

**UFRRJ**  
**INSTITUTO DE AGRONOMIA**  
**CURSO DE PÓS-GRADUAÇÃO EM FITOTECNIA**

**DISSERTAÇÃO**

**Avaliação do Resíduo Alcalino do Refino de Bauxita  
como Condicionador de Solos e do Estabelecimento  
de Dendê nos Tanques de Estocagem**

**Joventino Fernandes Moreira**

**2006**



**UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO RIO DE JANEIRO  
INSTITUTO DE AGRONOMIA  
CURSO DE PÓS-GRADUAÇÃO EM FITOTECNIA**

**AVALIAÇÃO DO RESÍDUO ALCALINO DO REFINO DE BAUXITA  
COMO CONDICIONADOR DE SOLOS E DO ESTABELECIMENTO DE  
DENDÊ NOS TANQUES DE ESTOCAGEM**

**JOVENTINO FERNANDES MOREIRA**

*Sob a orientação do pesquisador*  
**Avílio Antônio Franco**

*e Co-orientação do pesquisador*  
**Alexander Silva de Resende**

Dissertação submetida como requisito parcial para obtenção do grau de **Mestre em Ciências** no Curso de Pós-Graduação em Fitotecnia, Área de Concentração em Agroecologia

Seropédica, RJ  
Fevereiro 2006

631.82

M838a

T

Moreira, Joventino Fernandes, 1978-  
Avaliação do resíduo alcalino do  
refino de bauxita como  
condicionador de solos e do  
estabelecimento de dendê nos  
tanques de estocagem / Joventino  
Fernandes Moreira. - 2006.  
65f. : il.

Orientador: Avílio Antônio  
Franco.

Dissertação (mestrado) -  
Universidade Federal Rural do Rio  
de Janeiro, Instituto de Agronomia.  
Bibliografia: f. 59-65.

1. Resíduos como fertilizante -  
Teses. 2. Indústria mineral -  
Eliminação de resíduos - Teses. 3.  
Mineralogia do solo - Teses. 4.  
Solos - Descontaminação - Teses. 5.  
Dendê - Armazenamento - Teses. I.  
Franco, Avílio Antônio, 1946-. II.  
Universidade Federal Rural do Rio  
de Janeiro. Instituto de  
Agronomia. III. Título.

**UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO RIO DE JANEIRO  
INSTITUTO DE AGRONOMIA  
CURSO DE PÓS-GRADUAÇÃO EM FITOTECNIA**

**JOVENTINO FERNANDES MOREIRA**

Dissertação submetida como requisito parcial para obtenção do grau de **Mestre em Ciências** no curso de Pós-Graduação em Fitotecnia, Área de Concentração em Agroecologia.

DISSERTAÇÃO APROVADA EM 17/02/2006

---

Avílio Antônio Franco. Ph.D.- Embrapa Agrobiologia  
(Orientador)

---

Eduardo Lima Ph.D. UFRRJ

---

Jorge Luíz de Oliveira Fortes. Ph.D. UEMA

Aos meus pais Dionízio e Rosa, a todos os meus irmãos e família e à Marcela, minha namorada, dedico.

*Há homens que lutam um dia e são bons.  
Há outros que lutam um ano e são melhores.  
Há os que lutam muitos anos e são muito bons.  
Mas há os que lutam toda a vida, e estes são imprescindíveis.  
(Bertold Brecht)*

## AGRADECIMENTOS

A Deus que me concedeu o maravilhoso Dom da Vida.

A minha Família com a qual convivi grande parte da minha vida e me ajudou a construir minha personalidade.

A minha namorada Marcela presente em vários momentos, sempre pronta a me ajudar.

A Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, ao Curso de Pós Graduação em Fitotecnia, a Embrapa Agrobiologia e a Capes pela oportunidade concedida, os conhecimentos passados, as condições oferecidas para o trabalho e a bolsa de estudos.

A Alumar pelo apoio financeiro, área e material do trabalho e apoio na execução das atividades de campo.

A Sempre Verde Jardins pelo apoio nas atividades de campo, coletas de amostras e medições.

Ao Dr. Alexander Resende pelos ensinamentos, treinamento e acompanhamento durante todo esse trabalho.

Aos Drs. Avílio Franco e Eduardo Campello pela orientação e confiança.

Aos Drs. Jorge Fortes e Eduardo Lima pelas orientações para o desenvolvimento do trabalho e as valiosas sugestões para o mesmo.

A Juliana, minha parceira de projeto que me ajudou a desenvolver grande parte das atividades.

Ao Prof. Antônio Carlos Abboud pela revisão do abstract.

A todos os funcionários da Embrapa que muito contribuíram para este: Hernani, Naldo, Claudinho, Luisinho, Flávio, Selmo, Altiberto, Luís Carlos, Amarildo e Sr. Jorge, etc... no apoio no trabalho em casas de vegetação, laboratórios e pelas análises químicas.

Ao Grupo de Pesquisa em RAD e aos funcionários do Laboratório de Leguminosas: Adriana, Telmo e Fernando pelo apoio sempre que necessário.

As Dras. Maria Elisabeth e Adriana Aquino e ao Sr. Jacinto pelas instruções e o apoio na condução da avaliação da fauna do solo.

A Dra. Verônica e ao Sr Lúcio pela orientação e apoio nas análises microbiológicas.

Ao Dr. Orivaldo e ao Sr. Itamar pelos ensinamentos, orientação e apoio na avaliação de micorrizas.

Ao Dr. Paulinho pela amizade, dedicação, apoio, orientação e os ensinamentos.

A Helcids pela amizade e o apoio nas análises de sódio.

A todos os amigos do Laboratório de Leguminosas: Andréia, Elisabeth, Gabriela, Isamir, Laudicéio, Lusimar, Michele, Pedro, Roriz, Paola e Willian, etc... pelo apoio no trabalho, companheirismo e pela convivência, etc.

A todos os moradores e amigos do Alojamento da Embrapa em especial Flávio Yuudi, Flavinho, Elias e Marinete pelo apoio e amizade e pelos bons momentos de convivência, descontração e alegria.

A todos aqueles que estiveram presentes para que esse trabalho se concretizasse com êxito e que faltou colocar o nome aqui e mesmo que indiretamente deram uma grande força, o meu eterno muito obrigado.

## **BIOGRAFIA DO AUTOR**

Joventino Fernandes Moreira, nasceu em Candiba-BA no dia 10 de abril de 1978. Ingressou na Escola Agrotécnica Federal de Januária-MG em 1995 para o curso Técnico em Agropecuária e concluiu em 1997. De 1998 a 1999 prestou serviços ao Conselho Indigenista Missionário como Assistente de atividades de subsistência na Reserva Indígena Xakriabá em São João das Missões-MG e Manga-MG (Norte de Minas), fomentando como principais atividades: agricultura e pecuária sustentável e agricultura familiar. Desenvolveu junto aos índios projetos de subsistência visando aumento da renda familiar e melhoria da qualidade alimentar. Em 1999 entrou para a Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro para cursar Agronomia. Foi bolsista de Pré-iniciação científica dessa mesma Universidade em 2000 e de iniciação científica da EMBRAPA Agrobiologia de 2001 a 2004, ano em que concluiu a graduação e ingressou no mestrado em Fitotecnia na mesma universidade como bolsista da CAPES.

## RESUMO

MOREIRA, Joventino Fernandes. **Avaliação do resíduo alcalino do refino de bauxita como condicionador de solos e do estabelecimento de dendê nos tanques de estocagem.** 2006. 65f. Dissertação (Mestrado em Fitotecnia). Instituto de Agronomia, Departamento de Fitotecnia. Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica, RJ, 2006.

O processo de produção de alumínio e alumina gera grande quantidade de resíduo de bauxita, também chamado *red mud* (lama vermelha). Este resíduo é objeto de preocupação para o meio ambiente devido as suas características de alto pH e condutividade elétrica, além da elevada concentração de sódio, condições estas prejudiciais ao desenvolvimento de plantas, tornando difícil o manejo desse material e necessitando de grandes áreas para seu armazenamento. Por outro lado, alguns estudos têm sido desenvolvidos com aplicação desse material na agricultura, visando aumentar o pH e disponibilidade de nutrientes e melhorar a retenção de água para as plantas em solos arenosos. Esse trabalho foi desenvolvido com o objetivo de avaliar o potencial de uso do resíduo alcalino do refino de bauxita tratado e não tratado com água do mar como condicionador de solos. Para isso os materiais foram caracterizados em aspectos físicos, químicos e microbiológicos e comparados quanto a seus efeitos no solo testando-os sobre dois tipos de solos, um Planossolo e um Argissolo e sobre duas plantas bioindicadoras, a braquiária (*Brachiaria brizantha*) e o feijão comum (*Phaseolus vulgaris*). Após 50 dias do experimento, as plantas de feijão foram colhidas e foi feito o primeiro corte da braquiária, as plantas foram secas e pesadas, para a análise da massa seca. Contou-se também o número de perfilhos da braquiária e nesta foram feitos mais dois cortes, um aos 120 e o último aos 190 dias. Além dessa avaliação foi feito um estudo sobre o desenvolvimento de dendê nos tanques de estocagem do resíduo após 8 anos de implantação da revegetação com leguminosas arbóreas. Foram utilizadas 8 materiais genéticos de *Elaeis spp* (dendê) recomendados pela Embrapa Amazônia Ocidental: C2501, C2301, C2328, C3701, C2801, C7201, RUC13 e RUC87 e avaliados o diâmetro do cólo da planta e da copa, o número de folhas, a altura das plantas, a presença de bactérias diazotróficas e fungos micorrízicos associadas às plantas de dendê, a fauna de solo e o estado nutricional das plantas e a fertilidade do solo. Os resultados apresentados indicam que os resíduos foram eficientes na elevação do pH do solo, já com pequenas doses. A leguminosa mostrou-se mais sensível que a braquiária em relação à salinidade provocada pela adição dos resíduos, nos dois tipos de solos, sendo que nessa última, houve aumento de matéria seca de parte aérea em função das doses dos resíduos não tratado e tratado com água do mar até a dose de 5 Mg ha<sup>-1</sup>, no Planossolo. Na avaliação do dendê foi observada uma grande quantidade de bactérias diazotróficas e colonização micorrízica, independentemente do genótipo. Os dados indicam também um melhor desempenho para os genótipos RUC87 e C7201 no que se refere ao diâmetro do cólo e da copa, número de folhas e altura das plantas, apresentando uma maior capacidade de estabelecimento destas cultivares em relação às demais. No que se refere à fauna do solo na área de dendê, os seus valores de riqueza de grupos e densidade de indivíduos foram próximos aos valores encontrados em uma mata secundária local o que mostra que a revegetação com leguminosa está sendo eficiente em retomar os processos ecológicos e o equilíbrio do ecossistema.

**Palavras chave:** recuperação de áreas degradadas, mineração, leguminosas arbóreas.

## ABSTRACT

MOREIRA, Joventino Fernandes. **Evaluation of red mud as soil conditioner and of the oil palm in stock tanks vegetated with leguminous trees.** 2006. 65f. Dissertation (Master Science in Fitotecny). Instituto de Agronomia, Departamento de Fitotecnia. Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica, RJ, 2006

The production of aluminum and alumina generates a great amount of red mud, which is harmful to the environment mainly for its high pH, electric conductivity and concentration of sodium, which restrict plant growth. However, there are some indications that it may be used as a conditioner for acid sandy soils. This work tested a red mud from an alumina production plant by Alumar- São Luís –MA, Brazil as soil conditioner for two acid soil types: sandy and clay soils) and the growth of oil palm hybrids (*E. guinensis* x *E. oleifera*) grown in red mud deposition tank vegetated with leguminous trees for 8 years. The red mud was characterized in relation to its physical, chemical and microbial characteristics and tested in two types of soils, a 'Planossolo' and an 'Argissolo' and two bioindicators plants, the grass *Brachiaria brizantha* and common bean (*Phaseolus vulgaris*). Bean plants were harvested and brachiaria received a first cut 50 days after planting. A second and third cut were performed in brachiaria 70 and 140 days after the first one. Plant biomass was dried until constant weight and analysed for nutrient content. Number of sprouts of grass was counted at the third harvest. The evaluation of oil palm growth on red mud included eight hybrids between *Elaeis oleifera* x *Elaeis guineensis* from Embrapa Amazônia Ocidental. breeding program (C2501, C2301, C2328, C3701, C2801, C7201, RUC13 and RUC 87) 12 months after transplanted to a red mud tank vegetated for 8 years with a mixture of nodulated leguminous trees. Diameter at the base of the plants, top diameter, number of leaves, plant height, diazotrophic bacteria, mycorrhizal fungi and nutrient contents were studied on the oil palm plants. Soil fauna and nutrient availability were evaluated in soils under oil palm and in an area with native species nearby the tanks. The addition of small amounts of red mud to the soils increased soil pH. Addition of red mud decreased plant growth in both soils tested with more deleterious effect on bean than on the grass. However the addition of 5 Mg ha<sup>-1</sup> of red mud in the sandy acid soil increased the grass biomass at the last harvest in relation to the control. The evaluation of the oil palm in the tanks indicated that hybrid RUC 87 and C7201 presented larger diameter at soil level, plant height and number of leaves. All cultivars and hybrids showed large population of diazotrophic bacteria in their leaves and mycorrhizal infection on roots. Similar richness and density of soil fauna was observed in the red mud below the oil palm to that observed in a soil collect in a secondary forest nearby indicating that the vegetation with leguminous trees is returning the ecological processes toward a sustainable system.

**Key words:** recovery of degraded land, mining, leguminous trees.

## LISTA DE FIGURAS

- Figura 1.** Fluxograma do processo de produção do resíduo alcalino do refino de bauxita da fábrica da Alumar- São Luís-MA, cedido por esta. .... 13
- Figura 2.** Vista parcial da disposição do experimento aos 10 dias montado em vasos com Planossolo e Argissolo expostos ao ambiente. .... 16
- Figura 3.** Efeito das doses de resíduo de refino de bauxita tratado e não tratado com água do mar ( $0,5 \text{ kg}^{-1}$ ), na alteração do pH de um Planossolo em função do tempo de incubação. ... 20
- Figura 4.** pH do solo em função das doses dos resíduos tratado e não tratado com água do mar ( $0,5 \text{ kg}^{-1}$  de Planossolo), considerando-se o efeito médio das doses. .... 20
- Figura 5.** Efeito linear do pH do solo em função das doses dos resíduos tratado e não tratado com água do mar ( $0,5 \text{ kg}^{-1}$  de Planossolo), considerando-se o efeito médio das doses..... 21
- Figura 6.** Efeito da adição de resíduo da produção de alumina tratado e não tratado com água do mar na produção de biomassa do feijoeiro em Planossolo e Argissolo. .... 24
- Figura 7.** Efeito da adição de resíduo da produção de alumina tratado e não tratado com água do mar na produção de biomassa da braquiária em Planossolo e Argissolo. .... 30
- Figura 8.** Efeito da adição de resíduo da produção de alumina tratado e não tratado com água do mar no perfilhamento da braquiária em Planossolo e Argissolo. .... 31
- Figura 9.** Precipitação e temperatura média anual e durante o período experimental. .... 44
- Figura 10.** Tanque de disposição de resíduo alcalino da produção de alumina, revegetado com leguminosas arbóreas com 7 anos e ao lado direito outro tanque ainda sem a revegetação (2004). .... 45
- Figura 11.** Plantas de dendê na área com resíduo de bauxita, reabilitada com leguminosas arbóreas (em abril de 2004, com 9 meses e em junho de 2005, com 23 meses)..... 46
- Figura 12.** Composição relativa dos grupos de fauna edáfica na área de dendê comparada com a revegetação, a mata e o pasto. .... 52
- Figura 13.** Dendrograma resultante da análise de agrupamento realizada com os tratamentos estudados em função do comportamento da atividade da fauna do solo, usando a similaridade de Jaccard. .... 55

## LISTA DE QUADRO E TABELAS

<b>Quadro 1</b> – Efeitos do resíduo alcalino de bauxita sobre algumas propriedades de solos arenosos cultivados. ....	5
<b>Tabela 1-</b> Propriedades químicas do resíduo de bauxita da Alumar antes da revegetação (FORTES, 2000). ....	7
<b>Tabela 2.</b> Análise química do Planossolo, coletado em Seropédica-RJ.....	15
<b>Tabela 3.</b> Características químicas do Planossolo e do Argissolo usados no experimento .....	15
<b>Tabela 4.</b> Composição granulométrica do resíduo de bauxita não tratado e tratado com água do mar com base no diâmetro das partículas das frações argila, silte e areia. ....	18
<b>Tabela 5.</b> Efeito do tratamento com água do mar no pH, CE, Na <sup>+</sup> , teores de nutrientes e metais pesados no resíduo alcalino de bauxita. ....	19
<b>Tabela 6.</b> Efeito da adição de resíduo tratado e não tratado com água do mar no pH e teores de N, C e matéria orgânica (M.O.) de um Planossolo, após 60 dias de incubação. ....	22
<b>Tabela 7.</b> Efeito da adição de resíduo tratado e não tratado com água do mar nos teores de nutrientes disponíveis em um Planossolo após 60 dias de incubação. ....	22
<b>Tabela 8.</b> Efeito da adição de resíduo tratado e não tratado com água do mar no teor de sódio (Na <sup>+</sup> ), valor T, porcentagem de sódio trocável (PST) e condutividade elétrica (CE) em um Planossolo após 60 dias de incubação. Média de três repetições. ....	23
<b>Tabela 9.</b> Efeito da adição de resíduo da produção de alumina tratado e não tratado com água do mar nos teores de nutrientes na matéria seca de parte aérea de feijão em Planossolo e Argissolo, após 50 dias de experimento. ....	25
<b>Tabela 10.</b> Efeito da adição de resíduo da produção de alumina tratado e não tratado com água do mar no acúmulo de nutrientes na matéria seca de parte aérea do feijão em Planossolo e Argissolo, após 50 dias de experimento. ....	26
<b>Tabela 11.</b> Efeito da adição de resíduo da produção de alumina tratado e não tratado com água do mar no pH e teores de nutrientes em Planossolo e Argissolo, após 50 dias de experimento com feijão.....	28
<b>Tabela 12.</b> Efeito da adição de resíduo da produção de alumina tratado e não tratado com água do mar no crescimento de colônias de bactérias em Planossolo e Argissolo com feijão. ....	29
<b>Tabela 13.</b> Efeito da adição de resíduo da produção de alumina tratado e não tratado com água do mar nos teores de nutrientes na matéria seca da parte aérea da braquiária com 50 dias em Planossolo e Argissolo. ....	33

<b>Tabela 14.</b> Efeito da adição de resíduo da produção de alumina tratado e não tratado com água do mar no acúmulo de nutrientes na matéria seca de parte aérea da braquiária com 50 dias em Planossolo e Argissolo. ....	34
<b>Tabela 15.</b> Efeito da adição de resíduo da produção de alumina tratado e não tratado com água do mar no pH e teores de nutrientes em Planossolo e Argissolo ao final do experimento (190 dias).....	36
<b>Tabela 16.</b> Efeito da adição de resíduo da produção de alumina tratado e não tratado com água do mar em colônias de bactérias no Planossolo e no Argissolo com braquiária. ....	37
<b>Tabela 17.</b> Cultivares e híbridos intraespecíficos de dendê ( <i>Elaeis guineensis</i> ) melhorados pela Embrapa Amazônia Ocidental e implantados no experimento.....	45
<b>Tabela 18.</b> Diâmetro do côlo, número de folhas fotossinteticamente ativas, altura das plantas e diâmetro médio da copa em plantas de dendê no viveiro, aos 9 e aos 23 meses de plantio em área de resíduo de bauxita revegetada com leguminosas arbóreas. ....	49
<b>Tabela 19.</b> Teores de nutrientes na biomassa seca de plantas de dendê coletadas em duas avaliações, com 9 (A1) e 23 meses (A2) de plantio no campo.....	50
<b>Tabela 20.</b> Colonização de fungos micorrízicos e presença de bactérias diazotróficas em plantas de dendê em área de resíduo de bauxita após 8 anos revegetados com leguminosas arbóreas.....	51
<b>Tabela 21.</b> Número médio de indivíduos coletados por grupo taxonômico no dendê.....	53
<b>Tabela 22.</b> Número médio de indivíduos da fauna do solo por armadilha por semana, densidade, riqueza de grupos, índice de diversidade de Shannon (H') (log 10) e índice de uniformidade (J) de Pielou em cada área em cada área.....	54
<b>Tabela 23.</b> pH, Al e teores de Ca <sup>+2</sup> , Mg <sup>+2</sup> , P e K <sup>+</sup> em profundidade no tanque de resíduo de bauxita após 7 anos de revegetação. ....	56

## SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO GERAL.....</b>	<b>1</b>
<b>2 REVISÃO DE LITERATURA .....</b>	<b>3</b>
2.1 Importância econômica da produção de alumínio .....	3
2.2 Problemas relativos à produção de alumínio .....	3
2.3 Emprego do resíduo alcalino de bauxita em sistemas agrícolas .....	4
2.3.1 Efeitos no solo.....	4
2.3.2 Efeito sobre as plantas .....	5
2.4 Uso da revegetação com leguminosas arbóreas no processo de recuperação de áreas degradadas.....	6
2.5 O processo de reabilitação de lagos de resíduo alcalino de bauxita da Alumar .....	7
<b>CAPÍTULO I.....</b>	<b>9</b>
<b>USO DO RESÍDUO ALCALINO DO REFINO DA BAUXITA COMO CONDICIONADOR DE SOLOS AGRÍCOLAS.....</b>	<b>9</b>
<b>RESUMO .....</b>	<b>10</b>
<b>ABSTRACT.....</b>	<b>11</b>
<b>1 INTRODUÇÃO.....</b>	<b>12</b>
<b>2 MATERIAL E MÉTODOS .....</b>	<b>13</b>
2.1 Obtenção do material .....	13
2.2 Tratamento do resíduo na Alumar .....	13
2.3 Caracterização química, física e microbiológica do resíduo .....	14
2.4 Definição das curvas de neutralização .....	14
2.5 Efeito do resíduo nas propriedades do solo e no desenvolvimento das plantas.....	15
2.6 Efeito do resíduo alcalino de bauxita no comportamento de bactérias no solo .....	17
2.7 Análise estatística dos dados.....	17
<b>3 RESULTADOS E DISCUSSÃO .....</b>	<b>18</b>
3.1 Caracterização física do resíduo alcalino de bauxita .....	18
3.2 Caracterização química do resíduo alcalino de bauxita .....	18
3.3 Curva de neutralização do solo com resíduo tratado e não tratado.....	19
3.4 Efeito do resíduo da produção de alumina nas propriedades do solo e no desenvolvimento das plantas.....	24
3.4.1 Feijão.....	24
3.4.2 Braquiária.....	30
<b>4 CONCLUSÕES .....</b>	<b>38</b>

<b>CAPÍTULO II .....</b>	<b>39</b>
<b>O USO DO DENDÊ COMO ALTERNATIVA DE PRODUÇÃO ENERGÉTICA NO MODELO AGROFLORESTAL EM DEPÓSITO DE RESÍDUO ALCALINO DE BAUXITA .....</b>	<b>39</b>
<b>RESUMO .....</b>	<b>40</b>
<b>ABSTRACT.....</b>	<b>41</b>
<b>1 INTRODUÇÃO.....</b>	<b>42</b>
<b>2 MATERIAL E MÉTODOS .....</b>	<b>44</b>
2.1 Localização da área do experimento.....	44
2.2 Material genético de <i>Elaeis spp</i> testado.....	44
2.3 Implantação do experimento.....	45
2.4 Avaliações.....	47
2.4.1 Análise biométrica e teores de nutrientes do solo e das plantas .....	47
2.4.2 Análises microbiológicas .....	47
2.4.3 Fauna do solo .....	48
2.4.4 Análises estatísticas dos dados.....	48
<b>3 RESULTADOS E DISCUSSÃO .....</b>	<b>49</b>
<b>4 CONCLUSÕES .....</b>	<b>57</b>
<b>5 CONSIDERAÇÕES FINAIS .....</b>	<b>58</b>
<b>6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS: .....</b>	<b>59</b>

## 1 INTRODUÇÃO GERAL

Este trabalho foi desenvolvido junto à planta de produção de alumina da Alumar-Consórcio de Alumínio do Maranhão, em São Luís-MA, com o objetivo de avaliar o uso de resíduo de bauxita como condicionador de solo e buscar alternativas de produção energética em área de depósito de resíduo alcalino de bauxita, reabilitadas com leguminosas arbóreas. A Alumar é uma empresa que fabrica alumina e alumínio a partir da bauxita das reservas da Mineração Rio do Norte, em Porto Trombetas, Pará. O resíduo produzido no processo industrial de produção de alumina é alcalino, apresentando em média pH 12, e possui um elevado teor de sódio. A maior preocupação ambiental na produção de alumina é o armazenamento desse resíduo, principalmente devido a grande quantidade produzida e às suas propriedades químicas, caracterizadas como muito salina e cáustica. Visando buscar alternativas que possibilitem diminuir os impactos causados pelo armazenamento desse produto foi estudada a possibilidade de seu uso como condicionador de solo. Para isso, o resíduo de bauxita, foi testado em casa de vegetação, usando como plantas bioindicadoras a braquiária e o feijão.

Os estudos relativos à aplicação desse material no solo têm destacado os seus efeitos relacionados principalmente, à maior retenção de água no solo e diminuição da acidez, condições essas que permitem a melhoria da disponibilidade de nutrientes para as plantas, podendo refletir em um aumento da produção.

A Alumar possui quatro áreas de disposição de resíduos de bauxita (ADRB) sendo que a primeira, com 21 hectares construída em 1984 e desativada em 1991, hoje encontra-se completamente revegetada e a segunda foi plantada em 2005, e está em fase de acompanhamento. A revegetação foi feita com espécies de leguminosas arbóreas, juntamente com a aplicação de 40 cm de cinzas em toda a área e lodo de cervejaria (composto de estação de tratamento de efluentes de cervejaria e cama de aviário nas covas de plantio). A lixiviação da água da chuva sobre as cinzas, juntamente com a acidez gerada pela fixação biológica de nitrogênio, tem baixado a alcalinidade e sodicidade do resíduo, já permitindo a penetração das raízes na camada com resíduo em maiores profundidades e o crescimento vigoroso das espécies vegetais. Foi a partir de uma seleção prévia de espécies e com a correção de níveis limitantes de sais no solo que se baseou o sucesso dessa revegetação. Após oito anos, o estudo de alternativas que possam trazer retorno econômico nessas áreas, representa um grande desafio. O dendê surge como uma das culturas possíveis de utilização nesse sistema para fins de produção de óleo combustível, face ao seu alto poder calorífico e possibilidade de adaptação na região. O dendezeiro (*Elaeis guineensis* Jacq) é uma palmeira de origem africana, perene e com até 25 anos de produção econômica, com produtividade de óleo, de mais de 6 Mg ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup> e com grande potencial para o uso como combustível. Para exemplificar o seu potencial destaca-se que, enquanto a produção mundial de soja representa 29% do total de óleos vegetais, ocupando 36% da superfície total plantada com oleaginosas, o dendezeiro ocupa apenas 2% da área e produz 22% do total de óleo. Assim esta cultura poderá se tornar uma excelente fonte de entrada de divisas no Brasil, além de ser importante para compor a matriz energética nacional (BASTOS, 2001; MÜLLER et al. 1989).

A busca de genótipos de dendê que se adaptem às condições da região e sejam mais produtivos, tolerantes à ação de estresses fisiológicos, deficiências nutricionais e incidência de pragas e doenças, se faz necessário para o sucesso desta atividade econômica. A Embrapa Amazônia Ocidental tem desenvolvido um programa de melhoramento de dendê a partir do cruzamento de *E. guineensis* com *E. oleifera*, visando rusticidade e produtividade.

Considerando a situação da área de resíduo de bauxita, este fato é ainda mais relevante, uma vez que há a necessidade de se obter cultivares mais resistentes às condições adversas da área. Para isso foi proposta a hipótese de que o resíduo alcalino do refino de bauxita apresenta potencial de uso agrícola como condicionador de solos e em seus tanques de armazenamento é possível o cultivo de dendê. Sendo assim o objetivo desse trabalho foi avaliar o potencial de uso do resíduo alcalino de bauxita como condicionador e corretivo dos solos e o crescimento inicial de 8 genótipos de dendê em áreas de disposição de resíduo alcalino de bauxita após 8 anos de revegetação com leguminosas arbóreas fixadoras de nitrogênio.

Para atender aos objetivos propostos, esse trabalho foi dividido em dois capítulos, que abordará mais detalhadamente as avaliações realizadas: uso de resíduo como condicionador do solo e produção de dendê nos tanques de resíduo alcalino.

## 2 REVISÃO DE LITERATURA

### 2.1 Importância econômica da produção de alumínio

O alumínio constitui o metal não-ferroso mais abundante da crosta terrestre, o que contribui para sua utilização em larga escala, tendo como principal minério a bauxita. No Brasil, as principais jazidas desse minério encontram-se nos Estados do Pará e de Minas Gerais. O País possui a terceira maior reserva desse minério no mundo (ABAL, 2005), que até seu produto final, passa por diversas etapas de beneficiamento. Depois de extraída do solo, a bauxita é lavada, secada e encaminhada à refinaria, que produz a alumina ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ), esta, é reduzida em alumínio metálico, muito utilizado no mundo inteiro principalmente na confecção de embalagens (31,2%), no setor de transportes (22,3%) e na construção civil (13,2%), (ABAL, 2005). O consumo per capita do alumínio no Brasil é de  $3,9 \text{ kg habitante}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ , contra 37 dos EUA, 31 do Japão e 19 da Europa Ocidental. Isso indica que a demanda pelo metal tende a crescer muito no País, principalmente considerando que o Brasil detém 12,7% das reservas mundiais conhecidas de bauxita (SUMÁRIO MINERAL, 2005).

No ano de 2004, o Brasil se consolidou como o segundo maior extrator mundial de bauxita, respondendo por 13,4% do total, ficando atrás somente da Austrália com 35,9% (SUMÁRIO MINERAL, 2005). Em relação aos produtos já beneficiados, a produção brasileira de alumina representou 10,6% da produção mundial enquanto o alumínio ficou em 5,05% do total. Esses números, significaram em 2003, o equivalente a 1,3% do PIB brasileiro, com um saldo da balança comercial ao redor de 1,7 bilhões de dólares (ABAL, 2005) e reforçam a importância do setor na economia brasileira.

### 2.2 Problemas relativos à produção de alumínio

Um dos principais problemas decorrentes da exploração desse recurso natural não renovável é a geração de um grande passivo ambiental que, se não destinado de forma ecologicamente adequada, pode causar grandes impactos ambientais como mostrado por LAPA, 2000 e BOZELLI et al. (2000), que relatam, o impacto ambiental sofrido pelo Lago Batata na Amazônia, devido a deposição de resíduo da lavagem de bauxita na década de 80. No processo de extração da alumina, são necessários, em média, quatro toneladas de bauxita para produção de duas toneladas de alumina e duas desta para produzir uma tonelada de alumínio. O restante é resíduo, que acaba se tornando um enorme passivo ambiental. Só na Alumar, cerca de 1,13 milhões de toneladas de resíduo alcalino ingressam nos tanques de contenção anualmente (ALUMAR, 2005).

A composição química e as características do resíduo de bauxita normalmente dependem do minério do qual é derivado, do processo e das condições para a extração da alumina. A granulometria do minério e a qualidade da água utilizada no processo industrial também pode influenciar nessas características, (WONG, 1990). Os principais componentes do resíduo de bauxita são 36% de  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ , 23% de  $\text{SiO}_2$ , 17% de  $\text{Al}_2\text{O}_3$ , 3,9% de  $\text{CaO}$  e 2,43% de  $\text{Na}_2\text{O}$  (SUMMERS et al. 1996; FREITAS, 2003). No processo de fabricação de alumina, em média, somente 35% do alumínio da bauxita é extraído, permanecendo no resíduo, quantidade considerável deste mineral. Porém esse valor é bastante variável e depende da qualidade da bauxita. A granulometria do resíduo também pode variar em função do minério e do processo industrial, obtendo-se material de textura argilosa, arenosa e siltosa. Bauxitas procedentes de diferentes locais dão origem a resíduos com características químicas e físicas distintas.

Algumas pesquisas têm direcionado o uso desse resíduo para produtos de cerâmica, apresentando potencial de uso na fabricação de agregados para utilização em concretos pré-moldados na construção civil (Souza, 1989), construção de estradas, para melhorar a adesão da massa asfáltica (HARTLEY & THORPE, 1980), na fabricação de tijolos (ALUMAR, 1996) e no caso da agricultura, tem sido avaliado como condicionador de solos (BARROW, 1982; WARD, 1986; WARD e SUMMERS, 1993; SUMMERS et al. 1996, SNARS, 2004).

## **2.3 Emprego do resíduo alcalino de bauxita em sistemas agrícolas**

### **2.3.1 Efeitos no solo**

Os primeiros trabalhos desenvolvidos com o resíduo alcalino de bauxita, relatam o uso de grandes doses (de 500 até 2000 Mg ha<sup>-1</sup>) com adição de gesso à aplicação, mas experiências posteriores com 80 Mg ha<sup>-1</sup>, sem aplicação de gesso, aumentaram o rendimento na produção da pastagem (SUMMERS et al. 1996; SUMMERS et al. 1993 e VLAHOS et al. 1989).

Vários trabalhos têm sido desenvolvidos visando a utilização do resíduo alcalino da produção de alumina como condicionador de solos, principalmente em pastagem e na retenção de metais e principalmente visando reduzir perdas de P em solos altamente adubados com esse nutriente na Austrália (Barrow, 1982; Simons, 1984; Ward, 1986; Ward & Summers 1993, Ward et al., 2002 e Snars, 2004).

Esses trabalhos têm avançado principalmente na região Oeste da Austrália, onde se concentra a maior parte da produção. Nesta região, se encontra uma planície costeira, com predomínio de solos de textura arenosa e o uso intensivo de fertilizantes fosfatados em pastos estabelecidos no local, tem propiciado a lixiviação de P para rios e lagos (VLAHOS et al. 1989; GEORGE & BRADBY, 1993; WARD & SUMMERS, 1993). Naquela região, a maior parte dos estudos com resíduo alcalino de bauxita no solo visa reduzir as perdas de P e melhorar as características físicas do solo.

Nesses trabalhos, têm-se utilizado também o sulfato de cálcio (gesso) que, quando adicionado ao resíduo alcalino de bauxita, reduz a sua alcalinidade e sodicidade (BARROW, 1982). A alta sodicidade do resíduo pode promover a elevação da concentração de sódio e a condutividade elétrica, quando aplicado em grande quantidade ao solo, elevando esses níveis para valores deletérios ao crescimento das plantas. Pode ocorrer desbalanço nutricional se a saturação de sódio ocupar 40 a 50 % do complexo de troca, o que acontece no resíduo de bauxita puro. Nesse caso, ocorre remoção de cálcio dos tecidos radiculares da planta pelo complexo de troca do solo, podendo causar a morte devido à deficiência de cálcio. Com o aumento da saturação de sódio trocável no solo, quando os complexos de troca são ocupados, pode ocorrer uma menor acumulação de cálcio, magnésio e potássio nas plantas (KOPITKE, et al., 2004, SNARS et al., 2004; MARSCHNER, 1990).

A textura do solo e o uso de gesso reduzem os danos causados pela alta concentração de sódio no resíduo. Em solos arenosos, a lixiviação de sais é mais intensa favorecendo a sua acumulação no lençol freático e a presença do gesso altera a relação cálcio/ sódio e favorece o deslocamento do sódio pelo cálcio e a formação de sulfato de sódio de alta mobilidade no perfil do solo (FORTES, 2000). VLAHO et al. (1989) sugerem que com a aplicação de doses de resíduo de até 20 Mg ha<sup>-1</sup>, mesmo sem o uso de gesso, o impacto ambiental negativo dos sais poderá tornar-se desprezível.

WARD & SUMMERS (1993) observaram que o uso de 20 Mg ha<sup>-1</sup> de resíduo, diminuiu a lixiviação de P a níveis considerados aceitáveis em solos arenosos na Austrália. No entanto, SUMMERS et al. (1996) observaram em ensaios posteriores em condições de

campo, usando doses entre 10 e 80 Mg ha<sup>-1</sup>, com e sem gesso, que quando o resíduo foi misturado com gesso a retenção de P foi 70 % maior que na área sem aplicação de gesso.

Esses resultados no solo indicam um potencial de utilização do resíduo como condicionador de solos em áreas de clima temperado ou de argila 2:1 (BRADY, 1989). No caso do Brasil, essas condições são diferentes e existem poucos estudos que indicam os efeitos do resíduo de bauxita no solo. No Quadro 1 é possível observar resumidamente alguns resultados de pesquisa com resíduo de bauxita.

**Quadro 1** – Efeitos do resíduo alcalino de bauxita sobre algumas propriedades de solos arenosos cultivados.

<b>Propriedades do solo</b>	<b>Solo tratado com resíduo de bauxita</b>
Densidade do solo	Decresceu
Condutividade hidráulica	Decresceu
Capacidade de retenção de umidade	Elevou
Capacidade de água disponível	Elevou
Aeração	Decresceu
pH	10-12 (aumentou)
Salinidade	Elevou inicialmente e diminuiu após 2-3 anos
Capacidade de troca de cátions	Elevou
Conteúdo de nutrientes	Teores muito baixos de N, P e C.
Disponibilidade de nutrientes	Deficiência de N e P
Toxidez de sais	Al e Na e em alguns casos Mo
Efeito microbiológico	Decresceu inicialmente e aumentou lentamente com o tempo.

WONG (1990) *apud* FORTES (2000)

### 2.3.2 Efeito sobre as plantas

Em relação aos efeitos da aplicação do resíduo alcalino de bauxita no desenvolvimento das plantas, os resultados são ainda mais incipientes do que os estudos na modificação das características do solo. WARD (1986) obteve maior produção de pastagem quando aplicou 500 Mg ha<sup>-1</sup> de resíduo. SUMMERS et al. (1996), a partir da aplicação de 20 Mg ha<sup>-1</sup> de resíduo em solos arenosos, conseguiu aumentos na produção de trevo e pastagem em 25 %. Este mesmo autor observou uma elevação no pH do solo que possibilitou o aumento do rendimento de pastagens em terras arenosas ácidas. O incremento na produção foi maior para a espécie mais sensível à acidez do solo, no entanto, o trevo semeado juntamente com alfafa não sobreviveu nas condições de acidez do solo, em condições naturais ou nas condições de alcalinidade, promovida pela aplicação de resíduo, o que indica a importância da espécie vegetal que se trabalha para definir o potencial de uso do resíduo. Em solos arenosos e com nível de acidez que comprometem o estabelecimento de plantas, os benefícios oriundos do resíduo de bauxita são atribuídos à redução da perda de alguns nutrientes, via lixiviação, devido a maior capacidade de retenção desse material, e elevação do pH. No entanto, a elevada alcalinidade poderia tornar-se prejudicial para algumas espécies e/ou cultivares, ao indisponibilizar alguns elementos, inclusive o P acima de pH 7,3 e, principalmente alguns micronutrientes como Fe, Cu e Zn, que estão mais disponíveis em pH ácido (MALAVOLTA, 1976; ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DA POTASSA E DO FOSFATO, 2004). FORTES & CAMPOS NETO (1995), utilizaram doses de 20 e 80 Mg ha<sup>-1</sup> em latossolo arenoso cultivado com milho e observaram que o resíduo elevou o pH de 4,4 para 5,9 na maior dose, não elevando a condutividade elétrica, em nível comprometedor à produção. Entretanto, o curto

período de reação do resíduo não permitiu uma avaliação mais ampla do seu efeito sobre o solo.

O incremento de 24% na produção de pastagem, em solo arenoso com doses de resíduo de bauxita entre 10 e 80 Mg ha<sup>-1</sup>, foi destacado por WARD & SUMMERS (1993), atribuindo esse aumento de produção da pastagem nas baixas doses de aplicação do resíduo às modificações provocados no pH, proporcionando uma faixa de melhor disponibilidade de nutrientes. Entretanto, a maior eficiência no uso de P também foi associada à contribuição do resíduo. Para uma condição de acidez como a maioria dos solos brasileiros, a elevação do pH é interessante, pois possibilitaria uma melhor disponibilidade dos nutrientes para as plantas e tornaria indisponível o Al<sup>3+</sup> tóxico.

## **2.4 Uso da revegetação com leguminosas arbóreas no processo de recuperação de áreas degradadas**

As principais fontes de nutrientes para o estabelecimento das plantas estão associadas aos produtos da intemperização dos minerais, a adição de fertilizantes e a ciclagem de nutrientes através da decomposição dos tecidos das plantas. Em substratos destituídos de matéria orgânica, essas fontes acabam não sendo muito efetivas, havendo a necessidade de se buscar plantas que resistam a essas condições (POLGLASE & ATTIWILL, 1992).

Nessas situações, o uso de leguminosas arbóreas fixadoras de nitrogênio micorrizadas na revegetação de áreas degradadas têm se mostrado eficientes, possibilitando a melhoria do solo através da adição de matéria orgânica ao sistema com um mínimo de investimento financeiro (FRANCO et al., 1995). Para recuperação de áreas degradadas, onde a camada superficial do solo já não existe mais, devido à exploração agrícola inadequada, construção de moradias nas encostas dos morros nos grandes centros urbanos, ou devido ao corte de morros para construção de estradas, barragens ou realização de aterros, é imprescindível a utilização de plantas que possuam crescimento rápido, cobrindo a superfície do solo em menor espaço de tempo, evitando que este fique exposto à ação direta do sol e da chuva. Com a deposição do folheto haverá um acréscimo no teor de matéria orgânica e ocorrerá uma maior reciclagem de nutrientes criando assim condições favoráveis à atividade biológica (FRANCO, et al., 1992; RESENDE et al., 2005).

Estas plantas cumprem não só o papel de interromper o processo de degradação, como também ajudam a reativar os mecanismos de regeneração natural (SILVA et al., 2000; RESENDE et al., 2005; FRANCO et al. 2003). Além disso, algumas espécies de leguminosas apresentam boa produção de biomassa, com relação carbono-nitrogênio favorável à mineralização, o que proporciona rápido incremento de carbono ao substrato. O uso de leguminosas como tapete verde, possibilita a menor intensidade de intervenção futura no sistema, e, devido ao melhor condicionamento do substrato, facilita o estabelecimento de outras plantas no processo sucessional (GRIFFITH et al., 2000). Devido a capacidade de fixar o nitrogênio atmosférico, possuem maior facilidade de estabelecimento quando plantadas em solos deficientes deste elemento, levando a uma economia de gastos com adubos nitrogenados. Além disso, leguminosas de crescimento rápido podem atender a necessidade diária de madeira e com isso contribuir para a manutenção de remanescentes de florestas nativas (NAS, 1983). Para otimizar essa simbiose natural, a busca por estirpes de bactérias mais eficientes, tem sido fundamental e os resultados animadores. Em experimentos realizados no campo com *Leucaena leucocephala*, observou-se que mudas inoculadas com rizóbio selecionados obtiveram crescimento superior às mudas não inoculadas (FARIA et al., 1984). Foi também observado em latossolo decaptado que as leguminosas bracatinga, acácia e sabiá, noduladas com estirpes de rizóbio eficientes, apresentaram crescimento superior ao eucalipto, espécie muito utilizada em reflorestamentos em solos de baixa

fertilidade (FRANCO et al., 1991). Esses estudos indicam a importância dessa etapa para o processo de recuperação de áreas degradadas.

O estabelecimento dessas espécies em áreas remanescentes da mineração da bauxita, tem sido observado com sucesso em Porto Trombetas e Barcarena, PA e em resíduo alcalino na Alumar, MA. FRANCO et al. (1996) verificaram que estas espécies crescem em resíduo de bauxita desde que micorrizadas e noduladas juntamente com correção de fertilidade, exceto N, possibilitando assim o estabelecimento de espécies nativas por regeneração natural a partir da serapilheira depositada. De acordo com estes autores, a revegetação destas áreas é possível com algumas espécies fixadoras de nitrogênio sem a necessidade de adicionar camada superficial orgânica do solo proveniente da floresta primária. Nestes estudos *A. mangium* apresentou melhor desenvolvimento, tanto em áreas com subsolo exposto (estéril), como nos tanques de resíduos oriundos do lavado da bauxita. FORTES (2000) observou grande deposição de serapilheira no solo oriundo de *A. mangium*, *M. caesalpinifolia* e *P. juliflora*, em tanque de deposição de resíduo alcalino do refino de bauxita, apresentando valores próximos aos observados em diversas florestas tropicais. Isso mostra que essas plantas apresentam potencial para recuperar a estrutura do solo com o incremento de matéria orgânica, aumentando a atividade biológica, a disponibilidade de água e o suprimento de nutrientes para as plantas (FRANCO et al., 1997; FRANCO et al., 1995).

## 2.5 O processo de reabilitação de lagos de resíduo alcalino de bauxita da Alumar

Em 1991, visando a revegetação da área de resíduo alcalino de bauxita, iniciou-se a busca por espécies da família das leguminosas que formassem associação com bactérias fixadoras de nitrogênio e com fungos micorrízicos, e também apresentassem tolerância aos níveis de salinidade e sodicidade do resíduo (FORTES, 2000). O grande número de espécies dessa família (superior a 10.000), faz com que seja possível selecionar àquelas adaptadas às mais diversas condições (RESENDE et al., 2005)

Em função da grande quantidade e de suas características químicas, o destino do resíduo gerado no processo de produção de alumina é uma grande preocupação das empresas produtoras (Tabela 1). Sua natureza cáustica pode causar sérios danos ambientais, caso seja mal manejado que, aliado a fatores físicos como a falta de estrutura e compactação elevada, limitam o estabelecimento de vegetação diretamente sobre o resíduo.

**Tabela 1-** Propriedades químicas do resíduo de bauxita da Alumar antes da revegetação (FORTES, 2000).

pH	C	Ca <sup>2+</sup> +Mg <sup>2+</sup>	K <sup>+</sup>	P	Na <sup>+</sup>	PST	CE
Água	g kg <sup>-1</sup>		cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup>			%	dS m <sup>-1</sup>
10,2	0,70	0,11	0,07	0,01	49,14	99,25	5,70

C=Carbono orgânico PST= (Na<sup>+</sup>/CTC)\*100 CE= Condutividade elétrica da pasta saturada

C – Carbono orgânico método WALKLEY & BLACK; pH da água; Al; Ca; Mg; K e P – EMBRAPA- (1997).

No estudo em questão, também foi utilizado um outro resíduo da produção industrial da Alumar, as cinzas, geradas na produção de energia a partir do carvão mineral, que podem atuar no processo de neutralização (FORTES, 2000). Desta forma, sobre o resíduo, foi colocada uma camada de 40 cm deste material mais lodo de cervejaria (composto de estação de tratamento de efluentes de cervejaria e cama de aviário) (FORTES, 2000).

A cobertura de cinza atendeu às necessidades de alguns nutrientes (Ca, Mg, K, Fe, Mo) para o estabelecimento das espécies estudadas e também favoreceu o processo de lixiviação de sódio para camadas mais profundas.

A revegetação com espécies de rápido crescimento e alta capacidade de produção de serapilheira acompanhado do uso de irrigação na estação seca, favoreceu a manutenção de um

microclima capaz de evitar a elevação da temperatura na cinza e manter a umidade, favorecendo o fluxo descendente de água no resíduo, evitando o movimento capilar de sódio, o que foi fundamental para acelerar o processo de dessalinização do resíduo, permitindo a reabilitação da área em menor período de tempo. Aliado a isso, o processo de fixação biológica de nitrogênio associado às plantas, gera um desbalanço na absorção de cátions em relação a ânions, o que acarreta num excesso de prótons  $H^+$  liberados na região do cólo da planta, contribuindo para a diminuição do pH do substrato (CAMPELLO, 1998; MELLO & ABRAHÃO, 1998).

Atualmente, 8 anos após o início da intervenção e com o substrato já enriquecido com serapilheira, matéria orgânica, nutrientes e com grande diversidade de organismos do solo, espécies nativas começaram a surgir na área. Este repovoamento é beneficiado pela floresta adjacente e a fauna que ajuda a acelerar os processos de sucessão ecológica. A utilização desse sistema com leguminosas arbóreas permite a auto-suficiência de N, contribuindo para o incremento do carbono orgânico refletindo no aumento da fertilidade do substrato (FRANCO et al., 1991).

Essas condições estimularam um novo desafio, que é o de tornar essa área novamente produtiva, por isso buscou-se viabilizar a introdução do dendê em tanques de resíduo já revegetados.

## **CAPÍTULO I**

### **USO DO RESÍDUO ALCALINO DO REFINO DA BAUXITA COMO CONDICIONADOR DE SOLOS AGRÍCOLAS**

## RESUMO

O resíduo alcalino do refino de bauxita é gerado no processo de produção da alumina. É caracterizado pelo seu alto pH (em média 12), alta condutividade elétrica ( $26 \text{ dS m}^{-1}$ ) e elevada concentração de sódio ( $80 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$ ), condições estas prejudiciais ao desenvolvimento de plantas. O objetivo desse trabalho foi avaliar o potencial de uso do resíduo do refino de bauxita como condicionador de solos à partir do material “in natura” e também tratado com água do mar, visando reduzir as características indesejáveis. Para isso os materiais foram caracterizados em aspectos físicos, químicos e microbiológicos e avaliado quanto o seu potencial para elevar o pH de um Planossolo a partir de um experimento prévio de curvas de neutralização aplicando-se as doses 0; 1; 2; 3; 4; 5; 10; 15; 20; 30; 50; 100 e 200  $\text{Mg ha}^{-1}$  e medindo o pH ao longo de 60 dias. Para avaliação do efeito no solo e em plantas, o material foi testado sobre dois tipos de solos, um Planossolo e um Argissolo e sobre duas plantas bioindicadoras, a braquiária (*Brachiaria brizantha*) e o feijão (*Phaseolus vulgaris*) no delineamento de blocos ao acaso em esquema fatorial  $2 \times 3 \times 5$ , sendo 2 tipos de solo  $\times$  3 materiais (calcário, resíduos tratado e não tratado)  $\times$  5 doses de cada material (0; 1; 2,5; 5 e 10  $\text{Mg ha}^{-1}$ ), com 4 repetições em vasos de 4 kg. O calcário foi usado para fins de comparação. Decorridos 50 dias do experimento, as plantas de feijão foram colhidas e foi feito o primeiro corte da braquiária, as plantas foram secas e pesadas, para a análise da massa seca. Contou-se também o número de perfilhos da braquiária e nesta foram feitos mais dois cortes, um aos 120 e o último aos 190 dias do plantio. Os resultados apresentados indicam que o tratamento do resíduo não foi suficiente para eliminar as condições adversas ao crescimento das plantas, no entanto conseguiu reduzir consideravelmente o seu pH e o teor de sódio e elevar os teores de  $\text{K}^+$ ,  $\text{Ca}^{+2}$ ,  $\text{Mg}^{+2}$ ,  $\text{Zn}^{+2}$  e  $\text{Mn}^{+2}$ . Os resíduos foram eficientes na elevação do pH do solo, já com pequenas doses. A leguminosa mostrou-se mais sensível que a braquiária em relação à salinidade provocada pela adição dos resíduos, nos dois tipos de solos, sendo que nessa última houve aumento de matéria seca de parte aérea em função das doses dos dois resíduos até a dose 5  $\text{Mg ha}^{-1}$ , no Planossolo. Como esses resultados são ainda preliminares, torna-se necessário a realização de mais estudos em condições de campo, para que se tenha, respostas mais conclusivas quanto ao potencial deste resíduo como condicionador de solo.

## ABSTRACT

Red mud, a residue from alumina production from bauxite, is characterized by high pH (12), high electric conductivity (26 dS m<sup>-1</sup>) and high concentration of sodium (80 cmolc dm<sup>-3</sup>), that impair plant growth and cause environmental damage. The objective of this work was to further test red mud, treated and untreated with sea water, as a soil conditioner as an attempt to reduce its undesirable characteristics. The residues were then analysed for its physical, chemical and microbiological characteristics and evaluated for its potential to increase pH of a 'Planossolo' from a previous neutralization curve experiment where doses of 0; 1; 2; 3; 4; 5; 10; 15; 20; 30; 50; 100 and 200 Mg ha<sup>-1</sup> were applied and pH measured during 60 days. The effects in two soils, a 'Planossolo' and an 'Argissolo' and two plant species used as bioindicators were measured: *Brachiaria brizantha* and *Phaseolus vulgaris*. The experimental design was a 2 x 3 x 5 factorial, with 2 soils x 3 products (calcareous, treated and untreated residue) x 5 doses (0; 1; 2,5; 5 and 10 Mg ha<sup>-1</sup>) on a randomized complete block design, with 4 replicates. Plants were grown in 4 kg pots. After 50 days of planting bean plants were harvested and the grass received the first cut; a second cut was performed at 120 and a third at 190 days after planting. All biomass harvested were air dried and weighted. The treatment with red mud with sea water reduced the pH of the residue, concentration of sodium and increased K<sup>+</sup>, Ca<sup>+2</sup>, Mg<sup>+2</sup>, Zn<sup>+2</sup> e Mn<sup>+2</sup> but similarly to the untreated residue, was detrimental to the initial growth of both plant species when added to the soil, even though their acidity were ameliorated by both residues. The bean biomass accumulation was negatively affected by all levels of red mud added to the soil while brachiaria up to 5 Mg ha<sup>-1</sup> of both treated and untreated red mud applied to the sandy soil increased its biomass production. This indicates the potential of red mud to be used as soil conditioners and that deserves further studies.

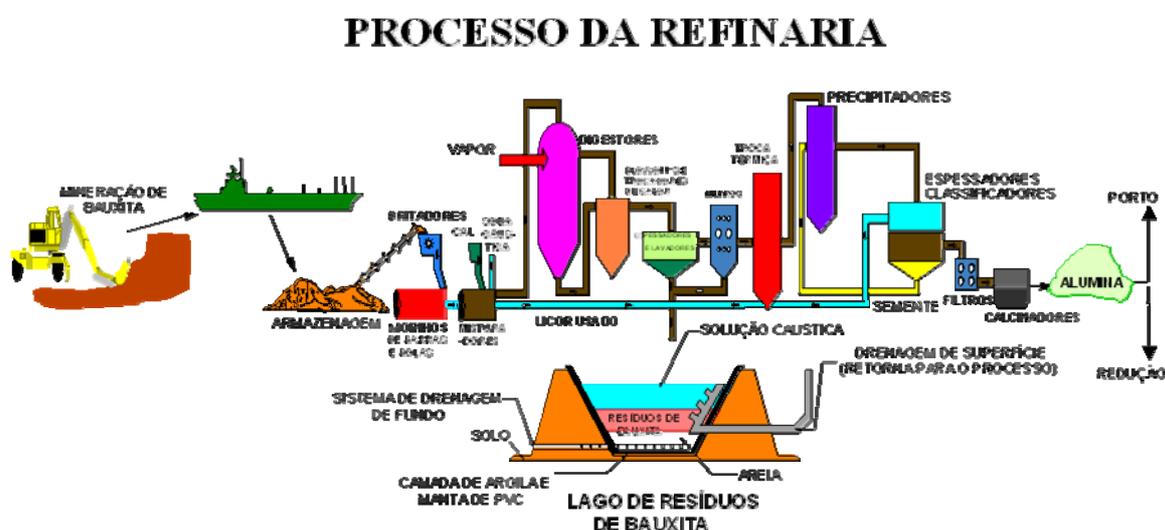
## 1 INTRODUÇÃO

As pesquisas visando o uso do resíduo de bauxita como condicionador de solo tem sido feitas principalmente na Austrália, um dos maiores produtores mundiais de alumina e alumínio. O seu uso visando aumentar a disponibilidade de nutrientes e melhorar as características físicas de solos arenosos de baixa fertilidade foi avaliado inicialmente por BARROW (1982), em estudos de laboratório e posteriormente por SIMONS, 1984; WARD, 1986; WARD & SUMMERS, 1993; WARD et al., 2002 e SNARS, 2004) em condições de laboratório e também em campo. Porém, a maioria dos trabalhos nesse sentido são associados também ao uso de gesso agrícola ou outros condicionadores orgânicos que têm sido frequentemente testados como: esterco bovino e de aves, lodo de esgoto, compostos orgânicos, composto de lodo de cervejaria, etc. Ainda há uma carência de trabalhos abordando o uso de resíduo puro para culturas agrícolas, em condições tropicais, na maioria das vezes condicionado ao alto teor de  $\text{Na}^+$  contido nesse material, que tende a levar a danos às plantas, quando mal manejado. Com isso, este trabalho foi desenvolvido com o objetivo de se avaliar o potencial de uso do resíduo alcalino de bauxita como condicionador de solos representativos da região do entorno da planta da Alumar no Maranhão.

## 2 MATERIAL E MÉTODOS

### 2.1 Obtenção do material

O produto foi obtido da fábrica do Consórcio de Alumínio do Maranhão (Alumar) em São Luís-MA a partir de seu processo de extração de alumina da bauxita através da tecnologia conhecida como processo Bayer (ALUMAR, 2005) (Figura 1). Foi transportado para o Rio de Janeiro, onde foi estocado e procedidas as avaliações na EMBRAPA- Centro Nacional de Pesquisa de Agrobiologia.



**Figura 1.** Fluxograma do processo de produção do resíduo alcalino do refino de bauxita da fábrica da Alumar- São Luís-MA, cedido por esta.

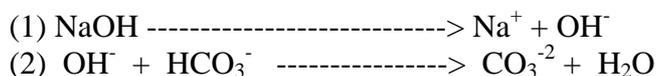
### 2.2 Tratamento do resíduo na Alumar

O resíduo de bauxita, apresenta elevado pH e sodicidade, o que dificulta o estabelecimento de plantas sobre este material “in natura”. Tentando minimizar essas características, foi necessário lançar mão de alternativas que pudessem reduzir esse problema. Para isso, na primeira fase do estudo foi feito o tratamento do material a partir da lavagem do resíduo “in natura” com água do mar, na proporção de 1:40 partes de água. Essa etapa foi realizada pela Alumar em parceria com a UEMA.

O tratamento do resíduo teve como objetivo determinar a relação mínima entre o volume de água do mar e a massa de resíduo de bauxita que, quando misturados, produzissem um efluente com  $\text{pH} < 9,00$ , no processo de neutralização. Para isso, o resíduo foi colocado em um tanque de concreto, equipado com um sistema de paletas acionadas por um motor, com a finalidade de manter uma agitação constante da água e do resíduo adicionado. O material foi mantido em agitação constante por 96 horas, seguido de repouso por 24 horas. A partir daí, o sobrenadante foi coletado por aspiração, ficando apenas o resíduo denominado como “tratado”. É importante ressaltar que as características da água do mar variam em função do local de coleta, o que pode afetar as características finais do resíduo tratado no processo de

neutralização. A capacidade de neutralização da água do mar está ligada aos bicarbonatos presentes na mesma, principalmente de sódio, magnésio e cálcio. O processo pode ser representado pelas equações abaixo:

Neutralização da soda cáustica com bicarbonato:



Reações com a formação de precipitados:



A neutralização pela água do mar se dá até a extensão onde atua o tampão carbonato/bicarbonato, formado pelo bicarbonato da água do mar e pelo carbonato existente nos efluentes e pelo carbonato formado nas equações 2 e 5. Nessa situação, ocorre a formação de um tampão, estabilizando o pH em torno de 8,6 a 8,9 (ALUMAR, 2005)

O resíduo não tratado utilizado no experimento foi coletado na forma que o mesmo sai do Processo Bayer.

### 2.3 Caracterização química, física e microbiológica do resíduo

Estas análises foram feitas em conjunto com o Laboratório de Análise de Solo e Plantas do Centro Nacional de Pesquisa em Solos- RJ (Embrapa Solos). Para se efetuar a caracterização, foram retiradas 3 amostras do resíduo na saída do processo de produção da alumina (resíduo não tratado) e do resíduo após tratamento como descrito em 2.2 (resíduo tratado). Após secagem ao ar em temperatura ambiente, o resíduo foi peneirado. Em seguida, foi feita a análise granulométrica (EMBRAPA, 1997). Foram quantificados nutrientes e metais pesados totais das amostras (N, P, K, Ca, Mg, Fe, Zn, Cu, Co, Na, Mn, Ni e Pb). Estes foram determinados após digestão sulfúrica e nitro-perclórica das amostras, segundo EMBRAPA, (1997).

Para fins de análise microbiológica, das amostras dos resíduos coletadas e secas foram retiradas sub-amostras de 10 g que foram maceradas na proporção de 10% (peso / volume) em solução salina (DÖBEREINER et al.,1995). A partir desse extrato foram feitas diluições sucessivas e de cada diluição foram retiradas alíquotas de 0,1 mL e inoculadas em placas contendo os meios de cultivo sólidos, os quais foram caldo nutritivo (Meio C), apropriado para o crescimento de microrganismos pouco exigentes (SILVA, 2003), e meio para isolamento das bactérias do ferro (Meio I), usado para isolar bactérias que realizam a oxidação de íons ferrosos e produzem ácido sulfúrico (GREENBERG, 1992). Em seguida este material foi incubado a 30°C, por 48 horas, quando foi feita a avaliação do crescimento e quantificada a população total de bactérias (nº de células viáveis), através da contagem do número de colônias presentes na diluição multiplicado pelo fator de diluição correspondente e pelo volume da amostra (no caso de 0,1mL; correspondente ao fator 10), segundo a metodologia descrita por DÖBEREINER et al. (1995).

### 2.4 Definição das curvas de neutralização

O estudo das curvas de neutralização teve por objetivo avaliar o efeito reativo do material sobre a capacidade tampão do solo e determinar o efeito das doses crescentes sobre o pH. O experimento, foi montado, usando-se a camada superficial (0-20 cm) de um Planossolo

coletado em Seropédica-RJ e avaliou-se o efeito de doses de resíduos tratado e não tratado na alteração do pH. O solo foi seco ao ar, peneirado e feita a análise química (Tabela 2).

**Tabela 2.** Análise química do Planossolo, coletado em Seropédica-RJ.

pH em água	Al <sup>+3</sup>	Ca+Mg	Ca <sup>+2</sup>	Mg <sup>+2</sup>	P	K <sup>+</sup>
	-----cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> -----				-----mg dm <sup>-3</sup> -----	
4,7	0,4	1,0	0,6	0,4	4	37

pH<sub>água</sub>; Al; Ca; Mg; P e K – EMBRAPA-(1997).

Na instalação do experimento foram utilizados recipientes de polietileno contendo 500 g do Planossolo, adicionado do resíduo de refino de bauxita. Os recipientes foram vedados com parafilme. A mistura foi umedecida com água destilada até a capacidade de campo, determinada através do cálculo da umidade gravimétrica (Ug %) média do solo (Ug%=Pu-Ps/Ps\*100), onde Pu= peso úmido e Ps= peso seco (MALAVOLTA, 1976). O material permaneceu incubado durante 60 dias, período em que foram realizadas leituras de pH em água, na proporção de 1:2,5 (EMBRAPA, 1997), sendo que as quatro primeiras foram feitas a cada 2 dias, as duas seguintes a cada 5 dias, foi feita mais uma, 10 dias depois e as duas finais com intervalo de 16 dias totalizando 9 determinações.

O experimento foi montado em delineamento inteiramente casualizado, no esquema fatorial 2 x 13 (2 tipos de resíduo x 13 doses), com 3 repetições. As doses de resíduo aplicadas no experimento foram 0; 0,25; 0,50; 0,75; 1,00; 1,25; 2,50; 3,75; 5,00; 7,5; 12,50; 25,00 e 50,00 g 0,5 kg<sup>-1</sup>, que correspondem, respectivamente aos valores de 0; 1; 2; 3; 4; 5; 10; 15; 20; 30; 50; 100 e 200 Mg ha<sup>-1</sup>.

Ao final do experimento, selecionaram-se as dosagens de resíduo que permitiam ao planossolo atingir um pH mais próximo da faixa considerada adequada para a maioria das culturas, ou seja, entre 5,8 e 6,5 (MALAVOLTA, 1980). Além do pH, também avaliou-se os teores de N, P, K, Ca, Mg, C e matéria orgânica, e mediu-se a condutividade elétrica (CE) a 25 °C da solução extraída do substrato, além dos teores de sódio e a CTC do solo após a aplicação do resíduo, no término do experimento (EMBRAPA, 1997).

## 2.5 Efeito do resíduo nas propriedades do solo e no desenvolvimento das plantas

Este ensaio foi realizado em vasos expostos ao ambiente na Embrapa Agrobiologia, Seropédica-RJ (Figura 2), utilizando-se um Planossolo e um Argissolo, coletados em Seropédica-RJ e Pinheiral-RJ, respectivamente (Tabela 3). Os solos foram secos ao ar, peneirados e analisados segundo EMBRAPA (1997), quanto ao pH, Al e aos teores de nutrientes (N, P, K, Ca e Mg), carbono orgânico e de matéria orgânica.

**Tabela 3.** Características químicas do Planossolo e do Argissolo usados no experimento

Solo	pH	Análise química dos solos						
		Al <sup>+3</sup>	Ca <sup>+2</sup> +Mg <sup>+2</sup>	P	K <sup>+</sup>	C	MO	N
		-----cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> ---		---mg dm <sup>-3</sup> --		-----g kg <sup>-1</sup> -----		
<b>Planossolo</b>	4,7	0,43	1,00	4	37	4,03	6,93	0,523
<b>Argissolo</b>	4,3	0,73	0,70	3	23	2,35	4,04	0,445

N - Método Kjeldahl (ALVES et al., 1994); C – Carbono orgânico método WALKLEY & BLACK; pH<sub>água</sub>; Al; Ca; Mg; P e K – EMBRAPA (1997).



**Figura 2.** Vista parcial da disposição do experimento aos 10 dias montado em vasos com Planossolo e Argissolo expostos ao ambiente.

Foram colocados 4 kg de solo em vasos plásticos, misturados aos três tratamentos (resíduo do refino de bauxita tratado com água do mar, resíduo não tratado e calcário dolomítico-PRNT 80 %). Este foi usado para comparação, uma vez que é considerado padrão em relação à correção de solos (INSTITUTO DA POTASSA E DO FOSFATO, 1998). Como adubação de plantio foram aplicados o equivalente a 50 kg de N, 60 kg de K<sub>2</sub>O, 90 kg de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> e 30 kg de FTE BR12 por ha, de forma localizada em cada vaso (DE-POLLI & ALMEIDA, 1988). Após o preparo destes, o solo foi irrigado e semeado 5 dias após com as plantas bioindicadoras braquiária (*Brachiaria brizantha*) e o feijão comum (*Phaseolus vulgaris*) cultivar carioca. O feijão foi inoculado com a mistura das estirpes BR 322 e BR 320, segundo recomendação do Centro Nacional de Pesquisa de Agrobiologia.

Adotou-se o delineamento de blocos ao acaso, em esquema fatorial 2 x 3 x 5, sendo 2 tipos de solo x 3 materiais (calcário, resíduos tratado e não tratado) x 5 doses de cada material (0; 1; 2,5; 5 e 10 Mg ha<sup>-1</sup>), com 4 repetições.

O feijão foi colhido após 50 dias de instalação do experimento, com as plantas iniciando seu estágio floral, e avaliou-se a matéria seca de parte aérea e raízes. A primeira avaliação da braquiária também foi feita após 50 dias, através de um corte a 10 cm da superfície do solo, avaliando-se a matéria seca da parte aérea e o número de perfilhos. O segundo corte da braquiária foi feito aos 120 e o terceiro aos 190 dias após o plantio nas mesmas condições do corte anterior. As plantas foram secas em estufa de circulação de ar a 65°C, até peso constante.

Ao final do experimento (50 dias para o feijão e 190 dias para a braquiária), quantificou-se os teores de nutrientes (Ca, Mg, P, K) das plantas e dos solos e nesse último também foi determinado o pH e Al, segundo EMBRAPA (1997).

## **2.6 Efeito do resíduo alcalino de bauxita no comportamento de bactérias no solo**

Considerando o delineamento adotado no experimento anterior, foram coletados amostras de solo aos 20 e aos 50 dias (final do experimento) dos vasos com feijoeiro e aos 20 e aos 190 dias (final do experimento) com braquiária, nos dois solos, com os três tratamentos, porém usando apenas as doses 0 e 5 Mg ha<sup>-1</sup>. Das amostras de solo coletadas e secas foram retiradas sub-amostras de 10 g que foram maceradas na proporção de 10% (peso / volume) em solução salina (DÖBEREINER et al., 1995). A partir desse extrato foram feitas diluições sucessivas de 10<sup>-1</sup> a 10<sup>-7</sup> e de cada diluição foram retiradas alíquotas de 0,1 mL e inoculadas em placas contendo os meios de cultivo sólidos: caldo nutritivo (Meio C), apropriado para o crescimento de microrganismos pouco exigentes (SILVA, 2003) e meio para isolamento das bactérias do ferro (Meio I) usado para isolar bactérias que realizam a oxidação de íons ferrosos e produzem ácido sulfúrico (GREENBERG, 1992). Em seguida este material foi incubado a 30°C, por 48 horas, quando foi feita a avaliação do crescimento e quantificada a população total de bactérias (nº de células), através da contagem do número de colônias presentes na diluição, multiplicado pelo fator de diluição correspondente e pelo volume da amostra (no caso de 0,1mL; correspondente ao fator 10), segundo a metodologia descrita por DÖBEREINER et al. (1995).

## **2.7 Análise estatística dos dados**

O dados foram analisados através do pacote estatístico Sisvar, UFLavras-MG. No primeiro experimento, relativo às curvas de neutralização do resíduo, foram feitas análises de variância comparando os dois resíduos, e uma regressão para avaliar as alterações nas características do solo em função das doses de resíduo adicionado. No segundo experimento, relativo à avaliação dos efeitos do resíduo no solo e nas plantas, foram feitas análises de variância e teste de médias comparando os dois solos e os resíduos e o calcário em todos os parâmetros, pelo teste de Scott Knott e regressões para avaliar a resposta dos tratamentos na produção de biomassa e variação das características do solo e das plantas em função das doses aplicadas. Para os dados de microbiologia foi feita análise de variância, comparando o efeito dos resíduos nas doses 0 e 5 Mg ha<sup>-1</sup>.

### 3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

#### 3.1 Caracterização física do resíduo alcalino de bauxita

Os resultados obtidos mostram que há uma predominância no resíduo, de partículas de tamanho equivalente ao silte. A pequena variação na granulometria em função do tratamento com resíduo, pode ser atribuído a não recuperação plena do resíduo colocado antes do tratamento, o que pode ter alterado a proporção entre as frações, uma vez que no sobrenadante que é retirado por aspiração pode levar partículas de menor tamanho junto com a água. Aliado a isso, a raspagem final do tanque de concreto sempre deixa algum resíduo, que possivelmente não são recuperados. Outra possibilidade é que em pH acima de 10, ocorre a floculação de argila, nessa situação esta pode ser contabilizada como partículas do diâmetro das frações areia e/ou silte, através da metodologia utilizada em questão (PEREIRA, 2005) (Tabela 4).

**Tabela 4.** Composição granulométrica do resíduo de bauxita não tratado e tratado com água do mar com base no diâmetro das partículas das frações argila, silte e areia.

	Teores (g kg <sup>-1</sup> )		
	< 0,002 mm	0,002-0,05 mm	> 0,05 mm
Tratado	91	787	122
Não tratado	60	844	96

#### 3.2 Caracterização química do resíduo alcalino de bauxita

A caracterização química de qualquer produto a ser aplicado na agricultura é importante para se avaliar a possibilidade de fornecimento de nutrientes para as plantas, e melhoria da qualidade do solo ou a contaminação por elementos poluentes. O resíduo de bauxita além de apresentar teores altos de sódio e uma alta alcalinidade, o que pode restringir seu uso em grande quantidade, também apresenta baixos teores de nutrientes de modo geral (Tabela 5).

**Tabela 5.** Efeito do tratamento com água do mar no pH, CE, Na<sup>+</sup>, teores de nutrientes e metais pesados no resíduo alcalino de bauxita.

Elementos	Características	
	Resíduo não tratado	Resíduo tratado
pH em água	12,30	8,90
CE (dS m <sup>-1</sup> )	26,44	26,86
Na <sup>+</sup> (cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> )	89,51	69,03
Ca <sup>+2</sup> + Mg <sup>+2</sup> (cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> )	0,4	9,5
Ca <sup>+2</sup> (cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> )	----	7,9
Mg <sup>+2</sup> (cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> )	----	1,6
Al <sup>+3</sup> (cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> )	----	---
P (mg dm <sup>-3</sup> )	----	---
K <sup>+</sup> (mg dm <sup>-3</sup> )	54	350
N (g kg <sup>-1</sup> )	0,05	0,05
Mn <sup>+2</sup> (g kg <sup>-1</sup> )	0,01	0,02
Fe <sup>+2</sup> (g kg <sup>-1</sup> )	44,77	45,00
Zn <sup>+2</sup> (g kg <sup>-1</sup> )	0,01	0,02
Co <sup>+2</sup> (g kg <sup>-1</sup> )	0,01	0,01
Cd <sup>+2</sup> (g kg <sup>-1</sup> )	0,01	0,01
Cr <sup>+1</sup> (g kg <sup>-1</sup> )	0,13	0,13
Ni <sup>+2</sup> (g kg <sup>-1</sup> )	0,03	0,03
Pb (g kg <sup>-1</sup> )	0,02	---
Cu <sup>+2</sup> (g kg <sup>-1</sup> )	---	---

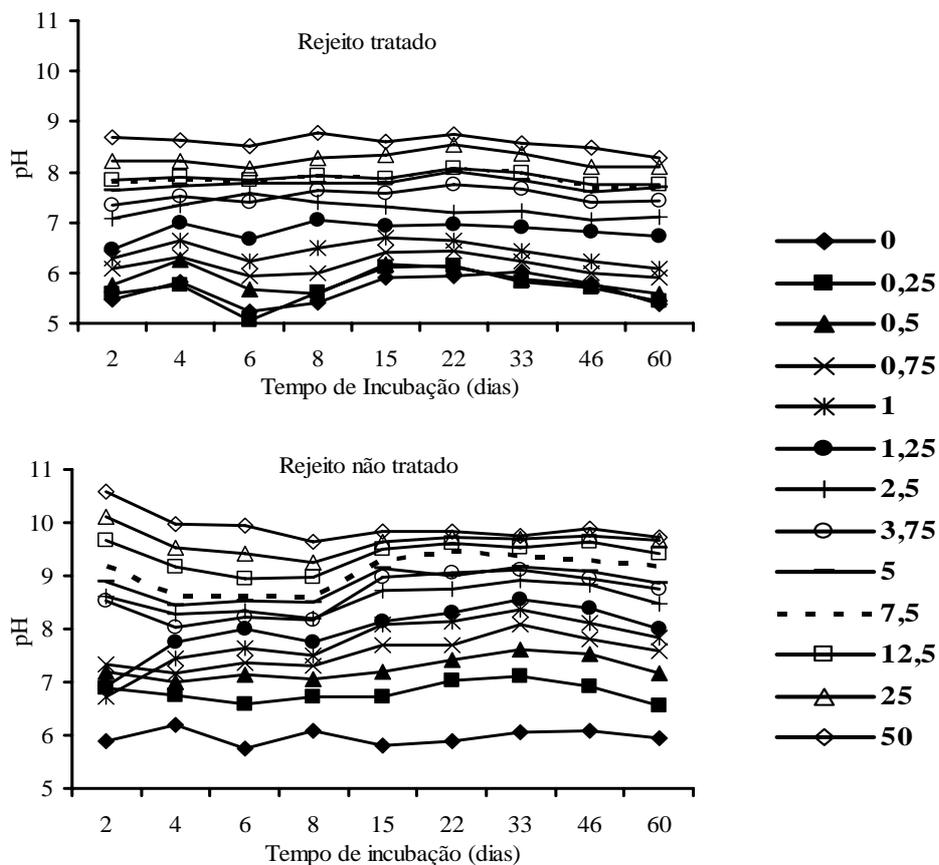
N - Método Kjeldahl (ALVES et al., 1994); pH<sub>água</sub>; Al; Ca; Mg; P, K e Na – EMBRAPA- (1997), Mn, Fe, Zn, Co, Cd, Cr, Ni, Pb, Cu – espectrometria de emissão atômica por plasma (ICP-OES).

--- valores abaixo do nível de detecção pela metodologia utilizada.

No entanto, o tratamento com água do mar favoreceu algumas características como diminuição do pH, aumento considerável dos teores de K<sup>+</sup>, Ca<sup>+2</sup>, Mg<sup>+2</sup>, Zn<sup>+2</sup> e Mn<sup>+2</sup> e redução do sódio em 23% no material tratado, quando comparado ao não tratado. O aumento desses teores devido à lavagem com a água do mar é considerado benéfico, visto que estes elementos são nutrientes essenciais para as plantas. Além disso, houve uma redução nos teores de Na<sup>+</sup> que em altas concentrações são tóxicos às plantas. Todos os metais pesados analisados encontraram-se abaixo do limite permitido pelas normas da ABNT (1987) e suas concentrações não foram modificadas pelo tratamento com água do mar, exceto o Pb que ficou em níveis não detectáveis pela metodologia aplicada, após o tratamento.

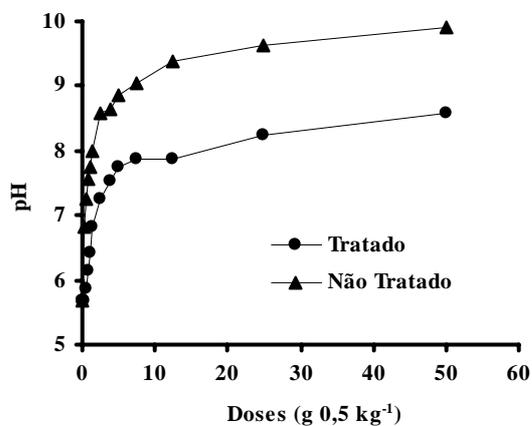
### 3.3 Curva de neutralização do solo com resíduo tratado e não tratado

Após a caracterização do material, procedeu-se aos estudos das curvas de neutralização que demonstram que o resíduo de bauxita é um material bastante reativo, provocando alterações no pH do solo mesmo em pequenas doses, já nas primeiras 48 horas. Houve uma tendência à estabilização do pH alterado, sendo que os tratamentos com doses mais elevadas alcançaram a estabilidade mais cedo e por mais tempo (Figura 3). Essa rápida elevação de pH do solo ocorre devido à ação do bicarbonato contido no resíduo e também devido ao efeito de diluição em função das diferenças entre o pH do solo e o do resíduo.



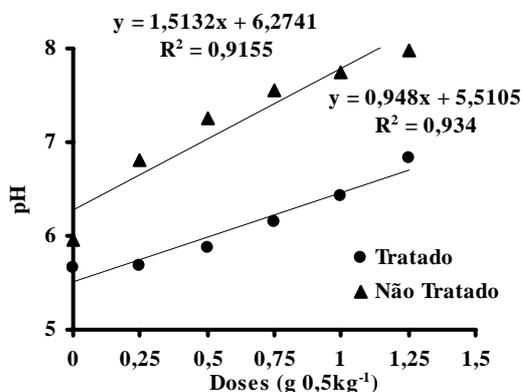
**Figura 3.** Efeito das doses de resíduo de refino de bauxita tratado e não tratado com água do mar ( $g\ 0,5\ kg^{-1}$ ), na alteração do pH de um Planossolo em função do tempo de incubação.

Considerando-se o efeito médio das doses, nota-se que o pH dos resíduos não tratado e tratado apresentou um comportamento linear positivo logo nas primeiras doses, de modo que um pequeno acréscimo na dose provocou alteração similar na elevação de pH, tendendo à estabilidade a partir da dose  $16\ g\ 0,5\ kg^{-1}$  de solo equivalente a  $64\ Mg\ ha^{-1}$  (Figura 4).



**Figura 4.** pH do solo em função das doses dos resíduos tratado e não tratado com água do mar ( $g\ 0,5\ kg^{-1}$  de Planossolo), considerando-se o efeito médio das doses.

Esse comportamento pode ser melhor visualizado considerando-se apenas os tratamentos com as menores doses de resíduo, onde nota-se que a aplicação de 1,25 g 0,5 kg<sup>-1</sup> de resíduo tratado e aproximadamente 0,4 g 0,5 kg<sup>-1</sup> de resíduo não tratado já proporciona uma elevação do pH desse Planossolo para uma faixa de 7,0 (Figura 5).



**Figura 5.** Efeito linear do pH do solo em função das doses dos resíduos tratado e não tratado com água do mar (g 0,5 kg<sup>-1</sup> de Planossolo), considerando-se o efeito médio das doses.

Para se chegar a um pH na faixa entre 5,5 a 6,5 usando resíduo tratado, a dose recomendada seria de no máximo 4 Mg ha<sup>-1</sup> e usando o resíduo não tratado, seria de até 1 Mg ha<sup>-1</sup> para o Planossolo estudado. Deve-se ressaltar que o elevado teor de fração areia e o baixo teor de matéria orgânica, faz com que essa classe de solo tenha baixo poder tampão, o que permite que baixas doses de resíduo sejam capazes de provocar grandes alterações no pH do solo. Assim, como o resíduo de bauxita apresenta um pH bastante superior ao do solo (10<sup>4</sup> a 10<sup>7</sup> vezes maior), há um aumento no pH pelo poder de neutralização do resíduo, mas também pelo efeito da diluição. Nestas condições ocorrerá uma neutralização do alumínio tóxico e o aumento da disponibilidade de P e de outros nutrientes no solo.

A aplicação dos resíduos contribuiu para a elevação do pH do solo em função de cada tratamento, com valores maiores para o resíduo não tratado, que apresenta maior pH, mas também apresentaram uma tendência à redução nos teores de C e Matéria Orgânica quando se usou o resíduo não tratado no Planossolo testado (Tabela 6). Deve-se destacar que esse comportamento do carbono (C) do solo só foi observado no resíduo não tratado, indicando melhoria na qualidade do resíduo com o tratamento com água do mar, uma vez que a redução do pH tornou o material com características menos adversas do ponto químico.

**Tabela 6.** Efeito da adição de resíduo tratado e não tratado com água do mar no pH e teores de N, C e matéria orgânica (M.O.) de um Planossolo, após 60 dias de incubação.

Dose do resíduo g 0,5kg <sup>-1</sup>	pH em água		N		C		M.O.	
	-----g kg <sup>-1</sup> -----							
Tipo de resíduo								
	N Tratado	Tratado	N Tratado	Tratado	N Tratado	Tratado	N Tratado	Tratado
<b>0,00</b>	5,32Af	5,32Ad	0,33Aa	0,33Aa	3,60Aa	3,60Aa	6,2Aa	6,2Aa
<b>0,25</b>	5,90Ae	4,93Bf	0,37Aa	0,42Aa	3,10Aa	4,70Aa	5,3Ba	8,1Aa
<b>0,50</b>	6,87Ad	5,13Be	0,35Aa	0,44Aa	3,00Aa	4,30Aa	5,2Ba	7,4Aa
<b>0,75</b>	7,07Ac	5,60Bc	0,33Aa	0,42Aa	2,90Ba	5,40Aa	5,0Ba	9,3Aa
<b>1,25</b>	7,87Ab	6,47Bb	0,36Aa	0,43Aa	2,60Aa	3,30Aa	4,5Aa	5,7Aa
<b>2,50</b>	8,37Aa	7,03Ba	0,37Aa	0,45Aa	2,20Aa	3,90Aa	3,8Ba	6,7Aa
<b>CV (%)</b>	4,90		18,20		27,12		26,9	

Médias seguidas de uma mesma letra maiúscula, nas linhas, comparando os resíduos em cada dose para cada elemento e seguidas de uma mesma letra minúscula, nas colunas, comparando as doses em cada resíduo, não diferem entre si pelo Teste de Scott Knott a 5%.

N - Método Kjeldahl (ALVES et al., 1994); C - Carbono orgânico método WALKLEY & BLACK; pH<sub>água</sub> - EMBRAPA- (1997).

Onde se aplicou o resíduo tratado, houve um maior acréscimo de Ca, Mg e K, condicionados pelos seus maiores teores contidos nesse resíduo, aumentando sua disponibilidade no solo, de forma significativa entre os resíduos, em quase todas as doses. A elevação dos teores de Mg por parte dos dois resíduos é considerável, porém como praticamente isso não ocorreu para o Ca, os valores tornam a relação Ca:Mg, ideal na faixa de 4:1, desequilibrada, o que indica a necessidade de correções adicionais desta relação (Tabela 7).

Quando avalia-se o P, nota-se uma maior disponibilidade quando se usou o resíduo não tratado, embora esses valores não tenham aumentado com as maiores doses do resíduo aplicado no solo. A maior alteração de pH com uso desse resíduo, parece ter sido a maior responsável por esses valores.

Não foram detectados valores de Al<sup>3+</sup> disponível no solo após o período de incubação, nem no tratamento sem resíduo (dose 0), apresentando valor 0 em todos os tratamentos possivelmente em função do aumento do pH, em função da saturação do solo.

**Tabela 7.** Efeito da adição de resíduo tratado e não tratado com água do mar nos teores de nutrientes disponíveis em um Planossolo após 60 dias de incubação.

Dose do resíduo g 0,5kg <sup>-1</sup>	Al <sup>+3</sup>		Ca <sup>+2</sup>		Mg <sup>+2</sup>		P		K <sup>+</sup>	
	-----cmolc dm <sup>-3</sup> -----									
Tipo de resíduo										
	N Tratado	Tratado	N Tratado	Tratado	N Tratado	Tratado	N Tratado	Tratado	N Tratado	Tratado
<b>0,00</b>	0	0	1,00Aa	1,00Aa	0,50Ab	0,50Ae	5Ad	5Ab	20Aa	20Aa
<b>0,25</b>	0	0	1,00Ba	1,57Aa	0,57Ba	0,80Ad	16Ac	4Bc	17Ba	29Aa
<b>0,50</b>	0	0	0,97Ba	1,67Aa	0,50Bb	0,90Ab	23Aa	4Bc	15Ba	27Aa
<b>0,75</b>	0	0	0,97Ba	1,57Aa	0,40Bd	0,87Ac	19Ab	5Bb	16Ba	30Aa
<b>1,25</b>	0	0	1,00Aa	1,33Aa	0,37Be	1,03Aa	16Ac	5Bb	20Aa	26Aa
<b>2,50</b>	0	0	0,93Ba	1,47Aa	0,43Bc	1,03Aa	6Ad	6Aa	20Ba	31Aa
<b>CV (%)</b>	-	-	13,07		19,21		20,61		10,10	

Médias seguidas de uma mesma letra maiúscula, nas linhas, comparando os resíduos em cada dose para cada elemento e seguidas de uma mesma letra minúscula, nas colunas, comparando as doses em cada resíduo, não diferem entre si pelo Teste de Scott Knott a 5%.

Ca; Mg; P e K - EMBRAPA- (1997).

O valor T do solo não apresentou diferença significativa entre os dois tipos de resíduos adicionados, embora esta tenha aumentado em função das doses, pelo que parece, devido ao aumento da concentração de sódio, influenciando no cálculo do valor T, o que não é benéfico, devido aos riscos que isso implica (Tabela 8). Segundo GHEYI et al. (2005), a CTC inicial se caracteriza como uma das propriedades mais importantes dos solos no controle do aumento da condutividade elétrica (CE) quando do aumento brusco na concentração de sais solúveis, visto que ela não reflete apenas o teor de argila e matéria orgânica, mas também o tipo de argila e a concentração de bases presentes. Isso explica o aumento mais acentuado nos valores de CE no resíduo tratado, que embora apresente menor teor de  $\text{Na}^+$ , é mais rico em  $\text{Mg}^{+2}$  e  $\text{K}^+$  (Tabela 7 e 8).

**Tabela 8.** Efeito da adição de resíduo tratado e não tratado com água do mar no teor de sódio ( $\text{Na}^+$ ), valor T, porcentagem de sódio trocável (PST) e condutividade elétrica (CE) em um Planossolo após 60 dias de incubação. Média de três repetições.

Dose do resíduo g 0,5kg <sup>-1</sup>	$\text{Na}^+$		T <sup>(1)</sup>		PST <sup>(2)</sup>		CE	
	-----cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> -----				(%)		(dS m <sup>-1</sup> )	
	Tipo de resíduo							
	N Tratado	Tratado	N Tratado	Tratado	N Tratado	Tratado	N Tratado	Tratado
<b>0,00</b>	0,03Af	0,03Af	3,24Ad	3,24Af	0,93Af	0,93Af	0,32Af	0,32 Af
<b>0,25</b>	0,14Ae	0,12Ae	3,38Ab	4,17Ad	4,14Ae	2,88Be	0,65Ae	0,36 Be
<b>0,50</b>	0,27Ad	0,20Bd	3,24Ad	4,44Ac	8,33Ad	4,50Bd	0,70Ad	0,41Bd
<b>0,75</b>	0,39Ac	0,28Bc	3,01Ae	4,07Ae	12,96Ac	6,88Bc	0,74 Ac	0,50 Bc
<b>1,25</b>	0,71Ab	0,65Bb	3,35Ac	4,49Ab	21,19Ab	14,48Bb	1,03Ab	0,70Bb
<b>2,50</b>	1,43Aa	0,85Ba	4,07Aa	4,91Aa	35,14Aa	17,31Ba	1,50 Aa	0,95Ba
<b>CV(%)</b>	13,68		6,32		12,31		17,10	

Médias seguidas de uma mesma letra maiúscula, nas linhas, comparando os resíduos em cada dose para cada elemento e seguidas de uma mesma letra minúscula, nas colunas, comparando as doses em cada resíduo, não diferem entre si pelo Teste de Scott Knott a 5%.

(1) T = soma de bases ( $\text{Ca}^{+2} + \text{Mg}^{+2} + \text{K}^+ + \text{Na}^+$ ) + acidez potencial (H + Al). (2) PST = ( $\text{Na}^+ / \text{CTC}$ ) x 100. (3) CE = Condutividade elétrica da pasta saturada (dS m<sup>-1</sup>)  $\text{Na}^+$  - EMBRAPA (1997).

A Percentagem de Sódio Trocável (PST) aumentou conforme aumentaram as doses dos resíduos, mas foi menor após o tratamento do resíduo com a água do mar. Segundo MALAVOLTA (1976), a PST máxima tolerável para uma cultura vegetal, em média, é de 15 %. Assim, avaliando a aplicação do resíduo tratado no Planossolo, pode se dizer que doses acima de 1,25 g 0,5 kg<sup>-1</sup> equivalentes a 5 Mg ha<sup>-1</sup> não devem ser utilizadas nessa classe de solo. Para o resíduo não tratado, esse valor é de 0,75 g 0,5 kg<sup>-1</sup> equivalentes a 3 Mg ha<sup>-1</sup>.

A redução nos teores de sódio com a lavagem com água do mar foi de 23% e essa diminuição refletiu nos valores encontrados na mistura solo com resíduo tratado. No entanto, esses valores ainda foram altos o que limita a quantidade de resíduo que pode ser adicionado ao solo e sugere a necessidade de se buscar alternativas para diminuir os teores deste elemento nos resíduos, uma vez que pode ocorrer aumento da salinidade do solo, resultando em redução do potencial osmótico da água no solo, o que pode acarretar na morte das plantas (CRAMER et al., 1985 apud GHEYI et al., 2005). Em contrapartida, o aumento nos teores de  $\text{K}^+$ ,  $\text{Ca}^{+2}$  e  $\text{Mg}^{+2}$  e a redução do pH com o tratamento com água do mar foram significativos e justificaram o tratamento, uma vez que apresentaram reflexo direto no solo.

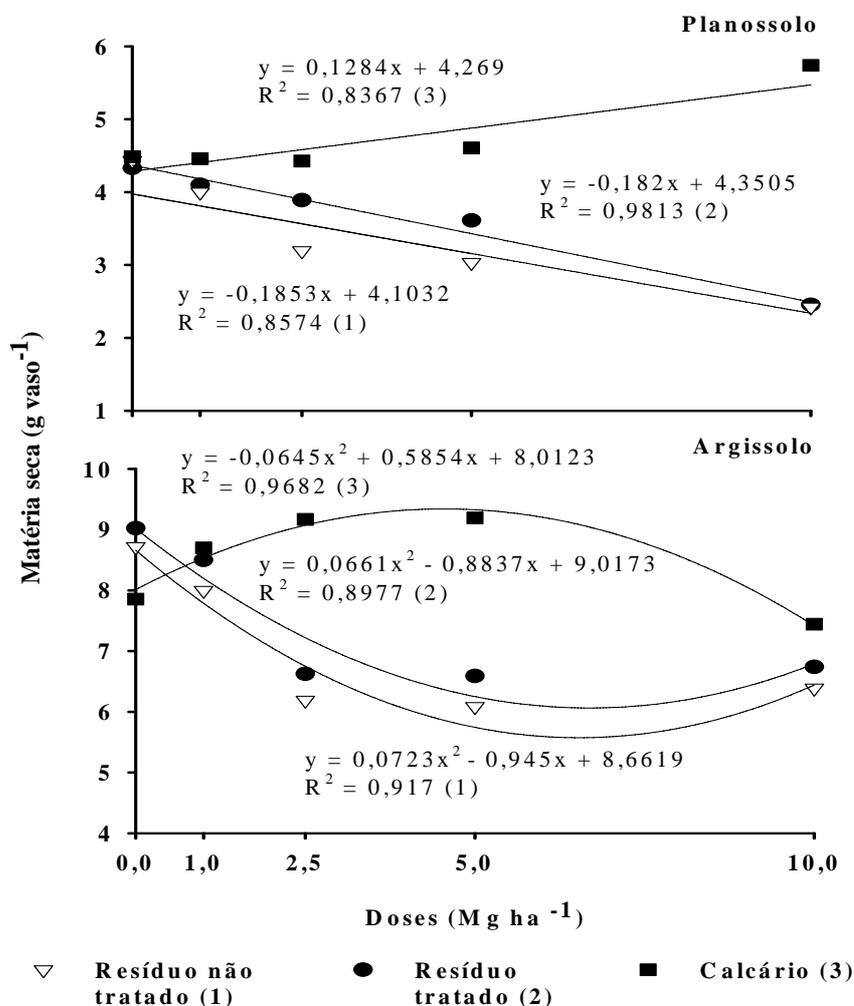
### 3.4 Efeito do resíduo da produção de alumina nas propriedades do solo e no desenvolvimento das plantas

#### 3.4.1 Feijão

A aplicação dos resíduos acarretou a redução da biomassa do feijoeiro, principalmente no Planossolo, uma vez que esta cultura é muito sensível ao aumento da salinidade e da condutividade elétrica do solo (REICHARDT, 1990). A curva de resposta em biomassa em função das doses de resíduos e calcário apresenta um comportamento linear (Figura 6).

A redução foi de 44 % em biomassa quando se usou as maiores doses do resíduo tratado e não tratado (10 Mg ha<sup>-1</sup>). Segundo REICHARDT (1990), a produção do feijoeiro é afetada diretamente pela CE a partir de 1,5 dS m<sup>-1</sup>, valor esse encontrado, de acordo com os resultados da curva de neutralização, a partir da dose 10 Mg ha<sup>-1</sup> no resíduo não tratado (Tabela 8).

Já a adição de calcário dolomítico favoreceu a produção de biomassa do feijão, exceto na dose mais alta do Argissolo, que resultou em diminuição da produção de biomassa.



**Figura 6.** Efeito da adição de resíduo da produção de alumina tratado e não tratado com água do mar na produção de biomassa do feijoeiro em Planossolo e Argissolo.

As plantas desenvolvidas no Planossolo, apresentaram maiores teores de P e Ca, quando comparadas às plantas crescidas no Argissolo, com exceção do tratamento com

calcário, onde se encontrou os maiores valores de Ca. Foram encontrados maiores teores de K na matéria seca do feijoeiro quando foram usados os tratamentos resíduo não tratado e calcário no Planossolo e calcário no Argissolo. O N e o Mg se apresentaram muito variáveis na planta, não apresentando relação com os tratamentos ou com os teores disponíveis no solo (Tabela 9).

**Tabela 9.** Efeito da adição de resíduo da produção de alumina tratado e não tratado com água do mar nos teores de nutrientes na matéria seca de parte aérea de feijão em Planossolo e Argissolo, após 50 dias de experimento.

Solo	Produto	Dose Mg ha <sup>-1</sup>	N	P	K <sup>+</sup> g kg <sup>-1</sup>	Ca <sup>+2</sup>	Mg <sup>+2</sup>
Planossolo	Testemunha	0,0	21,18 Aa	2,00 Aa	11,00 Aa	13,05 Aa	3,45 Ab
	Resíduo tratado	1,0	16,19 Aa	1,28 Ba	10,17 Ba	17,13 Aa	3,33 Ab
		2,5	17,03 Aa	1,58 Aa	11,67 Ba	16,08 Aa	4,07 Ab
		5,0	16,17 Aa	1,56 Ba	11,83 Aa	14,13 Ba	6,08 Aa
		10,0	18,92 Ba	1,50 Aa	13,00 Aa	15,88 Ba	5,63 Aa
	Testemunha	0,0	21,18 Aa	2,00 Aa	11,00 Aa	13,05 Aa	3,45 Aa
	Resíduo não tratado	1,0	19,70 Aa	2,31 Aa	17,17 Aa	16,27 Aa	3,78 Aa
		2,5	18,26 Aa	2,04 Aa	16,33 Aa	17,42 Aa	4,02 Aa
		5,0	21,40 Aa	1,52 Bb	14,83 Aa	20,23 Ba	3,57 Ba
		10,0	20,51 Ba	1,63 Ab	16,33 Aa	20,55 Aa	3,65 Aa
	Testemunha	0,0	21,18 Ab	2,00 Aa	11,00 Aa	13,05 Aa	3,45 Aa
	Calcário	1,0	21,25 Ab	2,00 Aa	12,83 Ba	19,60 Aa	5,20 Aa
		2,5	18,81 Ab	1,69 Aa	11,50 Ba	19,93 Aa	4,85 Aa
		5,0	19,53 Ab	2,11 Aa	15,67 Aa	27,20 Aa	5,13 Aa
		10,0	26,40 Aa	2,07 Aa	15,17 Aa	24,48 Aa	4,63 Aa
Argissolo	Testemunha	0,0	18,10 Aa	0,90 Aa	12,50 Aa	8,90 Ab	1,55 Ab
	Resíduo tratado	1,0	23,43 Aa	0,79 Aa	13,33 Aa	13,72 Ab	1,98 Ab
		2,5	18,31 Ba	0,95 Aa	13,67 Aa	13,70 Aa	3,83 Aa
		5,0	20,57 Aa	0,69 Aa	12,50 Aa	8,35 Aa	3,75 Aa
		10,0	20,06 Aa	0,80 Aa	11,83 Ba	9,77 Ba	3,40 Ba
	Testemunha	0,0	18,10 Ab	0,90 Aa	12,50 Aa	8,90 Aa	1,55 Aa
	Resíduo não tratado	1,0	22,95 Aa	0,70 Aa	10,33 Aa	8,42 Aa	2,12 Aa
		2,5	24,42 Aa	0,62 Aa	12,17 Aa	10,87 Aa	2,58 Aa
		5,0	23,22 Aa	0,73 Aa	12,33 Aa	8,98 Aa	1,72 Aa
		10,0	17,64 Ab	0,80 Aa	11,83 Ba	11,03 Ba	1,87 Ba
	Testemunha	0,0	18,10 Aa	0,90 Aa	12,50 Ab	8,90 Ab	1,55 Ab
	Calcário	1,0	15,73 Ba	0,77 Aa	9,83 Ab	13,38 Ab	2,42 Ab
		2,5	20,62 Ba	1,11 Aa	14,00 Aa	15,67 Ab	3,12 Ab
		5,0	20,36 Aa	0,78 Aa	15,00 Aa	14,02 Ab	3,37 Ab
		10,0	23,27 Aa	0,96 Aa	16,17 Aa	24,30 Aa	5,45 Aa
CV (%)		14,21	23,99	17,86	24,84	35,10	

Médias seguidas de mesma letra maiúscula comparando na coluna dentro de cada solo, entre os resíduos em cada dose e médias seguidas de mesma letra minúscula comparando na coluna dentro de cada resíduo, entre as doses 0 a 10, não apresentam diferenças significativas, segundo Scott Knott a 5 %.

N - Método Kjeldahl (ALVES et al., 1994); Ca, Mg, P e K- EMBRAPA (1997).

Em relação as doses de cada material aplicado, destaca-se que os maiores teores de  $Mg^{+2}$  na planta foram encontrados no resíduo tratado, a partir da dose de 5  $Mg\ ha^{-1}$  e 2,5  $Mg\ ha^{-1}$  no Argissolo.

No caso do acúmulo de nutrientes na matéria seca do feijão, observa-se que esta acompanhou a produção de biomassa, uma vez que os teores não apresentaram grandes variações entre os tratamentos (Tabela 10).

**Tabela 10.** Efeito da adição de resíduo da produção de alumina tratado e não tratado com água do mar no acúmulo de nutrientes na matéria seca de parte aérea do feijão em Planossolo e Argissolo, após 50 dias de experimento.

Solo	Produto	Dose $Mg\ ha^{-1}$	MS g	N	P	$K^+$ mg planta <sup>-1</sup>	$Ca^{+2}$	$Mg^{+2}$
Planossolo	Resíduo tratado	0,0	4,33 Aa	91,73 Aa	8,66 Aa	47,64 Aa	56,52 Aa	14,94 Aa
		1,0	4,10 Aa	66,38 Aa	5,25 Bb	41,70 Aa	70,23 Aa	13,65 Aa
		2,5	3,89 Aa	66,24 Aa	6,15 Ab	45,39 Aa	62,55 Aa	15,83 Aa
		5,0	3,61 Aa	58,40 Aa	5,63 Bb	42,73 Ba	51,03 Ba	21,96 Aa
		10,0	2,45 Ba	46,42 Ba	3,68 Bb	31,90 Ba	38,97 Ba	13,81 Ba
	Resíduo não tratado	0,0	4,33 Aa	91,73 Aa	8,66 Aa	47,64 Aa	56,52 Aa	14,94 Aa
		1,0	4,00 Aa	78,80 Aa	9,24 Aa	68,68 Aa	65,08 Aa	15,12 Aa
		2,5	3,20 Aa	58,34 Ab	6,52 Ab	52,17 Aa	55,66 Aa	12,84 Aa
		5,0	3,03 Aa	64,94 Ab	4,61 Bb	45,00 Ba	61,39 Ba	10,83 Ba
		10,0	2,42 Ba	49,71 Bb	3,95 Bb	39,58 Ba	49,81 Ba	8,85 Ba
	Calcário	0,0	4,33 Aa	91,73 Ab	8,66 Aa	47,64 Ab	56,52 Ab	14,94 Aa
		1,0	4,46 Aa	94,78 Ab	8,92 Aa	57,22 Ab	87,42 Ab	23,19 Aa
		2,5	4,43 Aa	83,26 Ab	7,48 Aa	50,90 Ab	88,22 Ab	21,47 Aa
		5,0	4,61 Aa	89,97 Ab	9,72 Aa	72,19 Aa	125,31 Aa	23,63 Aa
		10,0	5,74 Aa	151,51 Aa	11,9 Aa	87,06 Aa	140,49 Aa	26,57 Aa
Argissolo	Resíduo tratado	0,0	8,72 Aa	157,83 Ab	7,85 Aa	109,00 Aa	77,61 Aa	13,52 Aa
		1,0	8,50 Aa	199,16 Aa	6,72 Aa	113,31 Aa	116,62 Aa	16,83 Aa
		2,5	6,63 Ba	121,32 Bb	6,29 Ba	90,57 Bb	90,77 Ba	25,38 Aa
		5,0	6,59 Ba	135,56 Bb	4,55 Aa	82,38 Bb	55,03 Ba	24,71 Aa
		10,0	6,74 Aa	135,20 Bb	5,39 Aa	79,73 Bb	65,85 Ba	22,92 Ba
	Resíduo não tratado	0,0	8,72 Aa	157,83 Aa	7,85 Aa	109,00 Aa	77,61 Aa	13,52 Aa
		1,0	8,00 Aa	183,60 Aa	5,60 Ab	82,64 Bb	67,36 Ba	16,96 Aa
		2,5	6,19 Bb	151,23 Ba	3,84 Bb	75,37 Bb	67,32 Ba	15,98 Aa
		5,0	6,09 Bb	141,35 Bb	4,44 Ab	75,06 Bb	54,67 Ba	10,47 Ba
		10,0	6,39 Ab	112,72 Bb	5,11 Ab	75,59 Bb	70,48 Ba	11,95 Ba
	Calcário	0,0	8,72 Aa	157,83 Ab	7,85 Ab	109,00 Ab	77,61 Ac	13,52 Ab
		1,0	8,70 Aa	136,85 Ab	6,70 Ab	85,52 Bb	116,41 Ab	21,05 Ab
		2,5	9,17 Aa	189,06 Aa	10,2 Aa	128,37 Aa	143,68 Ab	28,61 Aa
		5,0	9,20 Aa	187,22 Aa	7,17 Ab	137,93 Aa	128,92 Ab	30,99 Aa
		10,0	7,44 Aa	173,21 Aa	7,15 Ab	120,36 Aa	180,88 Aa	40,57 Aa
CV (%)		28,87	18,20	25,01	17,20	22,21	35,24	

Médias seguidas de mesma letra maiúscula comparando na coluna dentro de cada solo, entre os resíduos em cada dose e médias seguidas de mesma letra minúscula comparando na coluna dentro de cada resíduo, entre as doses 0 a 10, não apresenta diferenças significativas, segundo Scott Knott a 5 %

MS= Biomassa seca do feijoeiro (raíz + parte aérea) N - Método Kjeldahl (ALVES et al., 1994); Ca, Mg, P e K - EMBRAPA (1997).

O acúmulo dos elementos nas plantas mostra uma maior relação com os tratamentos do que a análise dos teores isoladamente, sendo que para o N, esses valores foram bem maiores no Argissolo, onde houve uma redução no acúmulo de P, K e Ca em função das doses do resíduo tratado e não tratado. No Planossolo houve um maior acúmulo de P, K e Ca, em função das doses, quando se usou calcário. De maneira geral, a influência negativa dos tratamentos na produção de biomassa do feijoeiro, refletiu diretamente na absorção e acúmulo de nutrientes que sempre se apresentaram inferiores aos obtidos na testemunha.

No término do período experimental, avaliou-se os teores de nutrientes disponíveis no solo (Tabela 11). O pH do solo onde se usou os resíduos tratado e não tratado apresentou efeito similar ao do calcário no Planossolo, também reduzindo o Al tóxico. Já no Argissolo, o uso do calcário elevou o pH e reduziu o  $Al^{+3}$  com maior eficiência que os resíduos, provavelmente pelo maior poder tampão desse solo. Esses resultados indicam um potencial de uso do resíduo como condicionador do solo, mas sugere estudos mais aprofundados para verificação dos reais efeitos em diferentes culturas e em condições de campo.

A condutividade elétrica (CE) aumentou em função da aplicação das doses dos resíduos e do calcário nos dois solos em questão, mas deve-se destacar que a magnitude do aumento foi similar para o resíduo tratado e para o calcário, um condicionador já utilizado em larga escala no País. No Planossolo, houve uma maior disponibilidade de P no solo, inclusive aumentando em função das doses de resíduo não tratado e calcário, e conseqüentemente com a elevação do pH, enquanto que no Argissolo isso não ocorreu (Tabela 11).

**Tabela 11.** Efeito da adição de resíduo da produção de alumina tratado e não tratado com água do mar no pH e teores de nutrientes em Planossolo e Argissolo, após 50 dias de experimento com feijão.

Solo	Produto	Dose	pH	CE	Al <sup>+3</sup>	Ca <sup>+2</sup>	Mg <sup>+2</sup>	P	K <sup>+</sup>	
		Mg ha <sup>-1</sup>	água	dS m <sup>-1</sup>	-----	cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> -----	---mg dm <sup>-3</sup> ---			
Planossolo	Testemunha	0,0	5,2 Ad	0,07 Ac	0,2 Aa	1,07 Aa	0,77 Aa	22 Aa	24 Aa	
		1,0	5,5 Ac	0,15 Bc	0,0 Ab	1,37 Aa	0,70 Aa	22 Aa	28 Aa	
		Resíduo tratado	2,5	5,6 Bc	0,22 Bc	0,1 Ab	1,17 Ba	0,73 Aa	18 Ba	24 Aa
			5,0	6,2 Bb	0,40 Bb	0,0 A b	1,20 Ba	0,90 Aa	19 Ba	32 Aa
			10,0	6,9 Aa	0,95 Aa	0,0 Ab	1,47 Ba	0,77 Aa	25 Ca	36 Ba
	Resíduo não tratado	0,0	5,2 Ad	0,07 Ad	0,2 Aa	1,07 Aa	0,77 Aa	22 Ab	24 Ab	
		1,0	5,5 Ac	0,48 Ac	0,1 Aa	1,27 Aa	0,73 Aa	27 Ab	29 Ab	
		2,5	5,7 Bc	0,65 Ac	0,0 Ab	1,40 Ba	0,63 Aa	28 Ab	34 Ab	
		5,0	6,1 Bb	0,97 Ab	0,0 Ab	1,47 Ba	0,67 Aa	36 Aa	37 Ab	
		10,0	6,8 Aa	1,28 Aa	0,0 A b	1,43 Ba	0,70 Aa	40 Ba	55 Aa	
	Calcário	0,0	5,2 Ae	0,07 Ac	0,2 Aa	1,07 Ad	0,77 Aa	22 Ab	24 Aa	
		1,0	5,7 Ad	0,14 Bb	0,0 Ab	1,73 Ac	0,87 Aa	31 Ab	21 Aa	
		2,5	6,2 Ac	0,17 Bb	0,0 Ab	2,33 Ab	0,93 Aa	32 Ab	29 Aa	
		5,0	6,6 Ab	0,58 Ba	0,0 Ab	2,57 Ab	0,93 Aa	42 Aa	29 Aa	
		10,0	7,0 Aa	0,62 Aa	0,0 Ab	3,07 Aa	0,83 Aa	52 Aa	23 Ca	
	Argissolo	Testemunha	0,0	4,8 Ac	0,05 Ad	0,7 Aa	0,87 Aa	0,60 Ab	6 Aa	31 Aa
1,0			5,0 Ac	0,11 Ac	0,5 Aa	0,93 Aa	0,57 Ab	8 Aa	29 Aa	
Resíduo tratado			2,5	5,1 Bb	0,22 Ab	0,4 Bb	1,00 Ba	0,60 Bb	4 Aa	30 Aa
			5,0	5,3 Bb	0,39 Aa	0,1 Ac	0,97 Ba	0,83 Ba	5 Aa	32 Aa
			10,0	5,9 Ba	0,46 Aa	0,0 Ac	1,20 Ba	1,03 Aa	5 Aa	24 Aa
Resíduo não tratado		0,0	4,8 Ac	0,05 Ad	0,7 Aa	0,87 Aa	0,60 Aa	6 Aa	31 Aa	
		1,0	5,0 Ac	0,12 Ac	0,5 Aa	0,80 Aa	0,67 Aa	5 Aa	31 Aa	
		2,5	5,2 Bc	0,16 Ac	0,6 Aa	0,73 Ba	0,83 Aa	5 Aa	29 Aa	
		5,0	5,5 Bb	0,31 Ab	0,2 Ab	0,93 Ba	0,67 Ba	5 Aa	30 Aa	
		10,0	6,1 Ba	0,44 Aa	0,0 Ac	1,13 Ba	0,50 Ba	5 Aa	25 Aa	
Calcário	0,0	4,8 Ad	0,05 Ad	0,7 Aa	0,87 Ad	0,60 Ab	6 Aa	31 Aa		
	1,0	4,9 Ad	0,06 Ad	0,2 Bb	1,23 Ac	0,77 Ab	4 Aa	18 Bb		
	2,5	5,5 Ac	0,23 Ac	0,0 Cc	1,63 Ac	1,07 Aa	4 Aa	28 Aa		
	5,0	6,4 Ab	0,36 Ab	0,0 Bc	2,87 Ab	1,03 Aa	5 Aa	19 Bb		
	10,0	7,0 Aa	0,51 Aa	0,0 Ac	3,67 Aa	1,20 Aa	9 Aa	28 Aa		
CV (%)			2,79	9,03	46,64	21,09	22,05	36,46	22,80	

Médias seguidas de mesma letra maiúscula comparando na coluna dentro de cada solo, entre os resíduos em cada dose e médias seguidas de mesma letra minúscula comparando na coluna dentro de cada resíduo, entre as doses 0 a 10, não apresentam diferenças significativas, segundo Scott Knott a 5 %

pH<sub>água</sub>, Al, Ca, Mg, P e K - EMBRAPA (1997)

No que se refere ao comportamento da microbiota do solo com a aplicação das doses dos condicionadores, observa-se que os resultados apresentaram grande variabilidade e não apresentaram diferenças entre os tratamentos, exceto para o Meio I, na dose 5 Mg ha<sup>-1</sup>, no Planossolo, aos 30 dias, que mesmo assim na avaliação feita aos 50 dias já não foi mais observado, indicando pouca influência do material nos microrganismos do solo (Tabela 12). Comparando o efeito da aplicação dos tratamentos com a testemunha, nota-se que a resposta

foi mais consistente somente para o calcário no Planossolo, que afetou positivamente a população de microrganismos. O resíduo tratado não apresentou nenhuma influência sobre a população de microrganismos, enquanto o resíduo não tratado parece ter influenciado de forma inconsistente, ora reduzindo, ora aumentando, a população de bactérias. No Argissolo, não houve influência significativa de nenhum dos tratamentos, possivelmente também devido a menor possibilidade desse solo de sofrer alterações.

**Tabela 12.** Efeito da adição de resíduo da produção de alumina tratado e não tratado com água do mar no crescimento de colônias de bactérias em Planossolo e Argissolo com feijão.

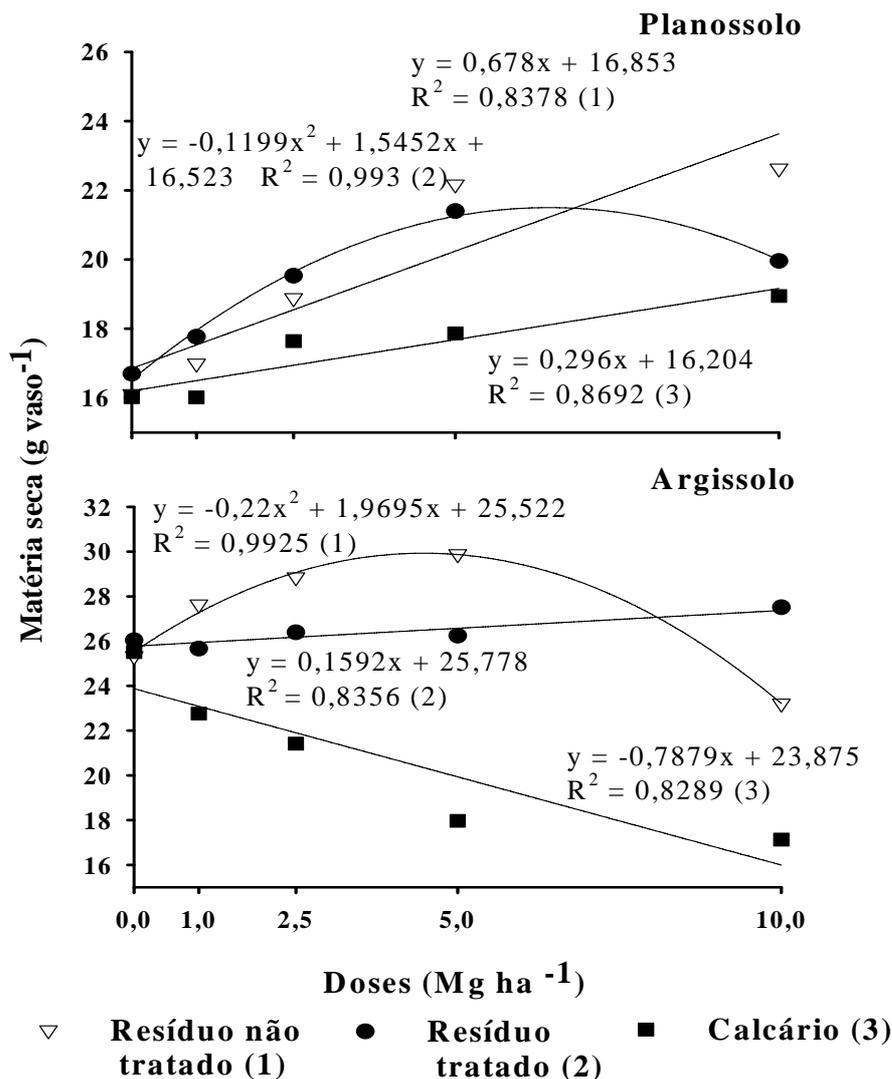
		Colônias de bactérias ( $\log \times 10^5$ cél g de solo <sup>-1</sup> )						
		-----Planossolo-----			-----Argissolo-----			
		-----Resíduo-----			-----Resíduo-----			
Avaliação	Meio de cultura	Doses (Mg ha <sup>-1</sup> )	Tratado	Não tratado	Calcário	Tratado	Não tratado	Calcário
30 dias	C	0	2,05 Aa	2,05 Aa	2,05 Aa	2,30 Aa	2,30 Aa	2,30 Aa
		5	1,90 Aa	1,59 Ab	2,15 Aa	2,32 Aa	2,35 Aa	2,19 Aa
	I	0	0,40 Aa	0,40 Aa	0,40 Ab	0,93 Aa	0,93Aa	0,93 Aa
		5	0,32 Ba	0,30 Ba	1,13 Aa	0,95 Aa	0,88 Aa	0,34 Aa
50 dias	C	0	2,21 Aa	2,21 Aa	2,21 Aa	2,20 Aa	2,20 Aa	2,20 Aa
		5	2,08 Aa	2,23 Aa	1,00 Ab	2,29 Aa	2,11 Aa	2,23 Aa
	I	0	0,67 Aa	0,67 Ab	0,67 Ab	0,98 Aa	0,98 Aa	0,98 Aa
		5	0,72 Aa	1,37 Aa	1,27 Aa	1,00 Aa	0,70 Aa	0,99 Aa
CV (%)		Meio C= 4,53			Meio I=8,88			

Médias seguidas de mesma letra maiúscula comparando na linha dentro de cada solo não apresentam diferenças significativas entre os resíduos e médias seguidas de mesma letra minúscula comparando na coluna dentro de cada resíduo não apresentam diferenças significativas entre as doses 0 e 5, segundo Scott Knott em nível de 5 %.

Meio I -meio nutritivo seletivo para bactérias do ferro (GREENBERG, 1992)      Meio C- Caldo nutritivo para crescimento de microrganismos pouco exigentes (SILVA, 2003)

### 3.4.2 Braquiária

Os resultados apresentados pela braquiária mostram um comportamento diferente do que aconteceu com o feijoeiro, havendo aumento da matéria seca de parte aérea favorecida pela aplicação dos resíduos, o que reforça a importância da planta indicadora para estudos de comportamento deste material. No Planossolo, as plantas apresentaram uma resposta positiva crescente em acúmulo de biomassa seca em função das aplicação de doses de resíduo não tratado até 10 Mg ha<sup>-1</sup> e para o resíduo tratado até 5 Mg ha<sup>-1</sup>, superando os resultados de quando se usou calcário, que se manteve praticamente estável (Figura 7).

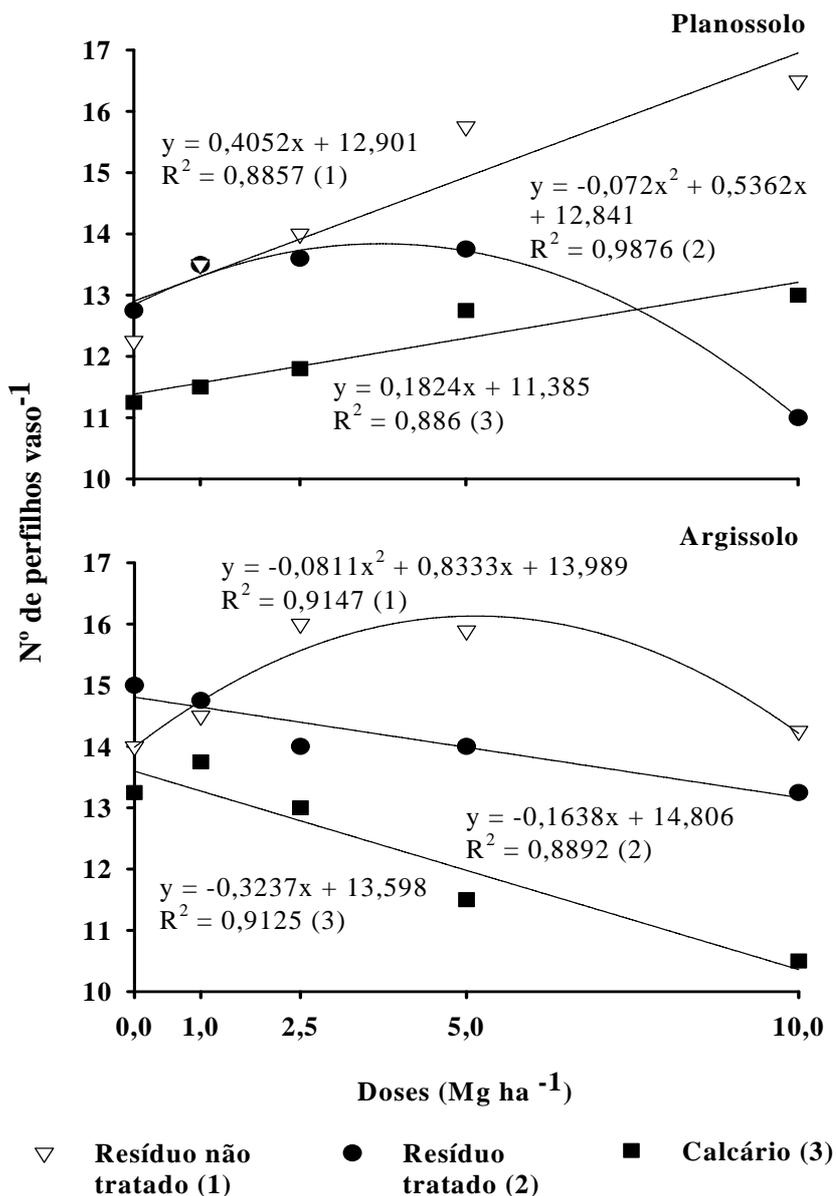


**Figura 7.** Efeito da adição de resíduo da produção de alumina tratado e não tratado com água do mar na produção de biomassa da braquiária em Planossolo e Argissolo.

No Argissolo também houve resposta positiva em matéria seca de parte aérea apenas para os resíduos não tratado e tratado, sendo que para o primeiro apenas até a dose de 5 Mg ha<sup>-1</sup> e no segundo foi sempre crescente. A partir desse ponto houve uma queda na produção de biomassa seca, possivelmente, devido a elevação do pH em uma faixa onde começa a haver a indisponibilização de alguns nutrientes e também devido a elevação da salinidade e condutividade elétrica do solo prejudicando o desenvolvimento das plantas.

A literatura mostra que as gramíneas tropicais não respondem ou respondem muito pouco à calagem (SIQUEIRA et al., 1980, CIAT, 1981) e o gênero *Brachiaria* é considerado tolerante à acidez e à toxidez por Al, por apresentar habilidade em alterar o pH da rizosfera. Estes resultados reforçam a necessidade de estudos com outras culturas na avaliação desses resíduos para conclusões mais seguras a respeito do seu potencial de utilização.

Com relação ao perfilhamento da braquiária, os melhores resultados foram alcançados com a aplicação dos resíduos, principalmente até a dose de 5 Mg ha<sup>-1</sup>, nos dois tipos de solos. No Argissolo, porém, o número de perfilhos foi reduzido na maioria dos tratamentos, com exceção do resíduo não tratado, até a dose de 5 Mg ha<sup>-1</sup> (Figura 8).



**Figura 8.** Efeito da adição de resíduo da produção de alumina tratado e não tratado com água do mar no perfilhamento da braquiária em Planossolo e Argissolo.

RODRIGUES (2002), observou maior perfilhamento de *Brachiaria decumbens* associado à maiores doses de calcário (9,5 Mg ha<sup>-1</sup>) e doses de N de 220 kg ha<sup>-1</sup>. Nesse mesmo trabalho, ele observou um menor perfilhamento nas maiores doses de calcário quando não foi fornecido o nitrogênio, afirmando que a maior eficiência de utilização de N demanda a

aplicação de calcário, devido a uma grande relação entre os dois fatores. Já MITIDIÈRE (1995), avaliando doses de calcário sobre a *Brahiaria brizantha* cv Marandu, observou diminuição do perfilhamento no nível mais elevado de saturação de bases (V %=68,8).

Considerando a influência dos tratamentos nos teores de nutrientes na parte aérea da braquiária, destaca-se a menor concentração de P quando aplicou-se os resíduos tratado e não tratado. Por outro lado, o P acumulado na parte aérea foi maior no Planossolo. As plantas apresentaram maiores teores de N na matéria seca no Argissolo, quando se usou os resíduos em relação ao calcário, porém esses valores ainda foram inferiores aos encontrados por CARVALHO et al., (1991) em *Brachiaria brizantha* (aproximadamente 20 g kg<sup>-1</sup>), em condições de campo (Tabela 13).

No caso do Argissolo, destaca-se a maior concentração de Ca<sup>+2</sup> e Mg<sup>+2</sup> com a aplicação do calcário. Os baixos teores de P na braquiária, indicam possivelmente que esse elemento foi limitante para o desenvolvimento das plantas, levando a uma redução no acúmulo de biomassa.

No caso do K<sup>+</sup>, em estudos sobre o nível crítico desse elemento em *Brachiaria decumbens*, PEREIRA (2001) observou valores na ordem de 10,5 e 8,2 g kg<sup>-1</sup> no primeiro e segundo cortes, respectivamente, similares aos encontrados por FAQUIN et al., (1995) que foram, respectivamente, de 7,8 e 9,5 g kg<sup>-1</sup> no primeiro e segundo cortes, valores correspondentes a 90% da produção máxima. CIAT (1984), na Colômbia, apresentou relatos com *B. decumbens* cultivada em 8 semanas na estação chuvosa com nível crítico de potássio de 8,3 g kg<sup>-1</sup> associado a 80% da produção máxima. Considerando os baixos teores de K<sup>+</sup> na parte aérea das plantas neste corte, nota-se que esse elemento também pode ter sido limitante ao desenvolvimento das plantas assim como destaca MATTOS & MONTEIRO, 1998. Todos os tratamentos apresentaram baixos teores de N o que pode indicar que tenha havido deficiência desse nutriente para as plantas, visto que o resíduo apresenta baixo teor desse nutriente em sua composição.

**Tabela 13.** Efeito da adição de resíduo da produção de alumina tratado e não tratado com água do mar nos teores de nutrientes na matéria seca da parte aérea da braquiária com 50 dias em Planossolo e Argissolo.

Solo	Produto	Dose Mg ha <sup>-1</sup>	N	P	K <sup>+</sup> g kg <sup>-1</sup>	Ca <sup>+2</sup>	Mg <sup>+2</sup>
Planossolo	Resíduo tratado	0,0	8,74 Aa	1,41 Aa	7,17 Aa	5,57 Aa	4,82 Aa
		1,0	8,71 Aa	1,17 Aa	4,83 Ab	5,35 Aa	5,58 Aa
		2,5	8,42 Aa	0,83 Bb	5,00 Ab	3,57 Ab	4,73 Ba
		5,0	8,37 Aa	0,72 Bb	4,83 Ab	3,40 Bb	4,10 Ba
		10,0	9,01 Aa	0,94 Ab	6,67 Aa	2,65 Bc	4,02 Aa
	Resíduo não tratado	0,0	8,74 Aa	1,41 Aa	7,17 Aa	5,57 Aa	4,82 Aa
		1,0	7,92 Aa	1,18 Aa	5,67 Ab	4,83 Aa	4,27 Aa
		2,5	8,37 Aa	1,03 Bb	5,17 Ab	3,82 Ab	3,87 Ba
		5,0	8,17 Aa	0,72 Bb	5,33 Ab	3,73 Bb	3,75 Ba
		10,0	8,77 Aa	0,95 Ab	7,33 Aa	3,02 Bb	3,30 Aa
	Calcário	0,0	8,74 Aa	1,41 Aa	7,17 Aa	5,57 Aa	4,82 Ab
		1,0	8,71 Aa	1,43 Aa	4,83 Ab	4,40 Ab	4,92 Ab
		2,5	9,80 Aa	1,41 Aa	5,50 A b	4,27 Ab	6,53 Aa
		5,0	8,74 Aa	1,77 Aa	6,33 Aa	4,87 Ab	5,67 Ab
		10,0	9,58 Aa	1,29 Aa	5,17 Bb	5,30 Aa	5,50 Ab
	Argissolo	Resíduo tratado	0,0	7,41 Ab	0,48 Aa	7,33 Aa	3,07 Aa
1,0			9,80 Ba	0,30 Aa	5,83 Aa	3,28 Ba	3,40 Aa
2,5			10,83 Aa	0,34 Aa	5,83 Aa	3,32 Aa	3,65 Ba
5,0			10,61 Aa	0,42 Aa	5,17 Aa	3,18 Ba	3,85 Ba
10,0			10,31 Aa	0,29 Aa	6,17 Aa	3,10 Ba	4,15 Aa
Resíduo não tratado		0,0	7,41 Ab	0,48 Aa	7,33 Aa	3,07 Aa	3,02 Aa
		1,0	11,90 Aa	0,30 Aa	5,33 Aa	2,95 Ba	2,72 Aa
		2,5	10,93 Aa	0,28 Aa	5,50 Aa	3,48 Aa	2,93 Ba
		5,0	12,18 Aa	0,28 Aa	5,33 Aa	3,20 Ba	3,22 Ba
		10,0	8,77 Ab	0,33 Aa	6,33 Aa	2,72 Ba	3,00 Ba
Calcário		0,0	7,41 Aa	0,48 Aa	7,33 Aa	3,07 Ab	3,02 Ab
		1,0	8,70 Ba	0,40 Aa	5,33 Aa	3,68 Ab	4,12 Aa
		2,5	9,13 Aa	0,39 Aa	5,50 Aa	4,07 Aa	4,73 Aa
		5,0	7,71 Ba	0,40 Aa	6,00 Aa	4,70 Aa	5,22 Aa
		10,0	8,67 Aa	0,39 Aa	5,67 Aa	4,23 Aa	4,68 Aa
CV (%)			12,18	33,63	17,05	12,15	18,10

Médias seguidas de mesma letra maiúscula comparando na coluna dentro de cada solo, entre os resíduos em cada dose e médias seguidas de mesma letra minúscula comparando na coluna dentro de cada resíduo, entre as doses 0 a 10, não apresenta diferenças significativas, segundo Scott Knott a 5 %.

N - Método Kjeldahl (ALVES et al., 1994); Ca, Mg, P e K - EMBRAPA (1997).

Quanto ao acúmulo dos elementos nas plantas de braquiária, é possível notar que estes basicamente acompanharam a produção de biomassa. Destaca-se o aumento do conteúdo de N no Argissolo em relação à testemunha para o resíduo tratado e para o não tratado. No caso do P e K<sup>+</sup> no Argissolo, nota-se que somente o resíduo tratado não influenciou negativamente o acúmulo desses nutrientes na matéria seca, embora tenha apresentado uma forte tendência para P e significância para o K<sup>+</sup> (Tabela 14).

**Tabela 14.** Efeito da adição de resíduo da produção de alumina tratado e não tratado com água do mar no acúmulo de nutrientes na matéria seca de parte aérea da braquiária com 50 dias em Planossolo e Argissolo.

Solo	Produto	Dose	MSPA	N	P	K <sup>+</sup>	Ca <sup>+2</sup>	Mg <sup>+2</sup>	
		Mg ha <sup>-1</sup>	g	mg planta <sup>-1</sup>					
Planossolo	Testemunha	0,0	3,72 Aa	32,47 Aa	5,24 Aa	26,64 Aa	20,69 Ab	17,91 Ab	
		1,0	4,91 Aa	42,79 Aa	5,75 Aa	23,73 Aa	26,28 Aa	27,41 Aa	
		Resíduo tratado	2,5	5,05 Aa	42,52 Aa	4,19 Aa	25,25 Aa	18,03 Ab	23,89 Ab
			5,0	5,28 Aa	44,19 Aa	3,80 Ab	25,50 Aa	17,95 Bb	21,65 Aa
			10,0	3,44 Aa	30,95 Ba	3,23 Bb	22,91 Ba	9,10 Bc	13,81 Ab
	Resíduo não tratado	0,0	3,72 Aa	32,47 Ab	5,24 Aa	26,64 Aa	20,69 Aa	17,91 Aa	
		1,0	3,95 Aa	31,28 Aba	4,66 Aa	22,40 Ab	19,08 Ba	16,87 Ba	
		2,5	5,10 Aa	42,69 Aa	5,25 Aa	26,37 Ab	19,48 Aa	19,74 Aa	
		5,0	6,19 Aa	50,57 Aa	4,46 Aa	32,99 Ab	23,09 Aa	23,21 Aa	
		10,0	5,92 Aa	51,92 Aa	5,62 Aa	43,39 Aa	17,88 Aa	19,54 Aa	
	Calcário	0,0	3,72 Aa	32,47 Aa	5,24 Aa	26,64 Aa	20,69 Aa	17,91 Aa	
		1,0	3,40 Aa	29,57 Aa	4,85 Aa	16,40 Aa	14,94 Ba	16,70 Ba	
		2,5	3,33 Aa	32,59 Aa	4,69 Aa	18,29 Aa	14,20 Aa	21,71 Aa	
		5,0	3,25 Ba	28,41 Ba	5,75 Aa	20,57 Aa	15,83 Ba	18,43 Aa	
		10,0	3,74 Aa	35,85 Ba	4,83 Aa	19,35 Ba	19,84 Aa	20,58 Aa	
	Argissolo	Testemunha	0,0	10,36 Aa	76,75 Ab	4,97 Aa	75,92 Aa	31,80 Aa	31,28 Aa
1,0			10,50 Aa	102,90 Ba	3,15 Aa	61,22 Ab	34,44 Aa	35,70 Aa	
Resíduo tratado			2,5	9,89 Aa	107,08 Aa	3,36 Aa	57,64 Ab	32,83 Aa	36,09 Aa
			5,0	8,97 Aa	95,12 Ba	3,77 Aa	46,35 Ab	28,51 Ab	34,52 Aa
			10,0	9,07 Aa	93,51 Aa	2,63 Aa	55,96 Ab	28,12 Ab	37,64 Aa
Resíduo não tratado		0,0	10,36 Aa	76,75 Ab	4,97 Aa	75,92 Aa	31,80 Aa	31,28 Aa	
		1,0	10,20 Aa	121,35 Aa	3,06 Ab	54,35 Ab	30,08 Aa	27,74 Aa	
		2,5	10,18 Aa	111,29 Aa	2,85 Ab	56,00 Ab	35,44 Aa	29,83 Ba	
		5,0	10,00 Aa	121,80 Aa	2,80 Ab	53,30 Ab	32,00 Aa	32,20 Aa	
		10,0	9,14 Aa	80,14 Ab	3,02 Ab	57,84 Ab	24,85 Ab	27,41 Ba	
Calcário		0,0	10,36 Aa	76,75 Aa	4,97 Aa	75,92 Aa	31,80 Aa	31,28 Ab	
		1,0	8,68 Aa	75,54 Ba	3,47 Ab	46,28 Ab	31,95 Aa	35,77 Aa	
		2,5	8,70 Aa	79,45 Ba	3,39 Ab	47,86 Ab	35,42 Aa	41,16 Aa	
		5,0	6,17 Bb	47,55 Cb	2,47 Ab	37,01 Bc	28,99 Ab	32,19 Ab	
		10,0	5,71 Bb	49,53 Cb	2,23 Ab	32,39 Bc	24,16 Ab	26,73 Bb	
CV(%)			26,11	15,65	24,80	18,92	31,92	36,59	

Médias seguidas de mesma letra maiúscula comparando na coluna dentro de cada solo, entre os resíduos em cada dose e médias seguidas de mesma letra minúscula comparando na coluna dentro de cada resíduo, entre as doses 0 a 10, não apresentam diferenças significativas, segundo Scott Knott a 5 %

MSPA= Matéria seca da parte aérea da braquiária (raíz + parte aérea) N - Método Kjeldahl (ALVES et al., 1994); Ca, Mg, P e K - EMBRAPA (1997).

A redução da concentração de P em folhas de gramíneas em função de doses de resíduo alcalino da produção de alumina também foi notado por SNARS et al., (2004), trabalhando nos solos da Austrália. Nesse caso, foi atribuído que o rejeito apresenta capacidade para reter e adsorver o P e com isso torná-lo indisponível para as plantas, justificando a sua aplicação exatamente para evitar a lixiviação de P para os cursos d'água em função das altas taxas de aplicação de adubações fosfatadas nos solos daquela região.

A avaliação dos teores no solo ao final do experimento (190 dias) mostrou a elevação do pH, provocada pelos resíduos usados e pelo calcário. Estes resultados foram consistentes no Planossolo, onde o resíduo não tratado e o calcário, apresentaram resultados similares na neutralização do alumínio tóxico. Para o Argissolo, os resultados obtidos com o uso dos resíduos também foram satisfatórios, mas, inferiores aos ocorridos com a aplicação do calcário, que neutralizou o  $Al^{+3}$  já na dose mais baixa:  $1 \text{ Mg ha}^{-1}$  (Tabela 15).

É importante salientar que o pH do solo cultivado com braquiária aos 190 dias foi parecido com o cultivado com feijão aos 50 dias (Tabela 11 e 15), o que indica que o efeito dos tratamentos no solo, permaneceram por longo tempo.

Em relação ao  $Ca^{+2}$  e o  $Mg^{+2}$  no Planossolo e no Argissolo, embora não haja diferença significativa, nota-se a tendência dos resíduos aumentarem a disponibilidade desses nutrientes no solo, em valores absolutos.

A disponibilidade de K, reduziu-se muito, o que indica grandes perdas por lixiviação em relação aos teores iniciais no solo (Tabela 3 no item 2.5) que era de 37 e 23  $\text{mg dm}^{-3}$ , antes da adubação no Planossolo e no Argissolo, respectivamente.

No que se refere ao comportamento do P no solo, nota-se que a sua disponibilidade foi aumentada no Planossolo em função das doses de resíduo não tratado e calcário. Basicamente, essa situação está mais correlacionada com o comportamento do pH desse solo, tornando esse elemento mais disponível na faixa de pH entre 6 e 6,5 que é a faixa que esse elemento se apresenta mais solúvel no solo (INSTITUTO DA POTASSA E DO FOSFATO, 1998). No Argissolo, este aparece sempre em baixa disponibilidade, devido a maior capacidade de adsorção desse solo.

**Tabela 15.** Efeito da adição de resíduo da produção de alumina tratado e não tratado com água do mar no pH e teores de nutrientes em Planossolo e Argissolo ao final do experimento (190 dias).

Solo	Produto	Dose Mg ha <sup>-1</sup>	pH	Al <sup>+3</sup>	Ca <sup>+2</sup>	Mg <sup>+2</sup>	P	K <sup>+</sup>	
			água	----- cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> -----			---mg dm <sup>-3</sup> ---		
Planossolo	Testemunha	0,0	5,3 Ab	0,3 Aa	0,7 Aa	0,8 Aa	16 Ab	13 Aa	
		1,0	5,2 Ab	0,3 Aa	0,8 Aa	0,6 Aa	31 Aa	10 Aa	
		Resíduo tratado	2,5	5,2 Ab	0,3 Aa	1,0 Ba	0,7 Aa	5 Bc	10 Aa
			5,0	5,7 Ab	0,0 Ab	1,2 Ba	0,7 Aa	7 Cc	9 Aa
			10,0	6,3 Aa	0,0 Ab	1,3 Ba	1,0 Aa	7 Bc	9 Aa
	Resíduo não tratado	0,0	5,3 Ab	0,3 Aa	0,7 Ab	0,8 Aa	16 Ac	13 Aa	
		1,0	5,3 Ab	0,2 Aa	1,3 Ab	0,5 Aa	27 Ab	9 Aa	
		2,5	5,7 Aa	0,0 Bb	1,5 Ab	0,6 Aa	27 Ab	7 Aa	
		5,0	5,6 Aa	0,0 Ab	1,1 Bb	0,6 Aa	34 Aa	9 Aa	
		10,0	6,1 Ba	0,0 Ab	2,0 Ba	0,9 Aa	53 Aa	11 Aa	
	Calcário	0,0	5,3 Ab	0,3 Aa	0,7 Ac	0,8 Aa	16 Aa	13 Aa	
		1,0	5,4 Ab	0,2 Aa	1,0 Ac	0,9 Aa	10 Bb	7 Aa	
		2,5	6,0 Ab	0,0 Bb	1,8 Ab	0,7 Aa	34 Bb	12 Aa	
		5,0	6,0 Ab	0,0 Ab	2,7 Aa	0,8 Aa	49 Ba	13 Aa	
		10,0	6,8 Ba	0,0 Ab	3,2 Aa	1,1 Aa	8 Bb	9 Aa	
	Argissolo	Testemunha	0,0	4,9 Aa	1,2 Aa	1,0 Ab	0,7 Aa	5 Aa	4 Aa
1,0			5,3 Aa	0,8 Ab	1,0 Bb	0,7 Aa	5 Ba	3 Aa	
Resíduo tratado			2,5	5 Aa	0,6 Ab	1,7 Aa	0,5 Ba	5 Ba	0 Aa
			5,0	5,1 Aa	0,3 Ac	1,3 Bb	0,8 Aa	4 Ba	4 Aa
			10,0	5,3 Ba	0,2 Ac	1,2 Bb	0,8 Ba	8 Ba	0 Aa
Resíduo não tratado		0,0	4,9 Ab	1,2 Aa	1,0 Ab	0,7 Aa	5 Ab	4 Aa	
		1,0	4,9 Ab	0,9 Aa	0,7 Bb	0,8 Aa	17 Aa	2 Aa	
		2,5	4,9 Ab	0,6 Ab	1,2 Bb	0,7 Aa	9 Ba	5 Aa	
		5,0	5,3 Ab	0,4 Ab	0,8 Bb	0,7 Aa	6 Ba	2 Aa	
		10,0	6,0 Ba	0,0 Bc	1,6 Ba	0,6 Ba	13 Aa	5 Aa	
Calcário		0,0	4,9 Ac	1,2 Aa	1,0 Ac	0,7 Aa	5 Ab	4 Aa	
		1,0	5,3 Ac	0,1 Bb	1,6 Ab	0,9 Aa	8 Bb	3 Aa	
		2,5	5,4 Ac	0,0 Bb	1,8 Ab	0,9 Aa	14 Aa	6 Aa	
		5,0	6,2 Ab	0,0 Bb	2,4 Ab	0,9 Aa	21 Aa	4 Aa	
		10,0	7,1 Aa	0,0 Bb	3,2 Aa	1,3 Aa	6 Bb	6 Aa	
CV (%)			2,79	22,40	27,09	23,08	29,28	36,52	

Médias seguidas de mesma letra maiúscula comparando na coluna dentro de cada solo, entre os resíduos em cada dose e médias seguidas de mesma letra minúscula comparando na coluna dentro de cada resíduo, entre as doses 0 a 10, não apresenta diferenças significativas, segundo Scott Knott a 5 %  
pH<sub>água</sub>, Al, Ca, Mg, P e K - EMBRAPA (1997).

Avaliando o comportamento da microbiota do solo com a aplicação das doses dos condicionadores, nota-se que no Planossolo ocorreu um aumento desta com a aplicação dos resíduos tratado e não tratado na fase inicial de avaliação (30 dias). Aos 190 dias apenas o calcário possibilitou um aumento na população microbiana. No Argissolo, inicialmente houve uma elevação da população de microrganismos com o uso dos resíduos. Já aos 190 dias ocorreu uma redução desse número com o uso do resíduo não tratado e do calcário. Estes

resultados indicam que os tratamentos afetaram a população de bactérias nas duas classes de solo de forma diferenciada, no entanto, nota-se que o calcário que é um produto comercial, também provoca alterações no comportamento dos microrganismos do solo, fato considerado normal (Tabela 16).

Os microrganismos respondem de diversas maneiras à aplicação de um produto em seu habitat. Após certo período de tempo, a diversidade microbiana entra em equilíbrio, porém normalmente com menor número de espécies, mantendo-se por meses ou anos, atingindo o clímax ao nível similar ao original (ALEXANDER, 1981). A intervenção em um sistema pode afetar muitos processos semelhantes ao fluxo de energia e ciclo de nutrientes, causando mudanças na microbiota do solo (WARDLE & PARKINSON, 1990). De modo geral se observa que inicialmente houve uma redução na comunidade microbiana e posteriormente um aumento até a estabilização. Esta variação na comunidade bacteriana também foi relatada por BEZBARVAH et al. (1995), onde a redução ou aumento da comunidade dos microrganismos do solo pode estar relacionado com os fatores: competição, adaptação e resistência. No caso da diminuição, podem estar relacionadas com a alta sensibilidade destas ao produto em questão, resultando na eliminação de algumas espécies (SPESSOTO, 1995).

**Tabela 16.** Efeito da adição de resíduo da produção de alumina tratado e não tratado com água do mar em colônias de bactérias no Planossolo e no Argissolo com braquiária.

		Colônias de bactérias (Log x 10 <sup>5</sup> cél g de solo <sup>-1</sup> )						
		-----Planossolo-----			-----Argissolo-----			
		-----Resíduo-----			-----Resíduo-----			
Avaliação	Meio	Doses (Mg ha <sup>-1</sup> )	Tratado	Não tratado	Calcário	Tratado	Não tratado	Calcário
30 dias	C	0	1,95 Aa	1,95 Ab	1,95 Aa	1,88 Aa	1,88 Ab	1,88 Aa
		5	2,05 Ba	2,70 Aa	1,00 Cb	1,66 Aa	2,10 Aa	1,37 Aa
	I	0	0,65 Ab	0,65 Aa	0,65 Aa	0,51 Ab	0,51 Ab	0,51 Aa
		5	1,78 Aa	0,88 Ba	0,34 Ba	1,41 Aa	1,52 Aa	0,54 Ba
190 dias	C	0	2,21 Aa	2,21 Aa	2,21 Ab	2,25 Aa	2,25 Aa	2,25 Aa
		5	1,81 Cb	2,11 Ba	2,58 Aa	2,56 Aa	1,32 Bb	1,30 Bb
	I	0	0,81 Aa	0,81 Aa	0,81 Ab	1,64 Aa	1,64 Aa	1,64 Aa
		5	1,00 Aa	0,70 Aa	1,47 Aa	1,56 Aa	1,36 Bb	1,08 Bb
CV (%)		Meio C= 53,10			Meio I=67,98			

Médias seguidas de mesma letra maiúscula comparando na linha dentro de cada solo não apresentam diferenças significativas entre os resíduos e médias seguidas de mesma letra minúscula comparando na coluna dentro de cada resíduo não apresentam diferenças significativas entre as doses 0 e 5, segundo Scott Knott a 5 %.

Meio I -meio nutritivo seletivo para bactérias do ferro (GREENBERG, 1992) Meio C- Caldo nutritivo para crescimento de microrganismos pouco exigentes (SILVA, 2003)

## 4 CONCLUSÕES

- O tratamento do resíduo com água do mar foi eficiente na redução do pH, na elevação dos teores de K, Ca e Mg e na redução do Na<sup>+</sup> em 23%.
- Os resíduos de bauxita são extremamente reativos quando colocados no solo, no que refere à alteração do pH, independente de ser tratado ou não e pequenas doses de resíduo (até 3 Mg ha<sup>-1</sup>) são suficientes para elevar o pH de Planossolos numa faixa desejável para a agricultura;
- Os resíduos de bauxita tratado e não tratado favoreceram o aumento da biomassa da braquiária no Planossolo até 5 Mg ha<sup>-1</sup>;
- A escolha da planta indicadora é fundamental para que se determine a real importância do resíduo da produção de alumina como condicionador de solos.

## **CAPÍTULO II**

### **O USO DO DENDÊ COMO ALTERNATIVA DE PRODUÇÃO ENERGÉTICA NO MODELO AGROFLORESTAL EM DEPÓSITO DE RESÍDUO ALCALINO DE BAUXITA**

## RESUMO

O dendê vem despontando como uma cultura bastante promissora para o projeto brasileiro de bioenergia devido ao potencial de alta produtividade de óleo, estabilidade de produção e um bom retorno econômico. Esta cultura se desenvolve bem na maior parte da região Amazônica e seu uso como biodiesel pode representar uma importante fonte de energia renovável para a região. Esse trabalho foi desenvolvido com o objetivo de avaliar o desenvolvimento de 6 cultivares de dendê: (*Elaeis guineensis*): C2501, C2301, C2328, C3701, C2801, C7201 e dois híbridos originários de cruzamentos do dendê (*Elaeis guineensis*) com o caiaué (*Elaeis oleifera*): RUC13 e RUC87 em áreas de depósito de resíduo da fabricação de alumina, sob manejo com leguminosas noduladas e micorrizadas. Foram avaliados o diâmetro do colo da planta e da copa, o número de folhas, a altura das plantas, a presença de bactérias diazotróficas e micorrizas associadas às plantas de dendê, a fauna de solo e o estado nutricional das plantas e da área. Os resultados mostraram uma melhoria considerável nas condições do solo revegetado com leguminosas noduladas e micorrizadas. Todos os genótipos de dendê testados apresentaram um desenvolvimento satisfatório. Os genótipos C7201 e RUC87 se destacaram em relação à colonização por bactérias diazotróficas, infecção micorrízica, conteúdo de nitrogênio nas folhas, número de folhas, altura das plantas e diâmetro do colo. No que se refere à fauna do solo no tanque, os seus valores de riqueza de grupos e densidade de indivíduos, foram similares aos valores encontrados em uma mata secundária e superiores aos de uma área de pastagem próximas ao tanque.

## ABSTRACT

The oil palm is one of the most promising species for the Brazilian program of bionergy as a source of biodiesel. This is due to its high productivity, yield stability and good economic return in tropical areas. This crop grows in most of the Amazon region and its use for biodiesel production may represent an important source of renewable energy for the region. This work tested 6 genotypes of oil palm (*Elaeis guineensis*): C2501, C2301, C2328, C3701, C2801, C7201 and two hybrids of *Elaeis guineensis* x *Elaeis oleifera*: RUC13 and RUC87 in tanks of red mud deposits covered with ash after eight years vegetated with nodulated and mycorrhizal legume trees. The soil nutrient content was evaluated at planting, nine and 23 months later. Diameter at the base of the plant and of the crown, number of leaves plant height and number of diazotrophic bacteria and mycorrhizae infection on roots evaluations were made at transplanting of the 12 month old seedlings to the field and at 9 and 23 months later. Soil fauna was evaluated in the study area, nearby in the tank vegetated with the same legume species and in a secondary forest nearby the tanks. The results indicated that soil conditions improved considerably with the nitrogen fixing and mycorrhizal legume trees cultivation. All genotypes tested showed good growth in the red mud tanks. Genotypes C7201 and RUC87 showed highest colonization with diazotrophic bacteria, mycorrhizal infection, nitrogen content on the leaves, number of leaves and plant height. Soil fauna richness and density on the tank with or without the palm trees were similar to those found on the secondary forest nearby and superior to the area under pasture.

## 1 INTRODUÇÃO

O armazenamento do resíduo alcalino do refino de bauxita constitui um dos grandes problemas ambientais para as empresas produtoras de alumina, visto que este é produzido em grande quantidade e apresenta natureza cáustica, alta concentração de sódio e alta condutividade elétrica, condições estas desfavoráveis ao desenvolvimento vegetal. Altas concentrações de sais reduzem a absorção de água pelas raízes pela diminuição do potencial hídrico do solo (FULLER et al., 1982), além de prejudicar o desenvolvimento do sistema radicular. Além das conseqüências diretas causadas pelas propriedades químicas sobre as plantas, a alteração das propriedades físicas, como efeito da dispersão promovida pelo sódio, torna o material sem estrutura e com grande susceptibilidade à compactação, reduzindo sua condutividade hidráulica e reduzindo a penetração do sistema radicular das plantas. Com isso, para a revegetação da área de resíduo de bauxita foram necessárias algumas medidas importantes para que o processo apresentasse resultados positivos, sendo necessário selecionar espécies tolerantes aos níveis de salinidade e sodicidade do resíduo. A escolha baseou-se na família das leguminosas que formam associações com bactérias fixadoras de nitrogênio e com fungos micorrízicos. Em adição, foi colocado uma camada de 40 cm de cinza de carvão mineral sobre o resíduo. Na cova de plantio foi aplicado outro resíduo de uma indústria próxima, o lodo de cervejaria (composto de estação de tratamento de efluentes de cervejaria e cama de aviário) (FORTES, 2000).

A cobertura com cinza, além de atender às necessidades de alguns nutrientes (Ca, Mg, K e micronutrientes) para o estabelecimento das espécies estudadas, também favoreceu o processo de lixiviação de sódio para camadas mais profundas do solo (KOPITKE, et al., 2004). As espécies adotadas, consideradas de rápido crescimento e alta capacidade de produção de massa, possibilitaram a formação de uma camada de serapilheira capaz de evitar a elevação da temperatura na cinza e manter a umidade, de modo a reduzir a evaporação da água do substrato e conseqüentemente o fluxo capilar de sódio para a superfície, favorecendo assim a lixiviação para fora do alcance das raízes (KOPITKE, et al., 2004). Na área em questão, foram testados diferentes espécies de leguminosas arbóreas noduladas e micorrizadas: *Acacia mangium*, *Mimosa caesalpiniiifolia*, *Mimosa acutistipula*, *Prosopis juliflora*, *Leucaena leucocephala* e uma não fixadora de nitrogênio, *Caesalpineia ferrea* (FORTES 2000).

A quantidade de nutrientes reciclado fornecida pelas espécies em estudo (FORTES, 2000) foi superior ao encontrado em diversos ecossistemas florestais e em povoamentos implantados, apresentados por HAAG (1985). A deposição de serapilheira é considerada como a mais importante forma de transferência de nutrientes da vegetação ao solo e de fundamental importância na sustentabilidade de áreas revegetadas. Nessa área em questão a escolha das espécies foi decisiva para o sucesso da revegetação, tanto pela sua capacidade de tolerar as condições de salinidade, como pelo potencial para ciclagem de nutrientes.

Hoje, a área já está reciclando os nutrientes e o nitrogênio fixado da atmosfera e com isso tem permitido a entrada de espécies nativas no sistema (FORTES, 2000). Este repovoamento é beneficiado pela fauna adjacente e principalmente, neste local de altas temperaturas e umidade, passa a atuar acelerando os processos de sucessão ecológica .

A vegetação dos tanques atende à legislação, mas a busca de alternativas para o uso produtivo da área passa a ser um novo desafio. Assim foi introduzida a cultura do dendê nessa área, objetivando buscar alternativas para a alta demanda energética da Alumar. O biodiesel surge como uma possibilidade interessante e o dendezeiro (*Elaeis guineensis* Jaquim),

palmeira originária da costa oriental da África (Golfo da Guiné) e o caiaué (*Elaeis oleifera*) originário da Amazônia, vem despontando como oleaginosas mais promissoras para esse fim, devido à alta produtividade, alcançando até 6 Mg ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup> de óleo. A condição de planta perene, com produção distribuída durante o ano, confere peculiaridades de grande importância econômica e social, podendo ter vida econômica de até 25 anos. Estas espécies produzem óleo de boa qualidade e baixo custo que poderá ser absorvido em grandes quantidades pelo mercado interno, além de possibilitar a recomposição do espaço florestal, proporcionando aumento da renda regional e criação de novos empregos. No contexto atual o azeite de dendê é o segundo óleo mais produzido e consumido no mundo, representando 18,49% do consumo mundial. Com o agravamento do problema energético, novas perspectivas são abertas para essa cultura, seu óleo figura entre os combustíveis de origem vegetal com maior potencial para substituir o óleo diesel (SOUZA, 2000; BOTELHO et al, 1998).

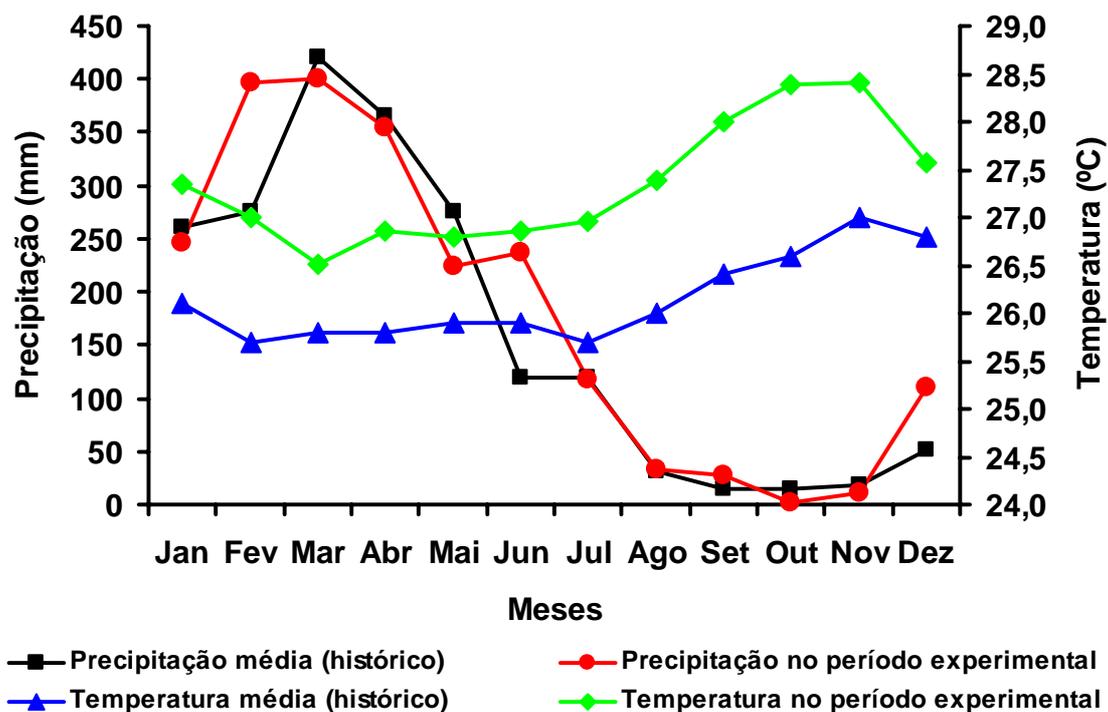
A busca de genótipos de dendê que se adaptem às condições locais e principalmente na situação da área de resíduo de bauxita, é de fundamental importância para se obter cultivares mais resistentes às condições adversas encontradas lá, visando a implantação de um campo de produção de dendê na região para atender a demanda da Empresa.

Esse trabalho foi desenvolvido com o objetivo de avaliar o desenvolvimento de 8 cultivares de dendê, indicadas pela Embrapa Amazônia Ocidental em áreas de depósito de resíduo da fabricação da alumina sob manejo com leguminosas fixadoras de nitrogênio.

## 2 MATERIAL E MÉTODOS

### 2.1 Localização da área do experimento

O experimento foi conduzido na área de disposição de resíduo alcalino do refino de bauxita da fábrica do Consórcio de Alumínio do Maranhão – Alumar, em São Luís-MA, situado a 2°43'29" de latitude sul e 44°18'41" de longitude oeste. Segundo a classificação de Köppen, o clima da região é do tipo Aw, que caracteriza o equatorial quente e úmido, com duas estações bem definidas: uma chuvosa durante os meses de janeiro a junho e uma estação seca, com déficit hídrico acentuado de julho a dezembro. A precipitação média anual entre os anos de 1986 a 2005 foi de 1.999 mm e a temperatura média de 27°C. Durante o período de avaliação do experimento a precipitação média anual entre os anos de 2003 e 2005 foi de 2.041 mm e a temperatura média de 27,2°C (Figura 9) (LABMET-UEMA, 2005 e ALUMAR, 2005).



**Figura 9.** Precipitação e temperatura média anual e durante o período experimental.

### 2.2 Material genético de *Elaeis spp* testado

Os genótipos selecionados são fruto de um trabalho de melhoramento que a Embrapa Amazônia Ocidental vem desenvolvendo, no qual alia *E. guinensis* que apresenta maior produtividade com o *E. oleifera* detentor de um porte mais reduzido, resistência ao amarelecimento fatal e maior tolerância a deficiência hídrica, características essenciais para o sucesso do dendê em algumas regiões do país como a encontrada na área do experimento. Assim foram utilizados 6 cultivares de dendê (*E. guinensis*): C2501, C2301, C2328, C3701,

C2801, C7201 e dois híbridos originários de cruzamentos do dendê (*Elaeis guineensis*) com o caiaué (*Elaeis oleifera*): RUC13 e RUC87 (Tabela 17).

**Tabela 17.** Cultivares e híbridos intraespecíficos de dendê (*Elaeis guineensis*) melhorados pela Embrapa Amazônia Ocidental e implantados no experimento.

<b>Cultivares de dendê (<i>Elaeis guineensis</i>)</b>		
<b>CATEGORIA</b>	<b>LINHAGEM FEMININA</b>	<b>LINHAGEM MASCULINA</b>
C 2501	DA5D X DA3D AF	LM 2T AF
C 2301	LM269 X DA115D AF	LM 2T AF
C 2328	LM269D X DA115D AF	LM 10 T AF
C 3701	LM404D XDA3D AF	LM 2T AF
C 2801	DA 115 D AF	LM 2T AF
C 7201	DA 8 D X DA115D AF	LM 2T AF
<b>Híbridos interespecíficos de <i>Elaeis oleifera</i> X <i>E. guineensis</i></b>		
RUC 13	A31.31.11/Manicoré 1	LM 2 T AF / P2659P
RUC 87	A44.02.20/Manicoré 2	LM 10 T AF/ P 2662P

### 2.3 Implantação do experimento

As mudas foram plantadas no viveiro da Alumar (S. Luís – MA), inicialmente colocando as sementes em sacos de polietileno escuro de 10 cm de largura x 20 cm de altura contendo solo de horizonte superficial (terra vegetal). Após 4 meses, as mudas foram repicadas para sacos de 40 x 40 cm com 2,5 kg do mesmo solo anterior. Todas as plantas foram inoculadas com uma mistura de fungos micorrízicos *Glomus clarum* e *Gigaspora margarita*. O plantio no campo foi efetuado quando as mudas apresentavam cerca de 60 cm de altura e 10 a 12 folhas definitivas, que foi realizado em 20 de julho de 2003 na área de disposição de resíduo alcalino da produção de alumina, já revegetado com leguminosas fixadoras de N há 8 anos (Figura 10).



**Figura 10.** Tanque de disposição de resíduo alcalino da produção de alumina, revegetado com leguminosas arbóreas com 7 anos e ao lado direito outro tanque ainda sem a revegetação (2004).

O delineamento experimental foi o de blocos ao acaso, consistindo de 5 blocos com 8 tratamentos e 10 plantas por parcela, com espaçamento de 9 m entre plantas e 9 m entre linhas

de plantio. As plantas foram dispostas em clareiras de 2 m abertas, em linha, sob a vegetação com leguminosas arbóreas, com área total ocupada de 3,24 ha (Figura 11). A irrigação foi feita por sistema de microaspersão localizado, quando necessário.



**Figura 11.** Plantas de dendê na área com resíduo de bauxita, reabilitada com leguminosas arbóreas (em abril de 2004, com 9 meses e em junho de 2005, com 23 meses).

## 2.4 Avaliações

### 2.4.1 Análise biométrica e teores de nutrientes do solo e das plantas

As avaliações foram feitas em três épocas: na ocasião do plantio no campo, aos 9 e aos 23 meses após esse plantio. Devido a variação de estabelecimento das plantas no período inicial, não foi possível medir a altura das plantas. Avaliou-se apenas o diâmetro na região do cólo e o número de folhas fotossinteticamente ativas. Na terceira avaliação, como as plantas já se apresentavam com uma copa mais desenvolvida, além deste, também foram mensurados a altura e o diâmetro médio da copa. O primeiro foi medido usando-se um paquímetro digital, já o diâmetro e a altura média da copa foram realizados com fita métrica.

Para avaliação do estado nutricional das plantas, foram retiradas amostras de folhas intermediárias, separando-se a parte central da folha para fins de análise de nutrientes (N, P, K, Ca e Mg) que foram feitas nas instalações da Embrapa Agrobiologia, segundo EMBRAPA (1997).

Avaliou-se a situação atual do solo da área do experimento quanto à fertilidade, coletando-se amostras de solo na profundidade de 0-20 cm e analisado os teores de N, P, K, Ca, Mg e C (EMBRAPA, 1997). Foram retiradas inicialmente 3 amostras por linha do dendê, formando uma amostra composta por tratamento, com três repetições, resultando num total de 24 amostras compostas na área. Para avaliação em profundidade foram abertas 3 trincheiras de 1,20 m de profundidade por 1,5 m de comprimento e 1 m de largura de modo que fosse possível a coleta das amostras até a 1 m de profundidade. Estas foram retiradas nas profundidades de 0-10, 10-30, 30-50, 50-70, 70-100 cm em função da variação da mudança da cor do substrato, com três repetições cada.

### 2.4.2 Análises microbiológicas

Foram coletadas raízes e solo na área de dendê para determinação da presença de bactérias diazotróficas. A amostragem foi feita coletando-se 3 amostras de substrato e raízes por linha de plantio de cada cultivar em cada bloco, formando uma amostra composta por cultivar, por bloco, num total de 8 amostras por bloco (1 para cada cultivar) e 40 no total. Estas amostras foram analisadas nos laboratórios da Embrapa Agrobiologia, Seropédica RJ. De cada uma das amostras foram retiradas sub-amostras de 10 g que foram maceradas na proporção de 10% (peso / volume) em solução salina. A partir desse extrato foram feitas diluições sucessivas de  $10^{-1}$  a  $10^{-7}$  e de cada diluição foram retiradas alíquotas de 0,1 mL e inoculadas em frascos contendo os meios de cultivo semi-sólidos, sem adição de nitrogênio e semi-seletivos para: *Azospirillum amazonense*, *Herbaspirillum* spp, e *Burkholderia* spp. Em seguida este material foi incubado a 30°C, por 96 horas, quando foi feita a avaliação do crescimento da película característica (crescimento positivo) e quantificada a população total de bactérias diazotróficas com base na técnica do número mais provável (NMP), utilizando a tabela de Mc Crady (DÖBEREINER et al., 1995).

Avaliou-se a ocorrência de fungos micorrízicos nas raízes e no solo de rizosfera através de microscopia óptica das raízes, após clareamento e coloração, usando a metodologia proposta por KOSKE & GEMMA (1989), em amostras de solo e raízes coletadas no momento do transplante das mudas para o campo (após 12 meses de viveiro) e com 9 e 23 meses após as mudas estarem no campo. Nessa amostragem foi adotada a mesma sistemática utilizada para a avaliação das bactérias diazotróficas no solo.

### 2.4.3 Fauna do solo

As avaliações de fauna do solo foram feitas em junho de 2005, comparando a área de dendê com três outras áreas, sendo uma adjacente sobre o mesmo tanque de resíduo de bauxita, mas fora da área utilizada para o plantio de dendê, uma de pastagem e uma de mata secundária, assim caracterizadas:

1- Dendê- área no tanque de resíduo de bauxita, com leguminosas arbóreas dispostas ao acaso, plantadas há 8 anos. Com a abertura das clareiras para o plantio de dendê, surgiu uma grande quantidade de espécies secundárias e uma vegetação rasteira, aumentando a diversidade de vegetação nas linhas de plantio de dendê. Nessas linhas foram distribuídas duas armadilhas do tipo “Pitt Fall” em cada, ao acaso. A amostragem foi feita em três blocos, totalizando 48 amostras na área de dendê, sendo 6 por cultivar.

2- Revegetação- área no tanque de resíduo de bauxita revegetado com leguminosas arbóreas há 8 anos, fora da área de plantio de dendê. Por ocasião da revegetação, estas foram distribuídas em parcelas de 20 m<sup>2</sup> com uma única leguminosa em cada parcela: acácia, albízia, algaroba, jurema, leucena, pau ferro e sabiá (FORTES, 2000). Foi colocada uma armadilha no centro de cada parcela, com três repetições, totalizando 21 armadilhas.

3- Mata- Área com alta diversidade, predominando espécies características de região costeira, bastante densa. Foram distribuídas 14 armadilhas, traçando um transecto à aproximadamente 30 m para dentro da área, à partir de uma estrada de deslocamento local e a partir daí foram posicionadas as armadilhas a cada 5 m .

4- Pastagem- Predomínio de braquiária e capim amargoso, apresentando trechos com algumas falhas. Foram colocadas 9 armadilhas, dispostas aleatoriamente, em uma área de aproximadamente 0,5 ha.

As armadilhas usadas foram do tipo *Pittfall Trapping*, onde foram adotados recipientes de polietileno de 9,5 cm de diâmetro e de altura, enterrados no solo, ao nível da superfície. Dentro deste foi colocado álcool 70% até a metade do recipiente, com algumas gotículas de detergente comum com o objetivo de atrair e quebrar a resistência superficial do material e fixar os indivíduos (CORREIA & OLIVEIRA, 2000).

As armadilhas permaneceram no campo durante uma semana. Ao final desse período, os indivíduos capturados nas armadilhas foram acondicionados em frascos de plástico e conservados em álcool a 70%, para posterior triagem em laboratório. O conteúdo de cada frasco foi analisado individualmente, em placas de Petri, sob microscópio óptico.

Para cada ponto de coleta, foram registradas as quantidades e identificados os indivíduos presentes ao nível de maior grupo taxonômico. O termo grupo foi usado para o estudo da meso e macrofauna, significando por vezes família, classe ou ordem, objetivando agrupar indivíduos com a morfologia externa similar. As comunidades foram caracterizadas com base nos parâmetros de riqueza e densidade de grupos (BROWER et al., 1997).

### 2.4.4 Análises estatísticas dos dados

O dados foram analisados usando o pacote estatístico Sisvar, UFLavras-MG, através de análise de variância para detecção de significância e comparação de médias, usando o teste de Scott Knott, quando significativo. Para fauna, foi montado um dendrograma de similaridade utilizando-se o Índice de Jaccard (BROWER et al, 1997) e para comparação das áreas, utilizou-se análise de variância, e o teste de Scott Knott para comparação de médias.

### 3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Na primeira avaliação de diâmetro à altura do cólo, após 9 meses de plantio no campo foram observados incrementos superiores a 100% para todas as cultivares em relação a fase de viveiro. Na segunda avaliação em campo, as cultivares C7201 e RUC87 apresentaram-se superiores às demais. Em contrapartida o menor desenvolvimento nesse parâmetro se deu no genótipo C2801 (Tabela 18).

**Tabela 18.** Diâmetro do cólo, número de folhas fotossinteticamente ativas, altura das plantas e diâmetro médio da copa em plantas de dendê no viveiro, aos 9 e aos 23 meses de plantio em área de resíduo de bauxita revegetada com leguminosas arbóreas.

Cultivares	Diâmetro (cm)			N° de Folhas		Altura (m)	Diâmetro de Copa (m)
	Plantio	9 meses	23 meses	9 meses	23 meses	23 meses	23 meses
<b>C2328</b>	3,23 a	7,22 a	11,47 b	14,02 a	20,8 b	2,08 b	2,26 a
<b>C2801</b>	3,09 a	6,43 b	9,71 c	12,82 b	20,8 b	1,71 c	1,92 b
<b>C2301</b>	2,84 b	6,00 b	11,69 b	12,86 b	22,34 b	1,92 c	2,27 a
<b>C3701</b>	2,79 b	5,99 b	12,32 b	13,12 b	23,3 b	1,92 c	2,32 a
<b>C7201</b>	2,95 b	6,37 b	14,56 a	13,00 b	22,72 b	2,07 b	2,31 a
<b>RUC 13</b>	2,96 b	6,21 b	11,27 b	13,52 b	22,04 b	2,02 b	2,38 a
<b>C2501</b>	2,91 b	6,46 b	12,32 b	13,22 b	22,76 b	2,00 b	2,31 a
<b>RUC 87</b>	3,14 a	7,36 a	15,19 a	14,88 a	26,98 a	2,30 a	2,53 a
<b>CV (%)</b>	16,95	23,13	36,81	19,78	27,24	27,11	26,82

Médias seguidas de mesma letra não diferem entre si segundo Scott Knott (P=0,05).

As cultivares RUC87 e C7201 também apresentaram maior número de folhas fotossinteticamente ativas na última avaliação, sendo que a primeira superou às demais em todos os parâmetros estudados. Os resultados mostram uma maior capacidade de estabelecimento desta cultivar nas condições do substrato, e reforça a importância do cruzamento entre o dendê africano e o caiaué brasileiro, conferindo maior adaptabilidade do genótipo às condições do país.

De modo geral, pode se dizer que as plantas têm apresentado um desenvolvimento similar aos observados em solos em outras regiões (FURLAN JÚNIOR, et al., 2000), isso demonstra a eficácia da reabilitação da área usando cinza e leguminosas arbóreas, onde já se observa condições propícias ao desenvolvimento do dendê.

Os teores de nutrientes acumulados nas plantas em duas avaliações de campo, são distintos dos apresentados por RANKINE & FAIRHURST (1999), que observou teores na ordem de 25,0; 1,6; 10,8; 6,0 e 1,5 g kg<sup>-1</sup> de N, P, K, Ca e Mg, respectivamente, em plantio comercial, em condições normais (Tabela 19). Os teores de N, P e K<sup>+</sup>, obtidos nesse experimento são inferiores aos obtidos por aquele autor, enquanto os de Ca<sup>+2</sup> e Mg<sup>+2</sup> aqui encontrados são maiores, o que pode refletir o período de amostragem ou a fase de desenvolvimento do dendê.

Na primeira avaliação, os genótipos apresentaram diferenças significativas quanto aos teores de P, K<sup>+</sup>, Ca<sup>+2</sup> e Mg<sup>+2</sup>, enquanto que na segunda essas diferenças deixaram de existir. Isso pode ser devido ao melhor estabelecimento das plantas. Pode-se notar também um aumento nos teores de K<sup>+</sup> na segunda avaliação para todos os genótipos, com exceção apenas de C7201 e C2501 e RUC 87, que já haviam apresentado maior teor desse elemento na primeira avaliação.

**Tabela 19.** Teores de nutrientes na biomassa seca de plantas de dendê coletadas em duas avaliações, com 9 (A1) e 23 meses (A2) de plantio no campo.

Cultivar	Teores de nutrientes									
	N		P		K <sup>+</sup> g kg <sup>-1</sup>		Ca <sup>+2</sup>		Mg <sup>+2</sup>	
	Época de amostragem (meses de plantio no campo)									
	9	23	9	23	9	23	9	23	9	23
<b>C2328</b>	14,99 Aa	9,02 Ba	0,69 Ab	1,22 Aa	4,20 Bb	8,40 Aa	1,39 Bb	7,06 Aa	1,24 Ab	2,04 Aa
<b>C2801</b>	13,22 Aa	11,04 Aa	1,27 Ab	1,13 Aa	4,20 Bb	8,80 Aa	3,09 Ba	6,98 Aa	3,03 Aa	2,10 Ba
<b>C2301</b>	14,29 Aa	8,92 Ba	1,46 Aa	1,00 Aa	4,80 Bb	8,90 Aa	4,00 Aa	6,48 Aa	3,10 Aa	1,91 Ba
<b>C3701</b>	17,76 Aa	9,19 Ba	0,76 Ab	1,07 Aa	3,40 Bb	8,90 Aa	2,30 Bb	6,96 Aa	1,54 Ab	2,10 Aa
<b>C7201</b>	17,79 Aa	13,31 Aa	1,98 Aa	1,22 Ba	7,40 Aa	8,10 Aa	4,78 Ba	8,21 Aa	2,60 Aa	2,14 Aa
<b>RUC13</b>	15,26 Aa	9,93 Ba	1,15 Ab	1,03 Aa	4,70 Bb	9,70 Aa	3,47 Ba	7,07 Aa	2,15 Ab	1,96 Aa
<b>C2501</b>	17,72 Aa	10,83 Ba	1,10 Ab	1,03 Aa	7,50 Aa	8,20 Aa	3,87 Ba	7,74 Aa	1,73 Ab	1,83 Aa
<b>RUC 87</b>	16,12 Aa	12,55 Aa	1,67 Aa	1,04 Aa	8,90 Aa	8,80 Aa	4,46 Aa	5,74 Aa	2,68 Aa	1,74 Ba
<b>CV %</b>	25,77%		29,17%		47,82%		29,45%		24,27%	

Médias seguidas de mesma letra não diferem entre si segundo o teste de Scott Knott (P=0,05). Letras maiúsculas referem-se à comparação entre as duas épocas na linha e minúsculas referem-se às cultivares na coluna para cada avaliação.

N - Método Kjeldahl (ALVES et al., 1994); Ca, Mg, P e K - EMBRAPA (1997).

MALAVOLTA et al. (1989), em trabalho sobre as exigências nutricionais do dendzeiro com a idade de 12 meses, verificaram que as plantas apresentaram uma exigência mínima nas folhas (em g kg<sup>-1</sup>) de 27 de N; 1,6 de P; 12,5 de K<sup>+</sup>; 5,0 de Ca<sup>+2</sup>; 2,3 de Mg<sup>+2</sup>. Na avaliação do dendê no tanque de resíduo de bauxita da Alumar, houve uma tendência à redução da concentração de N e P na maioria dos genótipos, da primeira para a segunda avaliação, deixando esses teores abaixo da exigência mínima das plantas. Esses resultados poderiam indicar que N, P e K<sup>+</sup> aos 23 meses após o plantio no campo já estariam limitando o crescimento das plantas de dendê apesar da abundante camada de serapilheira fornecida pelas leguminosas e da presença de micorrizas tanto nas leguminosas, quanto no dendê. Apenas o Ca<sup>+2</sup>, apresentou teores que atendem as exigências do dendê, ocorrendo um aumento nesses teores aos 23 meses em quase todos os genótipos.

A estimativa do número de bactérias diazotróficas pela técnica do número mais provável (NMP), mostra que os valores estão próximos aos encontrados por DOBEREINER, et al. (1998), avaliando ocorrência de bactérias fixadoras de nitrogênio em plantas de dendê, o que mostra que o substrato presente na área não está prejudicando a atividade de microrganismos em associação com as plantas (Tabela 20).

A colonização por bactérias diazotróficas nas raízes foi muito similar entre todos os genótipos avaliados e entre a avaliação feita no plantio, após saída do viveiro e 9 meses após o plantio no campo. Houve uma queda na quantidade desses organismos na terceira avaliação para todas as cultivares, com exceção da cultivar RUC 87, que apresentou valor superior às demais, o que pode indicar uma maior capacidade de associação dessa cultivar com bactérias fixadoras de nitrogênio, o que poderia ter contribuído para um maior desenvolvimento das plantas até a última avaliação. Essa maior associação com bactérias diazotróficas e fungos micorrízicos, merece ser melhor investigada, visando entender o real papel desses organismos no maior desenvolvimento dessa cultivar.

**Tabela 20.** Colonização de fungos micorrízicos e presença de bactérias diazotróficas em plantas de dendê em área de resíduo de bauxita após 8 anos revegetados com leguminosas arbóreas.

Cultivares	Bactérias ( $\log \times 10^5$ cél. g m. fresca <sup>-1</sup> )			Colonização micorrízica (%)		
	Plantio	9 meses	23 meses	Plantio	9 meses	23 meses
<b>C2328</b>	1,75 Aa	1,71 Aa	0,72 Bb	4 Bb	27 Aa	36 A a
<b>C2801</b>	1,89 Aa	1,51 Ab	1,07 Ab	4 Bb	32 Aa	35 Aa
<b>C2301</b>	1,73 Aa	1,60 Ab	0,43 Bc	19 Ba	38 Aa	39 Aa
<b>C3701</b>	1,75 Aa	1,96 Aa	0,4 Bc	0 Bb	30 Aa	34 Aa
<b>C7201</b>	1,74 Aa	2,11 Aa	1,22 Bb	0 Bb	24 Aa	34 Aa
<b>RUC 13</b>	1,52 Aa	0,60 Bb	0,70 Bc	18 Aa	22 Aa	30 Aa
<b>C2501</b>	1,11 Aa	1,30 Ab	0,1 Bc	10 Ba	29 Aa	31 Aa
<b>RUC 87</b>	1,64 Ba	1,78 Ba	2,04 Aa	5 Bb	32 Aa	41 Aa
<b>CV (%)</b>	40,12	48,57	48,57	53,79	17,84	9,04

Médias seguidas de mesma letra não diferem entre si segundo Scott Knott (P=0,05). Letras maiúsculas referem-se à comparação entre as três épocas na linha e minúsculas referem-se às cultivares na coluna para cada medição.

Apesar das diferenças não terem sido significativas, este genótipo também apresentou maior concentração de N e maior taxa de micorrização que as demais em valores absolutos. Isto pode indicar que este genótipo está se beneficiando com vantagem competitiva em relação aos demais pela simbiose com os microrganismos estudados.

Antes do plantio das mudas no campo, os melhores resultados de infecção micorrízica foram encontrados para os genótipos C2301, RUC13, e C2501, que apresentaram entre 10 e 19% de colonização, considerados valores baixos (COZZOLINO, 1996; DÖBEREINER et al. 1998), provavelmente devido ao substrato rico em nutrientes utilizado na formação das mudas. Após o plantio no campo, houve um aumento expressivo para todas as cultivares, exceto para RUC 13, chegando à 41 % de colonização na RUC87. Nas cultivares C7201 e C3701, onde não havia se observado colonização micorrízica no viveiro, em condições de campo encontrou-se 24 e 30% de colonização, respectivamente.

Na segunda avaliação de campo, notou-se uma certa estabilidade dos valores de colonização micorrízica em relação às cultivares, não apresentando diferenças significativas entre elas, porém observou-se uma tendência ao aumento de colonização para todas as cultivares e principalmente a diminuição da disponibilidade de P no sistema, o que demonstra que os fungos micorrízicos possuem papel determinante no desenvolvimento do dendê. Vale ressaltar que somente o híbrido RUC87 se destacou apresentando o maior valor de colonização micorrízica em números absolutos. Esses resultados indicam a importância desses microrganismos para o crescimento das plantas, devendo o seu efeito ser melhor estudado. Os valores de colonização micorrízica encontrados são próximos aos encontrados por SUDO et al. (1996) que, em 8 meses após inoculação de pupunha, observou 53% de colonização para mudas inoculadas e apenas 13% para mudas não inoculadas. Com isso, percebe-se que o tanque de resíduo revegetado já vem apresentando colonização com fungos micorrízicos capazes de infectar novas plantas, o que demonstra a eficiência das leguminosas arbóreas de rápido crescimento para estimular a recomposição biológica do solo (FRANCO et al., 1991).

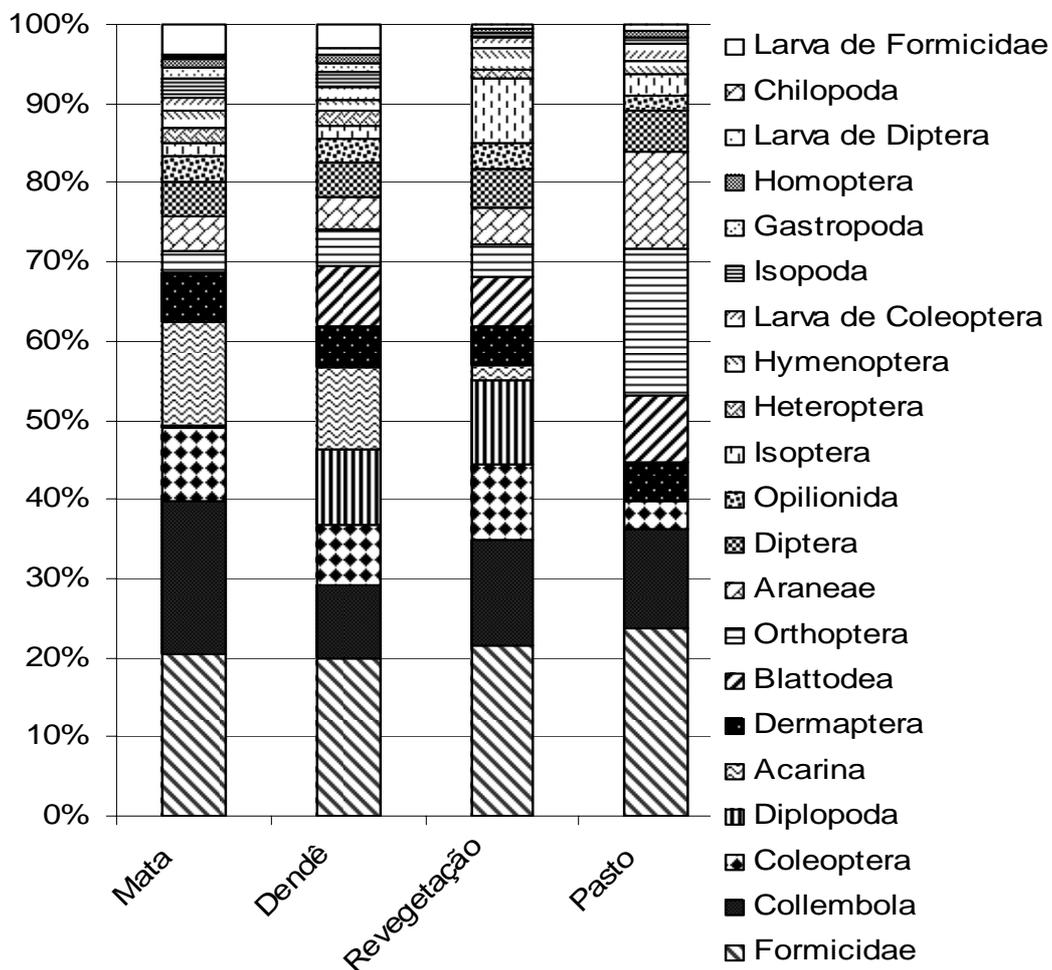
As leguminosas arbóreas implantadas no tanque de resíduo tem possibilitado a melhoria das características e as condições do solo, saindo de uma condição praticamente inóspita há 8 anos para uma situação onde já começa a apresentar uma diversidade de plantas e organismos, capazes de suportar até mesmo uma cultura comercial na sua fase de estabelecimento.

## Fauna do solo

Na avaliação da fauna do solo, nota-se que a diversidade no tanque de resíduo está próxima à encontrada na mata, indicando que embora a área com resíduo apresente valores inferiores aos encontrados na mata, estes valores são muito superiores aos encontrados na pastagem, o que indica que o sistema está avançando para um equilíbrio ecológico mais sustentável.

Para a identificação dos organismos foram feitas distinções entre larvas e adultos, no caso dos insetos holometábolos; os indivíduos pertencentes à ordem Hymenoptera foram separados em duas categorias: família Formicidae e demais Hymenoptera (COSTA, 2002).

Assim foram obtidos 21 grupos taxonômicos, considerando a distinção feita entre adultos e larvas (18 grupos de organismos adultos e três grupos de larvas) (Figura 12) (CORREIA, 1994; CORREIA et al. 1995).



**Figura 12.** Composição relativa dos grupos de fauna edáfica na área de dendê comparada com a revegetação, a mata e o pasto.

Nesse estudo, os grupos da fauna de maior destaque em todas as quatro áreas foram: Formicidae e Collembola, sendo que o primeiro representou aproximadamente um quinto do total de organismos encontrados (20,52), (19,90), (21,48) e (23,63) para Mata, Dendê, Revegetação e Pasto, respectivamente. De qualquer forma, há diferenças em relação à

dominância nos demais grupos entre as áreas. Na Mata, além dos já referidos, aparecem em destaque Coleoptera, Acarina e Dermaptera, correspondendo a 68% do total da área. No dendê, aparece com maior dominância, além de Formicidae e Collembola, Coleóptera, Diplopoda, Acarina, Blattodea e Dermaptera, representando 69% da área. Na Revegetação, aparece em maior número Formicidae, Collembola, Diplopoda, Coleoptera e Isoptera, sendo 63% da área e no Pasto, os mais populosos foram Formicidae, Orthoptera, Collembola e Aranae, o que corresponde a 67% do total de organismos encontrados na área. O grupo Saprófago Isopoda, que é um dos principais decompositores da matéria orgânica (DINDAL, 1990), apareceu em pequena quantidade, inclusive na Revegetação e no Pasto, principalmente.

Outros grupos de organismos Saprófagos tais como Diplopoda e Blattodea, apareceram em grande quantidade no Dendê e na Revegetação. Como são organismos associados a qualidade da matéria orgânica (DINDAL, 1990), atribui-se esse fato a uma melhor qualidade da serapilheira nessas áreas, em função das leguminosas arbóreas de baixa relação C/N que possibilitam uma rápida decomposição do material.

### Comparação entre as áreas

Comparando as cultivares de dendê quanto a distribuição de fauna, não houve diferenças entre elas pelo teste de Scott Knott em nível de 5 %. Esses organismos estão mais associados à matéria orgânica na área, que pode ser considerado mais homogênea no solo para todas as cultivares (Tabela 21).

**Tabela 21.** Número médio de indivíduos coletados por grupo taxonômico no dendê.

GRUPOS	Número médio de indivíduos coletados na área do dendê							
	Genótipos (ns)							
	C 2301	C 2328	C 2501	C 2801	C 3701	C 7201	RUC13	RUC87
<b>Formicidae</b>	19,2	12,7	9,0	28,0	4,7	18,7	10,0	18,0
<b>Collembola</b>	15,0	1,7	1,7	9,7	4,3	6,8	2,7	8,7
<b>Coleoptera</b>	4,2	8,3	4,5	11,0	0,7	5,8	6,5	5,7
<b>Diplopoda</b>	16,0	7,2	5,5	5,8	2,5	6,9	4,0	5,7
<b>Acarina</b>	8,7	0,3	3,3	10,0	1,3	16,1	1,3	1,0
<b>Dermaptera</b>	3,7	1,7	3,3	8,2	3,2	4,1	2,0	4,3
<b>Blattodea</b>	6,8	2,7	3,8	9,0	2,7	7,0	4,3	3,3
<b>Orthoptera</b>	6,2	4,3	3,0	6,7	2,0	2,4	2,7	2,7
<b>Aranae</b>	3,3	2,0	1,3	2,0	0,3	3,2	10,7	5,2
<b>Diptera</b>	1,3	1,0	0,7	4,0	0,0	2,8	6,7	5,5
<b>Opiliona</b>	2,0	1,3	0,0	3,7	0,7	1,0	0,3	6,7
<b>Isoptera</b>	1,0	2,2	1,3	1,0	0,7	1,2	1,3	0,5
<b>Heteroptera</b>	2,7	3,3	0,7	0,3	0,5	0,7	0,0	0,7
<b>Hymenoptera</b>	0,7	0,7	0,0	0,5	1,7	0,6	0,3	1,7
<b>Larva de Coleoptera</b>	1,0	3,7	0,7	0,7	0,0	1,4	0,7	0,7
<b>Isopoda</b>	2,7	0,0	0,3	1,7	0,0	0,3	0,7	1,7
<b>Gastropoda</b>	0,7	4,0	0,3	0,3	0,0	0,2	0,0	0,0
<b>Homoptera</b>	1,3	0,3	0,0	1,0	0,0	0,2	1,3	0,3
<b>Larva de Diptera</b>	0,3	0,0	0,0	3,3	0,0	0,2	0,0	0,7
<b>Larva de Formicidae</b>	0,7	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1	1,7	0,0

Ns= Não foram detectadas diferenças significativas entre as cultivares, pelo teste de Scott Knott

Considerando as áreas avaliadas, houve maior predomínio de organismos na maior parte dos grupos dentro da Mata, em relação às demais. Houve predomínio de Collembola na Mata, provavelmente associado a maior diversidade de espécies nessa área. Os grupos Isopoda e Diplopoda são importantes como vetores de FMAs (RABATIN & STINNER,

1988), sendo que o primeiro também pode mover o “litter” em profundidade no solo (HASSELL et al., 1987), o que pode ser muito interessante para o tanque de resíduo, melhorando as características do substrato (Tabela 22).

**Tabela 22.** Número médio de indivíduos da fauna do solo por armadilha por semana, densidade, riqueza de grupos, índice de diversidade de Shannon (H') (log 10) e índice de uniformidade (J) de Pielou em cada área em cada área.

GRUPOS	Número médio de indivíduos coletados por área			
	Mata	Dendê	Revegetação	Pasto
Formicidae	16,6 a	15,7 a	10,6 a	5,6 b
Collembola	15,5 a	7,4 b	4,6 b	3,0 b
Coleoptera	7,5 a	6,0 a	4,3 a	0,8 b
Diplopoda	0,2 b	7,5 a	5,7 a	0,0 b
Acarina	10,6 a	8,1 a	0,5 b	0,0 b
Dermaptera	4,9 a	4,2 a	1,9 b	1,2 b
Blattodea	0,3 b	6,0 a	2,6 a	2,0 a
Orthoptera	2,2 a	3,6 a	1,9 a	4,4 a
Araneae	3,5 a	3,3 a	1,7 a	2,9 a
Diptera	3,5 a	3,4 a	1,6 a	1,2 a
Opilionida	2,6 a	2,3 a	1,2 a	0,5 a
Isoptera	1,3 a	1,3 a	2,7 a	0,6 a
Heteroptera	1,6 a	1,5 a	0,5 a	0,0 a
Hymenoptera	1,7 a	1,0 a	1,1 a	0,4 a
Larva de Coleoptera	1,5 a	1,3 a	0,5 a	0,5 a
Isopoda	1,9 a	1,6 a	0 b	0,2 b
Gastropoda	1,1 a	0,9 a	0,3 a	0,0 a
Homoptera	0,9 a	0,7 a	0,2 a	0,2 a
Larva de Diptera	0,1 a	0,8 a	0,3 a	0,2 a
Chilopoda	0,4 a	0,0 b	0,0 b	0,0 b
Larva de Formicidae	3,0 a	2,3 a	0,0 a	0,0 a
<b>Riqueza de grupos</b>	21 a	20 a	18 a	15 b
<b>Densidade de indivíduos</b>	80,90 a	78,90 a	41,80 b	23,70 b
<b>H'(Shannon)</b>	1,07	1,15	1,07	0,97
<b>J (Pielou)</b>	0,81	0,88	0,85	0,83

Médias seguidas de mesma letra na mesma linha não diferem entre si pelo teste de Scott Knott à 5%

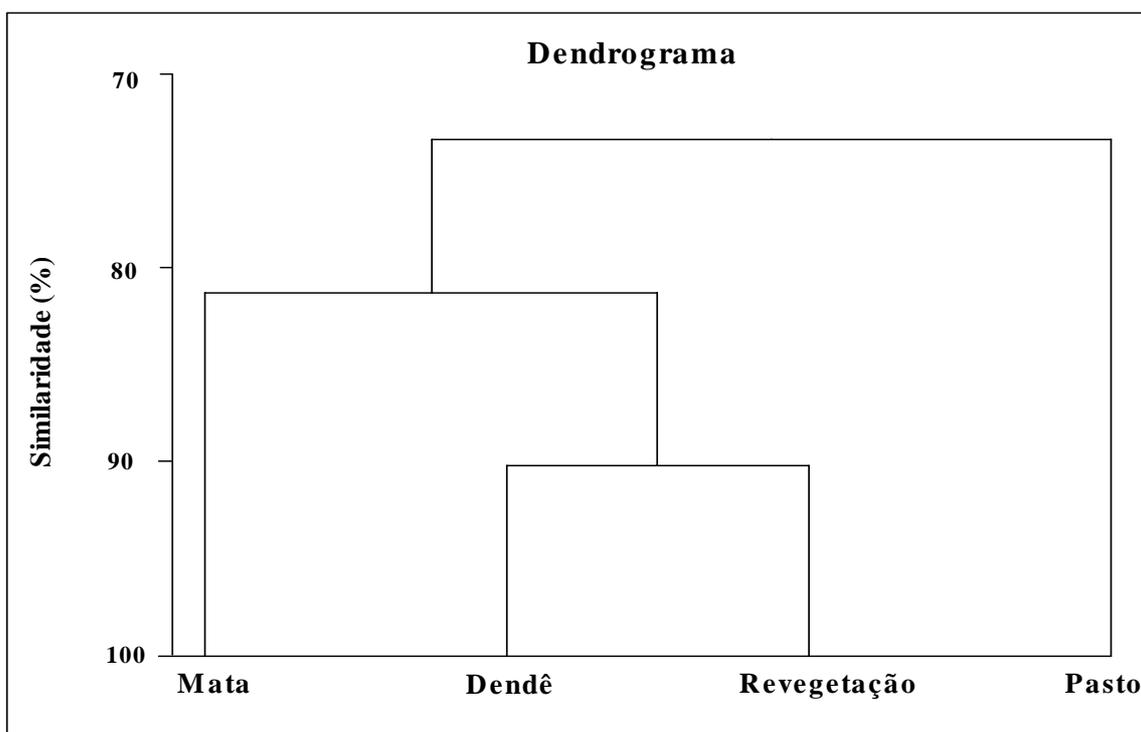
A riqueza de espécies entre as áreas são muito próximas, porém, no Pasto foram encontrados apenas 15 grupos taxonômicos. Os valores médios de densidade de fauna do solo apresentaram diferenças significativas entre as áreas, sendo que a Mata e o Dendê apresentaram maior densidade de organismos que as demais. Isso mostra a influência da diversidade da vegetação, quantidade, qualidade e diversidade da matéria orgânica no comportamento da biota do solo. Considerando que a área de dendê está sobre um tanque de resíduo de bauxita, nota-se que a revegetação tem proporcionado além de melhores condições para a vegetação, também características favoráveis para a recuperação dos organismos do solo e conseqüentemente o aumento da biodiversidade. Nesse caso, pode se destacar que, com a retirada da vegetação de maior porte com a abertura das clareiras, surgiu uma maior diversidade de vegetação rasteira que tem atraído a fauna de solo local. O acúmulo de matéria

orgânica depositado pelo corte das árvores, parece ter sido fundamental para essa situação. Os índices de diversidade de Shannon ( $H'$ ) e de uniformidade ( $J$ ) de Pielou também foram parecidos, porém a área de dendê apresentou valores absolutos um pouco superiores às demais áreas, inclusive aos obtidos Mata, isso reforça a importância do uso desta tecnologia.

### Análises de agrupamento

Na Figura 13 foi apresentado o dendrograma mostrando similaridade de Jaccard (BROWER et al., 1997) entre as quatro áreas em função da distribuição dos organismos.

A análise de agrupamento identificou que as áreas são similares. Mesmo a área de Pasto que apresentou menor similaridade com as demais áreas, obteve aproximadamente 73% de similaridade com o agrupamento que separa Mata do agrupamento Dendê e Revegetação. A área de Dendê apresenta similaridade de 90% com a Área de Revegetação, sendo que a diferença entre essas áreas foi a disposição das leguminosas durante o processo de revegetação e a abertura de clareiras para o plantio de dendê. Esse agrupamento também ficou mais próximo da Mata, que do Pasto, sendo que este apresentou uma analogia de aproximadamente 81% com a Mata.



**Figura 13.** Dendrograma resultante da análise de agrupamento realizada com os tratamentos estudados em função do comportamento da atividade da fauna do solo, usando a similaridade de Jaccard.

A adição contínua de matéria formadora de serapilheira juntamente com a atividade de microrganismos pode possibilitar o aumento da disponibilidade de nutrientes e a melhoria da fertilidade na área revegetada. De acordo com LAVELLE et al., (1992), a interação da fauna de solo com microrganismos e plantas é capaz de modificar funcionalmente e estruturalmente o solo, exercendo uma regulação sobre os processos de decomposição e ciclagem de nutrientes.

### Avaliação do substrato em profundidade

No período observado houve um aumento significativo nos teores de Ca, Mg e N no solo, oriundos da mineralização dos compostos orgânicos e liberação de nutrientes da matéria orgânica depositada. Essa melhoria nas propriedades do solo em profundidade sobre o resíduo vai ocorrendo de forma descendente pela ação da lixiviação das camadas superiores, dispersão dos nutrientes, tendo como resultado o início da formação do solo e restauração das funções ecológicas do sistema (Tabela 23).

**Tabela 23.** pH, Al e teores de  $\text{Ca}^{+2}$ ,  $\text{Mg}^{+2}$ , P e  $\text{K}^{+}$  em profundidade no tanque de resíduo de bauxita após 7 anos de revegetação.

Profundidade cm	pH	$\text{Al}^{+3}$	$\text{Ca}^{+2}$	$\text{Mg}^{+2}$	P	$\text{K}^{+}$
	Em água	----- $\text{cmol}_c \text{dm}^{-3}$ -----	----- $\text{cmol}_c \text{dm}^{-3}$ -----	----- $\text{cmol}_c \text{dm}^{-3}$ -----	----- $\text{mg kg}^{-1}$ -----	----- $\text{mg kg}^{-1}$ -----
<b>0-10</b>	6,08	0	2,73	0,73	82	66
<b>10-30</b>	6,28	0	2,63	0,55	55	79
<b>30-50</b>	7,10	0	4,13	0,78	28	123
<b>50-70</b>	8,75	0	3,43	0,50	10	49
<b>70-100</b>	9,58	0	2,72	0,57	1	26
<b>Em 1997</b>						
<b>(Fortes 2000)</b>	10,2	-	0,3	-	1	27

Considerando o efeito da revegetação ao longo de 8 anos é possível comparar o resíduo hoje em relação ao inicial, antes da intervenção (FORTES, 2000). É importante ressaltar que a camada de cinza colocada sobre o resíduo foi de 40 cm e após esses 7 anos de reabilitação só há similaridade com o material original a partir dos 70 cm de profundidade, ou seja, quando se considera a profundidade de 50-70, é notável que houve uma redução do pH e uma elevação nos teores de  $\text{Ca}^{+2}$ ,  $\text{Mg}^{+2}$ , P e K, o que indica que fatores químicos e biológicos vem atuando conjuntamente para a melhoria da qualidade do substrato também em profundidade, possivelmente com a influência das cinzas no processo de lixiviação de bases (KOPITKE, et al.,2004), associado ao efeito da deposição de matéria orgânica pela vegetação. Esses resultados são relevantes e indicam a efetividade da recuperação da área através da técnica utilizada, vislumbrando agora esse novo desafio, de torná-la novamente produtiva.

## 4 CONCLUSÕES

- A área revegetada com leguminosas arbóreas está proporcionando um bom desenvolvimento inicial do dendezeiro, com destaque para os genótipos C7201 e RUC87; indicando um grande potencial de uso desses genótipos nessas áreas;
- O genótipo RUC87 apresentou maior população de bactérias diazotróficas e alta taxa de micorrização em suas raízes e maior conteúdo de N em seus tecidos.
- A qualidade do substrato está sendo melhorada em profundidade com o desenvolvimento das plantas e crescimento do sistema radicular e atividade da fauna do solo, indicando o sucesso do processo de reabilitação;
- A fauna do solo como indicadora biológica de qualidade do sistema, demonstra que a área do tanque de resíduo está mais próxima da mata que da pastagem.

## 5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

- A capacidade do resíduo em elevar o pH do solo é bastante interessante, principalmente nas condições de solos tropicais que normalmente apresentam grandes extensões de áreas com características ácidas e indica a possibilidade de seu uso, em condições parecidas com as apresentadas nesse trabalho. Porém ainda são necessários mais avanços nesses estudos, testando também o resíduo em condições de campo e com outras culturas de interesse agropecuário, para se concluir mais precisamente sobre o seu real potencial;
- Outro ponto importante a se destacar é o satisfatório desempenho do dendê no tanque de resíduo de bauxita, indicando a possibilidade de implantação dessa cultura futuramente em áreas com essas características. Isso é favorecido pela revegetação com leguminosas arbóreas junto a aplicação de cinzas que está melhorando a qualidade do substrato em profundidade com o desenvolvimento das plantas, crescimento do sistema radicular e atividade da fauna do solo, indicando a eficiência do uso desta tecnologia nesse tipo de condição que à medida que vai melhorando, possibilita a introdução de culturas agrícolas como esta, para aproveitamento na indústria como fonte de energia.

## 6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS:

ABAL Associação Brasileira das Indústrias de Alumínio. Disponível em:<http://www.abal.org.br>.

ABNT- Associação Brasileira de Normas Técnicas. Resíduos Sólidos. NBR 10004. 1987.

ALEXANDER, M. Biodegradation of chemicals of environmental concern. **Science**, v.211, n.9, p.132-138, 1981.

ALUMAR, 25 Year masterplan for bauxite residue disposal 1996-2002. São Luís: ALUMAR, 93p, 1996.

ALUMAR- CONSÓRCIO DE ALUMÍNIO DO MARANHÃO. Disponível no site: <http://www.alumar.com.br>. Acessado em 30/09/2005.

ALVES, B.J.R.; SANTOS, J.C.F. dos; URQUIAGA, S.; BODDEY, R.M. Métodos de determinação do nitrogênio em solo e planta. In: HUNGRIA, M.; ARAUJO, R.S., (Ed.). **Manual de métodos empregados em estudos de microbiologia agrícola**. Brasília: EMBRAPA-SPI, 1994. p.449-409. (EMBRAPA-CNPAF. Documentos, 46).

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DA POTASSA E DO FOSFATO. **Fósforo na agricultura brasileira**. Piracicaba. POTAFOS, 726p., 2004.

BARROW, N.J. Possibility of using residue from bauxite for improving the chemical and physical properties of sandy soils. **Australian Journal Agricultural Research**, Australia, v.33, 1982.

BASTOS, T.X.; MÜLLER, A.A; PACHECO, N.A.; SAMPAIO, S.M.N.; ASSAD, E.D.; MARQUES, A.F.S. Zoneamento de Risco Climático para a Cultura do Dendezeiro – Estado do Pará: (resultados preliminares). Belém: Embrapa Amazônia Oriental, 2001. 15p.

BEZBARVAH, B.; SAKIA, N.; BORA, T. Effect of pesticide on most probable number of soil microbes from tea (*Camellia sinensis*) plantations and uncultivated land enumerated in enrichment media. **Ind. J. Agric. Sci.**, v.65, n.8, p.578- 583, 1995.

BOTELHO, S.M.; VIÉGAS, I.J.M; CHU, E.Y. Doses de N, P, e K na Nutrição e no Crescimento de Mudas de Dendezeiro. Belém: EMBRAPA-CPATU, 1998. 15p.

BOZELLI R.L., ESTEVES F.A. & ROLAND F. Lago Batata: Impacto e recuperação de um ecossistema amazônico. IB-UFRJ/SBL. Rio de Janeiro 342p. 2000.

BRADY, Nyle C. **Natureza e Propriedade dos Solos**. 7a ed, Rio de Janeiro: Livraria Freitas Bastos, 1989.

BROWER, J.E.; ZAR, J.H.; ENDLE, C.N. Field and Laboratory Methods for General Ecology. 4a ed, Estados Unidos: McGraw-Hill Companies, Inc, 1997.

CAMPELLO, E. F. C. Sucessão vegetal na recuperação de áreas degradadas. In: DIAS, L. E; MELLO, J.W.V. de., **Recuperação de áreas degradadas**. UFV, 1998. p 183-194.

CARVALHO, M. M.; MARTINS, C.E.; VERNEQUE, R. S. Resposta de uma espécie de braquiária à fertilização com nitrogênio e potássio em um solo ácido. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**. v.15 n.2 p195-200, 1991.

CENTRO INTERNACIONAL DE AGRICULTURA TROPICAL (CIAT). **Informe anual 1983**: programa de pastos tropicales. Cali. p.179-203. Suelos nutricion/ plantas. 1984.

CIAT- Tropical Pasture Program. **Anual Report 1981**. Cali, 1982.

CORREIA, M.E.F.; OLIVEIRA, L.C.M. de. Fauna de Solo: Aspectos Gerais e Metodológicos. Seropédica: Embrapa Agrobiologia. **Documentos 112**, 2000. 46p.

CORREIA, M.E.F.; FARIA, S.M.; CAMPELLO, E.F. & FRANCO, A.A. Organização da comunidade de macroartrópodos edáficos em plantios de eucalipto e leguminosas arbóreas. In: **CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO**, 25., Viçosa, 1995. Anais. Viçosa, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 1995. p. 442-444.

CORREIA, M.E.F. Organização da comunidade de macroartrópodos edáficos em um ecossistema de Mata Atlântica de Tabuleiros, Linhares (ES). **Dissertação de Mestrado em Ecologia**. UFRJ, Rio de Janeiro, RJ. 1994. 76p.

COSTA, P. Fauna do solo em plantios experimentais de Eucalyptus grandis Maiden, Pseudosamanea guachapele Dugand e Acacia mangium Willd. **Dissertação de Mestrado em Ciência do Solo**. Seropédica, UFRRJ, Instituto de Agronomia, 2002, 93p.

COZZOLINO, K. Produção de mudas de pupunheira colonizadas por fungos micorrízicos arbusculares. **Rev. Bras. de Ciência do Solo**, Campinas, SP, v.20, p.529-532, 1996.

CRAMMER, G. R.; LAUCHI, A.; POLITO, V. S. Displacement of  $Ca^{+2}$  by  $Na^{+}$  from the plasmalemma of roots cells. A primary response to salts stress. **Plant Physiology** 79, p. 207-211, 1985.

DE-POLLI, H.; ALMEIDA, D.L. Manual de adubação para o estado do Rio de Janeiro. **Coleção Universidade Rural – Série Ciências Agrárias**. Itaguaí-RJ: Editora Universidade Rural, 1988.

DINDAL, D. L. **Soil Biology Guide**. John Wiley & Sons. New York. 1349p. 1990.

DÖBEREINER, J.; BALDANI, V.L.D.; CARVALHO, A.R.V. de; COZZOLINO, K.; REIS, V.M. Identificação de associações com bactérias fixadoras em palmeiras nativas. **Documentos**, 74. Seropédica: Embrapa-CNPAB,. 1998, 15p.

DÖBEREINER J.; BALDANI V.L.D.; BALDANI J.I. Como isolar e identificar Bactérias Fixadoras de Nitrogênio em não leguminosas. Brasília-DF: **EMBRAPA-SPI**: Itaguaí-RJ, EMBRAPA-CNPAB, 1995, 60 p, p 11-35.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. **Manual de Métodos de Análise de Solos**. Rio de Janeiro, 1997.

FAQUIN, V.; HOFFMAN, C. R.; EVANGELISTA, A. R. O potássio e o enxofre no crescimento de braquiária em amostras de um Latossolo da região noroeste do Paraná. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.19, n.3, p. 87-94, 1995.

FARIA, S. M. de; FRANCO, A. A.; JESUS, R. M. de; MENANDRO, M. S.; BAITELLO, J. R.; MUCCI, E. S. P.; DÖBEREINER, J.; SPRENT, J. I. New nodulating legume trees from South-East Brazil. **New Phytologist**, Oxford, v. 98, p. 317-328, 1984

FORTES, J. L. de O. Reabilitação de depósito de resíduo do refino de bauxita com o uso de Resíduos Industriais e Leguminosas Arbóreas. 2000. 185 p. (**Tese de Doutorado em Ciência do Solo**)– Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica, 2000.

FORTES, J.L.O; CAMPOS NETO, D.C. & FRANCO, A. A Desenvolvimento de *Acacia mangium* Willd. em resíduo alcalino de bauxita coberto com cinza de carvão mineral. In: **CONGRESSO E EXPOSIÇÃO INTERNACIONAL SOBRE FLORESTAS**, 5., 1999, Curitiba. Anais. Curitiba:UFPR. CD-ROM. Seção de artigos.

FORTES, J.L.O; CAMPOS NETO, D.C. Alterações nas características químicas do solo e produção vegetal de milho com uso de resíduo de bauxita e cinza de caldeira. In: **Congresso Brasileiro de Ciência do Solo**, 25, 1995, Viçosa-MG. Resumos. Viçosa: SBCS, 1995. p. 1331-1333.

FRANCO, A.A., RESENDE, A.S. & CAMPELLO, E.F.C. 2003. Introdução das leguminosas arbóreas na recuperação de áreas degradadas e na sustentabilidade de sistemas agroflorestais. In: **Seminário sobre Sistemas Agroflorestais e Desenvolvimento Sustentável**. Campo Grande, CNPGC, p.1-24.

FRANCO, A.A. & FARIA, S.M. de. The contribution of N<sub>2</sub>-fixing tree legumes to land reclamation and sustainability in the tropics. **Soil Biology and Biochemistry**, vol 29: p 897-903, 1997.

FRANCO, A. A.; CAMPELLO, E. F. C.; DIAS, L. E.; FARIA, S. M. de. Uso de leguminosas associadas a microrganismos na revegetação de áreas de mineração de bauxita em Porto Trombetas –PA. **Documentos**, 27. EMBRAPA-CNPAB. Seropédica: Embrapa Agrobiologia, 1996. 69 p.

FRANCO, A.A.; CAMPELLO, E.F.C.; DIAS, L.E.; FARIA, S.M. Use of nodulated and mycorrhizal legume trees for vegetation of residues from bauxite mining. In: **INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON SUSTAINABLE AGRICULTURE FOR THE TROPICS - NITROGEN FIXATION**, 1995, Angra dos Reis. Abstracts. Angra dos Reis, EMBRAPA-CNPAB/UFRRJ/BRAZILIAN ACADEMY OF SCIENCES, 1995. p.80.

FRANCO, A.A.; CAMPELLO, E.F.C.; SILVA, E.M.R.; FARIA, S.M. Revegetação de solos degradados. **Comunicado Técnico, 9**. Seropédica: EMBRAPA-CNPAB, 1992. 11p.

FRANCO, A. A.; CAMPOS NETO, D., CUNHA, C. O., CAMPELLO, E. F. C.; MONTEIRO, E. M R. da S.; SANTOS, C. J. F., FONTES, A. M., FARIA, S. M. de. Revegetação de solos degradados. In: **Workshop sobre recuperação de áreas degradadas, 1.**, 1991. Itaguaí. Anais, 1991. p 133-145.

FREITAS, R. A. S. de. Comportamento de geotêxteis como filtro em resíduos – fosfógeno e lama vermelha. **Tese de mestrado em Engenharia Civil**. COPPE/UFRJ. 122p. Rio de Janeiro. 2003.

FULLER, R. D.; NELSON, E. D.P.; RICHARDSON, C.J. Reclamation of red mud (bauxite residues) using alkaline tolerant grasses with organic amendments. **Journal of Environmental Quality**, Madison, v.11, p533-539, 1982.

FURLAN JUNIOR, J.; TEIXEIRA, L. B.; OLIVEIRA, R. F. de. Uso de engaços como fonte de nutrientes na cultura do dendzeiro. **Circular Técnica 8**. Belém: Embrapa Amazônia Oriental, 2000. 13p..

GEORGE, P. R.; BRADBY, K. The Peel-Harvey catchment management programme. **Fertiliser Research**, Hague, v. 36 p. 185-192, 1993.

GHEYI, H. R.; CORREIA, K. G.; FERNANDES, P.D. Salinidade do solo e crescimento e desenvolvimento de plantas. In: **Estresses Ambientais: Danos e benefícios em plantas**, Recife-PE, pg. 138-147, 2005.

GREENBERG, A. E., et al. Standard Methods for the Examination of Water and Waste Water. 18<sup>th</sup> Edition. APHA. Washington, D.C. 1992.

GRIFFITH, J.J., DIAS, L. E., JÚNIOR, P. de M. A Recuperação Ambiental. **Revista Ação Ambiental**, UFV, ano II. N° 10. Fev/ Mar. 2000.

HAAG, H. P. **Ciclagem de nutrientes em floresta tropicais**. Campinas: Fundação Cargil, 144p, 1985.

HARTLEY, T., THORPE. Pinjarra Refinery, red mud stabilised limestone road base trial. **A report to Alcoa by Hartley Thorpe Consulting Chartered Engineers**, West Perth, 1980.

HASSEL, M.; TURNER, J.G. & RANDS, M.R.W. Effects of terrestrial isopods on the decomposition of woodland leaf litter. **Oecologia** (Berlin) 72:597-604. 1987

INSTITUTO DA POTASSA E DO FOSFATO. Manual Internacional da fertilidade do solo. 2<sup>a</sup> ed. Piracicaba: **POTAFOS**, 1998. 177p.

KOPITTKE, P. M. & MENZIS, N. Effect of pH on Na induced Ca deficiency. **Plant and Soil**. Queensland, v.1. n.2 9 p.1-11, 2004.

KOSKE, R.E.; GEMMA, J.N. A Modified Procedure for Staining Roots to Detect Va Mycorrhizas. **Mycological Research**, Cambridge, v.92, n.4, p.486-488, June 1989.

LABMET. Laboratório de Meteorologia-Universidade Estadual do Maranhão. Disponível no site: <http://www.nemrh.uema.br/index.html>, acessado em 10/11/2005.

LARCHER Walter. **Ecofisiologia Vegetal**. São Carlos, SP: Rima, 2000.

LAPA, R.P. A bauxita e o resíduo da bauxita. In. **Lago Batata: Impacto e recuperação de um ecossistema amazônico**. BOZELLI et al., 2000. Pp 25-36.

LAVELLE, P. Diversity of soil fauna and ecosystem function. **Biology International**, Paris, v.33, p.3-16, 1992.

LEMOES, R.C. & SANTOS, R.D. **Manual de descrição e coleta de solo no campo**. 3<sup>a</sup> ed., Campinas: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 1996.

MALAVOLTA, E.; VITTI, G.C., OLIVEIRA, S.A. de. Avaliação do estado nutricional das plantas: princípios e aplicações. Piracicaba: **POTAFOS**, 1989. 201p.

MALAVOLTA, E. **Elementos de nutrição mineral de plantas**. São Paulo : Agronômica Ceres, 1980. 251p.

MALAVOLTA, Eurípedes. **Manual de Química agrícola**. São Paulo. Ed. Agronômica Ceres, 1976.

MARSCHNER, H. Mineral nutrition of higher plants. San Diego, Academic, 1990. 674 p.

MATTOS, W. T.; MONTEIRO, F. A. Respostas de *Brachiaria brizantha* a doses de potássio. **Scientia Agrícola**, v.55 n.3, p.428-437, 1998.

MELLO, J. W. V.; ABRAHÃO, W. A. P. Geoquímica da drenagem ácida. In: DIAS, L. E., MELLO, J. W.V. ed. **Recuperação de áreas degradadas**. Viçosa: UFV, Departamento de Solos, Sociedade Brasileira de Recuperação de Áreas Degradadas, 1998. p 45-57.

MITIDIERI, F. J. Níveis de calcário em cinco gramíneas forrageiras cultivadas em solos de cerrado. **Dissertação de mestrado**. Esalq-USP, Piracicaba-SP, 156p, 1995.

MÜLLER, A. A., VIEGAS, I. J. M., CELESTINO FILHO, P., SOUZA, L. A., SILVA, H. M. Dendê: problemas e perspectivas na Amazônia. Belém: EMBRAPA/CPATU, 1989. 19p. (**Documentos, 13**).

NATIONAL ACADEMY OF SCIENCES. Mangium and other fast growing acacias for the humid tropics. **U.S. National Academy Press**, Washington, DC. 1983.

POLGLASE, P.J. & ATTIWILL, P.M. Nitrogen and phosphorus cycling in relation to stand age of *Eucalyptus regnans* F. Muell. **Plant and Soil**, 142:157-166, 1992.

PEREIRA, E. O Uso de Inibidores de Argilas como Solução de Problemas em Sondagens. **System Mud**, 2005.

PEREIRA, W. L. M. Doses de potássio e magnésio em solução nutritiva para capim-mombaça- **Tese de doutorado**. Esalq-USP, Piracicaba-SP, 124p, 2001.

RABATIN, S.C. & STINER, B.R. Indirect effects of interactions between VAM fungi and soil inhabiting invertebrates on plant processes. *Agric., Ecosystems and Environment*, 24:135-146.1988

RANKINE, IAN & FAIRHURST, T.H. **Better Crops International**, Vol. 13, No. 1, 1999.

REICHARDT, K. **A água em sistemas agrícolas**. Esalq-USP, 188p. 1990.

RESENDE, A. S. DE, FRANCO, A. A., MACEDO, M. O., CAMPELLO, E. F. C. Leguminosas associadas a microrganismos como estratégia de recuperação de áreas degradadas In: **Estresses Ambientais: Danos e benefícios em plantas**, Recife-PE, pg. 475-499, 2005.

RODRIGUES, R. C. Calcário, nitrogênio e enxofre para a recuperação do capim-braquiária cultivado em solo proveniente de uma pastagem degradada- **Dissertação de mestrado**. Esalq-USP, Piracicaba-SP, 141p, 2002.

SILVA, C. M. M. S. Impacto ambiental do regulador de crescimento vegetal paclobutrazol. **Documentos 30**. Embrapa Meio Ambiente, Jaguariúna-SP, 105 p. 2003.

SILVA, M.L.N.; CURI, N.; BLANCANEUX, P. Sistemas de manejo e qualidade estrutural de latossolo roxo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 35: 2485-2492, 2000.

SIMONS, A.P. Red mud (bauxite residue) as a potential liming alternative for acid soils in Surinam: **Crop yield improvement**. De Surinaamse Landbouw 32, 100-113,1984.

SIQUEIRA, C.; CARVALHO, M. M. de; SARAIVA, O. F.; OLIVEIRA, F. T. T. Resposta de três gramíneas forrageiras tropicais à aplicação de calcário e fósforo em um solo ácido. In: **Congresso Brasileiro de Zootecnia**, 1., Fortaleza, 1980. Anais. Viçosa, Sociedade Brasileira de Zootecnia, 1980. p.473.

SNARS, K; HUGHES, J. C.; GILKES, R. J. The effects of addition of bauxite red mud to soil on P uptake by plants. **Australian Journal of Agricultural Research**, 2004, 55, 25-31, 2004.

SOUZA, J. de. Dendê. Potencial para produção de energia renovável. CEPLAC. **Artigos Técnicos**. Ilhéus/Itabuna,2000. Disponível em <http://www.ceplac.gov.br/> Acesso em 10 out 2005.

SOUZA, H. R. de. Aproveitamento de lama vermelha para produção de agregados para construção civil . In: do O. M. P. coord. **Recuperação de resíduos da Indústria Metalúrgica**. Associação Brasileira de metais. Volta redonda, p.81-92, 1989.

SPESSOTO, A.M. Biodegradação do herbicida 14C-propanil em solos secos e alagados. **Dissertação de Mestrado**, Instituto de Biociências, Univ. Estadual Paulista. Rio Claro. 1995. 150p.

SUMÁRIO MINERAL – **Sumário Mineral** 2004 – DNPM. Disponível no site [http://www.dnpm.gov.br/dnpm\\_legis/sm2004.html](http://www.dnpm.gov.br/dnpm_legis/sm2004.html), acessado em 12 de outubro de 2005.

SUDO, A.; SILVA, E.M.R. da; JAMES, O.B.; BOVI, M.L.A.; ALMEIDA, D.L. de; COZZOLINO, K. Produção de mudas de pupunheira colonizadas por fungos micorrízicos arbusculares. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v.20, p.529-532, 1996.

SUMMERS, R.N.; BRADBY, K. Use of Bauxite Residue in the Peel-Harvey coastal plain catchment. **Western Australian Department of Agriculture**, 1993.

SUMMERS, R.N.; SMIRK, D. D.; KARAFILIS, D. Phosphorus retention and leachates from sandy soils amended with bauxite residue (red mud). **Australian Journal of Soil Research**, Victoria, v.34 p. 555-567, 1996.

VLAHOS, S.; SUMMERS, K. J.; BELL, D. T.; GILKES, R. J. Reducing phosphorus leaching from sandy soils with red mud bauxite processing residues. **Australian Journal of Soil Research**, Victoria, v.27 p. 651-671, 1989.

WARD, N. J.; SULLIVAN, L. A.; BUSH, R.T. Sulfide oxidation and acidification of acid sulfate soil materials treated with CaCO<sub>3</sub> and seawater-neutralised bauxite refinery residue. **Australian Journal of Soil Research** 40, p1057-1067, 2002.

WARD, S. C.; SUMMERS, R. N. Modifying sandy soils with the fine residue from bauxite refining to retain phosphorus and increase plant yield. **Fertilizer Research**, Hague, v. 36, p. 151-156, 1993.

WARD, S.C. The Use Of The Fine Residue From Bauxite Refining As A Soil Amendment. Murdoch. Thesis (PhD of Environmental and Life Science) – **School of Environmental and Life Science** – University, Western, Australia. 1986.

WARDLE, D.A. & PARKINSON, D. Influence of the herbicide glyphosate on soil microbial community structure. **Plant and Soil**, n.122, p.29-37, 1990b.

WONG, J. W. C. Sodium Release Characteristics and revegetation of fine bauxite refining residue (red mud). **Thesis of PhD. School of Environmental and Life Science**, Murdoch University, Western Australia, 443p, 1990.