DANILA SANTIAGO DE ALBUQUERQUE MIRANDA**

**CARACTERIZAÇÃO DE RESÍDUOS DA FABRICAÇÃO DE ALUMÍNIO (LAMA VERMELHA E LAMA PRETA) E SEUS EFEITOS NO CRESCIMENTO DE MUDAS DE EUCALIPTO.**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação, para obtenção do título de mestre em Sustentabilidade na Gestão Ambiental. Área de concentração Recursos Naturais. Universidade Federal de São Carlos. Sorocaba, 12 de Maio de 2017.

Orientador(a)

---

Dr. (a) Janaina Braga do Carmo  
UFSCAR – Campus Sorocaba

Examinador(a)

---

Dr. (a) Luciana Camargo de Oliveira  
UFSCAR – Campus Sorocaba

Examinador(a)

---

Dr.(a) Francisca Alcivânia de Melo Silva  
UNESP – Campus Registro



## **DEDICATÓRIA**

*Dedico primeiramente aos meus pais que me orientaram e me ensinaram a nunca desistir, aos meus irmãos pelo carinho e força, a minha filha Zara por sempre compreender e me apoiar incondicionalmente em mais uma etapa de minha vida e ao Marcelo Gomes por me doar os braços, quando os meus estavam enfraquecidos.*



## AGRADECIMENTOS

Agradecer utilizando somente esta página é desafiador do que escrever este trabalho, muitas pessoas me apoiaram para hoje poder estar entregando este trabalho.

Primeiramente agradeço aos meus pais, com uma ponta de agradecimento especial a minha mãe, guerreira, trabalhadora e que me ensinou o significado de caráter e sempre seguir o caminho correto.

Minha filha, pela paciência na ausência da mãe, entender e valorizar meu esforço, serei eternamente grata, obrigada pelo amor incondicional.

No período de graduação tenho muitas pessoas a agradecer, a minha tia Rita de Cassia Fein, por não me deixar derrotar, também e com especial carinho as pessoas que me apoiaram nos momentos mais difíceis desta etapa, onde agradeço ao carinho e apoio dos professores Prof. Dr. Leandro Grava de Godoy, Prof. Dr. João Vicente Coffani Nunes, Prof<sup>a</sup>. Dra. Patrícia Gleydes Morgante, Prof<sup>a</sup>. Dra. Francisca Alcivânia de Melo Silva, Prof. Dr. Vilmar Antônio Rodrigues, Prof. Dr. Sérgio Hugo Benez, muitos dos ensinamentos carregou até hoje, bem como a gratidão.

Ao iniciar a vida profissional como engenheira agrônoma, não posso deixar de agradecer o conhecimento que adquiri trabalhando ao lado do Geólogo Pablo Andrés Fernandes, Engenheiro de Minas Marcilio Masami Nagaoka, Presidente da Amavales Ricardo Bertelli, ao Geólogo Hércio Akimoto e ao diretor do COMIN, Eduardo Rodrigues Machado Luz.

Agradeço todo o apoio da Companhia Brasileira de Alumínio, em especial ao Marcus Vinicius de Vaz Moreno, Rodrigo Moreno e Ednilson Oliveira ao me apoiar neste projeto de mestrado, contribuindo com as pesagens, revisões e orientações sobre o processo. Ainda nesta Companhia agradeço especialmente ao diretor do segmento de primários, o Sr. Luis Jorge Leal Nunes que através de algumas palavras me motivou a correr atrás deste sonho.

Não posso deixar de agradecer ao gerente geral industrial da empresa VMH, o sr. Alexandre Vianna da Silva, por incentivar agregar ao trabalho o rejeito lama preta.

Na pós graduação agradeço a professora Dra. Janaína Braga por sua orientação, paciência e disponibilidade por me ensinar e estar sempre disponível aos seus orientados. Novamente o apoio do Prof. Dr. Leandro Grava de Godoy que encarou o desafio de me co-orientar.

Sem vocês objetivo proposto neste trabalho seria impossível de ser alcançado e a todos que direta ou indiretamente fizeram parte deste trabalho, meu muito obrigada.



## RESUMO

### ALBUQUERQUE-MIRANDA D.S. CARACTERIZAÇÃO DE RESÍDUOS DA FABRICAÇÃO DE ALUMÍNIO (LAMA VERMELHA E LAMA PRETA) E SEUS EFEITOS NO CRESCIMENTO DE MUDAS DE EUCALIPTO.

49 f. Dissertação (Mestrado em Sustentabilidade na gestão ambiental) – Universidade Federal de São Carlos, Sorocaba, 2017.

Conforme houve a evolução dos processos industriais, com o aumento da demanda por novos produtos, a atividade industrial se tornou essencial na sociedade moderna. A atividade humana tem produzido rejeitos gasosos, líquidos e sólidos nocivos ao ambiente e a saúde humana nos diferentes compartimentos ambientais. Na busca de conhecimento para entender os efeitos de alguns rejeitos do processo produtivo da indústria de fabricação do alumínio, este estudo teve como objetivo caracterizar a lama vermelha (red mud) e da lama preta (resíduo proveniente dos lavadores de gases) e o efeito da aplicação destes rejeitos no crescimento de mudas de eucalipto. Os rejeitos foram encaminhados a laboratórios credenciados para análise CONAMA 375/2006 e NBR 10.004. A análise dos efeitos dos materiais no crescimento vegetal do eucalipto, foi montado em casa de vegetação, com adubação e correção prévia ao plantio, após uma semana houve a inserção do tratamento, onde a quantidade de cada resíduo foi delineada em cima da sua quantidade de sódio obtida na caracterização, o plantio foi acompanhado por 100 dias, medindo os parâmetros altura, diâmetro e número de folhas. Na desmobilização do experimento a vegetação foi segregada em raiz, caule e folhas e seguiram para o laboratório para obtenção da massa seca de cada indivíduo. Os resultados da caracterização apontam que a lama vermelha atende todos os VMP do CONAMA, porém a lama preta apresenta uma quantidade superior ao permitido de sólidos voláteis, na análise NBR 10.004, ambos os rejeitos foram classificados na classe IIA, resíduos não inertes, pois apresentam solubilidade em água. Os efeitos dos resíduos na vegetação, demonstram mortalidade de mais de 50% dos indivíduos tratados com lama vermelha, apontando fitotoxidez, causada pela composição do rejeito, rico em alumínio e ferro, 36% no tratamento realizado com a lama preta. Os indivíduos tratados com rejeito de lama preta apresentaram na dose de 1.698 mg kg<sup>-1</sup> LP incremento de 84, 207 e 76% na fitomassa seca das raízes, folhas e total. Devido os dados deste estudo, principalmente a mortalidade encontrada, foi evidenciado que o uso destes rejeitos não é viável para finalidade de insumo agrícola.

Palavras-chave: Rejeito, Alumínio, Sódio



## SUMMARY

### ALBUQUERQUE-MIRANDA D.S. CHARACTERIZATION OF WASTE FROM THE MANUFACTURE OF ALUMINUM (RED LAMA AND BLACK LAMA) AND ITS EFFECTS ON THE GROWTH OF EUCALYPTUS.

As industrial processes evolved, with increasing demand for new products, industrial activity became essential in modern society. Human activity has produced gaseous, liquid and solid wastes harmful to the environment and human health in different environmental compartments. In the search for knowledge to understand the effects of some wastes from the production process of the aluminum manufacturing industry, this study aimed to characterize red mud (mud red) and black mud (waste from washer extractors) and the effect of Application of these rejects in the growth of eucalyptus seedlings. The wastes were sent to laboratories accredited to analyze CONAMA 375/2006 and NBR 10,004. The analysis of the effects of the materials on the eucalyptus plant growth was set up in a greenhouse, with fertilization and correction prior to planting, after one week the treatment was inserted, where the amount of each residue was delineated over its amount of Sodium obtained in the characterization, the planting was followed for 100 days, measuring the parameters height, diameter and number of leaves. In the demobilization of the experiment the vegetation was segregated in root, stem and leaves and went to the laboratory to obtain the dry mass of each individual. The results of the characterization indicate that the red mud meets all the VMPs of CONAMA, but the black mud presents a higher quantity than the allowed volatile solids, in the analysis NBR 10.004, both wastes were classified in class IIA, non inert residues, because they present solubility in water. The effects of residues on vegetation, showed mortality of more than 50% of the individuals treated with red mud, indicating phytotoxicity, caused by the composition of the waste, rich in aluminum and iron, 36% in the treatment with the black mud. The individuals treated with black mud tailings had an increment of 84, 207 and 76% in the dry matter of roots, leaves and total, at a dose of 1,698 mg kg<sup>-1</sup> LP. Due to the data from this study, mainly the mortality found, it was evidenced that the use of these wastes is not feasible for agricultural input purposes.

Keywords: Reject, Aluminium, Sodium



## LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Exemplo de perfil de solo contendo bauxita.....	13
Figura 2: Processo Bayer de produção de Alumina . .....	14
Figura 3: Localização da área de estudo.....	27
Figura 5: Esquema de montagem dos vasos . .....	29
Figura 6: Unidade amostral com o tratamento de lama preta.....	32



## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Doses de adubação aplicadas.....	29
Tabela 2 – Delineamento amostral do experimento. ....	30
Tabela 3 –: Parâmetros dos solos estudados.....	33
Tabela 4 – Análise química do resíduo lama vermelha no CONAMA 375.....	34
Tabela 5 – Análise química do resíduo lama vermelha na NBR 10.004.....	35
Tabela 6 – Análise química da lama preta no CONAMA 375.....	36
Tabela 7 – Análise química do resíduo lama preta na NBR 10.004.....	37
Tabela 8 - Resumo da análise estatística da lama preta.....	39



## **LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS**

CETESB Companhia Ambiental do Estado de São Paulo

ABAL Associação Brasileira do Alumínio

EPA Environmental Protecny Agency

SEMA Secretaria Especial do Meio Ambiente

CONAMA Conselho Nacional do Meio Ambiente

IAC Instituto Agronômico de Campinas



## SUMÁRIO

<b>1. INTRODUÇÃO .....</b>	<b>11</b>
<b>2. REJEITOS DA INDÚSTRIA DE ALUMÍNIO .....</b>	<b>13</b>
<b>3. USO DE RESÍDUOS PERIGOSOS NA AGRICULTURA.....</b>	<b>19</b>
3.1 Composição dos rejeitos.....	21
3.1.1 Boro .....	21
3.1.2 Cobre .....	22
3.1.3 Níquel .....	22
3.1.4 Zinco.....	22
3.1.5 Arsênio .....	23
3.1.6 Potássio.....	23
3.1.7 Sódio.....	23
3.1.8 Ferro .....	24
3.1.9 Alumínio.....	24
4.1 Local .....	27
4.2 Origem dos rejeitos .....	27
4.3 Rejeitos .....	27
4.4 Espécie utilizada no experimento .....	28
4.5 Análises dos solos utilizados .....	28
4.6 Montagem do experimento .....	28
4.7 Irrigação .....	29
4.8 Delineamento experimental .....	30
<b>5. AVALIAÇÃO DO CRESCIMENTO DAS MUDAS.....</b>	<b>31</b>
5.1 Desmobilização do experimento.....	31
<b>6. RESULTADOS E DISCUSSÃO .....</b>	<b>33</b>
6.1 Caracterização do solo .....	33
6.2 Caracterização dos rejeitos .....	34
6.2.1 Lama vermelha .....	34
6.2.2 Lama vermelha como corretivo de acidez do solo .....	35
6.2.3 Lama preta .....	36
6.2.4 Lama preta como corretivo de acidez do solo .....	37
6.3 Efeito da aplicação dos rejeitos em Eucalipto .....	37
6.3.1 Lama Vermelha .....	37
6.3.2 Lama Preta.....	38
<b>7. CONSIDERAÇÕES FINAIS/ CONCLUSÕES .....</b>	<b>41</b>



## 1. INTRODUÇÃO

O crescimento de uma economia muitas vezes está ligado ao desenvolvimento da industrialização, como consequência a demanda de consumo de recursos cresce e aumenta a produção de resíduos.

Um ponto de vista sustentável sobre o assunto é entender que a economia tem caráter também energético, não somente na produção, circulação e consumo do produto final de uma cadeia, também faz parte o descarte de resíduos e a reciclagem de matéria prima (CECHIN, 2008). Esta visão aponta a preocupação com todo o ciclo de vida dos recursos utilizados na economia (CAVALCANTI et al, 1994).

Na indústria de alumínio, como em diversas cadeias produtivas, há a produção de rejeitos. O rejeito mais expressivo, desta cadeia produtiva é a lama vermelha, resíduo insolúvel oriundo da produção de óxido de alumínio (SILVA FILHO et al., 2007).

A alumina é o resultado da refinaria do minério bauxita (primeira etapa industrial da produção de alumínio. A quantidade de rejeito gerado, está ligada a qualidade da matéria prima (bauxita), podendo chegar a ser produzido na proporção 1:1, ou seja, uma tonelada de lama para cada tonelada de alumina produzida, em alguns casos 1:2.

No Brasil, estima-se que a produção em 2012 chegou a 20 milhões de toneladas de lama vermelha. Geralmente, este resíduo está armazenado em lagoas de disposição de rejeitos, já que, atualmente, não foi encontrado um uso deste material economicamente viável (SILVA FILHO et al, 2007).

O resíduo da bauxita e sua gestão é uma preocupação de âmbito ambiental e global. Trabalhos visando uma alternativa para uso deste resíduo já foram realizados (KIRKPATRICK, 1996, HIND et al., 1998, BRUNORI et al., 2004, SILVA FILHO et al., 2007), porém, a maior parte dos estudos não apontaram uma saída economicamente viável. Exemplo desta situação são os trabalhos desenvolvidos visando a recuperação de ferro, titânio e outros metais deste rejeito (SILVA FILHO et al., 2007).

Alguns trabalhos apresentaram problemas devido à alcalinidade da lama vermelha, como na aplicação desta na construção civil (KIRKPATRICK, 1996). Devido as características das partículas muito finas deste resíduo, os estudos deste material na área ambiental são promissores. O rejeito mostrou ótimos resultados de adsorção de Cd, Cu, Zn e Mn (BRUNORI et al., 2004). Outras pesquisas utilizaram a lama vermelha para a remoção do fósforo de efluente de esgoto, como floculante de tratamento de águas residuárias na produção

de laticínios e na remoção de metais potencialmente tóxicos, todas com resultados positivos (HIND et al., 1998).

O uso da lama vermelha na agricultura, como corretivo para solos ácidos, em substituição ao calcário agrícola, é aceito após tratamento em alguns países (HIND et al., 1998). A Alcoa em conjunto com o Departamento de Agricultura do Oeste da Austrália desenvolveu o Alkaloam para uso agrícola, onde estudos divulgados demonstram que há benefícios na adição como insumo, como corretivo de solos ácidos e deficiência nutricional (ALCOA, 2014). Estudos na área de pastagem onde a utilização ao longo de vários anos do insumo Alkaloam apontam resultados seguros referente a nutrição animal e humana no quesito de acúmulo de metais potencialmente tóxicos (LAURENCE et al, 2015).

Outro resíduo da indústria de alumínio, porém muito específico de uma unidade industrial localizada no município de Alumínio, é a lama preta, rejeito oriundo da operação de tratamento de gases durante a eletrólise do alumínio. Atualmente, a destinação deste material é o coprocessamento, destinado para indústrias cimenteiras, onde os resíduos são utilizados para geração de energia ou como matéria prima em fornos rotativos a temperaturas médias de 1.450 C°.

Seguindo a preocupação com o ciclo de vida dos recursos de uma cadeia produtiva, a análise dos efeitos dos rejeitos na vegetação se torna compreensível, visando entender a interação das doses propostas e seus efeitos.

## 2. REJEITOS DA INDÚSTRIA DE ALUMÍNIO

O alumínio existe em quantidades expressivas no planeta, sendo considerado o terceiro metal mais abundante. Seu uso industrial é recente em comparação a outros metais. Apesar de sua exploração industrial recente, há indícios de seu uso datado mais de sete mil anos em cerâmicas do povo Persa (OLIVEIRA, 2011).

A descoberta do elemento só foi comprovada em 1808, pelo químico inglês Humphrey Davy, e a produção em escala industrial só foi viável após Charles Martin Hall, utilizando criolita e corrente elétrica, conseguir segregar o alumínio contido no óxido de alumínio.

O minério mais utilizado para exploração de alumínio é a bauxita. Sua composição é uma mistura de hidróxidos de alumínio hidratados e impurezas, variando as proporções dependendo da localização geográfica. As bauxitas de maior interesse comercial têm em sua composição gibbsita ( $\text{Al}(\text{OH})_3$ ), encontrada em grande quantidade no Brasil, Austrália, Guiné, Guiana, Jamaica (CONSTANTINO et al, 2002).

A mineração de bauxita é superficial e não geram cavas profundas o que as tornam mais suscetíveis de recomposição. O processo de lavra contempla a retirada da camada de interesse do solo (bauxita) e o armazenamento do solo orgânico superficial a serem utilizados na recomposição topográfica, e revegetação.

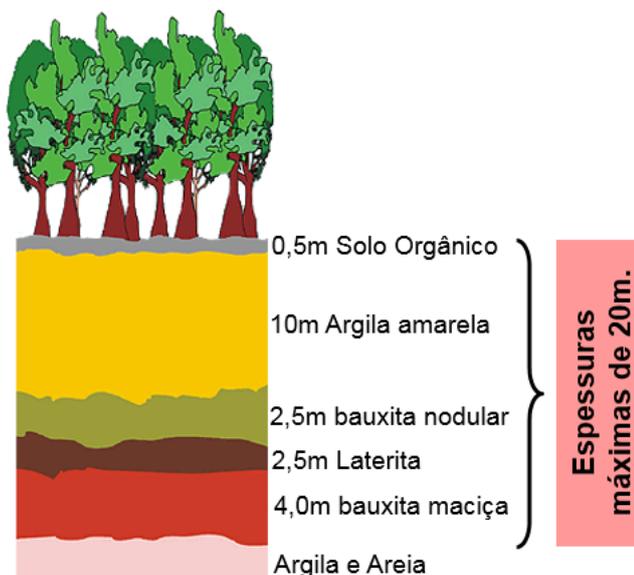


Figura 1: Exemplo de perfil de solo contendo bauxita (SILVA, 2007).

O principal processo para a fabricação do alumínio é o Bayer, desenvolvido em 1888. Inicialmente foi desenvolvido para a indústria têxtil, que utiliza o  $\text{Al}_2\text{O}_3$  como fixador para o tingimento do algodão, e posteriormente, após pesquisas, seu uso foi aplicado para a obtenção do alumínio, fato este que alavancou a importância do alumínio na metalurgia. Este processo é basicamente formado por quatro etapas: digestão, clarificação, precipitação e calcinação (SILVA FILHO et al., 2007).

- Digestão: primeiro estágio, iniciando com a moagem da bauxita, muitas vezes junto com uma solução cáustica de hidróxido de sódio ( $\text{NaOH}$ ) sob temperatura e pressão, variando conforme a qualidade da bauxita, podendo ter temperaturas entre 200 e 240°C, e pressão em torno de 30 atm. A etapa final é um licor de coloração esverdeada, rico em alumina;
- Clarificação: estágio que ocorre a separação entre resíduo insolúvel e o licor. Após esta etapa segue para espessamento que basicamente decanta o resíduo da digestão e o encaminha para lavadores no intuito de recuperar boa parte do  $\text{NaOH}$  empregado.
- Precipitação: Esta etapa ocorre quando há o esfriamento do licor e a adição de cristais de alumina (sementes) em pequena proporção, para estimular a precipitação.
- Calcinação: Neste ponto a alumina formada na precipitação passa por uma lavagem para remover impurezas e segue para secagem em temperaturas próximas a 1.000°C, formando então o Óxido de Alumina ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ).

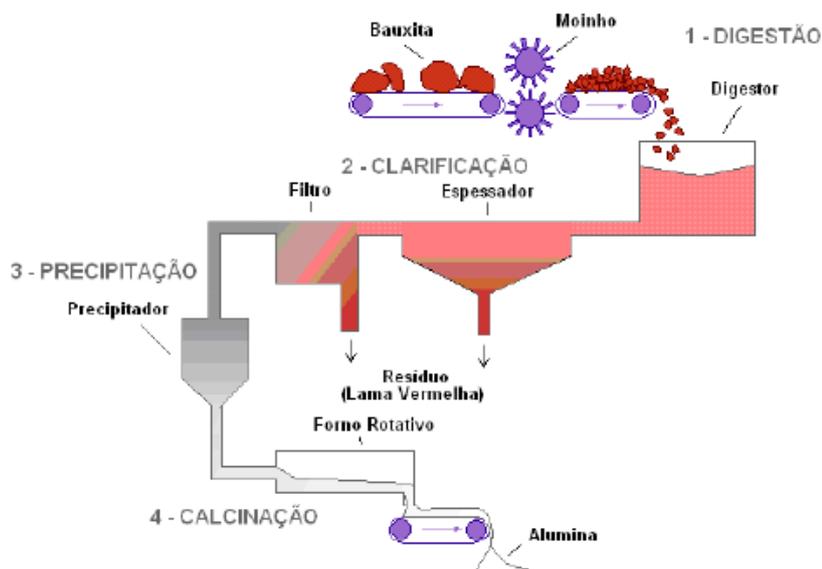


Figura 2: Processo Bayer de produção de Alumina (SILVA FILHO et al, 2007).

A indústria brasileira de alumínio se iniciou em 1917, com a Companhia Paulista de Artefatos de Alumínio (CPAA), com a fabricação de placas fundidas de alumínio para automóveis (ABAL, 2014).

Nos Anais de 1928, da Escola de Minas de Ouro Preto, surgem as primeiras referências sobre a bauxita no Brasil. Desde esta época a indústria de alumínio, no Brasil, apresentou significativo crescimento. Este crescimento trouxe também a preocupação com o resíduo do beneficiamento da alumina, a lama vermelha (SILVA FILHO et al., 2007). A proporção adotada geralmente é 1:2, ou seja, para cada tonelada de alumina, se produz em média duas toneladas de lama vermelha. (BRUNORI et al., 2004). O inventário global de bauxita registrou 1 bilhão de toneladas em 1985 (POWER, et al., 2010). No Brasil, em 2012, foi produzido mais de 10 milhões de toneladas de alumínio (ABAL, 2014), ou seja, uma produção aproximada de 20 milhões de toneladas de lama vermelha, considerando a estimativa adotada de 1:2.

A lama vermelha (red mud) é gerada a partir do refino da bauxita para a produção de óxido de alumínio ( $Al_2O_3$ ), por meio do processo Bayer, conforme a figura 2 (SILVA FILHO et al., 2007).

O risco ambiental deste resíduo está na presença de elevados valores de cálcio, altos teores de alumínio, hidróxido de sódio, além de sua elevada alcalinidade e capacidade de troca iônica (LI, 2001; COLLAZO et al., 2005). Apesar do exposto, a Environmental Protecyc Agency (EPA) não classifica a lama vermelha como um rejeito perigoso, desta forma, a lama vermelha representa um passivo ambiental importante, devido aos riscos de contaminação do ambiente e aos custos associados ao seu manejo e cuidados em sua disposição.

Durante muito tempo, este rejeito foi considerado um resíduo inaproveitável (CHAVES, 1962), porém, os custos econômicos e os riscos ambientais associados a sua disposição têm motivado as indústrias e pesquisadores na busca de alternativas ambientalmente mais viáveis.

A lama vermelha possui em sua constituição uma quantidade expressiva de alumínio não extraída no processo de refino combinado com sódio (SILVA FILHO et al, 2007). Em solos ácidos o alumínio que está retido aos minerais de argila, pode se solubilizar, mobilizando os íons  $Al^{3+}$  em partículas tóxicas, causando fitotoxicidade nas plantas (inibição de crescimento de raiz entre outras modificações fisiológicas e morfológicas).

O resíduo lama vermelha faz parte de um grupo de rejeito conhecido como “tailings”, caracterizado por lama formada por partículas muito finas. As opções de

disposição deste material, pode ser marinha, disposição a úmido, disposição a seco e bolo seco.

O método convencional de disposição deste material é o método úmido, que consiste em dispor a lama com baixo teor de sólidos, em grandes diques. A operação para o método úmido é barata, consistindo na sedimentação da fase sólida e recirculação da fase líquida na fábrica, porém o custo de implantação é alto, devido aos cuidados construtivos, incluindo a impermeabilização da área. Outro ponto relevante é o risco ambiental que esta forma de disposição apresenta, como rompimentos e vazamentos (POWER, et al., 2010),.

Os métodos mais seguros são os métodos secos. O mais comum é o “dry-stacking”, que consiste na disposição do material em leitos de secagem até atingir determinada altura. Posteriormente, é realizada a mesma operação em novo leito. Quando todos obtiverem a altura ideal, se deposita nova camada, com o propósito de realizar a secagem do material por evaporação e drenagem. Uma variante deste método é a secagem solar, indicado para áreas com taxa de evaporação mais elevada. Desta forma, os leitos de secagem são mais superficiais em relação ao “dry-stacking” usual (NUNN, 1998).

Outro resíduo oriundo do processo produtivo do alumínio é a lama preta. Este rejeito é muito particular da planta estudada, localizada no município de Alumínio, SP.

A lama preta é o rejeito do lavador a úmido. Este equipamento tem a função de limpeza de gases poluentes advindos do processo de eletrólise. A absorção de gases é efetuada por meio do contato do fluxo gasoso com gotas de líquido, através de sprays, colunas de enchimento ou outros equipamentos, gerando um resíduo, composto com partículas de granulometria muito fina, pastoso e coloração preta.

O uso de lamas aplicados na vegetação, como condicionadores de solo é uma alternativa muito utilizada em diversos países como, estados Unidos Holanda, Austrália e outros, exemplo é o lodo de esgoto, porém o uso de um rejeito com a finalidade agrícola só é justificável se houver algum benefício agrônômico. Para esta avaliação se faz necessário testes para justificar este uso e sua interação com a vegetação, como por exemplo a valiação do resíduo em acidificar ou alcalinizar o solo. Para avaliar a eficiência agrônômica também se faz necessário um experimento em vasos, geralmente em casas de vegetação. Com estes dados é possível inferir sobre a reação da espécie vegetal escolhida junto ao rejeito estudado (PIRES, 2008)

O aproveitamento de rejeitos, oriundos de plantas fabris, tem se tornado prática bastante disseminada, exemplo é o largo uso da vinhaça e tortas de filtros da indústria sucroalcooleira, apesar de apresentar propriedades corretivas ao solo, utilizada em grandes

quantidades causa o acúmulo de metais como Cd, Pb, Com Cr, Cu e Ni, porém em formas químicas pouco disponíveis a absorção pelas plantas (RAMALHO et al, 2001)

Conhecer os resíduos e sua interação com a vegetação é essencial para a minimização de possíveis impactos e orientar sua destinação adequada.



### 3. USO DE RESÍDUOS PERIGOSOS NA AGRICULTURA

Para definir um resíduo perigoso é importante diferenciar o risco do perigo. Risco é um resultado medido do efeito potencial do perigo, pode ser medido em termos de probabilidade. Já o perigo é a situação que contém uma fonte de energia ou de fatores fisiológicos e de comportamento ou conduta que, quando não controlados, conduzem a eventos prejudiciais (SHINAR; GURION; FLASCHER, 1991). Exemplificando, uma água contaminada com patógenos, oferece perigo a população, se for ministrada à população oferece risco e pode ser quantificado e expresso em termos de probabilidade.

Diante a definição exposta acima, resíduo perigoso é um material que contém fonte de contaminantes que podem causar prejuízos.

O uso de resíduos industriais perigosos na formulação de insumos agrícolas, com o objetivo a formulação de nutrientes para as plantas e a melhoria de algumas propriedades do solo, já foi usual, principalmente antes da década de 70. Conforme houve a ampliação de diversos setores produtivos, maior produção de resíduos e início das leis ambientais, responsabilizando o produtor do resíduo, por sua destinação, assim o interesse em dispor resíduos em diversas frentes produtivas ampliou, incluindo a área agrícola (KHALEEL et al., 1981).

A lei do Meio Ambiente, do Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA), e a criação de órgãos estaduais de controle ambiental, como a Companhia Ambiental do Estado de São Paulo (CETESB), reforçaram essa preocupação com a disposição de resíduos e ajudaram na criação de algumas legislações estaduais de apoio ao Meio Ambiente, como a legislação do Estado de São Paulo, onde a lei 997 de 31/05/1976, define a prevenção e o controle da poluição do meio ambiente.

A partir da Lei 6.938, de 31 de agosto de 1981, Política Nacional do Meio Ambiente (PNMA), iniciou o conceito de dano ambiental. Inicialmente, não se considerava emissão poluente tolerada, ou seja, mesmo o resíduo ou material poluente, estando dentro dos limites dos padrões estabelecidos, poderia causar problema ambiental e o responsável pelo dano deve realizar o pagamento de uma indenização (SANTOS, 2014).

Em 2001, a CETESB publicou a primeira lista de valores orientadores para solo e águas subterrâneas, valores segregados em Valor de Referência de Qualidade, Valor de Alerta e Valor de Intervenção, em três cenários: agrícola/ Área de Proteção Máxima, Residencial e Industrial (SANTOS, 2014). Esta listagem apresentou limites de tolerância aos poluentes.

O crescimento das atividades humanas causa grandes pressões sobre o ambiente. Um caminho para evitar problemas ambientais é a criação de leis e normas para regular atividades potencialmente poluidoras, incluindo a disposição de resíduos. Este crescimento ganha uma maior dimensão ao analisar os resíduos gerados pela área industrial (metalúrgica, química, petroquímica, papelreira, alimentícia e outras), apresentando uma variedade de resíduos, como cinzas, lodos, óleos, resíduos alcalinos ou ácidos, madeira, escórias, cerâmicas e outros (NAUMOFF et al, 2000).

Conforme Junior(2005), uma caracterização química (ferramenta para conhecer a composição de um material/ resíduo), bem realizada possibilita uma estimativa dos efeitos que a aplicação do resíduo pode causar no solo.

Em outros países, se encontra a regulamentação para uso de resíduos no solo como insumo. No caso dos Estados Unidos, a Agência Federal de Proteção Ambiental (USEPA) é que regulamenta as doses máximas dos elementos que compõem o resíduo que podem ser aplicados ao solo, neste caso os limites toleráveis foram determinados com base no conceito de rota de exposição, na qual há uma análise da fonte, mecanismos de transporte, ponto de exposição, via de exposição e população receptora (CHANG et al., 2002).

A USEPA, visando incentivar a reciclagem de resíduos, isenta três tipos de resíduos da definição de resíduos sólidos:

- \* Resíduos Usados como Ingrediente: Se um material é usado diretamente como ingrediente em um processo de produção sem ser primeiro recuperado, então esse material não é um lixo sólido.
- \* Resíduos Utilizados como Produto Substituto: Se um material é usado diretamente como um substituto efetivo de um produto comercial (sem ser primeiro recuperado), ele está isento da definição de resíduos sólidos.
- \* Resíduos Regressados ao Processo de Produção: Quando um material é devolvido diretamente ao processo de produção (sem ser primeiro recuperado) para utilização como matéria-prima ou matéria-prima, não é um resíduo sólido. (EPA,2017)

O uso de resíduos industriais na agricultura não é uma prática atual. Em 1984, a CETESB percebeu o uso de resíduos industriais na formulação de micronutrientes em chaminés de indústrias de fertilizantes no município de Cubatão, portanto, apesar de altos níveis de concentrações de metais tóxicos causados pela mistura de micronutrientes ao NPK, a agência ambiental entendeu que este assunto era de competência da Secretaria da Agricultura, pois as diretrizes da CETESB direcionavam assuntos relacionados a produção de fertilizantes a esta Secretaria. No ano de 1998, a CETESB enviou para o Ministério Público,

uma Resolução de Diretoria que visava o uso de resíduos industriais, em especial pó de aciaria, na formulação de micronutrientes. Após análise técnica, o Ministério Público concluiu inviável a proposta, pois o pó de aciaria continha dioxinas e furanos (SANTOS, 2014).

Após os estudos a CETESB passou a permitir somente o uso de resíduos industriais mediante tratamento dos resíduos que garanta a remoção dos elementos não essenciais à agricultura, evitando dessa maneira a sua transferência de forma lenta, porém irremediável ao ambiente.

A normativa que trata da caracterização química do resíduo é a NBR 10.004 (caracterização de resíduos). Nesta o resíduo pode ser caracterizado nas classes descritas a seguir:

Resíduo classe I (Perigosos): caracterizado por apresentar uma ou mais características de inflamabilidade, corrosividade, reatividade, toxicidade e patogenicidade. Nesta classe também existem resíduos específicos que por definição da norma são classificados como perigosos.

Resíduo classe II A (não inertes): são resíduos que não são classificados como perigosos e possuem características como biodegradabilidade, combustibilidade ou solubilidade em água.

Resíduo classe II B (inertes): nesta classe se caracteriza qualquer resíduo que for amostrado de forma representativa e após análise não apresentar seus constituintes solubilizados em concentrações superiores aos padrões de potabilidade de água.

No site da CETESB, está explícita a orientação de realizar a correta caracterização e segregação (classe I ou classe II) utilizando metodologias específicas.

### **3.1 Composição dos rejeitos.**

A lama vermelha e lama preta tem em sua composição diversos componentes em comum como o caso do Boro, Cobre, Sódio, Chumbo, Ferro e outros, diferenciando em sua quantificação. Referente esta composição será discutida seus efeitos com base na literatura dos elementos mapeados.

#### **3.1.1 Boro**

O boro (B) é considerado um elemento essencial, onde a deficiência resulta em rápida inibição no crescimento das plantas, impactando no crescimento meristemático (MARSCHNER, 1995). A atuação do boro está associada à formação da parede celular, na síntese dos seus componentes, como a pectina, a celulose e a lignina (MORAES et al., 2002).

Em experimento de análise do efeito do boro em eucalipto, verificou-se que houve resposta positiva em relação ao crescimento e produção de biomassa da parte aérea proporcionando ganhos em altura e biomassa entre 35 e 54% e entre 21 e 64%, respectivamente (BARRETO et al., 2007).

### 3.1.2 Cobre

O cobre (Cu) é considerado um elemento mineral essencial para o crescimento das plantas, atuando na síntese de proteínas, no metabolismo de carboidratos e também na fixação simbiótica de nitrogênio (MARSCHNER, 1995).

Em estudo realizado para avaliação dos níveis de toxidez de Cu no eucalipto (SOARES et al, 2000) o experimento apontou que grandes doses de cobre nas espécies *E. maculata* e *E. urophylla* são mais sensíveis ao excesso de Cu em solução, exibindo alguns sintomas como: manchas aquosas foliares, clorose e necrose foliar internerval, escurecimento das raízes e inibição do crescimento. Mesmo em altas concentrações a espécie *E. urophylla* não causou redução das atividades de absorção e translocação de P, K, S, Ca e Mg e a translocação do Fe reduzida.

### 3.1.3 Níquel

O níquel (Ni) é considerado um metal com efeitos negativos ao vegetal, onde a aplicação de Ni provoca redução linear na translocação de P em algumas espécies como Cedro (PAIVA et al, 2002), já nas mudas de ipê-roxo o Ni aumentou a translocação de P.

### 3.1.4 Zinco

O zinco (Zn) é componente de diversas enzimas, como desidrogenases, proteinases, peptidases e fosfohidrogenase.

Eucalipto deficiente em Zn geralmente possuem pequeno porte, folhas de tamanho reduzido e aglomeradas, conforme há o aumento desta deficiência, diminui também o tamanho e apresenta o internódio mais curto, as pontas das folhas e as regiões internas do limbo podem necrosar. No período seco é mais comum encontrar a vegetação com sintomas de deficiência em Zn (MARSCHNER, 1995).

### 3.1.5 Arsênio

O arsênio (As) é considerado um elemento traço extremamente tóxico, podendo estar presente no meio ambiente e nos organismos vivos (CULLEN et al, 1989).

O uso de As na agricultura foi comum no passado, por meio de diversos defensivos, como arseniato de chumbo ( $PbAsO_4$ ), arseniato de cálcio ( $CaAsO_4$ ), arseniato de magnésio ( $MgAsO_4$ ), arseniato ( $ZnAsO_4$ ) e arsenito ( $ZnAsO_3$ ) de zinco e outros. (LAZO, 2010).

É possível encontrar em ambientes terrestres e aquáticos a presença do Arsênio, tanto pode ocorrer devido a atividade antrópica quanto naturalmente, porém a maior parte dos problemas ambientais relacionados ao arsênio é de origem natural, porém as atividades antrópicas tendem a incrementar a poluição. (SMEDLEY et al, 2002).

Como há a presença de arsênio no solo e cursos de água, este elemento pode ser encontrado nos tecidos vegetais, sendo uma das principais exposições do homem ao elemento (LAZO, 2010).

WANG et al. (2002), aponta que há baixa transferência do elemento do solo para a planta, devido à restrita absorção radicular, devido a reação com o enxofre das proteínas, causando a restrição ao funcionamento das raízes e morte das células, além de sua reduzida translocação do elemento da raiz aos brotos e baixa disponibilidade no solo.

### 3.1.6 Potássio

O potássio (K) constitui aproximadamente 1% da massa vegetal seca, sendo desta forma um dos elementos mais abundantes no vegetal (EPSTEIN et al., 2006).

Este elemento pode ser considerado um dos nutrientes mais móveis no sistema solo-planta-atmosfera. Atua na síntese de proteína e regulação do potencial osmótico das células, é responsável por ativar várias enzimas envolvidas na respiração e fotossíntese (TAIZ et al, 2008). Além de atuar na resistência da planta a pragas e doenças (MALAVOLTA et al., 1997).

### 3.1.7 Sódio

Este elemento é apontado em diversas culturas como responsável por desequilíbrios nutricionais, afetando a absorção de nutrientes, podendo vir a causar a inativação fisiológica (VILLORA et al, 1997).

Alguns estudos apontam que o potássio e o sódio compartilham de algumas funções fisiológicas, estudos realizados em algodão indicaram que o sódio pode substituir

parcialmente o potássio (ZHANG et al, 2006). Em ambientes pobres em K, esta substituição de elementos em alguns estudos é apontada como estratégia de otimizar o uso da adubação potássica (ALMEIDA, 2009).

Apesar do efeito de substituição, há um lado negativo do uso deste elemento no solo, a dispersão de argila causada por uma alta concentração de Na no solo e o tipo de água aplicada podem trazer deteriorações na sua estrutura, podendo alterar o sistema de poros e contribuindo para alterações na infiltração e condutividade hidráulica (VELOSO, 1991).

### 3.1.8 Ferro

O ferro (Fe) possui como característica a afinidade para formar complexos com diversos ligantes (ácidos orgânicos, fosfatos e outros) e para sofrer mudança de valência, existindo assim, numerosos efeitos fisiológicos deste nutriente. A deficiência de Fe atua no desenvolvimento e a função do cloroplasto, o primeiro sintoma visível em brotos é o desenvolvimento de clorose nas folhas jovens, podendo ocorrer a de forma internerval (SANTOS, 2005).

O intervalo de deficiência situa-se em torno de 50 mg kg<sup>-1</sup> a 100 mg kg<sup>-1</sup>. No entanto, quando encontrados em teores acima de 1.880 mg kg<sup>-1</sup> no solo, pode apresentar efeitos fitotóxicos dependendo da espécie vegetal, seus sintomas são muito próximo ao de deficiência (KIRBY et al, 2007)

### 3.1.9 Alumínio

O alumínio (Al), possui baixa solubilidade, porém a acidificação dos solos, onde o pH atinge valores inferiores a 5, há o aumento na dissolução de óxidos e hidróxidos de Al. (MACHADO, 1997).

A ação tóxica do alumínio, ocorre no sistema radicular, sendo:

- Diminuições no alongamento radicular são os primeiros sintomas de toxicidade observáveis;
- A produção de biomassa radicular é normalmente mais sensível a toxicidade do Al em relação a produção de biomassa da parte aérea.

Apesar dos efeitos fitotóxicos descritos, este elemento é benéfico para algumas plantas, como a cultura do chá (*Camellia sinensis* L.), onde o Al atua como estimulante de crescimento (CHENERY, 1955).

Em algumas condições e para certas espécies, que possuem tolerância ao Al, a aplicação de baixas doses, podem trazer efeitos benéficos ao crescimento destas plantas (MARSCHNER, 1990), vale ressaltar que estes efeitos são considerados como exceção.



## 4. METODOLOGIA/MATERIAIS E MÉTODOS

### 4.1 Local

O estudo foi realizado nos viveiros do Centro de Vivência Ambiental (CVA), pertencente a Companhia Brasileira de Alumínio (CBA), localizada no município de Alumínio, Sudeste do Estado de São Paulo, Brasil ( $23^{\circ}32'06''$  S,  $47^{\circ}15'43''$  O, altitude de 790).

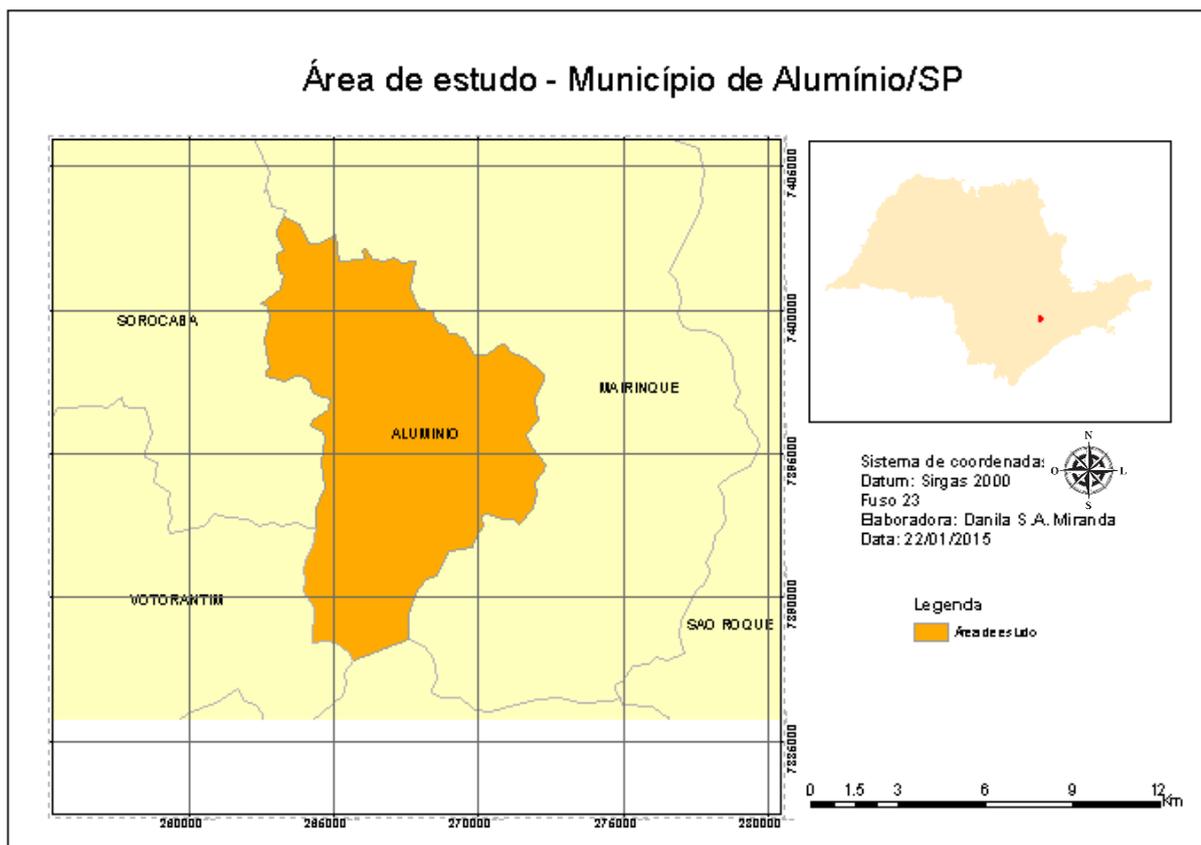


Figura 3: Localização da área de estudo, município de Alumínio, Estado de São Paulo (acervo do autor)

### 4.3 Rejeitos

A lama vermelha foi obtida do processo de refinaria na etapa de clarificação, sendo coletada em um recipiente de inox no dreno da bomba de sucção, após esta etapa o material foi encaminhado a uma prensa para a retirar a umidade.

O rejeito de lama preta, foi coletado com recipiente plástico na caçamba de descarga do material, no sistema de lavadores a úmido das áreas de eletrólise do alumínio, estes lavadores têm como objetivo captar os gases emitidos nas salas fornos e reduzir as impurezas, tais como NO<sub>x</sub>, SO<sub>x</sub> e Flúor

No intuito de melhor caracterizar os resíduos alvos deste estudo, o material foi enviado para os seguintes ensaios:

- Caracterização de resíduos - NBR 10.004 (Laboratório Bioagri)
- Caracterização CONAMA 375 (Laboratório IAC)

#### **4.4 Espécie utilizada no experimento**

O município de origem dos rejeitos, possui grandes áreas de plantio de eucalipto, assim, a espécie escolhida para o experimento foi um clone de eucalipto.

Foram utilizadas 80 unidades de clones C041H provenientes das espécies de eucalipto *Eucalyptus urograndis*, oriundo da empresa produtora de celulose que possui áreas plantadas na região.

As mudas de eucaliptos chegaram em tubetes de 55 cm<sup>3</sup>, datando 100 dias e medindo em média 34,5 cm. As unidades foram aclimatadas no local com sombrite de 70% por 15 dias, e sendo encaminhada ao local do experimento por uma semana para adaptação.

#### **4.5 Análises dos solos utilizados**

Para uma melhor análise dos efeitos dos resíduos nas mudas de eucalipto, foram selecionados dois solos distintos e distantes entre si 4,52 Km em linha reta.

A região de coleta de solos é composta basicamente de Argissolos Vermelhos-Amarelos de textura média/argilosa e argilosa, ocorre em relevos acidentados e dissecados (IBGE).

No intuito de conhecer a fertilidade e a granulometria dos solos escolhidos, foram enviados a um laboratório credenciado para análise físico química.

Antes do início da montagem do experimento, os solos foram passados por peneira de 5 mesh, deixando secar no ambiente por 24 horas.

#### **4.6 Montagem do experimento**

Foram utilizados vasos com capacidade de 7 kg, onde foram inseridos no fundo do recipiente, feltros, no intuito de minimizar a perda de material e ao mesmo tempo manter a drenagem da água. Estes vasos foram alocados sobre paletes e abaixo deste novamente um novo feltro para minimizar qualquer chance de contaminação do solo.

Em cada recipiente foram inseridos 5 Kg de solo, nos quais foi aplicado calcário (PRNT de 100%) para elevar a saturação por bases a 70%, após uma semana, foram transplantadas as plantas, (15 de janeiro de 2016), onde as mudas tiveram suas raízes lavadas

e, após efetivamente transplantadas para os vasos descritos, foram levadas para aclimação por cinco dias, em condições adequadas (ROMERO, 2008). Passado o período de aclimação, aplicou-se os tratamentos delineados, em dose única, na superfície do solo, no dia 22 de janeiro de 2016.

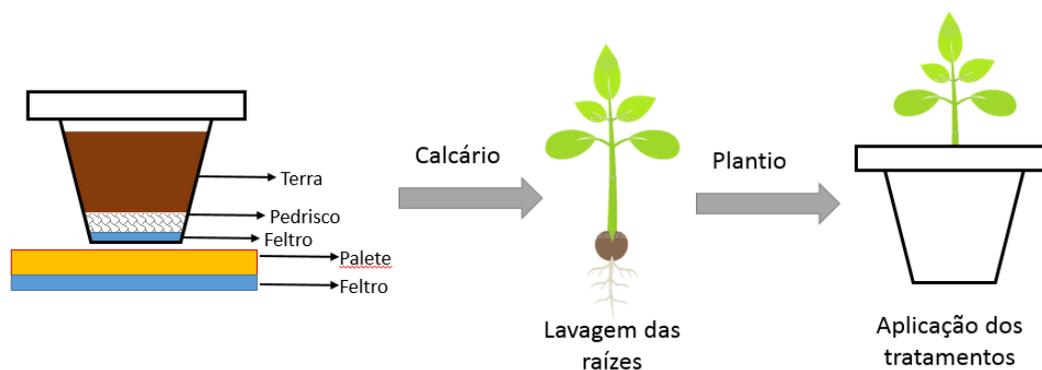


Figura 4: Esquema de montagem dos vasos (acervo do autor).

Foi realizada a adubação complementar de N, P, K (somente no tratamento de adubação convencional) e em todos os tratamentos foram acrescidas doses de Zn, Cu e B. As quantidades aplicadas foram iguais para os dois tipos de solo, que apesar de apresentarem texturas divergentes a fertilidade destes eram muito próximas, podendo utilizar doses iguais da adubação complementar para todos os tratamentos.

Baseado na literatura (ALMEIDA, 2009), foram aplicados 83,6 mg Kg<sup>-1</sup> N (930 mg/vaso de ureia); 250 mg Kg<sup>-1</sup> P (15,9 g/vaso de SS) e 83,5 mg Kg<sup>-1</sup> K (835 mg/vaso de cloreto de K).

Tabela 1 – Doses de adubação aplicadas, considerando 5 Kg de solo.

Insumo	Quantidade (g)
Ureia	0,93
Superfosfato simples	15,9
Cloreto de Potássio	0,835
Óxido de zinco	0,083
Sulfato de cobre	0,014
Bórax	0,029

#### 4.7 Irrigação

Durante as medições semanais, os vasos eram limpos retirando a vegetação invasora e verificado sua umidade, através do método visual.

A umidade também foi medida em dias alternados estimando a umidade do solo, ao verificar sintomas de umidade baixa, ressecamento do solo, era realizada a irrigação até atingir a umidade necessária.

#### 4.8 Delineamento experimental

Foram instalados dois experimentos em casa de vegetação, um em cada tipo de rejeito (lama vermelha e lama preta), organizados em DIC (Delineamento Inteiramente Casualizado) e os tratamentos foram aplicados seguindo esquema fatorial 2 x 4, sendo dois solos e quatro doses das lamas. Além disso, foi instalado mais um tratamento com a adubação convencional, em cada solo (Tabela 3). Para cada tratamento, foram realizadas cinco repetições.

Tabela 2 – Delineamento amostral do experimento cada item descrito abaixo foi repetido 5 vezes.

<b>Solo argiloso</b>	<b>Solo franco siltoso</b>	<b>Dose</b>	<b>Rejeito (mg kg<sup>-1</sup>)</b>
Testemunha	Testemunha	única	0
Adubação convencional	Adubação convencional	única	0
Lama Vermelha	Lama Vermelha	dose 1	1.554
Lama Vermelha	Lama Vermelha	dose 2	1.586
Lama Vermelha	Lama Vermelha	dose 3	1.618
Lama Preta	Lama Preta	dose 1	1.698
Lama Preta	Lama Preta	dose 2	1.732
Lama Preta	Lama Preta	dose 3	1.766

As doses das lamas utilizadas nos experimentos tiveram como base o estudo realizado por Romero (2008), que visou estudar a interação do sódio como substituto do potássio. Assim, a dose média da lama vermelha e da lama preta foi calculada para aplicar 2 mmolc kg<sup>-1</sup> Na (50 mg kg<sup>-1</sup> Na). No cálculo das doses dos rejeitos foram considerados seu teor de Na e na umidade (tabela 4). Esta dose de sódio foi calculada para substituir a adubação potássica, aplicada nos tratamentos com a adubação convencional. Os demais nutrientes foram aplicados como descrito no item 5.6.

## 5. AVALIAÇÃO DO CRESCIMENTO DAS MUDAS

As plantas foram cultivadas por 100 dias. Durante o período de crescimento, foram selecionados alguns indicadores para avaliar o desenvolvimento “*in loco*” (ROMERO, 2008), como altura, diâmetro e número de folhas. Além destes foram observados alguns sintomas, no intuito de verificar sintomas de deficiência, toxidez ou mesmo ataque por formigas.

- \* Altura da parte aérea - distância da superfície do substrato à folha mais alta;
- \* Diâmetro do colo - medida da circunferência da base planta junto ao substrato;
- \* Número de folhas – contagem somente das folhas que possuem acima de 0,5 cm de comprimento;
- \* Presença de formiga cortadeira – Verificada em cada levantamento a atuação da formiga cortadeira, por meio de verificação de vestígios de corte ou mesmo sua presença no local;

As avaliações ocorreram no período de 22 de janeiro até o dia 29 de abril de 2016, sendo realizadas semanalmente.

O item de verificação de ataque de formigas, foi utilizado no experimento para controle desta praga, sendo visualizado na primeira semana, foi inserida as iscas formicidas, nos arredores dos paletes, não havendo contato direto da isca com o experimento. Após a aplicação não houve reincidência.

Referente aos demais sintomas, foram anotados para contribuir com os dados obtidos dos tratamentos realizados.

Referente ao parâmetro amarelecimento, foi incluído nos parâmetros acompanhados semanalmente para verificar se há alguma toxidez ou deficiência do eucalipto, porém somente foi verificado em duas unidades do tratamento lama vermelha dose 1.

### 5.1 Desmobilização do experimento

No final do período do experimento, as mudas foram retiradas do solo e separadas em folhas, caule e raiz, sendo lavadas as raízes para retirar o excesso de impurezas.

Os materiais foram acondicionados inicialmente em sacos plásticos para evitar a perda de umidade e inseridos em sacos de papel para facilitar o trabalho do laboratório.



Figura 5: Unidade amostral com o tratamento de lama preta (Acervo do autor).

No laboratório as partes vegetais foram encaminhados para a estufa de secagem com ventilação forçada de ar a temperatura de 65° C por 3 dias. Após foi realizada a pesagem da matéria seca das unidades amostrais, separadas em folhas, caule e raiz.

As plantas que durante o processo morreram também passaram pelo mesmo tratamento, no intuito de manter dados sobre os mesmos.

## 6. RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 6.1 Caracterização do solo

Os dados da análise granulométrica dos solos, foram inseridos no triângulo de Feret, onde os dados apontaram para dois solos de texturas distintas, um solo Franco e outro Franco argiloso (Tabela 3).

Tabela 3 –: Parâmetros dos solos estudados – Análise físico-química (S&F, laboratório de química agrícola – 2015).

Parametros	Unidade	Franco-Argiloso	Franca
<b>Análise Granulométrica</b>			
Areia Grossa	g Kg <sup>-1</sup>	256	48
Areia Fina	g Kg <sup>-1</sup>	87	201
Silte	g Kg <sup>-1</sup>	98	241
Argila	g Kg <sup>-1</sup>	558	510
<b>Análise Química</b>			
pH	CaCl <sub>2</sub>	4,4	4,8
Matéria Orgânica	g dm <sup>-1</sup>	10	7
Fósforo	mg dm <sup>-3</sup>	1	1
Potássio	mmolc dm <sup>-3</sup>	1,1	0,8
Cálcio	mmolc dm <sup>-3</sup>	2	2
Magnésio	mmolc dm <sup>-3</sup>	1	1
H+Al	mmolc dm <sup>-3</sup>	47	38
Alumínio	mmolc dm <sup>-3</sup>	6	2
Soma de Bases	mmolc dm <sup>-3</sup>	4	4
CTC	mmolc dm <sup>-3</sup>	51	42
V%	%	8	9
Sat, por Al	%	59	34
Enxofre	mg dm <sup>-3</sup>	32	31
Boro	mg dm <sup>-3</sup>	0,09	0,11
Cobre	mg dm <sup>-3</sup>	0,1	0,2
Ferro	mg dm <sup>-3</sup>	6	4
Manganês	mg dm <sup>-3</sup>	0,4	6
Zinco	mg dm <sup>-3</sup>	0,2	0,2
K/CTC		2,2	1,9
Ca/CTC		3,9	4,8
Mg/CTC		2	2,4

A análise química dos dois solos utilizados no experimento, apontaram ser quimicamente semelhantes, fato este, que possibilitou utilizar as mesmas quantidades de insumos em ambos os solos.

## 6.2 Caracterização dos rejeitos

### 6.2.1 Lama vermelha

Os resultados da análise química no IAC, baseando-se no CONAMA 375, indicam que todos os valores estão dentro da faixa de limite máximo permitido, caso a aplicação fosse lodo de esgoto na agricultura.

Tabela 4 – Análise química dos materiais estudados (IAC – 2015) e limites máximos permitidos e descritos no CONAMA 375.

Parâmetros	Unidade	Lama Vermelha	CONAMA 375
Boletim		0933/15	Seção III
Boro	mg Kg <sup>-1</sup>	2,7	
Cádmio	mg Kg <sup>-1</sup>	7	39
Cálcio	g Kg <sup>-1</sup>	17,4	
Chumbo	mg Kg <sup>-1</sup>	50,9	300
Cobre	mg Kg <sup>-1</sup>	15	1500
Cromo	mg Kg <sup>-1</sup>	146	1000
Enxofre	g Kg <sup>-1</sup>	1,2	
Ferro	mg Kg <sup>-1</sup>	148520	
Fósforo	g Kg <sup>-1</sup>	1,4	
Magnésio	g Kg <sup>-1</sup>	0,2	
Manganês	mg Kg <sup>-1</sup>	336	
Níquel	mg Kg <sup>-1</sup>	12,4	420
Zinco	mg Kg <sup>-1</sup>	16,6	2800
Boletim		1593/15	
pH (em água 1:10)		11,5	
Umidade, a 60 – 65°C	%	24,5	
Sólidos Totais	%	75,4	
Sólidos Voláteis	%	6,4	38
Carbono orgânico	g Kg <sup>-1</sup>	8,3	
Nitrogênio Kjeldahl	g Kg <sup>-1</sup>	0,8	
Arsênio	mg Kg <sup>-1</sup>	11,3	41
Selênio	mg Kg <sup>-1</sup>	<1,0	100
Mercúrio	mg Kg <sup>-1</sup>	<1,0	17
Potássio	mg Kg <sup>-1</sup>	364	
Sódio	mg Kg <sup>-1</sup>	41532	

Comparando os dados obtidos com os Valores Máximos Permitidos, é possível verificar que na análise de Massa Bruta e Lixiviado, os parâmetros satisfazem a faixa permitida, ao analisar o solubilizado em relação aos valores da NBR 10.0004, o resultado obtido para alumínio, ferro, cromo, fluoreto, sódio e surfactantes, ultrapassam estes limites. Desta forma, este resíduo é classificado como Classe IIA, resíduo não inerte.

Tabela 5 – Análise química do resíduo lama vermelha, segundo a NBR 10.004 e seus Valores Máximos Permitidos (VMP).

Parâmetros	Unidade	Lama vermelha	NBR 10004
Relatório de Ensaio:		201939/2013-0	VMP
<b>Massa Bruta</b>			
pH (suspensão 1:1)		12,1	2 - 12,5
Sulfeto (Como H <sub>2</sub> S)	mg Kg <sup>-1</sup>	7,4	500
Cianeto	mg Kg <sup>-1</sup>	0,1	250
<b>Lixiviado</b>			
Cromo	mg L <sup>-1</sup>	0,547	5
Fluoreto	mg L <sup>-1</sup>	1	150
Selênio	mg L <sup>-1</sup>	0,009	1
<b>Solubilizado</b>			
Alumínio	mg L <sup>-1</sup>	<b>247</b>	<b>0,2</b>
Cloreto	mg L <sup>-1</sup>	15,1	250
Cromo	mg L <sup>-1</sup>	<b>2,8</b>	<b>0,05</b>
Ferro	mg L <sup>-1</sup>	<b>10,4</b>	<b>0,3</b>
Flúor	mg L <sup>-1</sup>	<b>15</b>	<b>1,5</b>
Manganês	mg L <sup>-1</sup>	0,054	0,1
Sódio	mg L <sup>-1</sup>	<b>639</b>	<b>200</b>
Surfactantes (como LAS)	mg L <sup>-1</sup>	<b>1,2</b>	<b>0,5</b>
Sulfato	mg L <sup>-1</sup>	31,5	250

### 6.2.2 Lama vermelha como corretivo de acidez do solo

Durante a etapa de análises dos rejeitos em laboratório, foi analisado o poder de neutralização, visto que, a lama vermelha apresenta pH 11,5, porém mostrou-se pouco promissor o seu uso como corretivo, devido seu poder de neutralização ser de 5,2% de CaCO<sub>3</sub> eq, ou seja, apesar do pH elevado não há disponibilidade de compostos para neutralizar o solo.

Na etapa de produção da alumina, há a inserção de soda caustica (NaOH), apesar do pH elevado, em contato com a água, não há a liberação de ânions OH<sup>-</sup> para realizar a reação de neutralização do solo.

## 6.2.3 Lama preta

A análise do material, atendendo o CONAMA 375, aponta que somente os sólidos voláteis estão fora dos valores máximos permitidos (VMP), os demais valores atendem a norma, o Zinco possui um valor quase limítrofe ao VMP, apontando um material rico neste mineral.

Tabela 6 – Análise química da lama preta (IAC – 2015) e limites máximos permitidos e descritos no CONAMA 375.

Parâmetros	Unidade	Lama Preta	CONAMA 375
<b>Boletim</b>		<b>1893/15</b>	<b>Seção III</b>
Boro	mg Kg <sup>-1</sup>	74,4	
Cádmio	mg Kg <sup>-1</sup>	1,9	39
Cálcio	g Kg <sup>-1</sup>	2,3	
Chumbo	mg Kg <sup>-1</sup>	52	300
Cobre	mg Kg <sup>-1</sup>	79,2	1500
Cromo	mg Kg <sup>-1</sup>	16,2	1000
Enxofre	g Kg <sup>-1</sup>	1,4	
Ferro	mg Kg <sup>-1</sup>	2800	
Fósforo	g Kg <sup>-1</sup>	0,12	
Magnésio	g Kg <sup>-1</sup>	0,33	
Manganês	mg Kg <sup>-1</sup>	17,4	
Níquel	mg Kg <sup>-1</sup>	343	420
Zinco	mg Kg <sup>-1</sup>	25,4	2800
<b>Boletim</b>		<b>1892/15</b>	
pH (em água 1:10)		6,5	
Umidade, a 60 – 65°C	%	49,2	
Sólidos Totais	%	50,8	
Sólidos Voláteis	%	<b>147</b>	<b>38</b>
Carbono orgânico	g Kg <sup>-1</sup>	1,6	
Nitrogênio Kjeldahl	g Kg <sup>-1</sup>	91,9	
Arsênio	mg Kg <sup>-1</sup>	29,5	41
Selênio	mg Kg <sup>-1</sup>	2,4	100
Mercúrio	mg Kg <sup>-1</sup>	<1,0	17
Potássio	mg Kg <sup>-1</sup>	458	
Sódio	mg Kg <sup>-1</sup>	56797	

Comparando os dados obtidos da lama preta com os Valores Máximos Permitidos da norma, é possível verificar que na análise de Massa Bruta e Lixiviado, satisfazem a faixa permitida, porém ao analisar o solubilizado em relação aos valores da NBR 10.0004, o

resultado obtido para alumínio, fluoreto, sódio e sulfato, ultrapassam estes limites. Desta forma, este resíduo é classificado como Classe IIA, resíduo não inerte.

Tabela 7 – Análise química do resíduo lama preta, segundo a NBR 10.004 e seus Valores Máximos Permitidos (VMP).

<b>Parâmetros</b>	<b>Unidade</b>	<b>Lama preta</b>	<b>NBR 10004 (VMP)</b>
<b>Relatório de Ensaio:</b>		<b>202435/2014-0</b>	
<b>Massa Bruta</b>			
pH (suspensão 1:1)		8,34	2 - 12,5
Cianeto	mg Kg <sup>-1</sup>	0,8	250
<b>Lixiviado</b>			
Bário	mg L <sup>-1</sup>	0,0263	70
Cromo	mg L <sup>-1</sup>	0,237	5
Fluoreto	mg L <sup>-1</sup>	<b>6,7</b>	<b>5</b>
<b>Solubilizado</b>			
Alumínio	mg L <sup>-1</sup>	<b>37,9</b>	<b>0,2</b>
Ferro	mg L <sup>-1</sup>	0,172	0,3
Flúor	mg L <sup>-1</sup>	<b>140</b>	<b>1,5</b>
Manganês	mg L <sup>-1</sup>	0,0158	0,1
Sódio	mg L <sup>-1</sup>	<b>403</b>	<b>200</b>
Zinco	mg L <sup>-1</sup>	0,024	5
Sulfato	mg L <sup>-1</sup>	<b>397</b>	<b>250</b>

#### 6.2.4 Lama preta como corretivo de acidez do solo

A lama preta que tem pH 6,5, possui baixo poder de neutralização 7,9% de CaCO<sub>3</sub> eq, não podendo seguir com este material para análise do uso do mesmo para neutralização do solo.

### 6.3 Efeito da aplicação dos rejeitos em Eucalipto

#### 6.3.1 Lama Vermelha

##### 6.3.1.1 Mortalidade

No total, 20 plantas não suportaram o tratamento imposto, durante o período do experimento, ou seja, mais de 50% do total plantado (30 plantas) e tratado com lama vermelha.

A maior quantidade de indivíduos mortos ocorreu na segunda semana após o plantio, com 9 indivíduos mortos (30%) ainda na fase de adaptação. Este índice tem média de 7,6% (PRADO et al, 2014).

O segundo período que apresentou maior mortalidade foi entre o dia 01/04/2016 a 08/04/2016, onde 7 indivíduos não resistiram ao tratamento. Este período foi marcado por temperaturas elevadas, fato este que pode ter contribuído para o aumento de indivíduos mortos.

A fitomassa seca total das mudas de eucalipto, aponta a redução do acúmulo, ficando evidente o efeito fitotóxico da lama vermelha.

Este resultado fitotóxico pode ser induzido devido a composição do rejeito, que possui em sua composição uma quantidade significativa de alumínio  $1.100 \text{ mg Kg}^{-1}$ , que ocasiona a redução radicular.

Outro elemento que possui uma concentração relevante é a presença do ferro  $148.520 \text{ mg Kg}^{-1}$ , sendo que valores acima de  $1.880 \text{ mg kg}^{-1}$  no solo já pode apresentar efeitos fitotóxicos, como amarelecimentos.

#### ***6.3.1.2 Tratamento estatístico dados da lama vermelha***

O único tratamento, onde restaram mais dois indivíduos foram os dados da lama vermelha dose1 em solo arenoso.

Como os demais dados não apresentaram sobreviventes, não foi possível utilizar estes dados na análise estatística.

#### **6.3.2 Lama Preta**

##### ***6.3.2.1 Mortalidade***

No total, 11 plantas não suportaram o tratamento imposto, durante o período do experimento, ou seja, 37% do total plantado (30 plantas) e tratado com lama preta.

A maior quantidade de indivíduos mortos ocorreu na segunda semana após o plantio, com 4 indivíduos mortos (14%) ainda na fase de adaptação.

##### ***6.3.2.2. Tratamento estatístico dados da lama preta***

Os resultados foram submetidos à análise de variância. O experimento da lama preta, foi analisado como fatorial  $2 \times 4$  (dois solos e quatro doses), As médias dos solos foram comparadas pelo teste de Tukey à 5% de probabilidade e as médias das doses foram analisadas por regressão, verificando qual o modelo, linear ou quadrático, se ajustava de forma mais adequadas aos resultados.

Tabela 8 - Resumo da análise estatística dos resultados de massa seca da lama preta (raiz, caule, folha e total) e resultado dos parâmetros mensurados em campo (altura, diâmetro e número de folhas).

Fv	Fitomassa seca				Altura	Diâmetro	Nº folhas
	Raiz	Caule	Folha	Total			
	P-value						
Solo	0,008	0,119	0,192	0,009	0,081	0,146	0,146
Dose	0,04	0,312	0,0001	0,006	0,182	0,106	0,005
S x D	0,275	0,174	0,684	0,56	0,184	0,592	0,227
Cv, %	51,87	22,51	33,9	25,31	42,27	14,63	39,61
Arenoso	2,59 a	2,97 a	2,39 a	7,95 a	18,67 a	1,63 a	54,58 a
Argiloso	1,33 b	2,55 a	1,98 a	5,86 b	13,5 a	1,48 a	42,58 a
Regressão	0,01 Q	ns	0,0001 Q	0,002 Q	ns	ns	0,01 Q
Dose da LP	Médias, g muda <sup>-1</sup>						
mg kg <sup>-1</sup>							
0	1,60	2,70	1,30	5,60	11,00	1,5	33,83
1698	2,95	2,91	3,99	9,84	19,17	1,45	40,83
1732	2,15	3,05	2,12	7,32	15,5	1,77	77,67
1766	1,13	3,39	1,33	4,84	18,67	1,5	42,00

Para o rejeito lama preta (LP) não houve interação significativa entre o tipo de solo e as doses. Os dados apontam que o solo influenciou no acúmulo de fitomassa seca das raízes e total das mudas de eucalipto, as unidades amostrais com melhores respostas estavam em solo arenoso.

O melhor resultado no solo arenoso (pobres em matéria orgânica), pode estar ligado ao baixo poder tampão, desta forma, a irrigação realizada em conjunto a um menor poder tampão, pode ter favorecido a maior disponibilidade de P no solo e maior absorção de P pelas mudas de eucalipto deste experimento, causando um melhor desenvolvimento.

As doses influenciaram o acúmulo de fitomassa seca da raiz, folha e total e os valores foram ajustados de forma quadrática. Este ajuste apontou que a dose que proporcionou o maior acúmulo de fitomassa seca da raiz, folha e total foi de 485 a 502 mg kg<sup>-1</sup> LP. Na dose de 1698 mg kg<sup>-1</sup> LP houve incremento de 84, 207 e 76% na fitomassa seca das raízes, folhas e total, respectivamente, em relação ao tratamento controle (sem uso da LP).

Doses maiores ou doses com maior frequência podem causar toxidez, devido a composição da lama, a presença do Fe tem uma concentração de 2800 mg Kg<sup>-1</sup> de lama preta.

A análise dos dados dos parâmetros coletados em campo, aponta que a dose influenciou a quantidade de folhas, independentemente do tipo de solo. Na dose de 1732 mg kg<sup>-1</sup> LP apresentou o maior incremento de número de folhas a partir do início do tratamento.



## 7. CONSIDERAÇÕES FINAIS/ CONCLUSÕES

A caracterização dos rejeitos, aponta que a lama vermelha atende todos os valores máximos permitidos no CONAMA 375/2006, porém a lama preta está acima do parâmetro sólido voláteis.

Os resultados das análises da caracterização dos rejeitos na norma NBR 10.004, apontou que ambos são classificados como classe IIA, ou seja, não são inertes, possuem a característica de solubilidade em água.

Durante o período do experimento foi possível analisar que as maiores quantidades das mortes ocorreram em seu período de adaptação, fato este que justifica a grande quantidade de indivíduos do tratamento de adubação que não resistiram ao tratamento e ao período. A lama vermelha representa o segundo tratamento com o maior índice de indivíduos que não suportaram o tratamento imposto, os indivíduos que resistiram a este tratamento, tiveram redução do acúmulo de massa seca, apontando efeito fitotóxico deste resíduo.

A lama preta apresentou na dose de  $1698 \text{ mg kg}^{-1}$  LP um maior incremento para o crescimento vegetal.

Os dados, apresentados neste trabalho, aponta cuidado no uso do material no solo, pois há uma alta concentração de sódio, que ao longo de várias adubações podem afetar o solo, através da dispersão de argila, que ao atingir elevada concentração de  $\text{Na}^+$  no solo podem trazer deteriorações na sua estrutura, alterando o sistema de poros e contribuindo para alterações na infiltração e condutividade hidráulica.

O uso destes rejeitos não é viável para finalidade de insumo agrícola na forma utilizada neste experimento.



## REFERÊNCIAS

ABAL – Associação Brasileira do Alumínio. Disponível em:< <http://www.abal.org.br>>. Acesso em: 20 de Junho de 2014.

ALCOA AUSTRÁLIA, **Alcoa of Australia Residue Management**. Disponível em :<[http://www.alcoa.com/australia/en/info\\_page/Residue\\_Management\\_Reuse.asp](http://www.alcoa.com/australia/en/info_page/Residue_Management_Reuse.asp)> . Acesso em 20 de Junho de 2014.

ALLEONI, L. R. F.; BORBA, R. P.; CAMARGO, O. A., **Metais pesados: da cosmogênese aos solos brasileiros** Tópicos em Ciência do Solo, Viçosa, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, v.4. p.1-42, 2005.

ALMEIDA, J.C.R., **Nutrição, crescimento, eficiência de uso de água e de nutrientes em povoamentos de Eucalyptus grandis fertilizados com potássio e sódio**. 112p. Tese (Doutorado) – Piracicaba, Universidade de São Paulo, Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, 2009.

BARRETO, V.C.M.; VALERI, S.V.; SILVEIRA, R.L.V.A.; TAKAHASHI, E.N.; **Eficiência de uso de boro no crescimento de clones de eucalipto em vasos**. Scientia Florestalis, Piracicaba, n.76, p.21-33, 2007.

BERTOLI, A.C., CARVALHO, R., CANNATA, M.G., BASTOS, A.R.R., AUGUSTO, A.S., **Toxidez do chumbo no teor e translocação de nutrientes em tomateiro**. Biotemas, Florianópolis, v. 24, n. 4, p. 7-15, 2011, disponível em: <<https://periodicos.ufsc.br/index.php/biotemas/article/view/20016>>. Acesso em: 28 ago. 2016. doi:<http://dx.doi.org/10.5007/2175-7925.2011v24n4p7>.

BRUNORI, C., CREMISINI, C., MASSANISSO, P., PINTO, V., TORRICELLI, L., **Reuse of a treated red mud bauxite waste: studies on environmental compatibility**. Journal of Haz. Mat., v. 117, n.1, pp. 55-63, 2005.

BRASIL. **Resolução 375 de 29 de agosto de 2006**. Define critérios e procedimentos, para o uso agrícola de lodos de esgoto gerados em estações de tratamento de esgoto sanitário e seus produtos derivados, e dá outras providências. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/port/conama/res/res06/res37506.pdf>>. Acesso em: 25 mai. 2017.

BRASIL. **Lei 5357 de 17 de novembro de 1967**. Estabelece penalidades para embarcações e terminais marítimos ou fluviais que lançarem detritos ou óleo em águas brasileiras, e dá outras providências. Disponível em: <[http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/leis/1950-1969/L5357.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/1950-1969/L5357.htm)>. Acesso em: 27 dez. 2016.

CABRERA, F., DIAZ, E., MADRID, L., **Effect of using urban compost as manure on soil contents of some nutrients and heavy metals**. *J. Sci. Food Agric.*, 47:159-169, 1989.

CHENERY, E.M., **A preliminary study of aluminium and the tea bush.** *Water and Soil*, Dordrecht, v.6, p.174-200, 1955.

CAVALCANTI, C. **Sustentabilidade: mantra ou escolha moral? Uma abordagem ecológico-econômica,** *Estudos avançados* 26(74), 2012.

CAVALCANTI, C., FURTADO, A., STAHEL, A., RIBEIRO, A., MENDES, A., SEKIGUCHI, C., MAIMON, D., POSEY, D., PIRES, E., BRÜSEKE, F., ROHDE, G., MAMMANA, G., LEIS, H., ACSELRAD, H., MEDEIROS, J., D'AMATO, J.L., LEONARDI, M.L., TOLMASQUIM, M., FILHO, O.S., STROH, P., FREIRE, P., MAY, P., DINIZ, R., MAGALHÃES, A.R. **Desenvolvimento e natureza: estudos para uma sociedade sustentável.** INPSO/FUNDAJ, Instituto de Pesquisas Sociais, Fundação Joaquim Nabuco, Ministério de Educação, Governo Federal, Recife, Brasil. Outubro 1994. p. 262. Disponível em: <http://168.96.200.17/ar/libros/brasil/pesqui/cavalcanti.rtf>

CECHIN, A. D. **Georgescu-Roegen e o desenvolvimento sustentável: diálogo ou anátema?** 2008, 208 f. Dissertação (Mestrado) – Programa de Pós graduação em Ciência Ambiental da Universidade de São Paulo, 2008.

CHAVES, A.G.F. **A lama vermelha e sua eliminação da fábrica de alumina,** 2- semana de estudos. Alumínio e Zinco. Sociedade de Intercambio Cultural e Estudos Geológicos dos Alunos da Escola de Minas de Ouro Preto, n.2, Ouro Preto Minas Gerais, 1962.

COELHO, E. F., SILVA, T. S. M., SANTANA JUNIOR, E. B., PARIZOTTO, I. Comunicado Técnico 155: **Método simplificado de determinação da umidade do solo para uso em manejo de irrigação em agricultura familiar.** Embrapa. 2013, disponível em: <https://www.embrapa.br/busca-de-publicacoes/-/publicacao/974063/metodo-simplificado-de-determinacao-da-umidade-do-solo-para-uso-em-manejo-de-irrigacao-em-agricultura-familiar>>. Acesso em: 03 jan.2017.

COLLAZO, A., FERNANDEZ, D., IZQUIRDO, M., NOVOA, X.R., PEREZ, C., **Evaluation of red mud as surface treatment for carbon steel painting.** *Process in Organic Coating*, n. 52. pp. 351-358, 2005.

CONSTANTINO, V.R.L., ARAKI, K., SILVA, D. O., OLIVEIRA, W. **Preparação de compostos de alumínio a partir da bauxita: considerações sobre alguns aspectos envolvidos em um experimento didático,** *Quim. Nova*, Vol. 25, No. 3, 490-498, 2002.

COSTA, C.A., CASALI, V.W.D., LOURDES, E.G., CECON, P.R., JORDÃO, C.D., **Teor de metais pesados em alface (*Lactuca sativa* L.) adubada com composto orgânico de lixo urbano.** *R. Ceres*, 41:629-640, 1994.

CULLEN W. R.; REIMER K. J. **Arsenic Speciation in Environment.** *Chemical Reviews*, Washington, v.89, p.713-764, 1989.

ECHART, C. L., CAVALLI - MOLINA, S., **Fitotoxicidade do Alumínio: Efeitos, mecanismo de tolerância e seu controle genético,** *Cienc. Rural*, vol.31, n.3, Santa Maria/RS. 2001, disponível em: [http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0103-84782001000300030](http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0103-84782001000300030). > Acesso em: 26 dez. 2016.

UNITED STATES ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY, **Regulatory Exclusions and Alternative Standards for the Recycling of Materials, Solid Wastes and Hazardous Wastes**, disponível em <<https://www.epa.gov/hw/regulatory-exclusions-and-alternative-standards-recycling-materials-solid-wastes-and-hazardous#notsubject>>.

Acesso em: 23 de mai. 2017.

EPSTEIN, E., BLOOM, A.J., **Nutrição mineral de plantas; princípios e perspectivas**, 2.ed. Londrina: Editora Planta. 403p. 2006.

FREIRE, R., PELEGRINI, R., KUBOTA, L., DURÁN, N., PERALTA-ZAMORA, P. **Novas tendências para o tratamento de resíduos industriais contendo espécies organocloradas**, Química Nova, 23(4), 2000.

GEORGESCU-ROEGEN, N. **The Entropy Law and the Economic Process**. Cambridge, Mass: Harvard University Press., 1971.

HIND, R. A., BHARGAVA, S. K., GROCCOTT, S. C., **The surface chemistry of Bayer process solids: a review**, Colloids and surfaces A: Physicochemical and engineering aspects, n. 146, pp.359-374, 1999.

HODGES, T.F. **Predicting crop phenology**. Boca Raton: CRC, 1991, 233p.

HOSSNER, L. R.; LOEPPERT, R. H.; NEWTON, R. J., SZANISZLO, P. J.; ATTREPJUNIOR, M. **Literature review: phytoaccumulation of chromium, uranium and plutonium in plant systems**. Amarillo: ANRCP, 51 p.,1998.

JUNIOR, C. H. A., **Uso agrícola de resíduos orgânicos potencialmente poluentes: propriedades químicas do solo e produção vegetal**. Tópicos Ciência do Solo, 392-459p.,2005.

KHALEEL R., REDDY K. R., OVERCASH M. R., **Changes in Soil Physical Properties Due to Organic Waste Applications: A Review**. J. Environ. Qual., Vol. 10, n. 2, 1981.

KIRBY, A. E., ROMHELD, V., **Micronutrientes na fisiologia de plantas: funções, absorção e mobilidade**. IPNI, Encarte técnico: informações agronômicas n.118, 2007.

KIRKPATRICK, D.B., **Red mud product development**, The Minerals, Metals & Materials Society, 1996.

KLAUBER,C., GRAFE,M., POWER,G., **Bauxite residue issues: II. options for residue utilization**, Hydrometallurgy, Elsevier, n.108,pp. 11-32,2011.

LAZO, R. A. **Nitrogênio, arsênio, bário e estado nutricional de plantas de milho cultivadas em latossolos tratados com lodo de esgoto**. 2010. 97 f. Tese (Doutorado) – Jaboticabal, Universidade Estadual Paulista Julio de Mesquita Filho, 2010.

LAURENCE, M., STEPHENS, N., MEGIRIAN, G., **Animal and human health is unlikely to be at risk when generations of sheep graze bauxite residue (Alkaloam®)-**

**amended pastures**, *Animal Production Science*, vol.56, 2015, disponível em: <<https://http://www.publish.csiro.au/an/AN14913>>. Acesso em: 29 nov. 2016.

LI, L. Y., **A study of iron mineral transformation to reduce red mud tailings**, *Waste management*, n. 21, pp. 525-534, 2001.

MACHADO, P. L.O. A., **Considerações gerais sobre a toxicidade do alumínio nas plantas**. Embrapa. 1997, disponível em: <https://www.embrapa.br/busca-de-publicacoes/-/publicacao/334278/consideracoes-gerais-sobre-a-toxicidade-do-aluminio-nas-plantasr>>. Acesso em: 25 mai.2017.

MALAVOLTA, E., VITTI, G.C., OLIVEIRA, S.A., **Avaliação do estado nutricional das plantas: princípios e aplicações**. Piracicaba: POTAFOS. 319p., 1997.

MARENCO, R.A., LOPES, N.F., **Fisiologia Vegetal: Fotossíntese, respiração, relações hídricas e nutrição mineral**. UFV, p.267-297, 2009.

MARSCHNER, H. **Mineral nutritional of higher plants**. London: Academic, 1995. 889p.

MENGEL, K.; KIRKBY, E.A. **Principles of plant nutrition**. Bern : International Potash Institute, 687p.,1987.

MINISTÉRIO DA AGRICULTURA, PECUÁRIA E ABASTECIMENTO. **Instrução Normativa SDA/MAPA 25/2009**, de 28 de julho de 2009. Disponível em: <<http://sistemasweb.agricultura.gov.br/sislegis/action/detalhaAto.do?method=recuperarTextoAtoTematicaPortal&codigoTematica=1229186>> . Acesso em 16 de Junho de 2016.

MONTANARI, R.; JUNIOR, J.M.; CAMPOS, M.C.C.; HERBERT, I.; CAVALCANTE, L. **Níveis de resíduos de metalurgia e substrato na formação de mudas de eucalipto (Eucalyptus urograndis)**. *Revista de Biologia e Ciências da Terra, Campina Grande*, v.7, n.1, p.59-66, 2007.

MORAES, L.A.C.; MORAES, V.H.F.; MOREIRA, A. **Relação entre a flexibilidade do caule de seringueira e a carência de boro**. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, Brasília, v.37, n.10, p.1431-1436, 2002.

NASCIMENTO, C.W.A., BARROS, D.A.S., MELO, E.E.C., OLIVEIRA, A.B. **Alterações químicas em solos e crescimento de milho e feijoeiro após a aplicação de lodo de esgoto**. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v. 28, p. 385-392, Recife, PE, 2004.

OEBERG, N. C. R., STEINLECHNER, E. H., **Red mud and sands handling new thoughts on an old problem**, *Light Metals*, pp. 67-73, 1996.

NAUMOFF, A., PERES, C. S., **Reciclagem de matéria orgânica**. *Lixo Municipal: Manual de Gerenciamento Integrado*. IPT/CEMPRE, São Paulo 2000.

NUNN, R. F., **Advances in red mud dewatering and disposal technologies**, *The Minerals, Metals & Materials Society*, 1998.

OLIVEIRA, R.R., **Avaliação da tensão residual em alumínio 7050 conformado pelo processo peen forming**. 128p. Dissertação (Mestrado) – São Paulo, Universidade de São Paulo, 2011.

PAIVA, N.H., CARVALHO, J.G., SIQUEIRA, J.O., **Índice de translocação de nutrientes em mudas de cedro (*cedrela fissilis* vell.) e de ipê-roxo (*tabebuia impetiginosa* (mart.) standl.) submetidas a doses crescentes de cádmio, níquel e chumbo**. *R. Árvore*, Viçosa, v.26, n. 4, p.467-473, 2002.

PINHO SILVA, M.O., CORRÊA, G. F., COELHO, L., RABELO, P.G., **Avaliação de dois tratamentos de adubação em plantio de eucalipto clonal em solo arenoso**, *Biosci. J.*, Uberlândia, v. 28, p. 212-222, 2012.

PIRES, A. M. M., MATTIAZZO, M. E. **Avaliação da viabilidade do uso de resíduos na agricultura**. Circular técnica, n. 19, EMBRAPA, Jaguariuna, 2008.

POSSATO, E.L., SCARAMUZZA, W.L.M.P., WEBER, O.L.S., NASCENTES, R., BRESSIANI, A.L., CALEGARIO, N., **Atributos químicos de um cambissolo e crescimento de mudas de eucalipto após adição de lodo de curtume contendo cromo**, *Revista Árvore*, Viçosa, v.38, n.5, p.847-856, 2014, Disponível em: [https://www.researchgate.net/profile/Oscarlina\\_Weber/publication/272566207\\_Atributos\\_quimicos\\_de\\_um\\_cambissolo\\_e...\\_ATRIBUTOS\\_QUMICOS\\_DE\\_UM\\_CAMBISSOLO\\_E\\_CRESCIMENTO\\_DE\\_MUDAS\\_DE\\_EUCALIPTO\\_APS\\_ADIO\\_DE\\_LODO\\_DE\\_CURTUME\\_CONTENDO\\_CROMO/links/54e9373d0cf25ba91c7ef09f.pdf](https://www.researchgate.net/profile/Oscarlina_Weber/publication/272566207_Atributos_quimicos_de_um_cambissolo_e..._ATRIBUTOS_QUMICOS_DE_UM_CAMBISSOLO_E_CRESCIMENTO_DE_MUDAS_DE_EUCALIPTO_APS_ADIO_DE_LODO_DE_CURTUME_CONTENDO_CROMO/links/54e9373d0cf25ba91c7ef09f.pdf). Acesso em 20 de Agosto de 2016.

POWER, P., GRAFE, M., KLAUBER, C., **Bauxite residue issues: I. Current management, disposal and storage practices**, *Hydrometallurgy*, Elsevier, n.108, pp. 33-45, 2011.

PRADO, L. S., MATTOS R. R. M., COTRIM S. L. **Proposta para minimização do replantio de eucalipto utilizando as ferramentas da qualidade**. **VII SIMEPRO (Simpósio Maringaense de Engenharia de Produção)**, Disponível em: <[http://https://www.google.com.br/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=14&cad=rja&uact=8&ved=0ahUKEwijo6qL17fNAhXKf5AKHWKDBpcQFghjMA0&url=http%3A%2F%2Fwww.dep.uem.br%2Fsimepro%2Fanais%2Findex.php%2Fsimepro%2F7\\_simepro%2Fpaper%2Fdownload%2F146%2F77&usq=AFQjCNFviZc88n84B0xDF\\_qpJpfTcP6qeA&bvm=bv.124817099,d.Y2I](http://https://www.google.com.br/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=14&cad=rja&uact=8&ved=0ahUKEwijo6qL17fNAhXKf5AKHWKDBpcQFghjMA0&url=http%3A%2F%2Fwww.dep.uem.br%2Fsimepro%2Fanais%2Findex.php%2Fsimepro%2F7_simepro%2Fpaper%2Fdownload%2F146%2F77&usq=AFQjCNFviZc88n84B0xDF_qpJpfTcP6qeA&bvm=bv.124817099,d.Y2I)>. Acesso em 16 de Junho de 2016.

PRESIDÊNCIA DA REPÚBLICA. **Lei nº 5.357**, de 17 de novembro de 1967. Disponível em: <[http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/leis/1950-1969/L5357.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/1950-1969/L5357.htm)> . Acesso em 16 de Junho de 2016.

PRESIDÊNCIA DA REPÚBLICA. **Lei nº 6.938**, de 31 de agosto de 1981. Disponível em: <[http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/leis/L6938.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/L6938.htm)> . Acesso em 16 de Junho de 2016.

RAMALHO, J.F.G.P., SOBRINHO, N.M.B.A. **Metais pesados em solos cultivados com cana-de-açúcar pelo uso de resíduos agroindustriais**, Floresta e Ambiente, v.8, n.1, pp 120-129, 2001.

RAVEN, P.H.; EVERT, R.F. & EICHCHORN, S.E. **Biologia Vegetal**. 6ª . ed. Guanabara Koogan. Rio de Janeiro, 2001.

ROMERO, R.R., **Resposta fisiológica de plantas de Eucalyptus grandis à adubação de potássio ou sódio**. Dissertação de Mestrado em Fisiologia e Bioquímica de Plantas, Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Piracicaba, 2008.

SANTOS, E.L., **Uso de resíduos industriais na agricultura e suas implicações no meio ambiente, saúde do trabalhador e exportações brasileiras**. Palestra realizada para o Conselho regional de engenharia e agronomia, São Paulo, 2014. Disponível em <[http://www.mma.gov.br/port/conama/processos/10F798CF/PalestraSobreMicronutrientes\\_Proam.pdf](http://www.mma.gov.br/port/conama/processos/10F798CF/PalestraSobreMicronutrientes_Proam.pdf)>. Acesso em: 27 de dezembro de 2016.

SANTOS, G.C.G., **Comportamento de B, Zn, Cu, Mn e Pb em solo contaminado sob cultivo de plantas e adição de Fontes de matéria orgânica como amenizantes do efeito tóxico**. Tese de Doutorado em Solos e Nutrição de Plantas, Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Piracicaba, 2005.

SÃO PAULO (Estado). **Lei nº 997**, de 31 de maio de 1976. Disponível em: <[http://www.cetesb.sp.gov.br/licenciamento/documentos/1976\\_Lei\\_Est\\_997.pdf](http://www.cetesb.sp.gov.br/licenciamento/documentos/1976_Lei_Est_997.pdf)> . Acesso em 16 de Junho de 2016.

SHINAR, D., GURION, B.; FLASCHER, O. M., **The Perceptual Determinants of Workplace Hazards**. Proceedings of the Human Factors Society: 35th Annual Meeting, v.2, p. 1095 - 1099, San Francisco, California ,1991.

SILVA FILHO, E. B., ALVES, M. C. M., DA MOTTA, M. **Lama vermelha da indústria de beneficiamento de alumina: produção, características, disposição e aplicações alternativas**, Revista Matéria, v.12, n.2, pp 322-338, 2007.

SILVA FILHO, E. B., BRANDER JUNIOR, W., SILVA, V. L., MOTTA SOBRINHO, M. A., ALVES, M. C. M., **Tratamento de efluentes têxteis por adsorção em lama vermelha**, 23º Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental, Campo Grande, Mato Grosso, Brasil, 2005.

SILVA, J. B., **Os impactos positivos da Mineração de Bauxita no Brasil e no Mundo**, IBRAM, Belo Horizonte, Minas Gerais, Brasil, 2007.

SIMONETE, M.A., KIEHL, J.C., ANDRADE, C.A., TEIXEIRA, C.F.A. **Efeito do lodo de esgoto em um Argissolo e no crescimento e nutrição do milho**, Pesquisa agropecuária brasileira, Brasília, v. 38, n. 10, p. 1187-1195, Brasília, DF, 2003.

SMEDLEY, P. L.; KINNINBURGH, D.G. **A review of the source, behavior and distribution of arsenic in natural waters**. Applied Geochemistry, Oxford, v. 17, p.517-568, 2002.

SOARES, C.R.F.S.; SIQUEIRA, J.O.; CARVALHO, J.G.; MOREIRA, F.M.S.; GRAZZIOTTI, P.H. **Crescimento e nutrição mineral de *Eucalyptus maculata* E *Eucalyptus urophylla* em solução nutritiva com concentração crescente de cobre.** R. Bras. Fisiol. Veg., v.12, p.213-225, 2000.

SOUZA, L.H., NOVAIS, R.F., ALVAREZ, V.H.V., VILLANI, E.M.A. **Efeito do pH do solo rizosférico e não rizosférico de plantas de soja inoculadas com *Bradyrhizobium japonicum* na absorção de boro, cobre, ferro, manganês e zinco.** *Revista Brasileira de Ciências do Solo*, v. 34: 1641-1652, 2010.

TAIZ, L., ZEIGER, E., **Fisiologia Vegetal.** 4ed. Porto Alegre: Editora, 2008.

VELOSO, M.E.C., **Efeito de diferentes qualidades de água sobre algumas propriedades físico-químicas de um Brunizem Avermelhado.** Universidade Federal de Viçosa, (Tese de Mestrado), Viçosa, 1991.

VILLORA, G., PULGAR, G.; MORENO, D.; ROMERO, L., **Salinity treatments and their effect on nutrient concentration in Zucchini plants (*Curcubita pepo* L. var. *Moschata*).** *Australian Journal of Experimental Agriculture*, Collingwood, v.37, p.605-608, 1997.

WANG, J.R.; ZHAO, W.; MEHARG, A.A.; RAAB, A.; FELDMANN, J.; MCGRATH, S.P. **Mechanisms of arsenic hyperaccumulation in *Pteris vittata*. Uptake kinetics, interactions with phosphate, and arsenic speciation.** *Plant Physiology*, Washington, n.130, p.1552- 1561, 2002.

ZHANG, Y., LI, Q., ZHOU, X., ZHAI, C.; LI, R., **Effects of partial replacement of potassium by sodium on cotton seedling development and yield.** *Journal of Plant Nutrition*, London, v. 29, p. 1845- 1854, 2006.



## **ANEXOS**



**ANEXO – A (ANÁLISE LAMA VERMELHA /IAC)**



**ANEXO – B ((ANÁLISE LAMA PRETA /IAC)**



**ANEXO – C((ANÁLISE LAMA VERMELHA /NBR 10004)**



**ANEXO – D((ANÁLISE LAMA PRETA /NBR 10004)**



## **ANEXO – E (ANÁLISE FÍSICA SOLOS)**



## **ANEXO – F (ANÁLISE QUÍMICA SOLOS)**