UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
CENTRO DE ENERGIA NUCLEAR NA AGRICULTURA

SAMANTHA OLIVIER

Aplicação de resíduos agroindustriais e urbanos em áreas de reflorestamento com *Eucalyptus* spp.

Piracicaba
2011

SAMANTHA OLIVIER

Aplicação de resíduos agroindustriais e urbanos em áreas de reflorestamento com *Eucalyptus* spp.

Tese apresentada ao Centro de Energia Nuclear na Agricultura da Universidade de São Paulo, para obtenção do titulo de Doutor em Ciências

Área de Concentração: Química na Agricultura e no Ambiente

Orientadora: Prof[a]. Dr[a]. Regina Teresa Rosim Monteiro

Piracicaba

2011

AUTORIZO A DIVULGAÇÃO TOTAL OU PARCIAL DESTE TRABALHO, POR QUALQUER MEIO CONVENCIONAL OU ELETRÔNICO, PARA FINS DE ESTUDO E PESQUISA, DESDE QUE CITADA A FONTE.

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)
Seção Técnica de Biblioteca - CENA/USP

Olivier, Samantha
Aplicação de resíduos agroindustriais e urbanos em áreas de reflorestamento com *Eucalyptus* spp. / Samantha Olivier; orientadora Regina Teresa Rosim Monteiro. - - Piracicaba, 2011.
107 p.: il.

Tese (Doutorado – Programa de Pós-Graduação em Ciências. Área de Concentração: Química na Agricultura e no Ambiente) – Centro de Energia Nuclear na Agricultura da Universidade de São Paulo.

1. Meio ambiente 2. Reciclagem de resíduos urbanos 3. Recursos florestais 4. Resíduos agrícolas 5. Resíduos sólidos I. Título

CDU 628.312.1:630*232

A Deus, meu apoio, minha rocha, meu Pastor, que me orienta nos caminhos mais seguros e me concede esperança, motivação e alegria.

DEDICO

AGRADECIMENTOS

A minha orientadora, professora *Dr^{a}. Regina Rosim Monteiro*, pela paciência, ensinamentos e confiança.

Ao professor *Dr. José Luiz Stape* pela colaboração e apoio para o desenvolvimento deste trabalho.

Ao professor *Odemar Vicente dos Reis*, pelos ensinamentos e auxílio nas análises estatísticas.

A coordenação do *Programa de Pós-Graduação em Ciências* do Centro de Energia Nuclear na Agricultura, pela oportunidade.

Aos professores *Dr. José Leonardo de Moraes Gonçalves*, *Dr. Sérgio Tadeu Meirelles, Dr. Antonio Natal Gonçalves, Dr. Arnóbio Andrade* e *Dr. José Lavres* pelos valiosos ensinamentos.

Ao *Centro de Tecnologias Estratégicas do Nordeste* (CETENE), pelo auxílio à pesquisa, em especial ao *Prof. Dr. José Fernando Thomé Jucá*, ao Diretor *Dr. André Galembeck* e a Coordenadora de Tecnologias *Dr^{a}. Andrea Baltar Barros*, pela confiança depositada.

À *Vale Verde Empreendimentos Agrícolas*, pela área experimental e apoio ao trabalho.

A minha mãe, *Maria Cristina*, pela vida, amor e confiança.

Aos meus amigos *Matheus Duarte*, *Marta Ribeiro*, *Laureen Kido*, *Odemar Vicente dos Reis Júnior, Marianne Cotrim* e *Sandra Rodrigues de Souza*, pelo companheirismo e otimismo que me ajudaram a obter mais esta conquista.

“Você deve ser a mudança que você quer ver no mundo”.

Mahatma Gandhi

RESUMO

OLIVIER, S. **Aplicação de resíduos agroindustriais e urbanos em áreas de reflorestamento com *Eucalyptus* spp.** 2011. 107 p. Tese (Doutorado em Ciências) – Centro de Energia Nuclear na Agricultura, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2011.

A utilização de resíduos para recuperação de solos degradados e aumento da produção florestal constitui uma estratégia sustentável para solucionar o problema da destinação final de diversos tipos de resíduos, tendo em vista a limitação técnica e econômica dos espaços apropriados, como aterros sanitários e industriais. Neste intuito, objetivou-se com este estudo, avaliar os efeitos ambientais gerados pela disposição de resíduos agroindustriais e urbanos em áreas sob cultivo de eucalipto. O estudo foi realizado na Usina Vale Verde, localizada no Município de Baía Formosa/RN, cujo solo é predominantemente arenoso e de baixa fertilidade, em especial nas camadas superficiais. O delineamento experimental utilizado foi em blocos casualizados, com quatro repetições e seis tratamentos, sendo eles: T1 - Testemunha absoluta, sem nenhuma adubação; T2 - Adubação comercial, comumente aplicada pelas empresas do ramo florestal da Região Nordeste; T3 - Adubação potencial, constituída do dobro da adubação comercial; T4 - Adubação comercial + 1 t ha^{-1} de resíduo de gesso de construção e demolição; T5 - Adubação comercial + 20 t ha^{-1} de resíduo agroindustrial compostado; T6 - Adubação comercial + 20 t ha^{-1} de biossólido. Os efeitos da aplicação dos resíduos foram avaliados por meio de análises químicas do solo, diagnose nutricional das plantas (folhas, casca e madeira) e da serapilheira, além dos inventários florestais anuais. A aplicação de resíduos influiu positivamente na nutrição das plantas, proporcionando produção de madeira estatisticamente igual à obtida na adubação potencial. O T4 obteve incremento médio anual de madeira 30% maior que o T1 e igual ao T3. A aplicação de 20 t ha^{-1} de resíduo agroindustrial ou de 20 t ha^{-1} de biossólido não provocou efeitos ambientais negativos mensuráveis sobre o meio ambiente, representando uma possibilidade para a destinação final destes resíduos, refletida de forma positiva na fertilidade do solo, no volume de madeira produzido e principalmente nas questões ambientais que envolvem a não disposição final destes materiais em aterros.

Palavras-chave: Efeito ambiental. Produtividade florestal. Reciclagem. Resíduos sólidos.

ABSTRACT

OLIVIER, S. **Urban and agro-industrial residues applied in areas reforested with *Eucalyptus* spp.** 2011. 107 p. Tese (Doutorado) – Centro de Energia Nuclear na Agricultura, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2011.

The use of wastes for recovery of degraded soils in order to increase forestry production is a sustainable strategy to solve the problem for the final disposal of various types of industrial and urban residues, considering the technical and economic limitations for appropriate spaces as industrial or sanitary landfills. According to this, the aim of this work was to evaluate the environmental impact generated by the disposal of agro-industrial and urban wastes in areas under cultivation of eucalyptus. The study was conducted at the Vale Verde Plant, located in the city of Baía Formosa/RN, Brazil, whose soil is predominantly sandy and with low fertility, especially in the superficial strata. The experimental design was in randomized blocks with four replications and six treatments: T1 - Absolute control, no fertilizer; T2 - Commercial fertilizers commonly applied by companies in the forestry industry in Northeastern Brazil; T3 - Potential fertilization, consisting in double commercial fertilization; T4 - Commercial fertilizer plus 1 t ha^{-1} of waste gypsum obtained from construction and demolition; T5 - Commercial fertilizers plus 20 t ha^{-1} of composted agro industrial waste and T6 - Commercial fertilizers plus 20 t. ha^{-1} of sewage sludge. The effect of these residues were evaluated according to the chemical analysis of soils and plant compartments (leaves, barks and woods) as well as litter, plus annual forest inventories. The application of wastes had a positive influence over plant nutrition, providing wood production statistically equal to that obtained in potential fertilization treatment. T4 caused an average annual increment of 30% higher than T1 and equal to T3. The application of 20 t ha^{-1} of sewage sludge did not cause measurable negative environmental impacts on the environment, representing an excellent opportunity for the disposal of these wastes, reflected positively on the fertility of the soil, the volume of wood produced and mainly on the environmental impacts since did not involve the disposal of these materials in landfills.

Key-words: Environmental impact. Forestry productivity. Recycling. Solid wastes.

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO 14
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA 17
2.1 Resíduos sólidos 17
2.1.2 Classificação dos resíduos sólidos 18
2.1.2.1 Resíduos Classe I – Perigosos 18
2.1.2.2 Resíduos Classe II – Não perigosos 19
2.2 Resíduos agroindustriais 19
2.3 Resíduos urbanos 22
2.3.1 Biossólido 23
2.3.2 Gesso 26
2.4 Reflorestamento 28
2.5 Solo e adubação 30
2.6 Gestão ambiental 36
3 MATERIAL E MÉTODOS 38
3.1 Localização e caracterização da área experimental 38
3.2 Caracterização do solo e dos resíduos utilizados 39
3.2.1 Solo 39
3.2.2 Resíduos 40
3.3 Tratos silviculturais 44
3.4 Tratamentos e delineamento experimental 45
3.5 Determinações analíticas 45
3.5.1 Solo 45
3.5.2 Material vegetal 46
3.6 Inventário florestal 47
3.7 Análise estatística 48
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO 49
4.1 Condições climáticas 49
4.2 Estoque de nutrientes no solo 50
4.3 Estoque de nutrientes na floresta 62
4.4.1 Folhas 63
4.4.2 Casca e lenho 67
4.4.3 Serapilheira 70

4.4 Balanço nutricional 72
4.5 Inventário florestal 74
4.6 Gestão ambiental 79
5 CONCLUSÕES 83
REFERÊNCIAS 84

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Município de Baía Formosa/RN, onde está localizada a área experimental 38
Figura 2 – Delineamento da parcela experimental, com destaque para a área útil..... 45
Figura 3 – Coleta da serapilheira estocada sobre o solo. (A) Molde vazado com 0,25 m^2 limitando a serapilheira a ser coletada; (B) Molde vazado após coleta do material 46
Figura 4 – Coleta de casca e madeira das árvores úteis. (A) Ritidoma; (B) Casca; (C) Alburno 47
Figura 5 – Precipitação pluvial mensal (mm) e temperatura média mensal (^oC) da área experimental, de Janeiro de 2008 a Outubro de 2010. 49
Figura 6 – Campo experimental de Baía Formosa após o plantio: (A) Dois meses; (B) Sete meses; (C) Onze meses; (D) Vinte e seis meses 76

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Produção de cana-de-açúcar e resíduos gerados pela agroindústria canavieira do Nordeste, de acordo com a safra 2008/2009 21
Tabela 2 – Características químicas de alguns solos representativos de amplas áreas florestadas com eucalipto no Brasil 32
Tabela 3 – Teores de nutrientes para diagnose nutricional de *Eucalyptus* spp. 33
Tabela 4 – Faixa ótima de macronutrientes em órgãos de árvores adultas de *Eucalyptus* spp., determinados pelo índice DRIS 33
Tabela 5 – Características físicas do solo da área antes da instalação do experimento 39
Tabela 6 – Características químicas do solo da área antes da instalação do experimento 40
Tabela 7 – Características químicas do resíduo agroindustrial utilizado 41
Tabela 8 – Características químicas e biológicas do biossólido utilizado 42
Tabela 9 – Características físicas e químicas do gesso mineral 43
Tabela 10 – Tratamentos aplicados no campo experimental 44
Tabela 11 – Quantidade de nutrientes aplicados via adubação nos diferentes tratamentos 44
Tabela 12 – Análise química de macronutrientes do solo com interação entre as profundidades *vs*. tratamentos aplicados. 51
Tabela 13 – Propriedades químicas do solo com interação entre as profundidades *vs*. tratamentos aplicados 59
Tabela 14 – Análises químicas das folhas aos 24 meses 64
Tabela 15 – Análises químicas da casca e do lenho aos 24 meses 68
Tabela 16 – Produção total e análise química da serapilheira aos 24 meses 70
Tabela 17 – Concentração média de nutrientes nos diferentes componentes das árvores de *Eucalyptus* spp. 24 meses após o plantio 73
Tabela 18 – Valores médios de sobrevivência e bifurcação das plantas 75
Tabela 19 – Inventário florestal realizado 26 meses após o plantio 77
Tabela 20 – Custo final dos fertilizantes aplicados nos tratamentos (R$/ha) 83

LISTA DE SIGLAS

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas

AIA – Avaliação de impacto ambiental

Al_2O_3 – Óxido de alumínio

$Al_2(SO_4)_3$ – Sulfato de alumínio

ANOVA – *Analysis of Variance*

Bioms/c – Biomassa total sem casca

$CaSO_4.1/2H_2O$ – Gesso

$CaSO_4.2H_2O$ – Gipsita

CONAMA – Conselho Nacional do Meio Ambiente

CE – Condutividade eletrolítica

CTC – Capacidade de troca de cátions

CO – Monóxido de carbono

CO_2 – Dióxido de carbono

CV % – Coeficiente de variação

DAP – Diâmetro a altura do peito (1,30 m)

DBO – Demanda bioquímica de oxigênio

DMS – Diferença mínima significativa

DQO – Demanda química de oxigênio

EIA – Estudo de impacto ambiental

EMBRAPA – Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária

ESALQ – Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz"

ETE – Estação de tratamento de esgoto

Fe_2O_3 – Óxido de ferro

G – Área basal

HCl – Ácido clorídrico

Ht – Altura

H_2O – Água

H_2S – Gás sulfídrico

IAC – Instituto Agronômico de Campinas

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística

ICA – Incremento corrente anual de madeira

IDEMA – Instituto de Defesa do Meio Ambiente

IMA – Incremento médio anual de madeira

ITEP – Instituto Tecnológico de Pernambuco

KCl – Cloreto de potássio

K_2SO_4 – Sulfato de potássio

LEA – Laboratório de Ecologia Aplicada

m % – Saturação por alumínio

$MgSO_4$ – Sulfato de magnésio

MO – Matéria orgânica

$Na_2B_4O_7.10H_2O$ – Bórax

$(NH_4)_2SO_4$ – Sulfato de amônio

NBR – Norma da Associação Brasileira de Normas Técnicas

NEPA – *National Environmental Policy Act*

NMP – Número mais provável por grama de sólidos totais

$N\text{-}NH_4^+$ – Amônia

$N\text{-}NO_3^-$ – Nitrato

OECD – *Organization for Economic Cooperation and Development*

pH – Potencial hidrogeniônico

PNMA – Política Nacional do Meio Ambiente

SAS – *Statistical Analysis System*

SB – Soma de bases

SNIS – Sistema Nacional de Informações sobre o Saneamento

$S\text{-}SO_4^{-2}$ – Sulfato

UDOP – União dos Produtores de Bioenergia

UNEP – *United Nations Environment Programme*

UNICA – União da Indústria de Cana-de-açúcar

USEPA – *United States Environmental Protection Agency*

V – Volume estéreo de madeira

V % – Índice de saturação por bases

Vts/c – Volume total de madeira sem casca

1 INTRODUÇÃO

A geração de resíduos sólidos é resultado, entre outros fatores, dos padrões de consumo, dos reflexos do modo de vida adotado em cada comunidade e das atividades econômicas ali realizadas, ou seja, as características do lixo variam em função de aspectos sociais, econômicos, culturais, geográficos e climáticos. Estes mesmos fatores também diferenciam as comunidades entre si e as próprias cidades.

O desenvolvimento industrial e o crescimento populacional observado nas últimas décadas, em particular o crescimento dos setores ligados à construção civil e a agricultura estão relacionados com um grande número de ações que põem em risco o meio ambiente, dentro do qual se insere o homem. A crise ambiental alerta para o fato de que estamos sem recursos, sem espaço para armazenar os resíduos gerados e sem possibilidades de continuidade da relação sociedade, cultura e consumo atual.

Tem-se observado nos últimos anos o aumento da quantidade de resíduos descartados no ambiente, dificultando a reciclagem natural, visto que o ambiente tem capacidade limitada de depuração. O descarte indiscriminado de resíduos agroindustriais e urbanos tem levado a situações críticas de deterioração do ambiente em certas regiões. A conseqüência indesejável e perigosa disto é a poluição do solo e dos recursos hídricos.

Enquanto as nações industrializadas buscam alternativas para equacionar seus 400 milhões de toneladas anuais de resíduos (ANDREOLI, 1998), as comunidades de países em desenvolvimento, como o Brasil, convivem com depósitos desordenados de resíduos, com aproximadamente 75% da população despejando seu lixo em vazadouros a céu aberto e apenas 25% tratando-o adequadamente, sendo: 12% em aterro controlado, 9% em aterro sanitário, somente 1% chega a ser reciclado e o restante destinado à compostagem ou incineração (BRASIL, 2002). As previsões de aumento populacional, associadas à crescente concentração urbana mundial, determinaram a necessidade imediata de definições tecnológicas e de ações políticas para solucionar este problema, considerando que há uma limitação técnica e econômica dos espaços apropriados para a destinação final de resíduos. É elevada a quantidade de materiais orgânicos na composição dos resíduos sólidos do Brasil, correspondendo a 55% do seu peso, sendo menos de 1,5% desta matéria-prima aproveitada na forma de compostagem, ou seja, são enterrados diariamente 60 mil toneladas de um produto que poderia ser transformado em fertilizante.

A reciclagem agrícola de compostos orgânicos torna-se uma opção promissora, pois transforma resíduos em insumos, visto que o solo apresenta naturalmente a capacidade de

interagir com a maioria dos nutrientes para o metabolismo vegetal, em virtude dos vários processos biológicos, físicos e químicos que são desencadeados após a adição de um resíduo ao solo, diminuindo o potencial impactante de diversos elementos e aumentando sua capacidade produtiva.

As agroindústrias produzem quantidade considerável de resíduos sólidos, que em alguns casos são dispostos em aterros sanitários, reduzindo sua vida útil, ou simplesmente estocados próximos às áreas de produção, sem um destino final definido, gerando problemas sanitários e ambientais. Na maioria das vezes estes resíduos podem ser transformados em insumo agrícola e utilizados próximos das áreas aonde são gerados, colocando à disposição dos agricultores um condicionador de solo de boa qualidade e baixo custo.

Outro resíduo sólido orgânico de importância, gerado pelo tratamento sanitário do esgoto nas estações de tratamento é o denominado lodo de esgoto ou biossólido. Este resíduo, devido ao contínuo aumento populacional observado nas áreas urbanas, poderá transformar-se em um problema crescente. Sua disposição final representa o ponto crucial para a operação eficiente e contínua de uma estação de tratamento. O lodo produzido pode ter diferentes destinos, como: ser depositado em aterros sanitários, utilizado como fertilizante em agroecossistemas ou incinerado. Entretanto, para as condições brasileiras, supõe-se que a melhor opção seria sua utilização nas áreas agrícolas, especialmente em plantações florestais, considerando os aspectos sanitários, ambientais, sociais e econômicos.

Entre os resíduos sólidos urbanos, destaca-se também o resíduo de gesso gerado pela construção civil, que tem sido destinado aos aterros sanitários ou industriais. No entanto, após processamento, este material torna-se semelhante ao gesso agrícola comercial, adquirindo assim todos os benefícios desse insumo agrícola, na correção da sodicidade e no condicionamento de solos, melhorando as propriedades físico-químicas e atividade biológica do solo, podendo recuperar áreas degradadas ou desequilibradas nutricionalmente.

Desta forma, a incorporação de resíduos agroindustriais e urbanos tratados, em plantios florestais destinados a produção de energia torna-se promissora, pois estes produtos podem fornecer além da matéria orgânica, 10 a 50% do nitrogênio e fósforo necessários no primeiro ano de plantio, além do provimento de diversos micronutrientes (GOMES et al., 2008). Isto se torna particularmente relevante para a maioria dos sítios destinados à implantação de florestas energéticas que possuem solos com baixa fertilidade, ácidos, de baixa capacidade de troca de cátions e alto potencial de lixiviação de bases, visto que as principais áreas utilizadas para reflorestamento no Brasil estão sobre Latossolos, Argissolos e Neossolos quartzarênicos muitas vezes degradados pelo uso intensivo.

O *Eucalyptus* é o gênero florestal mais plantado pelas empresas de reflorestamento, devido ao seu rápido crescimento e fácil adaptação a diferentes condições edafoclimáticas. Além disso, a crescente demanda por madeira proveniente de plantações florestais estimula a busca de florestas mais produtivas e sustentáveis, tornando os produtos florestais mais competitivos no mercado.

Vários trabalhos têm demonstrado a eficácia da aplicação, principalmente de resíduos orgânicos, no cultivo de eucalipto, pois os nutrientes contidos em materiais como os resíduos gerados na agroindústria canavieira e o biossólido são liberados gradativamente quando aplicados ao solo, contribuindo para o uso eficiente de nutrientes. Embora poucas pesquisas observem efeitos negativos da aplicação de resíduos orgânicos em incubações em laboratório e no campo, todas verificam a influência sobre as propriedades do solo, visando melhorias nas fertilidades química, física e biológica.

A maioria dos estudos desenvolvidos com o intuito de avaliar o efeito da adição de resíduos em áreas florestais leva em consideração as doses aplicadas e a produtividade, sem dar ênfase à sustentabilidade do sistema e os possíveis impactos que podem ser gerados. Isto se torna preocupante, pois a dinâmica de elementos potencialmente impactantes no ambiente, ainda é pouco conhecida, principalmente em se tratando de solos em condições de clima tropical e degradados pelo cultivo intensivo.

Portanto, faz-se necessária a realização de estudos acerca da deposição de resíduos em florestas e plantios florestais, bem como a translocação de nutrientes através dos compartimentos vegetais, aspectos de grande interesse em pesquisas sobre o ciclo de nutrientes, a curto e médio prazos, podendo ser utilizados para uma adequação do balanço nutricional florestal.

Diante deste contexto, este trabalho teve por objetivo principal avaliar os efeitos ambientais gerados pela disposição de resíduos agroindustriais e urbanos, 26 meses após aplicação em área de reflorestamento com *Eucalyptus* spp.

Para isto, os seguintes objetivos específicos foram elaborados: analisar a manutenção e dinâmica do estoque de nutrientes em um sítio florestal após aplicação de resíduos agroindustriais e urbanos; avaliar as contribuições nutricionais dos resíduos para o sistema solo-planta; avaliar os efeitos dos tratamentos aplicados sobre a produtividade de madeira e determinar a viabilidade da utilização de resíduos agroindustriais e urbanos na produção florestal em substituição à sua disposição atual.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 Resíduos sólidos

Resíduos sólidos são materiais heterogêneos (inertes, minerais ou orgânicos) resultantes das atividades humanas e não é possível imaginar um modo de vida que não gere resíduos. Devido ao aumento da população humana, à concentração dessa população em centros urbanos, à forma e ao ritmo da ocupação desses espaços e ao modo de vida com base na produção e consumo cada vez mais rápidos de bens, os problemas causados por esses resíduos tendem a se tornar mais visíveis (BRAGA et al., 2005).

Os resíduos sólidos, quando manejados de forma inadequada, tornam-se alimento e abrigo para muitos vetores de doenças e sua decomposição e formação de lixiviados podem levar à contaminação do solo e de águas subterrâneas com substâncias orgânicas, microrganismos patogênicos e inúmeros contaminantes orgânicos e inorgânicos presentes nos diversos tipos de resíduos.

Como problema urbano, a questão da destinação dos resíduos sólidos data, no Brasil, da época colonial (ROCHA, 1993), não sendo, portanto, uma preocupação nova. As implicações ambientais mais graves e de saúde pública já eram reconhecidas no início do século XX. O problema dos resíduos sólidos se agravou de forma particularmente intensa nas grandes cidades com a rápida urbanização ocorrida no Brasil, entre as décadas de 1940 e 1970: a infraestrutura urbana física e de prestação de serviços públicos não conseguiu acompanhar o ritmo do crescimento da população (PHILIPPI JÚNIOR; AGUIAR, 2005).

O gerenciamento dos resíduos sólidos nas áreas urbanas se baseia, historicamente, na sua coleta e afastamento. Ao longo do tempo as administrações municipais ou locais equivalentes passaram a prestar o serviço de coleta e afastamento. Esse tipo de serviço fez com que a sociedade levasse muito tempo para perceber as graves tendências relacionadas à quantidade, qualidade e soluções para o gerenciamento dos resíduos sólidos (RODRIGUES; CAVINATTO, 2003).

Atualmente, a visão da sociedade sobre a questão dos resíduos sólidos tem incorporado novos elementos, notando-se avanços significativos na importância que se confere à questão. Conseqüentemente, cada vez mais espaço na mídia e nas discussões políticas é ocupado pelos problemas associados aos resíduos sólidos.

A geração de resíduos sólidos é resultado, entre outros fatores, dos padrões de consumo, dos reflexos do modo de vida adotado em cada comunidade e das atividades

econômicas ali realizadas, ou seja, as características do lixo variam em função de aspectos sociais, econômicos, culturais, geográficos e climáticos, os mesmos fatores que também diferenciam as comunidades entre si e as próprias cidades.

A norma técnica NBR 10004 de 31 de maio de 2004 – Resíduos sólidos: classificação (ABNT, 2004) – define resíduo sólido como qualquer material nos estados sólido e semi-sólido, que resulta de atividades da comunidade, de origem: industrial, doméstica, hospitalar, comercial, agrícola, de serviços e de varrição.

2.1.2 Classificação dos resíduos sólidos

A NBR 10004 (ABNT, 2004) também estabelece as duas categorias de resíduo de acordo com sua periculosidade:

2.1.2.1 Resíduos Classe I - Perigosos

Têm características que trazem riscos graves ao meio ambiente e/ou à saúde pública. Podem ser:

- Corrosivos: materiais aquosos com pH < 2,0 ou pH > 12,5 ou materiais que corroem o aço mais do que 6,35 mm ao ano a 55°C;
- Inflamáveis: líquidos com ponto de fulgor menor que 60°C e não-líquidos, que a 1 atm e a 25°C queimem vigorosamente e persistentemente quando inflamados;
- Oxidantes: resíduos que liberam oxigênio, estimulando incêndios;
- Patogênicos: possuem microrganismos patogênicos ou suas toxinas;
- Reativos: reagem violentamente com água, são instáveis ou reagem violentamente de forma espontânea. Possuem cianetos ou sulfetos;
- Tóxicos: possuem lixiviado com concentração de substâncias superior ao especificado no Anexo F da NBR 10004 (ABNT, 2004). Possuem substâncias específicas do Anexo C (Ar, Be, Cd, Cr^{3+}, Cr^{6+}, Pb e Se). São restos de embalagens de substância especificadas nos anexos D ou E. São comprovadamente letais ao homem.

2.1.2.2 Resíduos Classe II – Não Perigosos

Segundo a solubilidade dos resíduos, esta classe divide-se em:

- Resíduos Classe II A – Não inertes: aqueles que não se enquadram nas classificações de resíduos Classe I – Perigosos ou Classe II B – Inertes, podendo ter propriedades como biodegradabilidade, combustibilidade ou solubilidade em água;
- Resíduos Classe II B – Inertes: quaisquer resíduos que, quando amostrados de uma forma representativa e submetidos a um contato dinâmico e estático com água destilada ou desionizada, à temperatura ambiente, não tiverem nenhum de seus constituintes solubilizados à concentrações superiores aos padrões de potabilidade da água, excetuando-se aspecto, cor, dureza, sabor e turbidez.

2.2 Resíduos agroindustriais

Os resíduos agroindustriais sólidos e líquidos são gerados no processamento de alimentos, fibras, couro, madeira, fabricação de açúcar e álcool, entre outros, sendo sua produção geralmente sazonal, condicionada pela maturidade da cultura ou oferta da matéria-prima.

Em geral, estes tipos de resíduos possuem grande concentração de material orgânico e seu lançamento em corpos hídricos pode proporcionar amplo decréscimo na concentração de oxigênio dissolvido, cuja magnitude depende da concentração de carga orgânica e da quantidade lançada, além da vazão do curso d'água receptor (MATOS, 2005).

A indústria sucroalcooleira é uma das grandes consumidoras de água e geradoras de elevados volumes de resíduos. A busca por avanços tecnológicos para o processamento da cana-de-açúcar, objetivando a obtenção de um açúcar com alto padrão (elevada pureza e com cristais uniformes) fez com que o nível de descartes dessa agroindústria aumentasse significativamente nos últimos anos (CORTEZ et al., 1992).

Ao avaliar que a estimativa da produção nacional de cana-de-açúcar foi de aproximadamente 569 milhões de toneladas na safra 2008/2009, das quais 47% (267 milhões de toneladas) foram para a fabricação de açúcar e 53% (302 milhões de toneladas) para a produção de álcool (UNICA, 2010), julga-se que seu impacto sobre o meio ambiente tende a aumentar gradativamente.

Para cada litro de álcool produzido, há geração de 10 a 15 litros de vinhaça. Com a produção brasileira estimada de 27.513 milhões de litros de álcool, avalia-se que a geração anual de vinhaça seja em torno de 412 milhões de litros por ano (UNICA, 2010). Atualmente, praticamente a toda a vinhaça produzida está sendo utilizada na irrigação da própria cultura de cana-de-açúcar, constituindo o maior exemplo de reuso da água no Brasil e no mundo. A irrigação da cana na dose de 100 $m^3.ha^{-1}$ de vinhaça resulta em economia no uso de fertilizantes potássicos da ordem de 75 a 100 dólares por hectare, além de proporcionar um aumento de produtividade (BERTONCINI, 2008).

A vinhaça constitui um efluente altamente poluidor, gerado em grande volume, o que dificulta seu transporte e eliminação. Rica em matéria orgânica – MO e nutrientes minerais como K, Ca, Mg, S e alguns micronutrientes, possui concentração hidrogeniônica com pH variando entre 3,7 e 5,0 (LUDOVICE, 1997). Apesar de o valor nutricional ser conhecido desde a década de 50, uma das primeiras unidades a utilizar a vinhaça na adubação foi a Usina da Pedra, em Serrana/SP, em 1974 (UDOP, 2004).

Por se tratar de um método barato e eficiente para eliminação desses resíduos, a dosagem de vinhaça aplicada por fertirrigação nem sempre é rigidamente controlada. Conforme Szmrecsányi (1994), o uso da vinhaça na prática da fertirrigação, apesar de antigo e bem disseminado, não pode ser excessivo ou indiscriminado, uma vez que seu potencial poluidor compromete o meio ambiente, desde as características físicas e químicas do solo até as águas subterrâneas a partir da sua percolação.

Além da vinhaça, outros resíduos são gerados na agroindústria canavieira, como: palhas, com volume acentuado na colheita mecanizada; bagaço, muito utilizado na co-geração de energia elétrica; torta de filtro; cinzas; águas de lavagem da cana e de limpeza das máquinas e esgoto sanitário da usina.

O bagaço de cana, subproduto do processo de extração do caldo, seja este para a produção de açúcar ou de álcool, é gerado na proporção de 280 kg para cada tonelada de cana (VITTI et al., 1998). Este subproduto é constituído por celulose (±45%), hemicelulose (±25%) e lignina (±20%), com pequenas quantidades de outros compostos classificados como componentes estranhos (VIEIRA et al., 2007).

Inicialmente, o bagaço de cana foi utilizado nas usinas para geração de calor, substituindo a lenha e recentemente vem sendo utilizado para gerar vapor, com grande flexibilidade para ser transformado em formas de energia como calor, eletricidade ou tração. O aumento do custo da energia, seja elétrica ou de petróleo, tornou bastante atraente a utilização deste resíduo para co-geração de energia (ORTEGA FILHO, 2003).

Já torta de filtro, resíduo proveniente do processo de clarificação do açúcar, é composta da mistura de bagaço moído e lodo da decantação. Para cada tonelada de cana moída são produzidas de 30 a 40 kg de torta. Estes dois resíduos representam os mais importantes desta tipologia industrial e contém grandes aportes de MO e nutrientes, além da capacidade que possuem de reter água e manter a umidade do solo (FREIRE; CORTEZ, 2000).

Contudo, as práticas de aplicação da torta de filtro e a sua estocagem devem ser criteriosamente controladas, pois esse material, similarmente à vinhaça, possui elevada demanda bioquímica de oxigênio - DBO, uma fonte potencialmente poluidora (CORTEZ et al., 1992).

A quantidade de resíduos provenientes da indústria canavieira gerados na Região Nordeste é de mais de 17 milhões de toneladas por ano, conforme descrito na Tabela 1:

Tabela 1 – Produção de cana-de-açúcar e resíduos gerados pela agroindústria canavieira do Nordeste, de acordo com a safra 2008/2009

ESTADO	**PRODUÇÃO DE CANA**	**BAGAÇO DE CANA[1]**	**TORTA DE FILTRO[1]**	**VINHAÇA[1]**
	t ano^{-1}			m^3 ano^{-1}
Alagoas	27.309.285	7.646.600	1.092.371	409.639
Bahia	2.541.816	711.708	101.673	38.127
Ceará	122.355	34.259	4.894	1.835
Maranhão	1.094.115	306.352	43.765	16.412
Paraíba	4.001.051	1.120.294	160.042	60.016
Pernambuco	14.351.050	4.018.294	574.042	215.266
Piauí	273.691	76.633	10.948	4.105
Rio Grande do Norte	2.064.515	578.064	82.581	30.968
Sergipe	1.316.925	368.739	52.677	19.754
Região Nordeste	**53.074.803**	**14.860.945**	**2.122.992**	**796.122**
Brasil	**569.062.629**	**159.337.536**	**22.762.505**	**412.694.430**

Fonte: adaptado de Unica (2010).
[1]Dados calculados com base na produção anual de cana-de-açúcar *vs* média de resíduos gerados.

Os resíduos industriais, depois de gerados, necessitam de destino adequado, pois não podem ser acumulados indefinidamente no local em que foram produzidos. A disposição dos resíduos no meio ambiente, seja na atmosfera, nas águas ou no solo deve ocorrer após os mesmos sofrerem tratamento e serem enquadrados nos padrões estabelecidos na legislação ambiental, a fim de evitar a poluição (AQUARONE et al., 1990).

Por conta disto, atualmente um dos modos de destinação destes resíduos é como adubo, aplicado de diferentes formas, desde área total até nas entrelinhas ou nos sulcos de

plantio, visto que a torta de filtro é um adubo orgânico (85% de MO em sua composição) rico em P, além de ser fonte de Ca, Mg, S e micronutrientes, com composições variáveis de acordo com a variedade da cana e da sua maturação (JORGE et al., 2010).

A compostagem de resíduos sólidos como a torta de filtro, cinzas e remanescentes de bagaço promove melhorias nas características químicas e físicas dos resíduos, como a redução no teor de água, facilitando a distribuição no campo; o melhor balanceamento de nutrientes; e um maior grau de humificação do material orgânico, aumentando os sítios de cargas do solo, com liberação gradual de nutrientes e degradação de poluentes, de modo que o uso de resíduos *in natura* em solos deveria ser sempre desestimulado (SOUZA et al., 2001).

2.3 Resíduos urbanos

Em geral, a produção e a composição dos resíduos sólidos é função das atividades humanas e industriais dentro de qualquer contextualização social.

Os problemas inerentes à taxa de produção per capita e à composição gravimétrica e físico-química dos resíduos sólidos, principalmente dos resíduos urbanos, envolvem questões de natureza social, econômica, política e cultural. Em países subdesenvolvidos ou em fase de desenvolvimento, os resíduos sólidos urbanos têm se tornado um problema gravíssimo de saneamento básico e até mesmo de saúde pública (LEITE et al., 2004).

Segundo Brasil (2002), diariamente são produzidas em média 125 mil toneladas de resíduos sólidos domiciliares no país. Deste total cerca de 20% não são coletados regularmente e dos 80% coletados, que correspondem a 100 mil toneladas, apenas 28 mil toneladas são destinadas de forma racional, sendo a maior fração disposta em aterro sanitário e uma pequena parcela tratada em usina de compostagem. Das 72 mil toneladas de resíduos sólidos domiciliares lançados em lixões, logradouros públicos, canais, margens de rios ou outro agente receptor qualquer, 50% em média (36 mil toneladas), correspondem a MO putrescível. Nos lixões, esta MO passará pelo processo de bioestabilização aeróbia ou anaeróbia, gerando um percolado com elevada concentração de demanda química de oxigênio – DQO, ácidos graxos voláteis e, em alguns casos, significativa concentração de metais pesados.

2.3.1 Biossólido

No Brasil, segundo o Sistema Nacional de Informações sobre o Saneamento – SNIS, estima-se que 63,7% dos Municípios não têm serviço de esgoto sanitário e apenas 21% da população tem esgoto tratado (BRASIL, 2008). Dos 14,5 milhões de metros cúbicos de esgoto coletado diariamente no país, somente 35% (5,1 milhões m^3) recebem tratamento (BRASIL, 2002).

O esgoto contém em média 99,9% de água e 0,1% de sólidos, sendo 70% deste, material orgânico (carboidratos, gorduras, proteínas, entre outros) e 30% inorgânico, constituído principalmente por areia, sais e metais (FERNANDES, 2000).

O tratamento do esgoto sanitário por meio de sistemas de lagoas de estabilização tem sido amplamente utilizado no mundo, tendo como produtos finais o lodo de esgoto e o efluente. O lodo caracteriza-se por ser um produto semi-sólido, constituído principalmente por flocos biológicos que se sedimentam no fundo das lagoas. Segundo Alem Sobrinho e Haandel (2006), em geral, o volume de lodo de esgoto produzido em uma Estação de Tratamento de Esgoto - ETE representa cerca de 1 a 2% do volume de esgoto tratado, ou seja, a geração anual brasileira de lodo de esgoto pode chegar a 1,2 mil toneladas por dia. Simultaneamente, seu tratamento e disposição final podem atingir entre 30 e 60% do custo operacional da ETE.

Na Região Nordeste, com mais de 47 milhões de habitantes, 60% dos Municípios não possuem coleta de esgoto e, dos 40% que possuem coleta, 88% recebe tratamento (BRASIL, 2008). Se todo esgoto gerado fosse submetido a um simples tratamento com lagoas aeradas aeróbias seguidas de lagoas de decantação, que geram 5,4 a 9,0 kg hab^{-1} ano de sólidos totais (ALEM SOBRINHO, 2002), seriam 346.562,4 t ano^{-1} de lodo a ser destinado. Tendo em vista que apenas 13,3% do esgoto coletado recebem tratamento, são produzidas atualmente aproximadamente 46 mil t ano^{-1} de lodo na Região.

A disposição do lodo de esgoto em aterros sanitários pode representar até 50% do custo de operação das ETE. Além de onerosa, esta forma de disposição provoca sérios danos de ordem sanitária e ambiental, como a proliferação de vetores biológicos transmissores de doenças, a contaminação do solo e das águas de superfície e subsuperfície e a contaminação do ar pela liberação de odores e gases tóxicos. Esses problemas vêm causando preocupações aos órgãos públicos competentes, que procuram soluções técnicas economicamente viáveis para solucioná-los (SOARES, 2003).

Muitas alternativas já foram propostas para a destinação racional deste resíduo, mas atualmente, surge como promissora, sua utilização como fonte de MO e nutrientes na

recuperação de solos degradados, integrando assim um conjunto de ações destinadas à melhoria da capacidade do solo de sustentar o crescimento de plantas e outros organismos (GONÇALVES et al., 2001). A prática de aplicação deste resíduo em plantios florestais, por exemplo, já é utilizada há algum tempo na Europa e nos Estados Unidos, mas foi pouco estudada nas condições tropicais, em especial no Brasil, especialmente em relação à diversidade de sítios florestais, formas de aplicação e tipos de lodos utilizados, fatores que podem afetar decisivamente o comportamento destes resíduos quando aplicados no solo (ANDRADE; MATTIAZZO, 2000; VAZ; GONÇALVES, 2002).

Os lodos provenientes do tratamento de esgoto predominantemente domésticos tendem a apresentar baixos teores de metais pesados. Entretanto, quando os efluentes industriais contribuem com percentual acentuado no esgoto urbano, o lodo gerado pode conter teores mais elevados de elementos potencialmente tóxicos (As, Cd, Cr, Hg, Ni, Pb, Se e Zn), aumentando seu potencial poluidor e causando riscos aos organismos do solo, pela disponibilidade às plantas, pela contaminação de águas superficiais, via erosão do solo, e das águas subsuperficiais, por sua movimentação vertical e descendente no perfil (MELO et al., 2004).

Após ser submetido a adequado tratamento biológico e físico, o resíduo, passa a ser chamado biossólido, termo criado no final da década de 80 nos Estados Unidos, com o objetivo de evitar o preconceito e atrair a atenção dos agricultores para o potencial agrícola do resíduo (ANDREOLI; PEGORINI, 2003).

Carvalho e Barral (1981) afirmaram que a decomposição do biossólido no solo permite o melhor aproveitamento dos nutrientes pelas plantas, em decorrência de sua lenta liberação pelo processo de mineralização da MO. Berton et al. (1997), Oliveira (2000) e Abreu Júnior et al. (2005a, 2005b) concluíram que, de modo geral, os teores de N e P contidos no biossólido são adequados para o uso agrícola, desde que seja feita a complementação com adubo potássico, visto que o teor de K na maioria dos biossólidos é baixo.

Várias experiências com o uso de biossólido são relatadas na literatura nacional e internacional, como seu uso para recuperação de pastagens degradadas e solos semiáridos, relatadas por Pierce et al. (1998). A incorporação de biossólido compostado (0, 40 e 80 t ha^{-1}) em solo sob floresta submetida à severa queimada (comum nos EUA), demonstrou perdas de água de chuva via escoamento superficial variando de 18 a 53% no tratamento controle, valores bem superiores aos observados nas parcelas que receberam 40 t ha^{-1} (variação de 1 a 12%) e 80 t ha^{-1} de biossólido (0,5 a 22%) (MEYER et al., 2001). Daniels e Haering (1994), avaliando cinco anos de aplicação de biossólido compostado (25, 50, 100 e 150 t ha^{-1}) em área

de mineração de carvão, observaram que a correta aplicação e monitoramento do solo, da vegetação e da água não permitiram a ocorrência de riscos ambientais durante a recuperação do sítio estudado.

A utilização do composto de biossólido na agricultura, como adubo orgânico e condicionador de solos constitui, portanto, uma importante alternativa para a gestão dos resíduos de ETE, aliando reciclagem de nutrientes e destinação final adequada. No entanto, a maioria dos compostos de biossólido apresenta, além de nutrientes e MO, organismos patogênicos, compostos orgânicos persistentes e tóxicos e elementos inorgânicos potencialmente prejudiciais ao ambiente (GROSSI, 1993; ABREU JÚNIOR et al., 2005a, 2005b) e que necessitam de estudos mais detalhados para a aplicação segura e adequada.

Por ser um resíduo rico em nutrientes, toda e qualquer técnica que vislumbre o aproveitamento do biossólido torna-se interessante, tendo em vista que a reciclagem desses nutrientes é recomendável. No caso de não ser possível o aproveitamento do resíduo *in natura*, técnicas de tratamento devem ser aplicadas com o fim de proporcionar transformações vantajosas em suas características químicas ou físicas. Uma das maneiras de amenizar o potencial contaminante do biossólido é sua compostagem antes da aplicação no campo. O processo de compostagem refere-se à decomposição da MO por microrganismos, sendo transformada em um material humificado, de cor escura, odor de terra e benéfico ao solo e às plantas (DE BERTOLDI et al., 1983).

A definição mais amplamente aceita estabelece que compostagem é a decomposição controlada, exotérmica e bioxidativa de materiais de origem orgânica por microrganismos autóctones, em um ambiente úmido, aquecido e aeróbio, com produção de dióxido de carbono - CO_2, água - H_2O, minerais e uma MO estabilizada, definida como composto (DIAZ et al., 1993).

Dos muitos elementos exigidos para que a decomposição microbiana se desenvolva plenamente, C e N são os mais importantes (HAMMOUDA; ADAMS, 1987). Ao passo em que o C fornece uma fonte energética para o metabolismo e o material básico para a construção das células microbianas, o N é o elemento crucial na formação de proteínas, ácidos nucléicos, aminoácidos, enzimas e co-enzimas necessários para o crescimento e funcionamento celular (FLORA et al., 2010).

A relação C/N de microrganismos é cerca de 10:1 e o intervalo de valores para C/N entre 25:1 e 40:1 é definido como ótimo para o início do processo de compostagem. Valores mais elevados significam que não há N suficiente para um bom crescimento das populações microbianas, e a velocidade de decomposição será reduzida. Por outro lado, baixos valores

induzem a perdas de N na forma de amônia - $N\text{-}NH_4^+$, em particular a altas temperaturas e condições de aeração forçada, causando odores indesejados (HAUG, 1993).

Na medida em que a compostagem avança, a relação C/N decresce gradualmente, chegando a 10-15:1 no produto final. Isso ocorre porque, cada vez que compostos orgânicos são consumidos pelos microrganismos, 2/3 do C é liberado na forma de CO_2. O terço remanescente é incorporado às células microbianas junto ao N (HOWARTH et al., 1995). Paralelamente, quanto mais intensa for a decomposição e quanto mais ativa a formação de substâncias intermediárias (especialmente os ácidos poliurônicos) maior será o efeito agregante do composto sobre o solo (WIEBE, 1966).

Portanto, a compostagem apresenta-se como uma opção viável de tratamento e processamento da fração orgânica de resíduos sólidos em geral e deve ser levada em consideração em programas de gestão e manejo destes.

2.3.2 Gesso

O Brasil possui reservas abundantes de gipsita - $CaSO_4.2H_2O$, estimadas em 500 milhões de toneladas, distribuídas principalmente nos Estados da Bahia, Pará e Pernambuco. O Estado de Pernambuco possui 31% das reservas inferidas no país, mas é responsável por 84% da produção nacional de gipsita (BRASIL, 2005b). Isto se deve às condições de aproveitamento econômico mais favoráveis das jazidas localizadas na região do Araripe, epicentro do semiárido brasileiro, no extremo oeste do Estado, a cerca de 680 km da capital Recife, ou seja, a gipsita está, de forma geral, muito distante para uso econômico na agricultura. Por conta disto, na agricultura brasileira muita ênfase tem sido dada ao uso agrícola do fosfogesso e pouca atenção ao uso da gipsita ou do gesso - $CaSO_4.1/2H_2O$ (RAIJ, 1988; FERNANDES et al., 2010).

O método para extração do minério empregado na região do Araripe é a lavra a céu aberto (*open pit*), por meio de bancadas simples com altura média em torno de 15 m, utilizando-se equipamentos como rompedores hidráulicos, marteletes hidráulicos, *vagon drill*, tratores de esteira e pás mecânicas (PEREZ et al., 2001). As atividades na lavra envolvem as seguintes operações principais: decapeamento, perfuração, carregamento de explosivos, desmonte, fragmentação de blocos e carregamento/transporte (LUZ et al., 2001).

A gipsita apresenta grande diversidade de opções de aproveitamento industrial, podendo ser empregada na forma natural ou calcinada. A forma natural é amplamente utilizada na fabricação de cimento *portland* e na agricultura. Na agricultura, a gipsita pode

atuar como agente corretivo de solos ácidos; como fonte de cálcio; como fertilizante em culturas específicas como amendoim, batata, algodão e legumes e como condicionador de solos, aumentando a permeabilidade, a aeração, a drenagem, a penetração e retenção da água (VELHO et al., 1998).

O gesso é o produto da calcinação da gipsita e envolve as seguintes operações: catação manual, britagem, rebritagem, peneiramento (usado apenas em algumas empresas), encilamento, calcinação, estabilização térmica em silos, moagem (de acordo com as especificações de mercado para o produto), encilamento e ensacamento.

A ampla oferta de gesso no país, em especial na Região Nordeste, impulsionada pelo desenvolvimento urbano, acaba gerando grande quantidade de entulho pela construção civil a cada dia, seja através de demolições, reformas, novas construções ou por sobras geradas nas próprias fábricas.

Do ponto de vista ambiental, o principal problema deste tipo de resíduo está relacionado à sua disposição irregular e aos grandes volumes produzidos. Entre os danos causados pelos resíduos de gesso ao meio ambiente está incluída a geração de gás sulfídrico - H_2S, substância que, em baixas concentrações, pode causar intoxicação similar a provocada por monóxido de carbono - CO, porém mais intensa (BAUER, 2000). Por outro lado, sua reciclagem é bastante simples e reduz os impactos ao meio ambiente, visto que, diante das limitações da tecnologia atual, estes resíduos têm sido dispostos em aterros sanitários.

Os solos brasileiros, na sua maioria, são ácidos e caracterizados por baixas concentrações de Ca e Mg, elementos diretamente envolvidos no desenvolvimento das raízes; baixa disponibilidade de P, um importante macronutriente, essencial para o crescimento, desenvolvimento e reprodução vegetal (BLEVINS, 1999); e por valores elevados de Al trocável, levando à necessidade de correção desta acidez (JACKSON, 1967). A calagem pode resolver o problema do Al na camada superficial do solo, mas não é tão eficaz para solucionar o problema nas camadas profundas.

A solubilidade em água é o importante fator diferencial do gesso em relação ao calcário: nem alta demais, que promova rápida lixiviação de íons, nem baixa demais, que torne o material inerte no solo. O gesso possui uma solubilidade aproximada de 2,5 g L^{-1} (RAIJ, 2008). A solubilização promove imediata dissociação, representada pela Eq. 1:

$$\mathbf{(CaSO_4)_{sólido} \leftrightarrow (Ca^{2+}) + (SO_4^{-2})} \qquad \mathbf{(1)}$$

Portanto, em contato com o solo e com umidade suficiente, o gesso sofre inicialmente uma dissolução, inserindo os íons Ca^{2+} e sulfato - $S\text{-}SO_4^{-2}$ nas reações de troca catiônica e aniônica da solução do solo. Dessa maneira, estes íons deslocam outros cátions, como Al, H, K e Mg, formando complexos químicos solúveis neutros, como o sulfato de magnésio - $MgSO_4$, sulfato de potássio - K_2SO_4 e sulfato de alumínio - $Al_2(SO_4)_3$ (ALVAREZ et al., 1999). Como resultado de sua aplicação, observa-se diminuição de concentrações tóxicas do Al trocável nas camadas subsuperficiais, com conseqüente aumento de Ca nessas camadas (MALAVOLTA, 1992; PITTA et al., 2004).

Vários trabalhos enfocam os efeitos benéficos do gesso como fonte de Ca e S, capazes de promover o crescimento das plantas sem adubos complementares destes elementos. Caires et al. (2002) avaliaram os efeitos da calagem (4,5 t ha^{-1}) e de doses de gesso na superfície (0; 3; 6 e 9 t ha^{-1}) sobre o crescimento radicular, a nutrição mineral e a produção de grãos de trigo, milho e soja e constataram que a aplicação de gesso aumentou a concentração foliar de Ca e S, causando acréscimos na produção de grãos.

O gesso age no subsolo, favorecendo o crescimento radicular com melhor aproveitamento da água nas camadas mais profundas. Sua solubilidade permite a migração ao longo do perfil onde reduz o efeito tóxico que o Al tem sobre as raízes, além de eliminar a deficiência de Ca, que também impede o crescimento radicular (LOPES; GUILHERME, 2007). Na aplicação do gesso, alguns autores encontraram diminuição nos teores de K e Mg no solo, que são lixiviados e, portanto, sugeriram a aplicação conjunta do gesso com o calcário (MALAVOLTA et al., 1981; VITTI et al., 1985; RAIJ et al., 1994). Dessa forma, Silva et al. (1997), após aplicação de calcário dolomítico (0,6; 1,8 e 3 t ha^{-1}) e gesso agrícola (0; 2; 4 e 6 t ha^{-1}), durante dois ciclos sucessivos de cultivo de algodão, constataram que a gessagem contribui com o aprofundamento das raízes das plantas.

2.4 Reflorestamento

A madeira e seus derivados há tempos representam parte importante das riquezas brasileiras e as florestas nativas ainda são as principais fontes de matéria-prima. Porém, a forte pressão sobre os recursos naturais vem reduzindo drasticamente a disponibilidade de madeira nas Regiões Sul, Sudeste e Nordeste do país. O setor de reflorestamento, por meio do plantio de árvores em grande escala, tem contribuído na diminuição da pressão sobre as florestas nativas no país promovendo a conservação da biodiversidade (CAMPINHOS, 2001). As pesquisas em áreas de florestas plantadas comprovam uma produtividade de até 45 m^3 de

madeira por hectare, enquanto que na mata nativa a mesma colheita só é possível a cada trinta anos. As florestas de produção são pouco exigentes quanto à fertilidade e podem ser implantadas em terras exauridas, favorecendo a conservação dos solos, além de apresentarem índices elevados de seqüestro de C (ALONSO, 2003).

Atualmente, devido à grande capacidade de adaptação às diferentes condições edafoclimáticas, ao rápido crescimento e aos múltiplos usos, o *Eucalyptus* spp. ocupa área de 3,75 milhões de hectares, constituindo aproximadamente 65% de toda área plantada com espécies florestais, sendo considerada uma das árvores mais plantadas no mundo, apesar de necessitar de mais estudos, objetivando melhorias nas taxas de multiplicação, enraizamento, crescimento, melhoria das características do tronco e da madeira, aumento da capacidade de rebrota e tolerâncias à salinidade e à geada (LIMA, 1987; SOCIEDADE BRASILEIRA DE SILVICULTURA, 2008).

A produtividade das plantações de eucalipto no Brasil é variável (15 a 80 m^3 ha^{-1} ano^{-1} de madeira) e depende de vários fatores como: radiação solar, temperatura, disponibilidade hídrica e disponibilidade de nutrientes (BARROS; COMERFORD, 2002), sendo que a demanda nutricional é proporcional à produtividade florestal (GONÇALVES et al., 1997). A radiação solar constitui a fonte primária de energia para o processo fotossintético (PIRES O'BRIEN, 1995). A temperatura influencia os processos fisiológicos, como fotossíntese, respiração, transpiração e divisão celular; enquanto a água é fundamental a todos os processos fisiológicos e bioquímicos (PEREIRA et al., 2002).

Em comparação com outras modalidades de uso da terra, o reflorestamento ou plantio comercial de espécies arbóreas é a atividade agrícola mais recomendada para a conservação do solo, proteção dos mananciais e recuperação de áreas degradadas. Por este motivo, é que se consideram a silvicultura e os cultivos perenes como os mais indicados sistemas de uso da terra para regimes de clima tropical, onde são mais graves os riscos de degradação do solo pela erosão e lixiviação (OLIVEIRA, 1997).

No entanto, em razão de a maior parte da área plantada com *Eucalyptus* spp. estar inserida em áreas de baixa fertilidade natural, com solos ácidos, de baixa capacidade de troca de cátions - CTC e alto potencial de lixiviação de bases, principalmente sobre Latossolos, Argissolos e Neossolos quartzarênicos muitas vezes degradados pelo uso intensivo praticado anteriormente à implantação florestal, a fertilização é uma prática indispensável e respostas aos nutrientes N, P, K, S e B são freqüentes (BARROS; NOVAIS, 1996).

O Nordeste brasileiro possui uma grande deficiência em oferta de madeira e derivados, visto que, a energia proveniente da biomassa tem baixo custo, associado à sua capacidade de

renovação, contribuindo para aumentar a demanda sobre os produtos florestais, principalmente por parte das indústrias. No entanto, essas indústrias consomem a lenha sem se preocupar com a sustentabilidade e manutenção do estoque florestal, levando a uma imensa pressão sobre os biomas locais como a Mata Serrana, o Cerradão e a Caatinga (CAMPELLO et al., 1999).

Considerando a baixa produtividade madeireira da vegetação da Caatinga, em torno de 7 a 58 m^3 ha^{-1} (LIMA et al., 1979), e a crescente demanda por recursos florestais do Nordeste, especialmente para fins energéticos, decorrentes da expansão das indústrias de transformação, torna-se imprescindível o aumento da oferta de madeira como fonte geradora de energia através do reflorestamento com espécies de rápido crescimento (TSUTYIA, 2000).

No entanto, a Região Nordeste carece de pesquisas que, além de proporcionarem soluções para a crescente demanda energética, criem possibilidades de recuperação das áreas degradadas e o uso de insumos e materiais disponíveis, que muitas vezes não são valorizados, como diversos tipos de resíduos orgânicos e inorgânicos, gerados em grandes quantidades e inerentes às atividades da população em aglomerados urbanos.

2.5 Solo e adubação

De acordo com a *United Nations Environment Programme* – UNEP, aproximadamente dois milhões de hectares de solo, equivalentes a 15% de toda a superfície de terra do planeta, são hoje classificadas como degradadas pela atividade humana. Uma sexta parte dessas áreas (305 milhões de hectares) é considerada intensa ou extremamente degradada, sem possibilidade de recuperação (UNEP, 2000). Estes valores ainda não consideram o conceito de qualidade do solo, que inclui o critério de sustentabilidade do sistema em longo prazo, ou seja, além da capacidade produtiva, reciclar nutrientes, estocar C, armazenar água, tamponar processos de acidificação e regular as transformações energéticas (SCHOENHOLTZ et al., 2000).

A definição de degradação do solo possui várias definições, todas envolvendo mudanças para condições mais lixiviadas e intemperizadas acompanhadas de mudanças morfológicas e alterações na capacidade de sustentar o desenvolvimento de plantas e outros organismos, por meio da deterioração de atributos físicos, químicos ou biológicos do solo pelas atividades humanas (BRASIL, 1990; CURI et al., 1993).

A recuperação de ecossistemas agrícolas e silvícolas envolve, portanto, um conjunto de ações destinadas à reabilitação da capacidade do solo de sustentar o crescimento de plantas

e organismos, constituindo um processo lento e que contempla de forma sistêmica todos os atributos e funções do solo (DIAS; GRIFFITH, 1988; GONÇALVES et al., 2002).

A insuficiência na quantidade de um determinado elemento químico essencial para a vida da planta, ou combinações que o tornem pouco disponível, provocará distúrbios no metabolismo, que podem ser evidenciados externamente, através da diminuição do crescimento, clorose foliar ou outras anomalias (EPSTEIN, 1975). Geralmente, é difícil determinar se os efeitos adversos da acidificação do solo no crescimento e desenvolvimento de plantas, atribuídos à alta concentração de Al trocável ou de H^+; porém, hipóteses sugerem que os efeitos da acidificação do solo sob essências florestais são relacionados tanto ao baixo pH, como aos metais fitotóxicos dissolvidos na solução do solo, como o Al e baixos teores de P, K, Ca e Mg (BASSO et al., 2003).

Em geral, a atividade florestal é destinada a solos arenosos e de baixa fertilidade, possuindo, muitos deles, níveis de elementos considerados tóxicos para as plantas. Baixo pH combinado com altas concentrações de Al trocável e Mn em solos pode ser um dos principais fatores de declínio de florestas. A acidificação pode reduzir o crescimento de raízes e a absorção de nutrientes (PERSSON; MADJI, 1995).

A produtividade florestal é limitada pela falta de suprimento de um ou mais nutrientes em quase todos os plantios florestais. Sendo assim, o manejo nutricional da floresta torna-se um aspecto chave da silvicultura de florestas comerciais (STAPE et al., 2004).

A necessidade de adubação decorre do fato de que nem sempre o solo é capaz de fornecer os nutrientes em quantidades suficientes para um adequado crescimento das plantas. As características e quantidade de adubos a aplicar dependerão das necessidades nutricionais das espécies florestais, da fertilidade do solo, da forma de reação dos fertilizantes com o solo, da eficiência dos adubos e de fatores de ordem econômica (GONÇALVES, 1995b). No entanto, somente a análise do solo é capaz de indicar quanto este poderá fornecer de determinado nutriente. A Tabela 2 apresenta as características de alguns solos utilizados para plantio em larga escala de eucalipto, em diversas regiões do Brasil. Os teores de nutrientes destes solos são considerados baixos ou muito baixos, necessitando de manejo para manutenção da qualidade do sítio.

Tabela 2 – Características químicas de alguns solos representativos de amplas áreas florestadas com eucalipto no Brasil

SOLO	HORIZ.	pH ($CaCl_2$)	MO g dm^{-3}	N	P	K mg dm^{-3}	Ca	Mg
LV al, m	A	4,5	25,6	149,0	5,0	36,0	234,0	63,0
	Bw	4,1	13,4	78,0	2,0	25,0	177,0	33,0
LV al, a	A	4,4	39,2	228,0	5,0	179,0	359,0	73,0
	Bw	3,9	14,8	86,0	2,0	25,0	89,0	23,0
LE al, a	A	4,0	29,6	172,0	4,0	101,0	444,0	118,0
	Bw	3,9	17,1	99,0	2,0	41,0	304,0	106,0
NQ al	A	4,0	21,4	124,0	2,0	36,0	171,0	42,0
	C	3,8	9,2	54,0	2,0	22,0	96,0	33,0

*Horizon. = horizontes; LV = Latossolo vermelho-amarelo; LE = Latossolo vermelho-escuro; NQ = Neossolo quartzarênico; al = alumínico; a = textura argilosa; m = textura média.
Fonte: Gonçalves et al. (2005).

A interpretação dos teores de S nos solos, cuja deficiência é às vezes negligenciada, é bastante discrepante. No Rio Grande do Sul e em Santa Catarina, os limites para teores baixos, médios e altos, são respectivamente de 0-2,0; 2,1-5,0 e >5,1 mg dm^{-3}. Em São Paulo esses teores variam de 0-4,0; 5,0-10,0 e > 10,0 mg dm^{-3}. O S-SO_4^{-2} da camada superficial está prontamente disponível, por outro lado, o ânion pode movimentar-se para o subsolo e permanecer fortemente adsorvido, causando deficiência para as plantas (RAIJ, 2008).

Dentre os nutrientes exigidos para o crescimento e reprodução das plantas, somente C, H e O são captados pela parte aérea, e os demais nutrientes são retirados do solo pelas raízes e requeridos em grande quantidade (N, P, K, Ca, Mg, S), sendo chamados macronutrientes; ou em menor quantidade (B, Cu, Zn, Fe, Mn, Mo e Cl) e denominados micronutrientes essenciais. De acordo com Switzer e Nelson (1972), o processo de ciclagem de nutrientes nos ecossistemas florestais pode ser dividido em três tipos: ciclo geoquímico, que refere-se à troca de elementos minerais entre os diversos ecossistemas; ciclo biogeoquímico que é aquele que se estabelece nas relações entre o solo, a planta e a atmosfera e o ciclo bioquímico, relacionado com as transferências internas dos elementos dentro dos órgãos vegetais.

Os conteúdos dos nutrientes na planta refletem o estado nutricional da mesma, assim como a fertilidade do solo. Dessa forma, no enfoque mais comum, são estabelecidas faixas de teores de cada nutriente no tecido foliar que indicam deficiência, suficiência ou toxicidade (Tabelas 3 e 4).

Tabela 3 – Teores de nutrientes para diagnose nutricional de *Eucalyptus* spp.

NUTRIENTE	FAIXAS ADEQUADAS			FAIXAS DEFICIENTES	
	Gonçalves (1995b)[1]	Malavolta et al. (1997)[2]	Silveira et al. (2000)[3]	Malavolta (1997)[1]	Silveira et al. (2000)[3]
	g kg-[1]				
N	13,5-18	21-23	22-27	8-13	<16
P	0,9-1,3	1,3-1,4	1,7-2,2	0,4-0,8	<1,1
K	9-13	9-10	8,5-9	6-8	<7
Ca	6-10	5-6	7,1-11	2-4	<5,5
Mg	3,5-5	2,5-3	2,5-2,8	1,5-2	<2,1
S	1,5-2	1,5-2,5	1,5-2,1	0,8-1,2	<1,3

[1]Dados para espécies de eucalipto mais plantadas no Brasil.
[2]Dados referentes a *Eucalyptus grandis* com alta produtividade de madeira.
[3]Dados referentes a povoamentos de *Eucalyptus grandis*.
Fonte: Silveira et al. (2000).

Tabela 4 – Faixa ótima de macronutrientes em órgãos de árvores adultas de *Eucalyptus* spp., determinados pelo índice DRIS

COMPONENTE	N	P	K	Ca	Mg	S
	g kg^{-1}					
Folhas	17,7-21,6	0,7-1,08	5,3-7,9	4,4-5,9	2,5-2,9	1,16-1,74
Casca	2,6-3,4	0,19-0,39	3,0-4,7	18,0-31,55	2,0-2,3	0,19-0,36
Lenho	0,6-0,8	0,09-0,14	0,55-1,0	0,5-1,25	0,2-0,3	0,10-0,36

Fonte: adaptado de Wadt et al., 1998.

O preparo do solo afeta o crescimento florestal e sua produtividade final por atuar diretamente nas três fertilidades do solo: física, química e biológica, e a comunidade infestante, alterando a disponibilidade de recursos hídricos e nutricionais às plantas (CASTRO, 1994; GONÇALVES et al., 2000; 2002). Concomitantemente, o preparo afeta a conservação do solo, podendo aumentar as perdas erosivas de valores praticamente nulos até valores acima da tolerância aceitável de erosão para aquele determinado local, reduzindo assim o seu potencial produtivo no longo prazo (HERNANI et al., 1997).

A correção de grandes áreas para plantio de essências florestais é realizada dependendo da análise do solo. Ela é essencial principalmente em solos pobres e profundos, onde a planta jovem não apresenta sistema radicular desenvolvido o bastante para tirar nutrientes das camadas mais profundas. Nesse caso, correções de acidez, adubações de solos e adubações corretivas devem ser realizadas para suprir a planta pelo menos nos dois primeiros anos. Mesmo que a planta seja considerada tolerante a ambientes com altos teores de Al trocável, o calcário aplicado tem função nutricional, uma vez que Ca e Mg são essenciais para qualquer vegetal (BARROS et al., 1990; BARROS; NOVAIS, 1996). As quantidades

fornecidas devem ser suficientes e balanceadas, para atender à demanda nutricional do eucalipto durante o ciclo de produção.

O K tem sido o nutriente mais limitante ao crescimento do eucalipto em várias regiões florestais de São Paulo e Minas Gerais (GAVA, 1997; VALERI et al., 1996; SCATOLINI et al., 1996). Barros et al. (1990) relataram que a necessidade de K aumenta com o acúmulo de biomassa e, portanto, com a idade. Segundo Silveira e Malavolta (2000), para este nutriente é necessário o parcelamento da dose em até três aplicações, em razão da maioria dos plantios estarem localizados em solos arenosos, com baixo K disponível (<23,4 mg dm^{-3}).

O Ca e o Mg têm uma estreita relação com a absorção do K, da mesma forma, o S com o N, o B com o Ca e o K, o Zn com o P, entre outras relações que direta ou indiretamente afetam a produção e sanidade das culturas (ZIMMER, 2000; PRIMAVESI, 2002).

Três dos macronutrientes (Ca, Mg e S) são componentes do gesso, sendo o Ca e o S em maior concentração. Estes elementos fazem parte de alguns fertilizantes que são valorizados pelos teores de N, P e K; estão também em corretivos de acidez, aplicados pelo seu poder de neutralização. Entre estes nutrientes, certamente o Ca do gesso tem aspectos teóricos e práticos mais importantes, no entanto, o S, cuja deficiência às vezes passa despercebida, torna o gesso uma importante fonte na adubação (RAIJ, 2008).

Junto com os nutrientes, deve-se mencionar a importância da adição de MO aos solos, que não pode ser considerada apenas como uma fonte de nutrientes. Talvez sua maior importância, quando em estádios avançados de decomposição, seja a notável propriedade de natureza coloidal, que contribui para a melhoria das propriedades físicas do solo (principalmente na capacidade de retenção de água) e para o aumento da CTC (ANDRADE et al., 2006).

Atualmente as empresas estão no limiar da era da qualidade, em que o desperdício será penalizado. Há o início da consciência sobre a importância do aproveitamento total de material, e a ordem é fazer certo desde o início (ROBLES JÚNIOR, 1994). Até mesmo alguns governos, através de incentivos às empresas, têm motivado a utilização, reciclagem e aproveitamento de toda a matéria-prima. Essas iniciativas, muitas vezes, baseiam-se na preservação e preocupação ecológica e em muitos casos, a qualidade toma o sentido de produtividade, pois reduz o trabalho e os desperdícios (LEITE et al., 2005).

Neste intuito, e com o aumento dos custos de energia e de fertilizantes, alguns resíduos têm sido novamente considerados como fontes potenciais de nutrientes para o crescimento de plantas e para a melhoria das propriedades do solo (ANRADE et al., 2006) e o uso de resíduos sólidos em povoamentos de eucaliptos vem sendo praticado por diferentes empresas florestais

do Brasil, visando minimizar os aspetos negativos do manejo intensivo das florestas plantadas, melhorando a produtividade e diminuindo os custos da aplicação de fertilizantes minerais (SANTOS; TSUTYA, 1997).

Em solos agrícolas localizados em regiões tropicais e subtropicais, onde predominam bactérias aeróbias em intensa atividade, a formação de húmus é quase impossível. Com isso, o húmus acumulado nestes solos oscila, segundo a textura e o clima local, entre 3 e 6%. Entre um e três anos este húmus seria degradado pelo cultivo, ou melhor, pelas condições que governam sua dinâmica em um solo cultivado (LOVELAND; WEBB, 2003). Como a perda do húmus significa a perda da produtividade do solo, isso acarretaria a necessidade de abandono do local por oito a 20 anos, para haver nova acumulação. Porém, através de esforços para manter a estrutura do solo, há a possibilidade de recorrer somente a uma aplicação periódica de compostos orgânicos para fornecer material decomponível e obter a produção contínua de substâncias agregantes (PRIMAVESI, 2002).

A aplicação de resíduos orgânicos em plantios florestais é, portanto uma alternativa que influencia positivamente as condições físicas, químicas e biológicas do solo, com o aumento do suprimento dos nutrientes que são demandados pelas árvores (NOLASCO et al., 2000; ANDRADE et al., 2003).

Contudo, trabalhos sobre a utilização de resíduos orgânicos em plantações florestais relatam problemas de redução no crescimento e até de mortalidade de árvores, devido ao aumento de ervas daninhas e, conseqüentemente, da competição por luz, água e nutrientes, principalmente nos estádios iniciais de desenvolvimento das árvores no sítio (SMITH; EVANS, 1977).

Além da avaliação dos ganhos de produtividade, é necessário o monitoramento da distribuição de nutrientes em componentes do sistema, como na árvore e na serapilheira. Este monitoramento possibilita uma avaliação mais abrangente das implicações das exportações de nutrientes na exploração florestal e da manutenção do potencial produtivo do solo nas sucessivas rotações (ANRADE et al., 2006).

A deficiência nutricional e as maiores respostas à adubação com macronutrientes, que têm sido observados no campo, com mais freqüência, ocorre na seguinte ordem: P > N > K > Ca > Mg e, para os micronutrientes, B > Zn. Normalmente, para os solos arenosos, observa-se com mais freqüência maiores respostas à adubação (GONÇALVES, 1995b).

2.6 Gestão ambiental

Os termos administração ou gestão do meio ambiente, ou simplesmente gestão ambiental empresarial, incluem as diretrizes e as atividades administrativas e operacionais, tais como planejamento, direção, controle, alocação de recursos e outras, realizadas com o objetivo de obter efeitos positivos sobre o meio ambiente, reduzindo ou eliminando os danos ou problemas causados pelas ações humanas ou evitando que eles surjam.

A gestão ambiental aplica-se a uma grande variedade de iniciativas relativas à qualquer tipo de problema relacionado ao meio ambiente. Na sua origem estão as ações governamentais para enfrentar a escassez de recursos. Com o tempo, outras questões ambientais foram sendo consideradas por outros agentes e com alcances diferentes e, atualmente, não há área que não seja contemplada (BARBIERI, 2007).

O Brasil tem hoje um complexo sistema institucional de gestão do meio ambiente, regido por vasto aparelho legal, que inclui políticas públicas, expressas formalmente pela legislação. Políticas e leis estabelecem alguns instrumentos de intervenção do Estado, que são os mecanismos, procedimentos e métodos empregados com a finalidade de aplicar uma política pública, ou seja, para atingir os objetivos nela expressos (SÁNCHEZ, 2008).

A gestão ambiental de resíduos envolve todas as etapas de manejo, com objetivo de gerenciar os resíduos em seus aspectos intra e extra estabelecimento, desde a geração até a destinação final, compreendendo as seguintes etapas (SÃO PAULO, 2010):

- Segregação: separação dos resíduos no momento e local de sua geração, de acordo com a classificação adotada;
- Tratamento interno: obrigatório para resíduos que contenham contaminantes químicos ou microbiológicos;
- Acondicionamento: ato de abrigar os resíduos de forma que não ocorram vazamentos ou geração de efluentes. É necessário estar atento às regras de identificação e classificação dos resíduos, bem como às normas específicas de armazenamento;
- Coleta e transporte internos: consistem na coleta e traslado dos resíduos dos pontos de geração até local destinado ao armazenamento temporário ou armazenamento externo com a finalidade de apresentação para a coleta;
- Armazenamento interno: guarda temporária dos resíduos já acondicionados, em local próximo aos pontos de geração, visando agilizar a coleta dentro do estabelecimento e otimizar o deslocamento entre os pontos geradores e o ponto destinado à apresentação para coleta

externa. O armazenamento interno poderá ser dispensado nos casos em que a distância entre o ponto de geração e o armazenamento externo justifique;

- Armazenamento externo: guarda dos resíduos até a realização da etapa de coleta externa, em ambiente exclusivo com acesso facilitado para os veículos coletores;
- Coleta e transporte externos: remoção dos resíduos das áreas de armazenamento até a unidade de tratamento e/ou disposição final, utilizando-se técnicas que garantam a preservação do meio ambiente e a integridade dos trabalhadores e da população, devendo estar de acordo com as orientações dos órgãos de limpeza urbana.
- Tratamento: aplicação de método, técnica ou processo que modifique as características dos riscos inerentes aos resíduos, reduzindo ou eliminando o risco de contaminação, de acidentes ocupacionais ou de dano ao meio ambiente. O tratamento pode ser aplicado no próprio estabelecimento gerador ou em outro estabelecimento, observadas nestes casos, as condições de segurança para o transporte entre as áreas de armazenamento e o local do tratamento. Os principais tratamentos aplicados aos resíduos não-inertes, como o gesso residual da construção civil, os resíduos agroindustriais e o lodo de esgoto incluem: reutilização, reciclagem, incineração, co-processamento (SISINNO, 2003).
- Disposição final: disposição de resíduos previamente tratados, obedecendo a critérios técnicos e a legislação ambiental vigente. A disposição final pode ser realizada em aterros controlados, aterros sanitários, aterros industriais ou aplicação como corretivos em solos agrícolas, de acordo com a classificação atribuída pela norma técnica NBR 10004 (ABNT, 2004).

Muitas das áreas utilizadas para disposição final de resíduos estão inadequadamente localizadas nas proximidades de cursos d'água, núcleos populacionais e ecossistemas de grande interesse ecológico cujo potencial de contaminação ambiental tem sido avaliado em alguns estudos, como os de Pereira Netto et al. (2002) e Sisinno (2003).

A opção por uma determinada técnica de destinação ou por uma combinação entre duas ou mais técnicas é o que define um sistema de tratamento e destinação final, e deve fundar-se no conhecimento do potencial de cada técnica e dos mecanismos envolvidos na redução de contaminante e aproveitamento de materiais de interesse (MIERZWA; HESPANHOL, 2005).

3 MATERIAL E MÉTODOS

3.1 Localização e caracterização da área experimental

O estudo foi realizado na Usina Vale Verde, localizada no Município de Baía Formosa, Litoral Sul do Estado do Rio Grande do Norte (Figura 1), a 6º25' de latitude Sul e 35º3' de longitude Oeste de Greenwich e com altitude média de 44 m (BRASIL, 2005c).

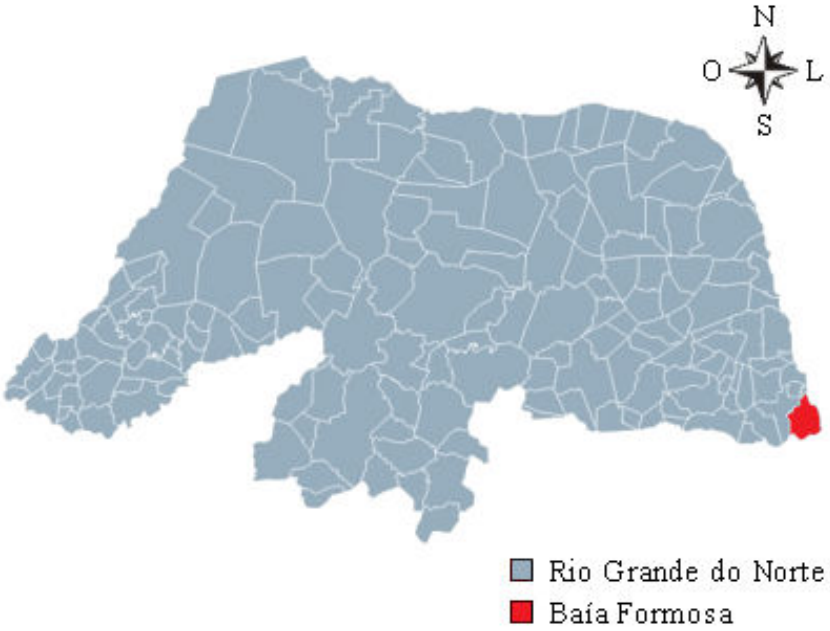

Figura 1 – Município de Baía Formosa/RN, onde está localizada a área experimental

O clima de Baía Formosa é do tipo As', quente e úmido segundo a classificação de Köppen, com estação seca na primavera-verão (outubro a dezembro) e outra chuvosa no outono-inverno (fevereiro a julho). De modo geral, a precipitação anual média decresce do litoral para o interior, passando de mais de 1500 mm na foz para pouco menos de 1200 mm na região a montante, com umidade relativa média anual de 79% (RIO GRANDE DO NORTE, 1999).

A região é submetida à forte radiação solar, com aproximadamente 2700 horas de insolação por ano, promovendo altas temperaturas e forte evaporação. As médias térmicas anuais estão entre 25,6° a 30°C, entretanto, refletindo a influência moderadora dos ventos alísios podem atingir uma variação entre 21° e 25°C (NIMER, 1977).

3.2 Caracterização do solo e dos resíduos utilizados

A área do talhão experimental era ocupada com a cultura da cana-de-açúcar desde 1910. Foi submetida a vários impactos, como o uso de queimadas antes do corte, a intensa movimentação de máquinas e equipamentos pesados durante os ciclos da cultura, sucessivas aplicações de defensivos agrícolas, corretivos, fertilizantes e vinhaça via fertirrigação, aliados a constante lâmina de água fornecida pela irrigação fornecida através de sistema aspersão com canhão hidráulico, que modificaram significativamente as características originais do solo, levando a mudança do uso deste.

3.2.1 Solo

Antes da instalação do experimento foi realizada a amostragem de solo para caracterização da área, obtendo-se seis amostras compostas a partir de 20 amostras simples, em um transecto diagonal à área útil da parcela, para as camadas de 0-20, 20-40 e 40-60 cm de profundidade. As amostras foram secas ao ar, passadas em peneiras com abertura de malha de 2 mm e submetidas a análises químicas, realizadas segundo RAIJ et al. (2001) e físicas, realizadas segundo a metodologia apresentada pela Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária - EMBRAPA (BRASIL, 1999) no Laboratório de Qualidade do Solo do Instituto Agronômico de Campinas - IAC. A análise granulométrica foi realizada pelo método da pipeta (DAY, 1965) (Tabelas 5 e 6).

Tabela 5 – Características físicas do solo da área antes da instalação do experimento

PROF. (cm)	**ARGILA (%)** <0,002 mm	**SILTE (%)** 0,053-0,002 mm	**AREIA (%)**			**CLASSE TEXTURAL**
			TOTAL 2,00-0,053 mm	**GROSSA** 2,00-0,210 mm	**FINA** 0,210-0,053 mm	
00-20	3,6	2,4	94,0	68,8	25,2	Areia
20-40	4,5	2,3	94,2	65,8	28,4	Areia
40-60	4,0	3,1	92,9	58,8	34,1	Areia

O solo da área experimental é do tipo Neossolo quartzarênico de textura predominantemente arenosa (BRASIL, 2006a), drenagem excessiva e baixa fertilidade natural que necessita, para o aproveitamento agrícola, de sucessivas adubações e principalmente da incorporação de MO para melhorar sua estrutura e a retenção de umidade.

Tabela 6 – Características químicas do solo da área antes da instalação do experimento

PARÂMETRO	UNIDADE	PROFUNDIDADE (cm)		
		0-20	20-40	40-60
pH	-	5,30	5,10	5,60
CE	dS m^{-1}	0,05	0,04	0,05
MO	g dm^{-3}	11,70	7,90	6,40
N-Kjeldahl	g dm^{-3}	0,32	0,31	0,30
N-amônia	mg dm^{-3}	1,39	2,55	1,75
N-nitrato	mg dm^{-3}	0,50	1,68	2,10
P	mg dm^{-3}	33,00	20,00	13,00
K	mg dm^{-3}	44,85	29,25	35,10
Ca	mg dm^{-3}	150,00	70,00	100,00
Mg	mg dm^{-3}	60,00	42,00	60,00
S	mg dm^{-3}	5,00	9,50	0,00
B	mg dm^{-3}	0,12	0,11	0,08
Cu	mg dm^{-3}	0,40	0,30	0,35
Fe	mg dm^{-3}	30,40	32,95	29,90
Mn	mg dm^{-3}	0,40	0,20	0,65
Zn	mg dm^{-3}	0,15	0,00	0,00
Na	mg dm^{-3}	4,60	4,60	4,60
Al	mg dm^{-3}	90,15	90,2	90,05
Cd	mg dm^{-3}	0,00	0,00	0,00
Cr	mg dm^{-3}	0,00	0,00	0,00
Ni	mg dm^{-3}	0,03	0,02	0,02
Pb	mg dm^{-3}	0,09	0,10	0,07
SB	$cmol_c$ dm^{-3}	1,39	0,80	1,11
CTC	$cmol_c$ dm^{-3}	3,34	2,35	1,66
V	%	44,6	36,9	67,4
m	%	0,30	0,50	0,10

Embora no talhão experimental não ocorra o horizonte B diagnóstico e a textura do solo seja arenosa em todo o perfil, com base nos valores da saturação por bases – V% foi possível classificar o solo como distrófico (V% < 50%) no perfil de 0-40 cm e mesotrófico (V% ≥ 50%) nas camadas mais profundas, de 40-60 cm (PRADO, 2004; BRASIL, 2006a).

3.2.2 Resíduos

O resíduo agroindustrial formado por torta de filtro, bagaço de cana-de-açúcar e lodo de decantação da vinhaça (3:1:1), já compostado, foi proveniente da Usina Vale Verde.

A análise deste resíduo demonstrou a acidez e a presença de vários nutrientes que poderão ser liberados para as plantas após mineralização e solubilização, reduzindo o uso de fertilizantes. Contudo, os teores de metais pesados sempre devem ser monitorados, tendo em vista sua possível acumulação ou lixiviação (Tabela 7).

No que se refere às questões legais para aplicação na agricultura, os teores de metais pesados estão de acordo com a Portaria SDA/MAPA n. 49, de 25 de abril de 2005 (BRASIL, 2005a), que analisa os limites máximos de metais pesados tóxicos admitidos em fertilizantes, corretivos, inoculantes e biofertilizantes.

Tabela 7 – Características químicas do resíduo agroindustrial utilizado

PARÂMETRO	UNIDADE	RESÍDUO AGRONIDUSTRIAL*
pH	-	4,60
CE	dS m^{-1}	1,70
MO	g dm^{-3}	125,22
C-orgânico	g dm^{-3}	72,80
Relação C/N	-	6,10
N-Kjeldahl	g dm^{-3}	12,0
P	g dm^{-3}	1,61
K	g dm^{-3}	4,70
Ca	g dm^{-3}	4,33
Mg	g dm^{-3}	2,00
S	g dm^{-3}	2,30
B	mg dm^{-3}	7,80
Cu	mg dm^{-3}	51,34
Fe	mg dm^{-3}	1.060,00
Mn	mg dm^{-3}	140,00
Zn	mg dm^{-3}	39,67
Na	mg dm^{-3}	160,00
Cd	mg dm^{-3}	<1,00
Cr	mg dm^{-3}	35,20
Ni	mg dm^{-3}	6,80
Pb	mg dm^{-3}	32,60
CTC	$cmol_c$ dm^{-3}	1,83
Umidade (65ºC)	%	35,20

*Concentração expressa no material seco a 65ºC.

O biossólido utilizado no experimento foi proveniente da Estação de Tratamento de Esgoto Janga (Região Metropolitana de Recife/PE), pertencente à Companhia Pernambucana de Saneamento. O lodo sofreu um tratamento biológico que utilizou lagoas aeradas aeróbias (aeração prolongada) seguidas de lagoas de decantação e permaneceu em lagoa de secagem por aproximadamente três anos.

O resíduo passou por um processo de compostagem durante 30 dias, visando a diminuição de seu poder contaminante. Amostras dos resíduos foram coletadas em quatro pontos distintos das áreas de armazenamento, formando uma amostra composta, e enviadas ao IAC para análises químicas e microbiológicas.

A classificação do biossólido é tipo "B", segundo critério fixado pela Norma CETESB P4.230 (SÃO PAULO, 1999), ou seja, a concentração de coliformes fecais é inferior a 2.000.000 NMP por grama de sólidos totais, não apresentando restrições para uso na silvicultura, respeitadas as advertências da norma. A Tabela 8 contém a caracterização do biossólido utilizado, de acordo com a Norma CETESB P4.230 (SÃO PAULO, 1999).

Tabela 8 – Características químicas e biológicas do biossólido utilizado

PARÂMETRO	UNIDADE	BIOSSÓLIDO*
pH	-	8,60
MO	g dm^{-3}	565,88
C-orgânico	g dm^{-3}	329,00
Relação C/N	-	7,23
N-Kjeldahl	g dm^{-3}	45,50
N-amônia	g dm^{-3}	0,78
N-nitrato	g dm^{-3}	0,01
P	g dm^{-3}	15,60
K	g dm^{-3}	4,00
Ca	g dm^{-3}	23,50
Mg	g dm^{-3}	5,10
S	g dm^{-3}	13,80
B	mg dm^{-3}	70,80
Cu	mg dm^{-3}	130,00
Fe	mg dm^{-3}	18.870,00
Mn	mg dm^{-3}	109,90
Zn	mg dm^{-3}	980,00
Na	mg dm^{-3}	4.515,00
Al	mg dm^{-3}	8.020,00
As	mg dm^{-3}	6,00
Ba	mg dm^{-3}	270,00
Cd	mg dm^{-3}	1,10
Cr	mg dm^{-3}	26,50
Hg	mg dm^{-3}	<1,00
Mo	mg dm^{-3}	4,10
Ni	mg dm^{-3}	12,90
Pb	mg dm^{-3}	28,50
Se	mg dm^{-3}	<1,00
Umidade (65ºC)	%	86,70
Escherichia coli	NMP/10 g	3.296,70
Salmonella sp.	NMP/10 g	112,70
Ovos viáveis de helmintos	Ovos/gST	0,20

*Concentração expressa no material seco a 65ºC.

Os teores de microelementos potencialmente tóxicos apresentaram-se bastante inferiores aos limites estabelecidos pelas principais agências de fiscalização ambiental, valorizando ainda mais seu potencial para usos agronômicos.

Considerando os aspectos mais relevantes quanto à qualidade do lodo no tocante aos impactos ambientais e teores de macro e micronutrientes, o material produzido pela ETE Janga/PE pode ser considerado um produto apropriado para disposição agrícola. A adição de MO por meio deste composto pode alterar a evolução e a sucessão das diferentes comunidades de microrganismos, contribuindo com até 90% da CTC do solo (STEVENSON, 1986; MELO et al., 1997).

O resíduo de gesso utilizado no experimento foi obtido junto ao Instituto Tecnológico de Pernambuco - ITEP, localizado em Recife/PE, que caracterizou química e fisicamente o material proveniente do processo de construção civil, de acordo com os procedimentos de análise de gesso para a construção civil das normas técnicas NBR 12127 e 12130 de 30 de novembro de 1991 (ABNT, 1991a; 1991b). Depois de moído e peneirado, o material torna-se semelhante ao gesso agrícola vendido comercialmente. A composição físico-química do resíduo de gesso processado encontra-se na Tabela 9.

Tabela 9 – Características físicas e químicas do gesso mineral utilizado

CARACTERÍSTICA	dag kg^{-1}
Insolúveis em HCl e sílica	5,40
Água combinada a 230°C	16,85
Perda ao fogo 1000°C	4,63
Óxido de cálcio (CaO)	35,24
Óxido de magnésio (MgO)	0,33
Sulfato (SO_4^-)	43,95
$Al_2O_3 + Fe_2O_3$	0,57

Fonte: Rocha et al., 2008.

Antes da implantação das mudas, o calcário dolomítico e os resíduos foram aplicados a lanço em área total. As doses de calcário, gesso e a adubação comercial foram definidas com base nas recomendações técnicas de empresas do ramo florestal da Região Nordeste (COPENER, 2008), em função das características do solo e da produtividade média de madeira esperada em solos do tipo Neossolo quartzarênico, na ordem de 28 m^3 ha^{-1} ano (SILVEIRA et al., 1995). As taxas de aplicação do resíduo agroindustrial e do biossólido foram calculadas com base no critério de metais pesados, conforme descrito na Resolução CONAMA n. 375, de 29 de agosto de 2006 (BRASIL, 2006b).

3.3 Tratamentos e tratos silviculturais

Os tratamentos avaliados estão descritos na Tabela 10:

Tabela 10 – Tratamentos aplicados no campo experimental

TRAT.	COMPOSIÇÃO
T1	Testemunha absoluta: sem resíduos e sem fertilizantes.
T2	Adubação comercial: • Fundação: 1 t ha^{-1} de calcário dolomítico + 0,22 t ha^{-1} de superfosfato triplo + 0,05 t ha^{-1} de FTE BR12. • Cobertura: 0,11 t ha^{-1} de $(NH_4)_2SO_4$ + 0,05 t ha^{-1} de KCl. • Manutenção (3 e 12 meses): 0,33 t ha^{-1} de $(NH_4)_2SO_4$ + 0,16 t ha^{-1} de KCl + 0,03 t ha^{-1} de $Na_2B_4O_7.10H_2O$.
T3	Adubação potencial: duas vezes a quantidade de fertilizantes utilizados na adubação comercial.
T4	Adubação comercial + 1 t ha^{-1} de resíduo de gesso.
T5	Adubação comercial + 20 t ha^{-1} de resíduo agroindustrial.
T6	Adubação comercial + 20 t ha^{-1} de biossólido.

*Trat. = tratamentos.

A quantidade total de nutrientes aplicada em cada tratamento encontra-se na Tabela 11.

Tabela 11 – Quantidade de nutrientes aplicados via adubação nos diferentes tratamentos

TRAT.	N	P	K	Ca	Mg	S	B	Cu	Mn	Fe	Zn
	kg ha^{-1}										
T1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
T2	68,44	40,32	52,97	240,24	156,78	24,50	1,56	0,44	1,10	1,92	4,95
T3	136,88	80,64	105,94	480,48	313,56	49,00	3,12	0,88	2,20	3,84	9,90
T4	68,44	42,87	52,97	491,96	158,77	170,98	1,56	0,44	1,10	1,92	4,95
T5	308,44	75,52	146,97	326,84	196,78	70,50	1,72	1,47	3,90	23,12	5,74
T6	978,44	352,32	132,97	710,24	258,78	300,50	2,98	3,04	3,30	379,32	24,55

*Trat. = tratamentos.

Na adubação de fundação, a aplicação de superfosfato triplo e de FTE BR12 foi realizada em coveta lateral a 15 cm da muda e 15 cm de profundidade. Já na adubação de cobertura, o sulfato de amônia - $(NH_4)_2SO_4$ e o cloreto de potássio - KCl foram aplicados a 50 cm da muda em sulco lateral e na manutenção, o $(NH_4)_2SO_4$, o KCl e o bórax - $Na_2B_4O_7.10H_2O$ foram distribuídos a 80 cm ao redor da muda a lanço.

Os tratos culturais como capina manual e controle de formigas, com aplicação de iscas a base de sulfluramida, de modo localizado, ao redor dos formigueiros, por toda área

experimental, foram conduzidos sistematicamente, de acordo com os procedimentos convencionais para áreas de plantio comercial de eucalipto.

3.4 Delineamento experimental

O plantio das mudas de *Eucalyptus* sp. foi realizado em maio de 2008, com seis tratamentos distribuídos de forma casualizada em quatro blocos. Cada parcela foi constituída por oito linhas, com superfície de 576 m^2 (24 m x 24 m). As mudas de *Eucalyptus* sp., procedentes da empresa Copener Florestal (Alagoinhas/BA), foram plantadas em espaçamento de 3 m x 3 m (Figura 2). Como área útil foram consideradas apenas as 16 plantas centrais, descontando-se a bordadura dupla (SOARES et al., 2002).

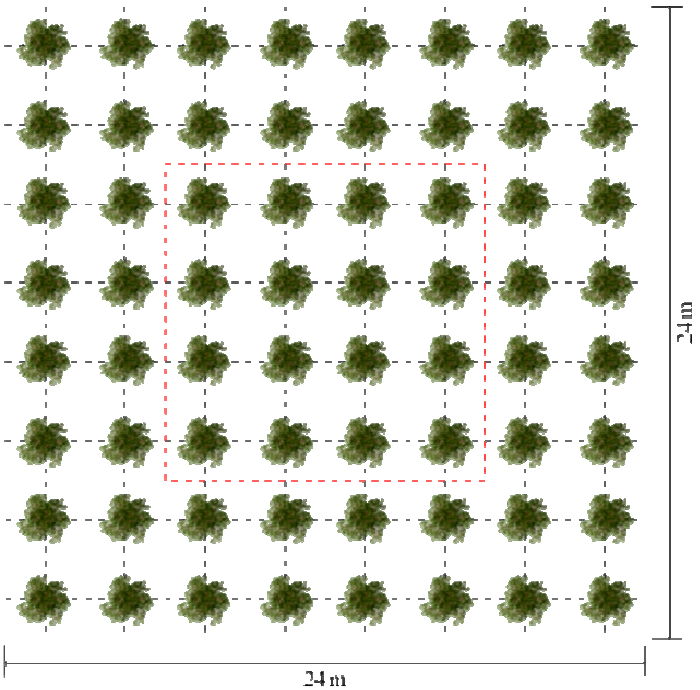

Figura 3 – Delineamento da parcela experimental, com destaque para a área útil

3.5 Determinações analíticas

3.5.1 Solo

Após a instalação do experimento, foram realizadas duas amostragens de solo, correspondentes a 12 e 24 meses após o plantio, nas profundidades 0-20, 20-40 e 40-60 cm. As amostras compostas foram constituídas pela combinação de 20 subamostras coletadas

dentro da parcela útil de cada tratamento. O material acondicionado em sacos plásticos foi congelado e encaminhado para análises químicas no IAC, realizadas segundo RAIJ et al. (2001).

3.5.2 Material vegetal

Aos 24 meses de idade foram coletadas amostras de folhas no antepenúltimo lançamento de folhas dos galhos, de ramos localizados no terço superior das copas de quatro árvores médias de cada tratamento (selecionadas por classe de DAP), constituindo amostras compostas (MALAVOLTA et al., 1997; SILVEIRA et al., 2000). As amostras foram acondicionadas individualmente em sacos de papel e encaminhadas ao Laboratório de Ecologia Aplicada - LEA da Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz" - ESALQ/USP para análise química de macronutrientes, conforme métodos descritos por Malavolta et al. (1997).

Para obtenção de dados de serapilheira acumulada sobre o solo, aos 24 meses após o plantio, um molde vazado confeccionado em chapa de fibra de madeira de média densidade - MDF com área de 0,25 m^2 (0,5 m x 0,5 m) foi colocado aleatoriamente em quatro pontos da parcela, formando uma amostra composta contendo 1,0 m^2 de superfície florestal por tratamento, do qual foi retirado todo o material vegetal contido na área delimitada pelo molde (Figura 3). O material foi submetido à secagem a 40°C e, após atingir peso constante, o peso seco foi medido. Com os valores do peso seco, estimou-se a biomassa acumulada sobre o solo de cada parcela estudada em kg ha^{-1}.

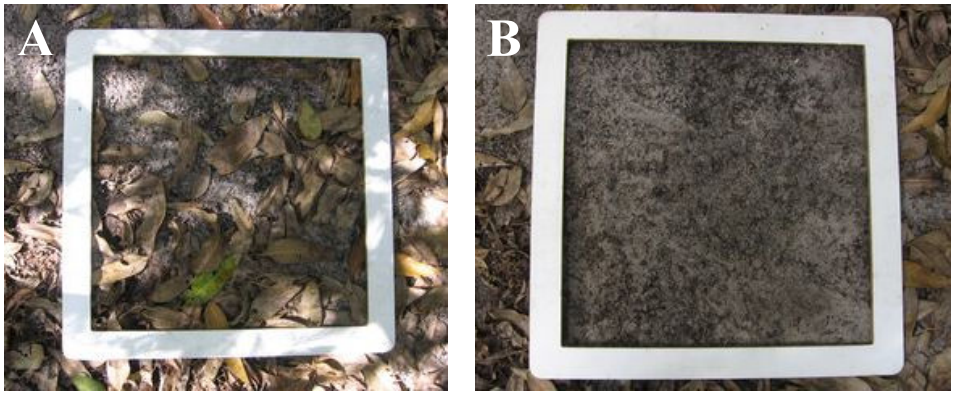

Figura 4 – Coleta da serapilheira estocada sobre o solo. (A) Molde vazado com 0,25 m^2 limitando a serapilheira a ser coletada; (B) Molde vazado após coleta do material

Após secagem e pesagem, a serapilheira foi armazenada em sacos de papel e encaminhada para análise do conteúdo de cinzas (%), determinado depois da ignição em 550°C até o alcance do peso constante e análise de macronutrientes no LEA.

No mesmo período, foram escolhidas quatro árvores médias de cada tratamento (selecionadas por classe de DAP), das quais foi retirada uma amostra de casca e lenho com aproximadamente 18,0 cm^3 (Figura 4). As amostras foram acondicionadas em sacos de papel e enviadas ao LEA para análise de macronutrientes.

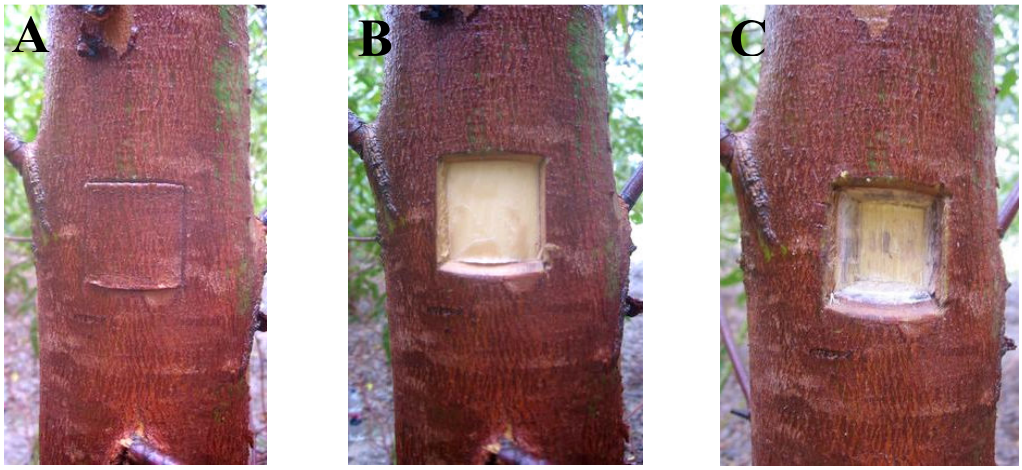

Figura 5 – Coleta de casca e madeira das árvores úteis. (A) Ritidoma; (B) Casca; (C) Alburno

3.6 Inventário florestal

Aos 18 e 26 meses de idade foram observadas as variáveis sobrevivência e bifurcação através da quantificação do número de ocorrências por tratamento.

Nos mesmos períodos foram realizadas as medições de altura total - Ht e diâmetro a altura do peito - DAP (1,30 m) das árvores nas áreas úteis de todas as parcelas dos quatro blocos do experimento, totalizando 16 árvores por parcela. Para a medição de Ht foi utilizado um hipsômetro modelo 100 LHA, da marca OPTI-Logic e para a avaliação DAP foi utilizada uma Suta Mantax Mecânica de 650 mm da marca Haglöf.

Para obtenção dos volumes sólidos de cada árvore, foi utilizado o modelo de Schumacher e Hall (1933), desenvolvido com base em árvores abatidas e cubicadas. Os coeficientes do modelo foram cedidos pela empresa Copener, obtidos a partir de estudos com o clone utilizado (Eq. 2).

$$\mathbf{Vts/c = Exp((-10{,}358264 + (1{,}790907 \times Ln(DAP)) + (1{,}175471 \times Ln(Ht)))} \qquad \mathbf{(2)}$$

Onde: Vts/c = volume sólido sem casca (m^3 árvore^{-1}); DAP = diâmetro a altura do peito (cm); Ht = altura total (m).

A biomassa por árvore foi determinada através da multiplicação do VTS/c pela densidade média do clone, conforme a Eq. 3:

Bioms/c = Exp((-10,358264 + (1,790907 x Ln(DAP)) + (1,175471 x Ln(Ht))) x 488 (3)

Onde: Bioms/c = biomassa sem casca (kg); DAP = diâmetro a altura do peito (cm); Ht = altura total (m); 488 = densidade média do clone (kg m^{-3}).

3.7 Análise estatística

Os dados obtidos foram submetidos à *Analysis of Variance* - ANOVA. Nos casos que apresentaram diferenças a 5% de probabilidade pelo teste F, em um ou mais tratamentos, os dados foram submetidos ao teste de comparação de médias (Tukey, $P<0,05$). Todas as análises foram efetuadas com o pacote estatístico *Statistical Analysis System* - SAS 9.1 (SAS INSTITUTE, 2003).

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

A compreensão dos impactos ambientais relacionados com a aplicação de resíduos em áreas de reflorestamento com *Eucalyptus* spp. deve levar em consideração sua alta eficiência na utilização de recursos naturais, o rápido crescimento e, conseqüentemente, alta produtividade, características que estão estritamente relacionadas com a espécie e o genótipo, idade da planta, propriedades do sítio e época do ano analisada (PALLARDY, 2008).

Em vista disto, a apresentação dos resultados do presente estudo foi dividida em: condições climáticas, análise do solo, de compartimentos vegetais (folha, casca, lenho e serapilheira) e do inventário florestal, gerando assim, para melhor avaliação dos impactos ambientais, matrizes de interação, relacionando todos os aspectos relevantes levantados por meios dos resultados quantitativos.

4.1 Condições climáticas

Os dados de precipitação pluvial e temperatura média mensal, do período correspondente ao experimento (2008 a 2010), obtidos na estação meteorológica instalada na área de estudo estão representados na Figura 5.

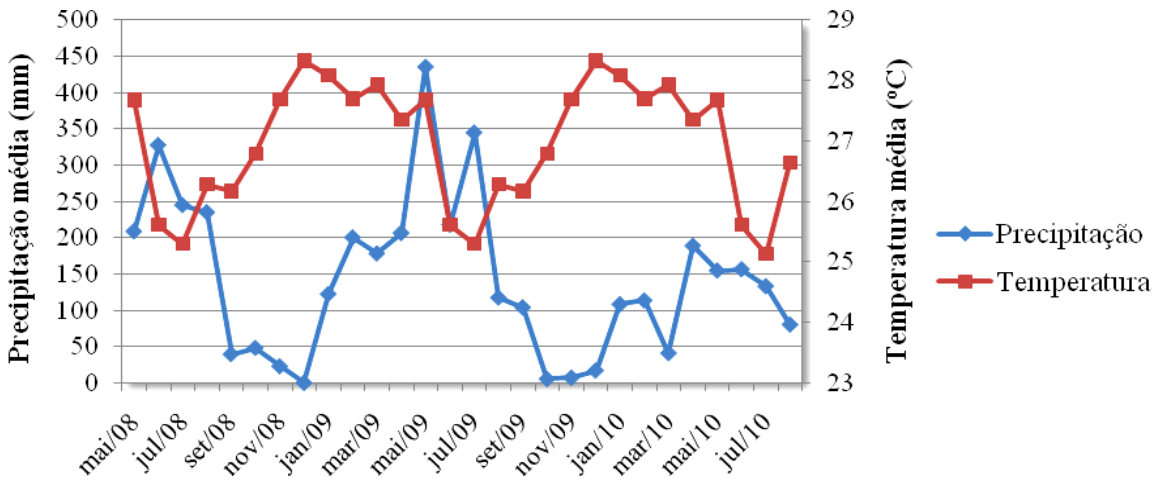

Figura 5 – Precipitação pluvial mensal (mm) e temperatura média mensal (^{o}C) da área experimental, de Janeiro de 2008 a Outubro de 2010

No período de 2008 a 2010, a precipitação média anual foi de 1689 mm. Observa-se uma distribuição uniforme de chuvas, a qual se concentra mais nos meses de abril a julho, sendo de menor intensidade nos meses de setembro a janeiro. A temperatura média, também uniforme, variou em torno de 27°C.

Maestri (2003), estudando a influência das variáveis ambientais no incremento corrente anual em altura dominante de povoamentos de *E. grandis*, concluiu que as variáveis mais significativas foram a precipitação pluviométrica, evapotranspiração potencial, temperatura máxima e temperatura mínima. Stape (2002) concluiu que o aporte hídrico foi o principal elemento controlador da produtividade do eucalipto (*E. grandis x E. uroplhylla*) e do uso de recursos naturais, assim como, em períodos de déficit hídrico, a produção de madeira é significativamente afetada.

Entretanto, os dados climáticos coletados *vs.* informações de sobrevivência e bifurcação dos clones, demonstraram a viabilidade do adequado crescimento do clone na região estudada, que apresenta um clima apto para implantação de áreas de reflorestamento com eucalipto.

4.2 Estoque de nutrientes no solo

Na fase inicial de desenvolvimento, os eucaliptos dependem, em grande parte, dos nutrientes disponíveis no solo (GONÇALVES et al., 2000). Os resultados desta pesquisa demonstraram que os nutrientes residuais aplicados anteriormente na cultura da cana-de-açúcar foram capazes de suprir grande parte da demanda nutricional do eucalipto, em especial no primeiro ano após o plantio.

Por outro lado, diferentemente do uso de fertilizantes minerais, com a aplicação de resíduos orgânicos é possível o atendimento das exigências nutricionais das árvores em diferentes épocas: em curto prazo, com respostas imediatas ao crescimento das plantas (HENRY et al., 1994), e em longo prazo, pela contínua liberação de nutrientes para o solo e para o sistema radicular das árvores ao longo de vários anos, garantindo a nutrição das plantas e o aumento da produtividade (ZABOWSKI; HENRY, 1994).

A análise estatística do solo foi realizada comparando-se separadamente as profundidades no perfil. Diversos atributos químicos do solo variaram em resposta a fertilização. A interação ano *vs.* fertilização, em relação aos macronutrientes, foram significativas para N-total, P, Ca e S, em especial na camada de 20-40 cm (Tabela 12).

Tabela 12 – Análise química de macronutrientes do solo com interação entre as profundidades *vs*. tratamentos aplicados

TRAT.	PROF.	N	NH_4^+	NO_3^-	P	K	Ca	Mg	S
		g dm^{-3}	mg dm^{-3}						
T1	0-20	0,34a	3,49a	3,13a	28,50b	17,55a	157,50b	60,00a	3,63b
	20-40	0,26b	3,84a	3,27a	34,25b	12,67a	122,50b	55,50a	3,31a
	40-60	0,27a	2,96a	2,26a	33,00b	14,14a	110,00b	57,00a	3,35a
T2	0-20	0,34a	3,05a	4,84a	32,38b	21,94a	197,50b	60,00a	4,02ab
	20-40	0,31ab	2,67a	1,89a	32,88b	13,16a	145,00b	66,00a	3,11a
	40-60	0,34a	2,99a	2,24a	37,50b	13,65a	145,00ab	60,00a	3,26a
T3	0-20	0,33a	3,42a	3,23a	48,13b	16,09a	212,50b	69,00a	4,35ab
	20-40	0,28ab	3,31a	2,71a	40,13b	10,24a	167,50b	60,00a	3,45a
	40-60	0,26a	4,17a	4,39a	33,50b	10,24a	160,00ab	60,00a	4,02a
T4	0-20	0,35a	3,81a	4,66a	27,00b	22,42a	257,50ab	67,50a	3,92ab
	20-40	0,39a	3,8a	2,97a	33,00b	13,65a	160,00b	60,00a	4,98a
	40-60	0,29a	3,51a	3,16a	32,88b	20,62a	177,50ab	60,00a	6,24a
T5	0-20	0,34a	3,95a	4,00a	72,13ab	22,42a	290,00ab	82,50a	3,68b
	20-40	0,33ab	3,33a	2,37a	49,63b	12,68a	172,50ab	60,00a	3,44a
	40-60	0,26a	3,16a	2,31a	55,80ab	17,55a	180,00ab	60,00a	3,50a
T6	0-20	0,34a	4,44a	5,56a	124,50a	23,40a	357,50a	77,50a	7,40a
	20-40	0,29ab	3,54a	3,69a	111,25a	19,99a	230,00a	57,00a	5,09a
	40-60	0,29a	3,79a	3,63a	100,88a	20,96a	225,00a	60,00a	5,95a

*Médias seguidas de mesma letra não diferem entre si significativamente pelo teste de Tukey (P<0,05). **Trat. = tratamentos; Prof. = profundidade.

Conforme observado na Tabela 12, os estoques de nutrientes no solo seguem, de um modo geral, a seqüência N > Ca > Mg > P > K > S. Este resultado difere do encontrado por Kolm e Poggiani (2003) que citam a seqüência Ca > N > Mg > K > P para o estoque de macronutrientes em Latossolo vermelho-amarelo distrófico de textura média, precipitação média anual de 1200 mm e com um plantio de *E. grandis* aos 20 anos.

Em geral, os teores dos nutrientes N, P e Mg, encontrados nos tratamentos com adição de resíduos (T4, T5 e T6), foram superiores aos relatados por Guedes (2005) em Latossolo vermelho-amarelo com textura médio-arenosa de baixa fertilidade natural sob plantio de *E. grandis* com 5 anos, de respectivamente 12,7; 19,1 e 20,9 mg kg^{-1}, após aplicação de 20 t ha^{-1} de biossólido tratado com calcário e incrementado com K. Já os nutrientes Ca e S foram inferiores aos 437,1 e 8,9 mg.kg^{-1} encontrados por este autor.

Segundo os valores encontrados por Gonçalves et al. (2000) em solos representativos de amplas áreas florestadas com eucalipto no Brasil, os nutrientes N e K estavam abaixo dos valores normalmente apresentados em solos do tipo Neossolo quartzarênico enquanto que para P, Ca e Mg os valores encontraram-se acima do esperado, em especial nos tratamentos contendo resíduos. Isto se deve, como já citado, pelo efeito residual de adubações anteriores aplicadas na cultura de cana-de-açúcar na área experimental. Já os teores de S apresentaram-

se na faixa adequada para as condições de clima e solo da área experimental, entre 2,1-5,0 mg dm^{-3}, com valores maiores nos tratamento contendo resíduos (T4, T5 e T6).

Comparando-se os valores iniciais de N, antes da implantação da floresta e instalação do experimento, de 0,33; 0,32 e 0,30 g kg^{-1} nas camadas de 0-20, 20-40 e 40-60 cm, respectivamente, com as médias obtidas após 24 meses de estudo, que foram: 0,34; 0,32; 0,29 g kg^{-1} de N nas camadas de 0-20, 20-40 e 40-60 cm, respectivamente, nota-se que são de mesma magnitude.

Andrade e Mattiazzo (2000) encontraram resultados similares ao avaliar o teor total de N no solo sob plantio de eucalipto, 12 meses após a aplicação de até 40 t ha^{-1} de biossólido, com teores médios, nas camadas 0-10, 10-20, 20-30, 30-60 e 60-90 cm, de respectivamente de 0,64; 0,47; 0,41; 0,38 e 0,31 g kg^{-1} e Molina (2004), avaliando a mesma área experimental após nova aplicação de biossólido, obteve, para as mesmas camadas de solo, valores de 0,62; 0,39; 0,38; 0,29; e, 0,27 g kg^{-1} de N, demonstrando também certa estabilidade após aplicação de resíduos.

A resposta a aplicação de adubação nitrogenada tem sido avaliada em diversas condições de solo e clima, especialmente em sítios com teores baixos de MO, nos quais esta adubação proporciona um aumento expressivo de produtividade, como encontrado por Silveira et al. (2001b) na região sul da Bahia. No entanto, no presente estudo, não foram observadas correlações entre as doses de N aplicadas e a produtividade dos tratamentos.

Desse modo, pode-se observar que o teor de N-total se manteve semelhante no período de estudo, mesmo após a aplicação de fertilizantes e resíduos, possivelmente devido a fatores como a existência de compostos nitrogenados com baixa taxa de mineralização nos resíduos (SOARES, 2003), a imobilização e/ou incorporação da fração residual do N contido nos resíduos em formas mais resistentes à biodegradação (BOEIRA et al., 2002), o pH, a formação de complexos com cátions polivalentes, a capacidade de retenção de água pelo solo ou simplesmente a proteção física fornecida por pequenos poros do solo, que podem tornar os compostos orgânicos inacessíveis aos microrganismos (MOREIRA; SIQUEIRA, 2002; CANTARELLA, 2007).

O manejo intensivo do solo associado ao rápido crescimento de espécies florestais poderá resultar na diminuição dos estoques de N do solo (O'CONNELL; RANCE, 1999) devido as altas taxas de exportação e do possível esgotamento das reservas de N-orgânico potencialmente mineralizável, visto que aproximadamente 95%, encontra-se na forma orgânica, momentaneamente indisponível para as plantas e em diferentes moléculas com graus de recalcitrância distintos, fazendo parte da MO do solo, da qual, somente uma pequena

proporção, cerca de 5%, é mineralizada pelos microrganismos do solo (CAMARGO; SÁ, 2004). Algumas frações de N têm meia vida de alguns dias, enquanto outras de séculos (CANTARELLA, 2007). Assim, a limitação da produtividade da maioria das culturas não é, geralmente, causada pelas baixas quantidades de N, mas sim por taxas lentas de conversão de N de compostos orgânicos para formas que as plantas consigam absorver (NÄSHOLM; PERSSON, 2001).

No entanto, a aplicação de resíduos orgânicos como o biossólido (especialmente àquele tratado com óxido de cálcio) em culturas de longo prazo deve ser restrita, para evitar um desbalanço nutricional, principalmente com relação às concentrações de N, K, Ca e Mg. Este desbalanço pode ser provocado pelo excesso de um ou mais nutrientes, ou pela lixiviação de íons devido ao tratamento prévio aplicado ou pela própria composição química do resíduo, (BERTONCINI; MATTIAZZO, 1999; ANJOS; MATTIAZZO, 2000; OLIVEIRA et al., 2002).

A perda de nutrientes por lixiviação em sistemas florestais constitui uma grande preocupação e tende a ser bastante variável. Certos elementos, como o P, são fortemente retidos pelos colóides do solo, não sendo removidos com facilidade pela água de percolação (VITOUSEK, 1984). Contudo, o mesmo não acontece com o N, elemento facilmente lixiviado.

A lixiviação do N ocorre em ordem decrescente para $N\text{-}NO_3^-$ > $N\text{-}NH_4^+$ > N-orgânico. A maior lixiviação na forma de nitrato - $N\text{-}NO_3^-$ acontece por causa de sua carga negativa ser repelida pelos colóides do solo onde predomina a mesma carga (GONÇALVES et al., 2000).

Apesar de não terem sido observadas diferenças significativas entre as quantidades de $N\text{-}NO_3^-$ avaliadas nos diferentes tratamentos, observou-se que o tratamento com aplicação de biossólido (T6) apresentou os maiores teores, mas que ao longo do perfil foram diminuindo, sugerindo a diminuição da sua movimentação. Portanto, os resultados de $N\text{-}NO_3^-$, apresentados na Tabela 11, indicam que não houve grande circulação no perfil do solo de forma a causar preocupação quanto à contaminação do lençol freático, com teores médios abaixo dos encontrados por Gonçalves et al. (2000), em plantio homogêneo sob eucalipto em cultivo mínimo (4,6 a 41,3 mg dm^{-3}) e Soares (2003) em solos degradados e não degradados, sob cultivo mínimo (78,0 a 317,0 mg dm^{-3}).

Ressalta-se que, embora essas quantidades sejam relativamente baixas, elas representam acréscimos consideráveis de N-inorgânico no solo. Este resultado evidencia a importância da avaliação e acompanhamento dos possíveis impactos ambientais que podem ser causados pela aplicação de resíduos orgânicos, os cuidados com o parcelamento da

adubação nitrogenada em solos com alta drenagem e precipitação e a necessidade de se combinar as taxas de fornecimento de N pelo lodo de esgoto com a capacidade de absorção de nutrientes pelas diversas culturas agronômicas (OLIVEIRA et al., 2001).

Aumento dos teores de N-inorgânico após adição de biossólidos tem sido freqüentemente encontrado na literatura, inclusive em profundidade no solo, o que é indicativo de lixiviação do nutriente (OLIVEIRA et al., 2001; VEGA et al., 2003). Há que se destacar o papel da incorporação do resíduo ao solo nesses trabalhos, ação que deve aumentar a taxa de mineralização do N-orgânico e, conseqüentemente, a disponibilização de N-inorgânico, permitindo que o excesso fique passível de lixiviação no perfil do solo, se não houver sincronia com a absorção pelas plantas.

Oliveira et al. (2001) observaram perdas acima de 100 kg ha^{-1} ano^{-1} de $N\text{-}NO_3^-$ em solos que receberam lodo de esgoto ou mesmo adubação nitrogenada convencional para a cultura da cana-de-açúcar. Lixiviação de $N\text{-}NO_3^-$ dessa magnitude representa um evidente problema ambiental.

Mesmo com doses realistas de adubos nitrogenados e em Latossolos muito argilosos, a lixiviação de $N\text{-}NO_3^-$ e $N\text{-}NH_4^+$ é uma realidade. Isso implica em maiores cuidados no manejo da adubação em razão das enormes implicações econômicas e ambientais envolvidas (ARAÚJO, 2004).

As doses de lodo empregadas neste estudo foram definidas com base nos critérios da *United States Environmental Protection Agency* - USEPA (1993) que enfatizam a possível ocorrência e severidade de efeitos causados por metais pesados. Diante do exposto, a comparação entre os resultados obtidos para N e aqueles verificados para metais pesados, Oliveira (2000) indicou que na definição das taxas de aplicação do lodo de esgoto, o N é um fator mais limitante do que os metais pesados. Esta observação está de acordo com os resultados apresentados por Anjos (1999) e Oliveira et al. (2001).

Em geral, observou-se maior proporção de $N\text{-}NH_4^+$ em relação a $N\text{-}NO_3^-$, em todas as camadas em profundidade, com exceção do tratamento com biossólido (T6), que apresentou teores maiores de $N\text{-}NO_3^-$. Isto pode ser conseqüência da amonificação de N-orgânico, contribuindo para o aumento de $N\text{-}NH_4^+$ no solo. Resultados similares foram obtidos por Lara Cabezas e Souza (2008) em estudo de Latossolo vermelho-ácrico adubado com diferentes misturas de uréia, sulfato de amônia e gesso agrícola.

O $N\text{-}NH_4^+$, por ter carga positiva, é retido pelas cargas negativas do solo, e não lixivia tão facilmente (ERNANI, 2010). Isto sugere que a pequena quantidade de $N\text{-}NH_4^+$ que persiste no solo, entre 2,67 e 4,44 mg dm^{-3}, é a característica intrínseca deste e dos

microrganismos presentes. Em condição aeróbia, o N adicionado nas formas orgânicas ou amoniacal são rapidamente oxidadas para $N\text{-}NO_3^-$ pelo processo de nitrificação. Portanto, o monitoramento da concentração de $N\text{-}NH_4^+$ no perfil do solo não é um indicador adequado para avaliar movimentação de N (MIYAZAWA et al., 2009).

O P do solo pode ser dividido em quatro amplas categorias: P na forma iônica e em compostos na solução do solo; P adsorvido na superfície dos constituintes minerais do solo; minerais cristalinos e amorfos de P; e P componente da MO (BARBER, 1984). As concentrações na solução do solo são, usualmente, muito baixas, e abaixo de pH 6, a maior parte do P está na forma de $H_2PO_4^-$, comumente denominada de P-inorgânico (ARAÚJO; MACHADO, 2006).

Os teores de P foram significativamente superiores com a aplicação de biossólido (T6), com valores de 124,5; 111,25 e 100,88 mg dm^{-3} nas camadas de 0-20, 20-40 e 40-60, respectivamente. Estes valores são considerados altos em comparação com aqueles recomendados pelo IAC para a cultura do eucalipto, entre 9,0-16,0 mg dm^{-3} (SÃO PAULO, 2009).

A elevação nos teores de P em solos após a aplicação de biossólido foi constatada por vários autores como Berton et al., 1989; Oliveira et al., 1995; Colodro e Espíndola, 2006, dada a mineralização do P-orgânico contido no resíduo (TEDESCO et al., 1999). Esse elemento é um dos nutrientes mais importantes para o crescimento dos eucaliptos, principalmente em solos arenosos de baixa fertilidade, visto que sua carência gera limitações severas no desenvolvimento das mudas (SILVA et al, 2008).

Vaz e Gonçalves (2002), após aplicação de doses crescentes de biossólido (0, 5, 10, 15, 20 e 40 t ha^{-1}, base seca) em um povoamento de *E. grandis*, constataram que a disponibilidade de P assimilável elevou-se, consideravelmente, com o tempo de contato do biossólido com o solo, resultando em maior absorção de P e crescimento das plantas.

Valeri et al. (1993), avaliando as doses de P (0, 200 e 400 kg ha^{-1}) e calcário (0, 2 e 4 t ha^{-1}) quanto à fertilidade do solo e crescimento volumétrico de *E. grandis* em Neossolo quartzarênico, observaram maior crescimento na presença de 400 kg ha^{-1} de P_2O_5, até a idade de 4 anos. Já nesta pesquisa, a aplicação de apenas 42,87 kg ha^{-1} de P, no tratamento com resíduo de gesso (T4) foi suficiente para suprir a demanda nutricional das plantas. Este tratamento apresentou também, os menores teores de P no solo, entre 27,0 e 32,88 mg dm^{-3}, indicando uma eficiente assimilação do nutriente pelas plantas.

Estes resultados sugerem que a aplicação de 20 t ha^{-1} de biossólido (312,0 kg ha^{-1} de P) é capaz de suprir a necessidade deste elemento para as plantas, desde que aplicado na linha

de plantio, como sugerido por Silva et al. (2008), o que possibilita a quase imediata disponibilização do nutriente para o sistema radicular das mudas.

Segundo Reis e Barros (1990), elementos como K, Ca e Mg podem ser facilmente perdidos por lixiviação, principalmente nas fases iniciais do povoamento florestal. Essa lixiviação é tanto mais séria quanto menor a CTC do solo. Por outro lado, na presente pesquisa, a utilização da mistura de gesso agrícola e corretivo, aplicados superficialmente, elevou os teores de K, Ca e S em profundidade, contribuindo para maior atuação do corretivo nas características químicas do perfil do solo. Resultado similar foi observado por Artigiani (2008) após aplicação de gesso e calcário em sistema de plantio de arroz e feijão.

O íon K^+ na solução do solo é a forma como as plantas absorvem este nutriente. A quantidade de K^+ necessária para o crescimento das plantas depende da espécie e do seu estádio de desenvolvimento. A absorção do nutriente dependerá de fatores como teores prontamente disponíveis às plantas em valores adequados no solo, presença de minerais fontes de K, contribuição de formas não-trocáveis do elemento, entre outros (MEURER, 2006).

Neste estudo, após dois anos da implantação, os teores médios de K no solo variaram entre 10,24 a 23,4 mg dm^{-3}. Teores dessa magnitude são considerados como muito baixos para fins de interpretação da fertilidade do solo (RAIJ et al., 2001). Entre 0-20 cm de profundidade, o teor de K foi ligeiramente maior nos tratamentos com resíduos de gesso (T4), resíduos agroindustriais (T5) e biossólido (T6), com 22,42; 22,42 e 23,4 mg dm^{-3} respectivamente, valores que atingem a quantidade mínima de K encontrada em alguns solos representativos de áreas florestadas com eucalipto no Brasil (GONÇALVES et al., 2000).

Em diversas pesquisas o K tem sido citado como um dos nutrientes mais limitantes para o crescimento do eucalipto e solos com teores entre 7,8 e 39,0 mg dm^{-3} necessitam de altas doses deste nutriente para o eucalipto atingir boa produtividade (STAPE; ZANI FILHO, 1990; SCATOLINI et al., 1996; VALERI et al., 1996; GAVA, 1997). Os teores de K nos solos guardam uma estreita relação com o material de origem e o grau de intemperismo, portanto, a alta demanda ocorre principalmente em solos de textura média a arenosa (MALAVOLTA, 1980; LOPES, 1984; QUADROS, 1996).

Barros et al. (1990) introduziram o conceito de nível crítico de implantação e de manutenção, pois encontraram resposta à aplicação de K_2O até 240 kg ha^{-1}, sendo observado um aumento na diferença percentual entre as doses 0 e 240 de 51,2% aos 12 meses e de 110,2% aos 38 meses, demonstrando que o nível crítico de K no solo aumenta com a idade das plantas. Portanto, visto que neste experimento já foram aplicados 220 kg ha^{-1} de KCl através da adubação comercial e, por se tratar de um plantio jovem, os limites de K deverão

ser monitorados com cautela, observando se a ciclagem de nutrientes será capaz de suprir a necessidade da planta nos diversos tratamentos em estudo.

O Ca pode ser encontrado nas formas trocável e solúvel, sendo a primeira em solos mais argilosos como cátion dominante no complexo de troca, visto que o Ca^{+2} (trocável) é participante do fenômeno de troca de cátions, sendo retido nas superfícies com cargas negativas das argilas e da MO do solo. Sua absorção pode ser diminuída por altas concentrações de K^+, Mg^{2+} e $N\text{-}NH_4^+$ no meio de cultivo (VITTI et al., 2006).

A aplicação de resíduos ocasionou uma nítida elevação do teor de Ca no solo, maior que nos tratamentos que só receberam fertilização mineral, principalmente no tratamento com adição de biossólido (T6). O incremento de Ca no T6 está associado ao seu alto teor no biossólido, 23 g dm^{-3}. O aumento médio em todas as camadas analisadas em relação à testemunha (T1), observado pela aplicação de resíduos foi respectivamente de 34,4; 39,3 e 52% para resíduo de gesso, agroindustrial e biossólido.

Vários pesquisadores relatam aumentos no teor de macronutrientes, entre eles o Ca, em solos que receberam biossólido (BERTON et al., 1989; MELO et al., 1994; OLIVEIRA et al., 1995; TSUTYA, 2000; SUI; THOMPSON, 2000; VAZ; GONÇALVES, 2002).

Os efeitos benéficos relacionados a aplicação de Ca via gesso são citados em diversas pesquisas, com destaque para o desenvolvimento radicular e conseqüente maior absorção de nutrientes e água ao longo do perfil do solo (MARSCHNER, 1995; ALVAREZ et al., 2007; RAIJ, 2008). O tratamento com resíduo de gesso (T4) ocasionou maior aumento de Ca na camada de 40-60 cm do que de 20-40 cm, comprovando a movimentação do nutriente para camadas mais profundas. Por outro lado, no controle (T1) e nos tratamentos contendo adubação comercial (T2) e potencial (T3) houve redução dos níveis de Ca com aumento da profundidade, da mesma maneira que Melo et al. (2005) encontraram em plantios de *E. cloeziana* sobre solo de Cerrado.

O Mg do solo aparece na forma iônica Mg^{2+}, em solução e como cátion trocável. Teores maiores de Mg são encontrados nos solos mais argilosos, na forma de minerais ferromagnesianos facilmente intemperizáveis (VITTI et al., 2006).

Em solos com baixo teor do elemento, o suprimento de Mg, assim com o de Ca, está normalmente vinculado à aplicação de calcário. A relação Ca:Mg provoca alterações visíveis no crescimento da planta visto que quando um dos nutrientes está em excesso, tende a prejudicar a absorção do outro, levando a um desequilíbrio nutricional (SILVA; DEFELIPO, 1993). Neste experimento, os teores de Mg não diferiram estatisticamente entre os tratamento, embora a adição de resíduo agroindustrial (T5) e biossólido (T6) tenha aumentado, em

respectivamente 27,3 e 22,6% a quantidade do elemento na camada de 0-20 cm, em relação à testemunha (T1).

O $S\text{-}SO_4^{-2}$, forma de S preferencialmente absorvida pelas plantas, em geral não é retido na camada superficial de solos (MENGEL; KIRBY, 1987). A disponibilidade depende de processos de adsorção/dessorção, mineralização/imobilização, efeitos influenciados pelas raízes das plantas, lixiviação entre outros. Por conta desses processos, o $S\text{-}SO_4^{-2}$ poderá encontrar-se no solo em diferentes graus de disponibilidade para as plantas, dependendo da intensidade, quantidade (reserva lábil) e capacidade tampão. Em adição a essa forma de S, existe a reserva não-lábil, que inclui formas complexas fortemente retidas em frações orgânicas e inorgânicas do solo e que não se encontram, em curto prazo, em equilíbrio com o S da solução (ALVAREZ et al., 2007).

Segundo a interpretação dos teores médio de S nos solos, sugeridos por Raij (2008), os valores encontrados neste experimento foram considerados baixos (até 4,0 mg dm^{-3}) para quase todos os tipos de adubação, com exceção do tratamento com resíduo de gesso (T4), com 6,24 mg dm^{-3} na camada de 40-60 cm e no tratamento com biossólido (T6) com 7,4; 5,09 e 5,95 mg dm^{-3} nas camadas de 0-20, 20-40 e 40-60 cm, respectivamente. Estes valores, considerados medianos para S, demonstram mais um benefício da aplicação de resíduos no suprimento das necessidades nutricionais da cultura.

Os solos argilosos são os que apresentam a maior capacidade de adsorção de $S\text{-}SO_4^{-2}$, assim como solos ricos em óxidos e hidróxidos de Fe e Al, como a maioria dos solos tropicais. Já em solos arenosos, quando lixiviado, o ânion $S\text{-}SO_4^{-2}$ é capaz de carrear perfil abaixo quantidade equivalente de cátions, provocando o enriquecimento em Ca e o decréscimo da atividade de Al (RAIJ, 2008; STIPP; CASARIN, 2010). Este efeito foi ressaltado com clareza nesta pesquisa, visto que o tratamento contendo resíduo de gesso (T4) apresentou um maior teor de S na camada de 40-60 cm do que nas demais. O mesmo tratamento também apresentou 33,8% mais K^+ e 9,9% mais Ca^{2+} na camada de 40-60 cm do que na anterior de 20-40 cm.

Friedrich e Schrader (1978) observaram que a deficiência de S levou à redução da atividade da enzima nitrato redutase, ao acúmulo de $N\text{-}NO_3^-$ e à redução nas concentrações de proteína solúvel e clorofila. Em experimentos de adubação com S em cinco espécies de eucalipto, cultivadas em um Latossolo vermelho-amarelo distrófico. Furtini Neto et al. (1988) observaram que níveis de $S\text{-}SO_4^{-2}$ no solo de até 16 mg kg^{-1}, ocasionaram alta produção de matéria seca, enquanto que acima destes níveis, houve decréscimo de produção de biomassa em diversas espécies.

Observa-se uma escassez de estudos sobre a disponibilidade do S no solo, sobre o efeito da adubação com S em espécies florestais, bem como informações das interações desse macronutriente em relação aos outros nutrientes, sobretudo com N e P (BARROS et al., 1990; MISSIO et al., 2004).

As propriedades químicas do solo sob os diversos tratamentos estudados encontram-se expressas na Tabela 13.

Tabela 13 – Propriedades químicas do solo com interação entre as profundidades *vs*. tratamentos aplicados

TRAT.	PROF.	pH	MO	CTC	SB	Al^{3+}	H+Al	V	m
			%	$cmol_c\ dm^{-3}$				%	
	0-20	5,50b	0,89a	2,91a	1,36b	0,09a	1,05a	49,53b	5,74a
T1	20-40	5,40b	0,81a	2,51a	1,12b	0,11a	0,12a	48,60b	9,64a
	40-60	5,51b	0,71a	2,12a	1,08b	0,04a	1,04ab	52,37b	3,16a
	0-20	5,79ab	1,00a	2,84a	1,60b	0,01b	0,88b	57,68ab	0,84b
T2	20-40	5,76ab	0,77a	2,37a	1,33b	0,01b	0,12a	58,10ab	0,91b
	40-60	5,86a	0,77a	2,27a	1,28ab	0,01a	1,11a	60,88ab	0,92b
	0-20	5,91a	0,90a	2,81a	1,70ab	0,01b	1,11a	62,81ab	0,57b
T3	20-40	5,72ab	0,80a	2,32a	1,39ab	0,04ab	0,14a	61,74ab	2,38b
	40-60	5,82a	0,76a	2,14a	1,34ab	0,01a	0,79b	65,68ab	0,93b
	0-20	5,62ab	1,11a	3,36a	1,94ab	0,02b	1,02a	58,67ab	1,20b
T4	20-40	5,57ab	0,67a	2,26a	1,35ab	0,01b	0,11a	62,34a	0,87b
	40-60	5,70ab	0,64a	2,22a	1,47ab	0,02a	0,74b	68,95a	1,88b
	0-20	5,74ab	1,20a	3,60a	2,23ab	0,00b	0,97ab	61,99ab	0,00b
T5	20-40	5,65ab	0,88a	2,44a	1,41ab	0,01b	0,12a	59,42ab	0,76b
	40-60	5,81a	0,70a	2,33a	1,47ab	0,01a	0,86ab	63,58ab	0,86b
	0-20	5,85a	1,31a	4,09a	2,63a	0,01b	1,04a	65,54a	0,39b
T6	20-40	5,81a	0,87a	2,55a	1,69a	0,01b	0,10a	67,89a	0,62b
	40-60	5,82a	0,95a	2,55a	1,70a	0,01a	0,85ab	67,86a	0,60b

*Médias seguidas de mesma letra não diferem entre si significativamente pelo teste de Tukey (P<0,05). **Trat. = tratamentos; Prof. = profundidade.

O pH do solo determina a disponibilidade de nutrientes e na faixa de 5,5 a 6,5 é considerado favorável ao crescimento da maioria das plantas (TAIZ; ZEIGER, 2006). Em valores de pH abaixo de 5,5 podem ocorrer danos ao crescimento em razão da presença de elevadas concentrações de elementos potencialmente tóxicos, como o Al (MEURER, 2006).

Neste estudo não foi observado efeito da adição de resíduos sobre o pH, na maioria das profundidades e tratamentos avaliados, com exceção das camadas de 0-20 e 20-40 cm do tratamento com biossólido (T6) que demonstrou valores mais altos, estatisticamente semelhantes aos encontrados com adubação potencial (T3). A pequena diferença de pH entre os tratamentos, demonstrou que a correção da acidez com calcário foi suficiente para manter o pH em níveis adequados para a cultura, o que não concorda com os dados de Logan et al.

(1997) e Simonete et al. (2003), que observaram redução no pH do solo com a adição de lodo de esgoto.

O aumento do pH do solo, observado principalmente nos tratamentos com adubação potencial (T3) e com biossólido (T6) é um dos indicadores da melhoria da fertilidade, visto que reflete diretamente sobre a solubilidade dos diversos compostos na solução e na sua disponibilidade para as plantas (CANELLAS et al., 1999; SOUZA et al., 2007).

Os teores de MO no solo, nos diferentes tratamentos e em profundidade, não demonstraram diferença significativa e os valores apresentaram-se bem inferiores aos encontrados em experimentos realizados por Vezzani et al. (2001), que obtiveram teores de até 27 g dm^{-3} em solos com eucaliptos aos 45 meses após o plantio. O teor de MO nos primeiros centímetros de solo foi maior em todos os tratamentos, em razão do acúmulo e da decomposição da serapilheira formada sob o povoamento.

Vaz e Gonçalves (2002) observaram redução dos teores de MO do solo, com a elevação das doses de biossólido. As maiores reduções foram observadas para as maiores doses, 20 e 40 t ha^{-1}. Segundo Stevenson (1986), a adição de material orgânico ao solo pode estimular a decomposição de húmus, graças ao aumento da atividade microbiana. Nas condições estudadas não foi observada redução dos teores de MO em nenhum dos tratamentos em relação à testemunha (T1).

Analisando o comportamento da MO, observou-se um incremento em relação a testemunha (T1) de 32,1% no tratamento com biossólido (T6), 25,8% com resíduos agroindustriais (T5) e 19,8% com resíduo de gesso. Resultados semelhantes foram obtidos por Selivanovskaya et al. (2003), que sugerem que a adição de MO constitui um método para inverter a degradação e melhorar a qualidade do solo e concluem que o uso de biossólido em culturas pode ter efeito positivo, aumentando o crescimento das plantas, sendo uma excelente alternativa de disposição.

Teores de MO baixos, normalmente menores que 10 g dm^{-3}, fazem com que os nutrientes mais limitantes ao crescimento do eucalipto sejam N e S conforme verificado por Silveira et al. (2001a) através da avaliação nutricional pelo método DRIS. Entretanto, nesta pesquisa, a correlação entre o N e a MO foi bastante interessante, uma vez que mesmo com teores de MO extremamente baixos em todas as camadas do solo estudadas, a menor dose de N aplicada (68 kg ha^{-1}) obteve a maior produtividade, no tratamento contendo resíduo de gesso (T4).

Segundo Silva e Mendonça (2007), solos com textura mais argilosa geralmente apresentam maior teor de C. Essa influência está ligada à capacidade da MO de formar

diferentes tipos de ligações com partículas com elevada superfície específica, tais como as frações de argila e silte, favorecendo a proteção coloidal da MO. Por sua vez, solos com alto teor de areia, como o Neossolo quartzarênico como avaliado nesta pesquisa, tendem a acumular menos MO. Por outro lado, em levantamento das propriedades físico-químicas dos solos sob espécies florestais de rápido crescimento, Gonçalves (1988) mencionou teores de MO entre 0,1 e 0,6% para este tipo de solo, valores estes bem inferiores aos encontrados no presente estudo.

Quando os compostos orgânicos adicionados ao solo via resíduos sólidos, biomassa aérea e radicular das plantas, liberação de exudados radiculares, lavagem de constituintes solúveis das plantas pela água da chuva e transformação desses materiais pelos macro e microrganismos do solo (SILVA; MENDONÇA, 2007), não são mineralizados ou retidos nos horizontes subsuperficiais, podem migrar para camadas mais profundas, desempenhando importante papel em processos como a mobilização de Fe e Al na forma de complexos organometálicos (PEGORARO, 2003).

A movimentação de Ca para camadas mais profundas, pela aplicação superficial de calcário ou gesso, via complexação com ácidos orgânicos de baixa massa molecular é outra forma de mobilidade vertical de compostos orgânicos dissolvidos no solo (FRANCHINI et al., 1999). A grande quantidade de Ca encontrada nas camadas de solo durante este experimento, em especial nos tratamentos contendo resíduos, juntamente com fatores locais como clima, pH, cobertura do solo e sistema de manejo (COLE et al., 2005; MERLIM et al., 2005) podem ter influenciado a taxa de mineralização de C-orgânico e nutrientes, alterando os teores de MO.

A importância do Ca para o cultivo de eucaliptos também foi evidenciada pela modificação das características relacionadas à CTC do solo nos diversos tratamentos (Tabela 13).

Embora não tenham sido encontradas diferenças significativas nos valores da CTC, o controle (T1) e os tratamentos com adubação comercial (T2), adubação potencial (T3) e resíduo de gesso (T4) apresentaram, em geral, CTC baixa em profundidade (camada 40-60 cm), segundo os critérios estabelecidos por Alvarez e Ribeiro (1999) que consideram valores de CTC efetiva entre 0,81 e 2,3 $cmol_c\ dm^{-3}$ como baixos. No entanto, nos tratamento que receberam resíduos orgânicos (T5 e T6) foi observado aumento da CTC superficial e predominância de média CTC ao longo do perfil. Este incremento pode interferir positivamente sobre a retenção de cátions e, conseqüentemente, sobre a nutrição mineral das plantas.

A maioria dos tratamentos apresentou baixa soma de bases - SB, principalmente nas camadas de 20-40 e 40-60 cm. O tratamento com biossólido (T6) apresentou diferença significativa em relação à SB na camada superficial (0-20 cm), com teores em torno de 2,63 $cmol_c$ dm^{-3}, considerado mediano para esta característica, de acordo com Alvarez e Ribeiro (1999) que citam valores de SB entre 0,61 e 1,80 $cmol_c$ dm^{-3} como baixos e 1,81 a 3,6 $cmol_c$ dm^{-3} como médios. Esta característica reflete os teores de Ca, Mg e K, três importantes nutrientes para as plantas, ou seja, quanto maior a SB, maior a fertilidade do solo.

O índice de saturação por bases do solo – V% representa a participação das bases no complexo sortivo do solo, sendo de grande importância para a fertilidade deste (GRESPAN, 1997). Um V% baixo significa que há pequenas quantidades de cátions como, Ca^{+2}, K^{+} e Mg^{+2} saturando as cargas negativas dos colóides e que a maioria delas esta sendo neutralizada por H^{+} e Al^{+3}. No presente estudo, a maioria dos tratamentos apresentou valores altos de V%, segundo os critérios de Alvarez e Ribeiro (1999) que citam valores entre 40 e 60% como médios e 60 a 80% como altos. O tratamento com maior V% foi àquele contendo resíduos de gesso (T4), com 68,9% na camada de 20-40 cm, que não diferiu estatisticamente do tratamento com biossólido (T6), com 67,9% na mesma profundidade.

Estes resultados indicam um aumento de 29,5 e 28,4%, respectivamente, em relação a testemunha (T1). Resultados semelhantes foram obtidos por Bellote et al. (1998), através da incorporação de resíduos da indústria de celulose em plantios florestais e Costa et al. (2009), com aplicação de biossólido de ETE de fábrica de papel reciclado, sobre diversos tipos de solo.

Todas as características relacionadas à acidez do solo apresentaram diferenças significativas na interação entre os anos de estudo *vs*. tratamentos aplicados. Embora os valores de acidez trocável, representada pelo Al^{+3}, acidez potencial ou H+Al e saturação por Al - m% sejam considerados baixos (NOVAIS; MELLO et al., 2007), foi constatado que os teores encontrados na testemunha (T1) foram sempre superiores aos demais tratamentos, evidenciando o aumento da acidez do solo pela ausência de corretivos e fertilizantes.

4.3 Estoque de nutrientes na floresta

O conteúdo de nutrientes na planta reflete o estado nutricional da mesma, assim como a fertilidade do solo. Bellote (1990), trabalhando com *E. grandis*, observou que o conteúdo dos nutrientes minerais nas folhas varia em função da idade e das estações do ano.

4.3.1 Folhas

Nas condições estudadas, a quantidade de nutrientes nas folhas encontrada no tratamento com adubação potencial (T3), que consistiu na aplicação do dobro de fertilizantes utilizados normalmente pelas empresas florestais, não diferiu significativamente dos tratamentos com resíduos, em nenhum dos macronutrientes. Este resultado pode ser explicado pela eficiência da ciclagem de nutrientes pelo eucalipto, que com o passar do tempo diminui a demanda por diversos elementos aplicados via adubação do solo (MOLINA, 2004). Levou-se em consideração, portanto, os efeitos de cada tratamento sobre a demanda nutricional dos eucaliptos e a importância dos nutrientes considerados limitantes.

Os efeitos da aplicação de resíduos em plantios florestais têm sido relatados em diversos experimentos. Silva et al. (2008) observaram aumento nas concentrações de P, Ca e Zn nas folhas e, inversamente, diminuição de Mn em eucalipto aos 18 meses, com o aumento nas doses de biossólido. Guedes e Poggiani (2003) observaram resultados semelhantes na composição mineral de folhas de eucaliptos tratados com biossólido aplicado nas entrelinhas de plantio entre 2 e 18 meses de idade. Esses autores verificaram que os eucaliptos, apresentaram teores foliares de N, P, Ca e S mais elevados e teores mais baixos de Mg e Mn em relação ao tratamento com adubação mineral.

A concentração de nutrientes nas folhas ocorreu na seguinte ordem: N > Ca > K > Mg > P > S (Tabela 14). Santana et al. (2000) encontraram, em plantios de *E. grandis* e *E. saligna* uma tendência diferente, com predominância de Ca nas folhas ao invés de N, enquanto que Schumacher e Caldeira (2001) acharam nas folhas de *E. globulus* maiores conteúdos de N e P em relação aos outros componentes. Estas variações podem ocorrer por vários fatores, como as características intrínsecas do material genético; a não-obtenção do equilíbrio nutricional ótimo ou crítico entre solo, planta e os nutrientes entre outros (SANTANA et al., 2002).

Tabela 14 – Análises químicas das folhas aos 24 meses

TRAT.	N	P	K	Ca	Mg	S
	g kg^{-1}					
T1	13,74a	1,69a	6,95a	7,76a	2,29a	0,72a
T2	14,51a	1,48a	8,25a	7,38a	2,20a	0,78a
T3	16,04a	1,42a	9,78a	7,15a	2,23a	0,85a
T4	15,22a	1,47a	8,28a	8,06a	2,21a	0,82a
T5	15,61a	1,44a	8,43a	7,27a	2,30a	0,86a
T6	15,93a	1,49a	7,88a	7,76a	2,25a	0,86a
CV %	11,5	8,8	16,1	10,7	6,5	9,5
DMS	4,0	0,3	3,06	1,85	0,34	0,18

*Médias seguidas de mesma letra não diferem entre si significativamente pelo teste de Tukey (P<0,05). **Trat. = tratamentos.

A maior absorção de N pelo eucalipto segue a tendência dos vegetais superiores (BARROS et al., 1990; MARQUES et al., 2006). Florestas de eucalipto mostram altas demandas deste nutriente até a formação das copas (VEZZANI et al., 2001). Os valores de N foliar observados neste experimento estão próximos a 15,7 g kg^{-1}, considerado como valor médio de referência (GONÇALVES, 1995b), não havendo diferença significativa entre os tratamentos aplicados.

Os teores de P nas amostras foliares de todos os tratamentos encontram-se acima das faixas consideradas suficientes para a cultura de eucalipto, os de N e Ca estão dentro da faixa de adequação e os de K, Mg e S estão abaixo dos valores sugeridos por Gonçalves (1995b).

Misra et al. (1998) estudando o efeito da aplicação de N (600 kg ha^{-1}) e P (300 kg ha^{-1}) em *E. nitens* aos 2 e 26 meses, concluíram que a aplicação de fertilizantes não influenciou o teor de N nas folhas, mas aumentou a concentração de N e P nos componentes das plantas, comparado com a não fertilização das mesmas, enquanto que neste experimento, observou-se uma diminuição do P foliar com aumento da quantidade de fertilizante (T3) e teores maiores do elemento na testemunha (T1).

O K é um dos nutrientes absorvidos em maior quantidade, superando o P e equiparando-se ao N (MALAVOLTA, 1980). Indispensável para os processos de fotossíntese, translocação de fotoassimilados, abertura e fechamento estomático e ativação de mais de 60 sistemas enzimáticos, exerce também outras funções ainda pouco compreendidas que possibilitam às plantas bem supridas com este elemento apresentar maior tolerância às condições climáticas desfavoráveis, principalmente em relação à disponibilidade de água e temperaturas extremas (EPSTEIN; BLOOM, 2006; TAIZ; ZEIGER, 2006).

A falta de K provoca maiores taxas de transpiração e redução na taxa de fotossíntese por unidade foliar. Como conseqüência da combinação destes fatores, há diminuição nas reservas de carboidratos da planta, ocasionando menor crescimento (PRETTY, 1982).

Nesta pesquisa, embora tenha sido observado maior teor de K no solo nos tratamentos que receberam resíduos (T4, T5 e T6), o tratamento que demonstrou maior quantidade do elemento na folha foi o contendo adubação potencial (T3), com 9,78 g kg^{-1} de K, valor próximo ao mínimo adequado para a cultura, de acordo com os teores sugeridos por Gonçalves (1995b), que devem estar entre 9 e 13 g kg^{-1}. Os demais tratamentos apresentaram valores abaixo destes, entre 7,15 e 7,76 g kg^{-1}.

Entretanto, segundo Almeida (2009), a resposta ao fornecimento de K pode ser observada até os 36 meses após o plantio. Em seu experimento com *E. grandis*, este autor constatou que as concentrações detectadas foram sempre inferiores aos níveis críticos estabelecidos em diversos trabalhos com o gênero *Eucalyptus* spp., e apenas o tratamento contendo 210 kg ha^{-1} de K_2O (174 kg ha^{-1} de K) apresentou concentração do elemento acima de 6 g kg^{-1}, mas com o desenvolvimento da planta as concentrações tenderam a diminuir, caracterizando o efeito de diluição do nutriente na biomassa produzida.

Silva et al. (2008), em experimento com *E. grandis* fertilizado com até 30 t ha^{-1} de lodo de esgoto complementado com K e B, 18 meses após o plantio, obtiveram concentração foliar de K entre 3,4 e 5,2 g kg^{-1}, sendo o melhor resultado atribuído ao tratamento com 10 $t.ha^{-1}$ de lodo de esgoto úmido com complementação de K e B.

Os valores supracitados foram inferiores aos encontrados neste experimento, inclusive na adubação comercial (T2), na qual foi aplicado apenas 52,97 kg ha^{-1} de K, cujo teor médio nas folhas foi 8,25 g kg^{-1}. A explicação para estes teores, tidos como inadequados mesmo em condição de bom desenvolvimento da planta pode estar na idade e/ou época de amostragem ou devido ao efeito de diluição (GAVA, 1997).

O Mg é um constituinte da clorofila, correspondendo a 2,7% do seu peso molecular; representando cerca de 10% do teor total de Mg na folha. Os plastídios, entretanto, têm mais Mg do que o contido na clorofila, visto que este nutriente está relacionado com o metabolismo energético através da ativação de enzimas fosforilativas. A falta de Mg inibe a fixação do CO_2 mesmo na presença de clorofila suficiente. O metabolismo do N e do P também são influenciados pelos teores de Mg^{+2} (BARCELLOS et al., 2005).

De maneira geral, a quantidade de Mg nas folhas variou entre 2,2 e 2,29 g kg^{-1}, sendo os maiores valores atribuídos a testemunha (T1), seguido do tratamento com biossólido (T6). Almeida (2009) encontrou, em plantio de *E. grandis*, concentrações de Mg foliar variando

entre 1,9 e 2,9 g kg^{-1}, de acordo com o período de análise, mantendo-se nesse patamar até os 36 meses pós-plantio, e considerou esses valores como satisfatórios. O autor sugeriu que o efeito dos tratamentos sobre as concentrações de Mg foi causado, possivelmente, por diluição, pois houve diminuição do Mg foliar com o aumento da produção de biomassa proporcionado pela fertilização.

Entretanto, Anjos e Mattiazzo (2000) trabalhando com biossólido, relataram que o excesso de Ca dos resíduos aumenta a perda de Mg por lixiviação, assim como elevadas concentrações de Ca reduzem a absorção de Mg pelas plantas devido ao efeito interiônico de inibição copetitiva. Guedes e Poggiani (2003) também verificaram que eucaliptos tratados com a adição de biossólido ao solo, apresentaram teores foliares mais baixos de Mg.

A gessagem em superfície pode ter reduzido os teores de Mg na parte aérea das plantas do T4. Resultado semelhante foi obtido por Soratto e Crusciol (2007) após aplicações de calcário e gesso em superfície sob as culturas de arroz, feijão e aveia-preta. Os autores atribuem a redução à maior lixiviação do elemento provocada pela aplicação de gesso, devido à formação do par iônico neutro ($MgSO_4$). Diversos trabalhos têm relatado menor absorção de Mg pela planta em decorrência da aplicação de gesso em superfície (OLIVEIRA; PAVAN, 1996; CAIRES et al., 1999, 2003).

A baixa concentração de Mg também pode ser atribuída a uma possível competição por sítios de absorção exercida por outros cátions presentes em concentrações mais elevadas (HARRISON et al., 1994; VITTI et al., 2006), como o Ca, por exemplo, como citado anteriormente. A deficiência pode ocorrer, com mais freqüência, em solos arenosos, ácidos, formados em condições de elevado índice pluviométrico (LOPES, 1998).

Entretanto, segundo Novais et al. (1990) a baixa demanda de Mg para o eucalipto, faz com que a relação Ca/Mg trocáveis ideal para seu crescimento ótimo seja bastante larga. Apesar de não ser problemático para o eucalipto, esse desequilíbrio pode trazer problemas ao se aplicar biossólidos alcalinos em culturas que exigem relação Ca/Mg mais estreita e estável.

As funções que o S desempenha na vida das plantas podem ser divididas em estruturais, uma vez que está presente nos aminoácidos (cistina, cisteína, metionina e taurina), em todas as proteínas, vitaminas e coenzimas (tiamina e biotita), nos ésteres com polissacarídeos (membranas); e em metabólicas, pois é componente essencial do anel de tiamina. Devido à sua participação em um número tão grande de compostos e de reações, a falta do S provoca uma série de distúrbios metabólicos, como: diminuição na fotossíntese e na atividade respiratória; queda na síntese de proteínas, com o aparecimento de altas relações de

N-solúvel/N-protéico; redução no teor de gorduras e diminuição na fixação livre e simbiótica no N_2 do ar (HALSALL et al., 1983; BARCELLOS et al., 2005).

A concentração de S nas folhas variou entre 0,72 e 0,86 g kg^{-1}, sendo os maiores valores atribuídos aos tratamentos contendo resíduo agroindustrial (T5) e biossólido (T6). Silva et al. (2008) encontraram, em plantio de *E. grandis* aos 18 meses de idade, concentrações de S variando entre 1,0 e 1,3 g kg^{-1}, com aplicação de até 30 t ha^{-1} de lodo de esgoto seco com complementação de K e B. Os autores atribuem a pouca variação dos teores de S entre os tratamentos à maior diluição deste elemento na biomassa dos eucaliptos tratados com lodo e adubo mineral e pela capacidade das árvores em manter certo equilíbrio entre os teores desses nutrientes nas folhas, mesmo havendo maior disponibilidade no solo.

A velocidade de absorção é dependente do íon acompanhante, crescendo na ordem Ca^{+2}, Mg^{+2}, Na^{+}, NH_4^{+}, K^{+} (SIMON-SYLVESTRE, 1960). Por outro lado, embora solos arenosos possuam baixos teores de MO e, conseqüentemente, menores reservas de S-orgânico, a mineralização da MO proveniente dos resíduos tenderá a elevar os teores de S no tecido foliar (VAZ; GONÇALVES, 2002).

4.3.2 Casca e lenho

Um aspecto positivo em relação à madeira de eucalipto é o grande espectro de propriedades, em função das diferentes espécies que são facilmente cultivadas no País. Entre os índices de qualidade importantes para avaliação técnica da biomassa está a composição química da casca e da madeira (BARCELLOS et al., 2005).

Ao discorrer sobre os minerais, é importante que se leve em consideração a quantidade presente de casca, de lenho juvenil e de lenho tardio. Estas quantidades se referem à velocidade com que a transição da fase juvenil para a fase adulta ocorre, estando sob forte controle genético (ZOBEL; JETT, 1995),

Neste estudo, a ordem de nutrientes acumulados na casca foi: Ca > K > N > Mg > P > S (Tabela 15).

Tabela 15 – Análises químicas da casca e do lenho aos 24 meses

TRAT.	CASCA						LENHO					
	N	P	K	Ca	Mg	S	N	P	K	Ca	Mg	S
	g kg^{-1}											
T1	2,84b	1,14a	3,73a	17,22a	2,43a	0,18a	1,63a	1,06a	1,24a	0,66a	0,31a	0,11c
T2	3,28ab	0,68b	4,7a	17,54a	2,59a	0,19a	1,56a	0,60b	1,28a	0,68a	0,27a	0,16ab
T3	3,7ab	0,70b	5,33a	15,36a	2,62a	0,21a	1,9a	0,57b	1,45a	0,64a	0,28a	0,18a
T4	3,14ab	0,79ab	5,00a	17,69a	2,61a	0,20a	1,58a	0,77ab	1,56a	0,70a	0,32a	0,17ab
T5	3,36ab	0,77ab	5,06a	14,69a	2,67a	0,20a	1,75a	0,58b	1,50a	0,63a	0,33a	0,15b
T6	3,56a	0,75ab	5,23a	17,08a	2,66a	0,21a	1,86a	0,7ab	1,59a	0,80a	0,32a	0,16ab
CV %	9,2	22,8	16,0	19,0	6,0	10, 6	12,2	27, 8	12,2	18,8	26,3	8,1
DMS	0,7	0,41	1,78	7,23	0,36	0,05	0,48	0,45	0,4	0,3	0,18	0,03

*Médias seguidas de mesma letra não diferem entre si significativamente pelo teste de Tukey (P<0,05).
**Trat. = tratamentos.

Ao discorrer sobre nutrientes de plantas, é importante que se leve em consideração a quantidade presente de casca, de lenho juvenil e de lenho tardio. Estas quantidades se referem à velocidade com que a transição da fase juvenil para a fase adulta ocorre, estando sob forte controle genético (ZOBEL; JETT, 1995),

Silva et al. (1983) e Freitas et al. (2004) observaram que os principais elementos catiônicos que existem na casca de eucaliptos são K e Ca em relação a outros nutrientes e a outros componentes da biomassa acima do solo, o que pode ocorrer em função da alta produtividade de biomassa do fuste em relação à biomassa de copa, bem como pelo fato de Ca apresentar grande teor na casca. Já Schumacher e Poggiani (1993) verificam maiores concentrações de Ca e Mg na casca do que os demais elementos.

De acordo com os estudos de Wadt et al. (1998) sobre o teor de nutrientes na casca, em árvores adultas de *Eucalyptus* spp., pelo índice DRIS, todos os nutrientes encontraram-se dentro da faixa considerada ótima, com exceção do Ca, que apresentou-se um pouco abaixo do nível sugerido de 18 a 31,55 g kg^{-1}, com maior valor de 17,69 g kg^{-1}, no tratamento com resíduo de gesso (T4).

Valores semelhantes foram citados por Vital et al. (1999) em estudos com eucalipto, cujo teor de nutrientes encontrados na casca foram, em g kg^{-1}: 2,1 N; 0,9 P; 3,8 K; 33,4 Ca; 3,9 Mg e 0,5 S. Da mesma maneira, o valor de Ca foi maior em relação ao encontrado neste experimento.

A quantidade de N na casca foi alterada significativamente pela aplicação de biossólido (T6), com teor médio 36% maior do que a testemunha (T1), sendo os valores de todos os demais tratamentos foram superiores aos determinados por Wadt et al. (1998) pelo índice DRIS e aos encontrados por Freitas et al. (2004) em *E. grandis*.

Outro elemento que apresentou concentrações significativamente diferentes, e também acima das citadas por diversos autores (WADT et al., 1998; VITAL et al., 1999) foi o P, com valores entre 0,75 e 0,79 g kg^{-1} nos tratamentos com resíduos e 1,14 g kg^{-1} na testemunha (T1). Este incremento de P na testemunha, observado em todos os compartimentos vegetais estudados se deve, provavelmente, porque a eficiência de uso de um nutriente aumenta com a redução da sua disponibilidade (BARROS et al., 1986) e, também, em função da idade ou crescimento da planta (SILVEIRA et al., 2002).

O teor de nutrientes no lenho foi menor do que na casca para todos os elementos, isto constitui um aspecto positivo, pois significa que poucos nutrientes são exportados da área por ocasião da colheita. As notáveis exceções foram o N, P e K, que se acharam bastante enriquecidos no lenho, sendo essa uma característica fisiológica das plantas (SILVA et al., 1983).

A ordem de nutrientes encontrada no lenho foi: N > K > P > Ca > Mg > S. Estes resultados diferem de Gonçalves et al. (2000), que apresentam os nutrientes mais acumulados no tronco na ordem Ca > N > K > Mg > P, enquanto que Guedes (2005) demonstrou que os nutrientes imobilizados na fitomassa foram N > Ca > Mg > P > S. Considerando o componente casca, o autor cita que houve inversão nos dois primeiros elementos, sendo Ca > N nos tratamentos que receberam biossólido.

A seqüência de nutrientes presentes no lenho é, portanto, uma característica bastante variável, que recebe a interferência do material genético, idade do plantio, condições de manejo, entre outros, devendo ser considerada, portanto, a faixa ótima de macronutrientes para o crescimento do eucalipto. Dentro deste critério, todos os elementos, em todos os tratamentos, estavam dentro do limite de suficiência nas condições de estudo, segundo os critérios estabelecidos por Wadt et al. (1998) para teores de nutrientes no lenho de árvores adultas de *Eucalyptus* spp., pelo índice DRIS.

Os elementos que apresentaram diferenças significativas entre os tratamentos avaliados foram o P, com teores maiores na testemunha (T1), seguida do tratamento com adição de resíduo de gesso (T4), de 1,06 e 0,77 g kg^{-1} respectivamente; e o S com teores superiores pela aplicação da adubação potencial (T3) e de resíduos de gesso (T4), de respectivamente 0,18 e 0,17 g kg^{-1}. Em estudos com eucalipto, o teor de nutrientes citados por Vital et al. (1999) no lenho foram, em g kg^{-1}, 0,2 P e 0,1 S, inferiores aos encontrados nesta pesquisa.

A idade das árvores é um fator que também pode influenciar nas concentrações de nutrientes e tipo de biomassa a ser produzida por cada espécie diferenciadamente. Hansen e

Barker (1979) demonstraram que as árvores mais jovens de *Populus* sp. e *Platanus occidentalis* tendem a ser menos eficientes do que as árvores mais velhas, e justificaram que esta baixa eficiência das árvores mais jovens deve-se à grande produção de ramos e casca, por possuírem altas concentrações de nutrientes. Resultado semelhante foi observado por Poggiani et al. (1983), quando compararam *E. grandis, E. saligna* e *Pinus oocarpa* em diferentes idades.

4.3.3 Serapilheira

A produção de serapilheira e a devolução de nutrientes em ecossistemas florestais constituem vias importantes do ciclo biogeoquímico (fluxo de nutrientes no sistema solo-planta-solo). Este ciclo, juntamente com o bioquímico (circulação de nutrientes no interior da planta), permite que as árvores reintegrem nutrientes e substâncias orgânicas aos solos florestais (ABER; MELILLO, 1980; SCHUMACHER et al., 2004).

O estoque de serapilheira sobre o solo não variou estatisticamente entre os tratamentos para a maioria dos elementos (Tabela 16).

Tabela 16 – Produção total e análise química da serapilheira aos 24 meses

TRAT.	PESO	N	P	K	Ca	Mg	S
	t ha^{-1}	g kg^{-1}					
T1	2,01a	8,81a	0,54ab	0,05b	15,7a	2,12a	0,87a
T2	1,45a	8,65a	0,58ab	0,08ab	17,54a	2,30a	0,93a
T3	1,96a	10,69a	0,63ab	0,13ab	15,73a	2,36a	1,05a
T4	1,51a	8,83a	0,53b	0,12ab	15,06a	2,09a	0,97a
T5	2,03a	9,46a	0,56ab	0,10ab	15,04a	2,31a	0,91a
T6	1,60a	9,79a	0,72a	0,14a	14,83a	2,19a	1,02a
CV %	17,3	14,1	14,1	33,2	17,5	9,1	13,4
DMS	0,07	3,03	0,19	0,08	6,28	0,47	0,29

*Médias seguidas de mesma letra não diferem entre si significativamente pelo teste de Tukey (P<0,05). **Trat. = tratamentos.

Em estudo feito por Ferreira et al. (2001), em plantações de *E. grandis*, os valores de produção de serapilheira foram maiores que os encontrados neste trabalho, situando-se entre 6 e 10 t ha^{-1}. Diversos fatores podem influenciar o acúmulo de serapilheira no sub-bosque, como por exemplo, a estação do ano (KOLM; POGGIANI, 2003) e a intensidade arbórea (FONSECA et al., 1993). Por sua vez, Cunha et al. (2005) citam que existe tendência de plantios mais antigos produzirem mais serapilheira em função das maiores copas arbóreas.

O teor de nutrientes na serapilheira pode variar em função das características do solo, da planta e do próprio elemento (SCHUMACHER et al., 2004). Neste estudo, a concentração de nutrientes encontrada na serapilheira apresentou diferenças significativas apenas nas parcelas que receberam biossólido (T6), com maiores quantidades de P e K, provavelmente pela decomposição mais lenta, que favorece a imobilização destes nutrientes.

No entanto, a quantidade de nutrientes foi semelhante à apresentada por Cunha et al. (2005) em experimento com *E. grandis*, de primeira rotação, com 8 anos de idade, cujos teores foram de 10,04 g kg^{-1} de N; 0,33 g kg^{-1} de P; 10,97 g kg^{-1} de Ca e 2,02 g kg^{-1} de Mg, e maior do que a encontrada por Kolm e Poggiani (2003) em um plantio de *E. grandis* aos 20 anos, que obtiveram uma média de 7,81 g kg^{-1} de N; 0,3 g kg^{-1} de P; 7,63 g kg^{-1} de Ca; 2,18 g kg^{-1} de Mg e 0,62 g kg^{-1} de S.

Somente o elemento K mostrou-se muito abaixo do relatado pelos autores supracitados, que encontraram valores de 0,83 g kg^{-1} e 2,57 g kg^{-1}, respectivamente. Estas baixas concentrações de K na serapilheira podem ter ocorrido principalmente pela época de coleta do material, no período quente e úmido, com alta precipitação, onde há uma maior taxa de crescimento e utilização do K, com elevada translocação das folhas velhas e senescentes para as folhas novas (KOLM; POGGIANI, 2003; VIEIRA et al., 2009).

O Ca foi o elemento encontrado em maior concentração, seguido por N, Mg, S, P e K (Tabela 16). Estes resultados diferem dos obtidos por Vieira et al. (2009) que, por meio da análise do balanço de nutrientes em um plantio de *E. urophylla* x *E. grandis* com 7 anos, encontraram o N como elemento mais abundante e o P em menor concentração na serapilheira. Avaliando a ciclagem e balanço de nutrientes em povoamentos de *E. grandis*, *E. camaldulensis* e *E. pellita* com idade de 6 anos na região norte fluminense, Zaia e Gama-Rodrigues (2004) verificaram que a ordem de acumulação de nutrientes foi: Ca > N > K > Mg > P. Estes resultados são similares aos encontrados neste estudo, sendo que o K apresentou valores inferiores aos outros elementos.

Como o Ca é um elemento praticamente imóvel quanto à redistribuição dentro da planta, se acumulando nas folhas senescentes e a variação do seu teor no folhedo é função direta da quantidade do elemento absorvida pelas árvores (GUEDES, 2005).

Segundo Kolm e Poggiani (2003), consideraram estoques entre 5,80 e 9,56 g kg^{-1} de N na serapilheira de um plantio de *E. grandis* aos 20 anos, sob diferentes intensidades de desbaste, como muito baixos. Nesta pesquisa, a concentração de n foi superior, com valores entre 8,65 a 10,69 g kg^{-1}.

Os nutrientes presentes na serapilheira mostram a importância da conservação da MO acumulada na superfície do solo como um estoque nutricional suplementar para a próxima rotação. Diversos autores recomendam manter e conservar a serapilheira como uma reserva de nutrientes para o desenvolvimento inicial de um novo plantio (LACLAU et al., 1999; SANKARAN et al., 1999; GONÇALVES et al., 2000; ANDRADE et al., 2006).

4.4 Balanço nutricional

O conhecimento dos ciclos de nutrientes é fundamental para o planejamento da adubação, tanto em longo quanto em curto prazo. A quantidade de nutrientes nas plantas varia em função da espécie e genótipo, idade da planta, sítio, época do ano e da parte da planta analisada (BINKLEY, 1986; BELLOTE, 1990; AMARAL, 1996). Segundo Bellote e Silva (2004), a concentração dos nutrientes nos componentes da biomassa está relacionada com suas funções, apresentando, geralmente, o seguinte gradiente: folha > casca > ramo > tronco (alburno e cerne).

A folha é o grande centro metabólico da planta, o que fica evidente pelo predomínio nelas dos teores mais elevados de nutrientes (MARSCHNER, 1995). As folhas concentraram maiores conteúdos de N, P, K e S em relação aos outros componentes. Comportamento semelhante foi observado por Schumacher (1998) em *E. globulus* subespécie *bicostata*, aos 4 anos de idade; Caldeira et al. (2000) em *Acacia mearnsii*, aos 2 anos e 4 meses de idade e Schumacher e Caldeira (2001) em *E. globulus* subespécie *maidenii*, aos 4 anos de idade. Porém, Freitas (2000) observou em *E. grandis*, aos 9 anos de idade, que as maiores quantidades de N, P e K estão na madeira.

A casca é a camada externa ao câmbio que recobre o tronco, os galhos e as raízes das árvores, chegando, em média, entre 10 e 15% do peso da árvore. A casca é composta de vários tipos de células, e sua estrutura é complicada em comparação com a da madeira. Adicionalmente às variações que ocorrem dentro da mesma espécie, dependendo de fatores como idade e condições de crescimento das árvores, cada espécie é conhecida por características específicas de sua casca (BARCELLOS et al., 2005). De um modo geral, as concentrações de nutrientes são maiores na casca do que no lenho (SCHUMACHER; POGGIANI, 1993).

A ordem da quantidade total dos nutrientes Ca > N > K > Mg > P > S (Tabela 17), foi igual a aquela apresentada no trabalho realizado por Freitas (2000) com *E. grandis*, aos 9 anos de idade e por Schumacher e Caldeira (2001) com *E. globulus,* aos 4 anos de idade. O mesmo

resultado também foi obtido por Gama-Rodrigues et al. (2008) com espécies florestais nativas da Mata Atlântica em plantios puros e mistos, sobre solos de tabuleiro do sudeste da Bahia.

Tabela 17 – Concentração média de nutrientes nos diferentes componentes das árvores de *Eucalyptus* spp. 24 meses após o plantio

COMPONENTE	N	P	K	Ca	Mg	S
	g kg^{-1}					
Folha	15,18	1,42	8,26	7,56	2,25	0,82
Casca	1,71	0,71	1,44	0,69	0,31	0,16
Lenho	2,89	0,85	4,48	15,60	2,60	0,20

A quantidade de nutrientes é conseqüência de suas concentrações e da produção de biomassa (CALDEIRA, 1998; SANTANA et al., 2000). Esses autores encontraram que os conteúdos da maioria dos nutrientes no tronco do eucalipto foram maiores nos sítios mais produtivos e nos materiais genéticos melhor adaptados. Barcellos et al. (2005), corroborando os autores citados, afirmam que existe uma correlação entre qualidade do solo e qualidade da madeira logo, solos ricos propiciarão que os minerais estejam presentes em maiores quantidades na madeira.

Embora Lúcio et al. (2010) mencionem que os teores de Ca e de Mg no *Eucalyptus* spp. sejam mais elevados na casca do que na folha e que o lenho é o componente com os menores teores de todos os macronutrientes, neste estudo, o Ca e Mg apresentaram valores mais elevados no lenho em relação aqueles encontrados nas folhas. A variação na concentração de nutrientes, entre componentes e dentro de um mesmo componente, tende a se intensificar com a idade, em decorrência da ciclagem interna (ciclagem bioquímica), que desloca nutrientes de tecidos senescentes para regiões com maior atividade metabólica (catabolismo de proteínas e anabolismo de carboidratos). Esse processo é mais intenso no tronco, onde ocorre a transformação de alburno em cerne (REIS; BARROS, 1990; PALLARDY, 2008).

Da mesma maneira, Laclau et al. (2003), mostraram que a eficiência de uso dos nutrientes aumentou com a idade do povoamento, mais acentuadamente para Mg e K do que para N, P e Ca. Esse aumento foi atribuído ao aumento da proporção de cerne em relação à biomassa total das árvores durante seu crescimento.

Comparando os dados obtidos pelo trabalho realizado por Pulito (2009), dois anos após o plantio de *E. grandis* x *E. urophylla* no sítio de Capão Bonito/SP, com acréscimo de até 220 kg ha^{-1} de N, mesmo em condições de clima e solo diferentes das aqui estudadas, com

precipitação de 1210 mm anuais e solo do tipo Latossolo amarelo distrófico, a quantidade de nutrientes foliar encontrada, à exceção do N, foi bastaste semelhante a desta pesquisa. No mesmo trabalho, em condições de precipitação de 1262 mm por ano e solo do tipo Neossolo Quartzarênico, no sítio de Angaratuba/SP, aos três anos após o plantio, os teores de nutrientes foliares, após aplicação de 250 kg ha^{-1} de N, foram inferiores aos obtidos nesta pesquisa nos tratamentos com adubação comercial (T2), potencial (T3), resíduos de gesso (T4) e resíduo agroindustrial (T5) para os nutrientes P, K, Ca e Mg, com aplicação de 68,44 a 308,44 kg ha^{-1} de N.

Leite et al. (2010), em pesquisa sobre a sustentabilidade do processo de produção de eucalipto, realizaram trabalhos em cinco áreas cultivadas por mais de três ciclos, na região do Vale do Rio Doce-MG e constataram redução nos teores de Ca^{2+}, K^{+} e Mg^{2+} trocáveis; redução no pH; e aumentos nos teores de Al^{3+} e de H + Al. Os teores de P aumentaram nas áreas cultivadas com eucalipto. Portanto, é possível observar que os nutrientes que poderão ser considerados limitantes para o crescimento futuro do plantio em estudo são o N principalmente, o K, exigido em grande quantidade pela cultura e que se encontra nos limites mínimos, e o S. O N e o K, por se tratarem de elementos muito móveis, apresentam elevada ciclagem bioquímica, levando a elevada redistribuição das folhas senescentes para suprir os drenos novos onde as árvores se desenvolvem (BARROS et al., 1990, 2000; GONÇALVES et al., 1995a, 2000), e desta forma poderão ser equilibrados. Já o S, considerado pouco móvel, quanto à redistribuição, deverá ser monitorado com maior cautela para evitar deficiência.

4.5 Inventário florestal

O conhecimento da produtividade das florestas plantadas é condição básica para gestão dos recursos madeireiros de qualquer empreendimento florestal, pois sem esta informação as tomadas de decisões em nível estratégico, tático ou mesmo operacional tornam-se de baixa confiabilidade e de alto risco para o empreendedor (BIZON, 2005).

Na Tabela 18 são apresentados os valores de sobrevivência e bifurcação das plantas em relação a cada tratamento adotado.

Tabela 18 – Valores médios de sobrevivência e bifurcação das plantas

TRAT.	SOBREV.[1]	BIFURC.[2]
T1	16,0a	1,25a
T2	16,0a	0,75a
T3	15,75a	0,25a
T4	13,5a	0,5a
T5	15,75a	1,5a
T6	14,0a	1,5a
CV %	7,7	33,6
DMS	0,69	1,03

*Médias seguidas de mesma letra não diferem entre si significativamente pelo teste de Tukey (P<0,05). **Trat. = tratamentos; Sobrev. = sobrevivência; Bifurc. = bifurcação.
[1]Dados originais; para análise estatística foram transformados em √n. [2]Dados originais; para análise estatística foram transformados em √n+1.

Tanto em relação à sobrevivência quanto à bifurcação, não houve diferença significativa entre os tratamentos, embora o tratamento com resíduos de gesso (T4) e com biossólido (T6) tenham apresentado um maior número de falhas e os tratamentos com resíduos orgânicos (T5 e T6) mais plantas bifurcadas.

A alta sobrevivência das plantas em todos os tratamentos e a baixa taxa de bifurcação indicam que, apesar dos solos do tipo Neossolo Quartazarênico apresentarem fertilidade baixa, pequena capacidade de retenção de água e nutrientes, e alta susceptibilidade a erosão, sendo considerados distante do solo ideal (GONÇALVES, 1988), com a introdução de materiais genéticos adequados às condições locais (Figura 6) e aplicação de resíduos agroindustriais e urbanos para melhoria da qualidade do sítio, é possível conduzir plantios florestais na região, em áreas consideradas inadequadas para a produção canavieira.

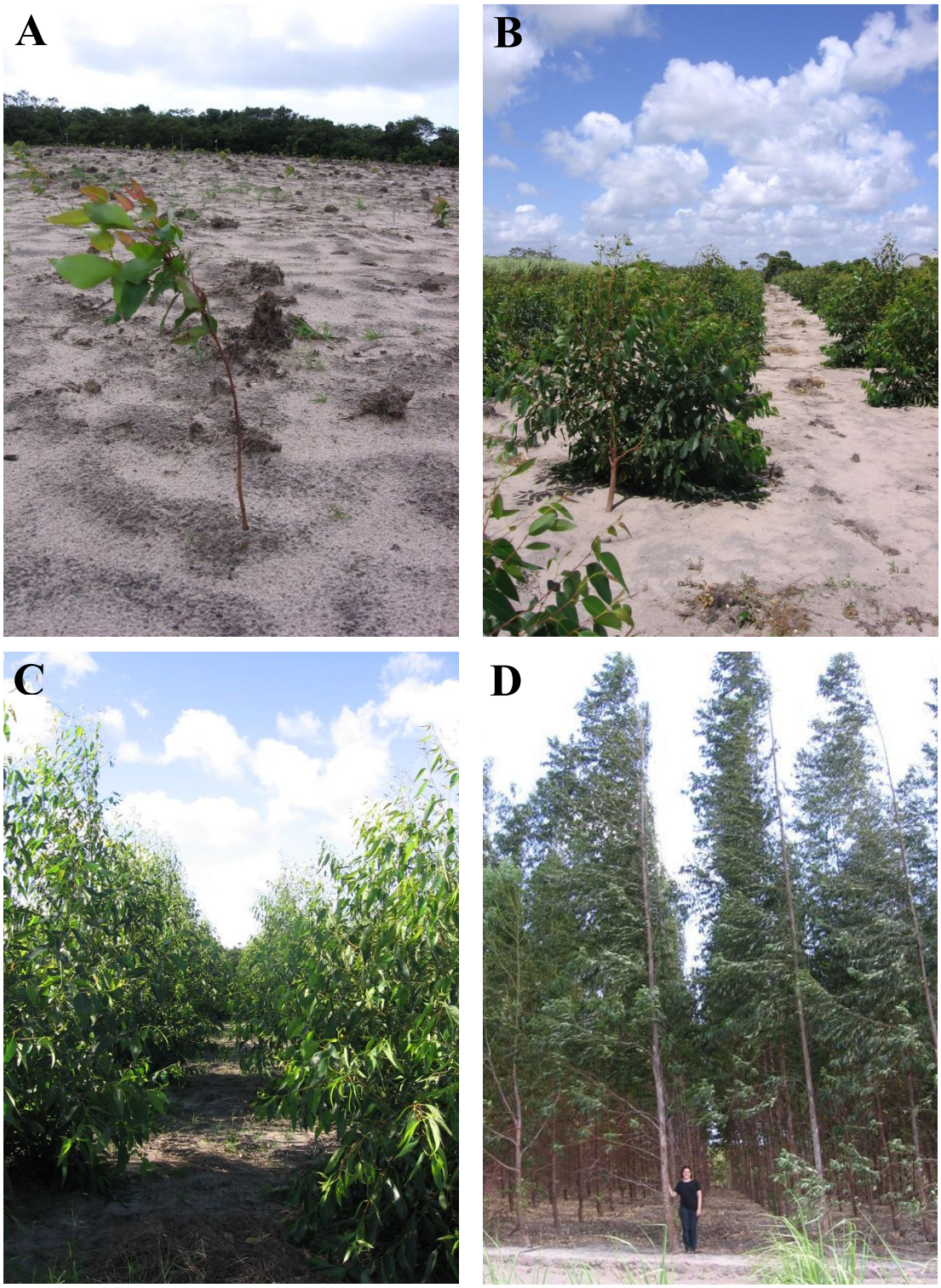

Figura 6 – Campo experimental de Baía Formosa após o plantio: (A) Dois meses; (B) Sete meses; (C) Onze meses; (D) Vinte e seis meses

A análise do inventário mostrou diferenças significativas entre os tratamentos para todos os atributos verificados, especialmente em relação à testemunha (T1), refletindo a importância da adubação, seja inorgânica ou orgânica, através da adição de resíduos, nas

condições estudadas, sobre a produtividade final do povoamento florestal. A fertilização é uma prática de manejo florestal que contribui decisivamente para o aumento da produtividade, porém Barros e Novais (1996) apontam que não há relação direta entre a produtividade e a eficiência de uso de nutrientes.

No estudo foi observado que o tratamento contendo adubação potencial (T3) destacou-se por apresentar os maiores valores para as variáveis Ht, volume total de madeira sem casca – Vts/c, volume estéreo de madeira - V, biomassa total sem casca – Biomas/c, incremento médio anual - IMA e incremento corrente anual - ICA, mas que o tratamento contendo resíduo de gesso (T4) não diferiu estatisticamente nestes parâmetros e ainda obteve os maiores valores para DAP e área basal - G. Os valores médios obtidos através do inventário florestal estão apresentados na Tabela 19.

Tabela 19 – Inventário florestal realizado 26 meses após o plantio

TRAT.	DAP (cm)	Ht (m)	Vts/c (m^3 ha^{-1})	V (st ha^{-1})	Bioms/c (t ha^{-1})	G (m^2 ha^{-1})	IMA (m^3 ha-^{1} ano^{-1})	ICA (m^3 ha^{-1})
T1	9,04b	9,58b	27,98b	24,92b	13,66b	7,44b	13,99b	18,63b
T2	10,38ab	10,42a	36,68ab	32,57ab	17,9ab	9,4ab	18,34ab	25,77ab
T3	10,52ab	11,11a	40,56a	35,8a	19,79a	9,67ab	20,28a	30,78a
T4	10,86a	10,56a	40,25a	35,71a	19,64a	10,28a	20,13a	30,71a
T5	10,43ab	10,67a	38,18ab	33,83ab	18,63ab	9,52ab	19,10ab	28,37ab
T6	10,64a	10,51a	39,13ab	34,7ab	19,1ab	9,92a	19,57ab	29,18a
CV %	6,7	8,2	14,2	13,9	14,2	11,0	14,2	16,6
DMS	1,58	1,96	12,15	10,52	5,39	2,56	6,08	10,37

*Médias seguidas de mesma letra não diferem entre si significativamente pelo teste de Tukey (P<0,05). **Trat. = tratamentos; DAP = diâmetro a altura do peito; Ht = altura total; Vts/c = volume total de madeira sem casca; V = volume estéreo de madeira; Bioms/c = biomassa total sem casca; G = área basal; IMA = incremento médio anual; ICA = incremento corrente anual.

De acordo com o inventário realizado pela Copener Florestal (2008), para o mesmo clone estudado, em condições de precipitação de 900 a 1200 mm anuais e diversos tipos de solo, aos 26 meses foram encontrados valores médios de DAP de 9,0 cm; Ht de 11,27 m; Vts/c de 43,87 m^3 ha^{-1} e IMA de 20,1 m^3 há$^{-1}$ ano^{-1}, indicando que os maiores valores encontrados neste trabalho (T3 e T4) foram próximos ao esperado para o material genético, sob mesmo manejo e sítio com condições similares, embora com DAP e IMA acima dos citados.

Através do inventário florestal foi possível constatar também, que os IMA de todos os tratamentos, inclusive o controle, foram superiores aos obtidos em outras pesquisas, como Paula et al. 2004, que encontraram ganhos em produtividade de madeira aos 24 meses de 14,6 m^3 ha^{-1} ano^{-1} com a aplicação de 320 kg ha^{-1} de N e 180 kg ha^{-1} de K_2O, como melhor

tratamento e Lira et al. (2008) que obtiveram 19 m^3 ha^{-1} ano^{-1} de madeira com casca após aplicação de 10 t ha^{-1} de biossólido complementado com K e P mineral.

No estudo realizado por Pulito (2009), em 11 áreas florestadas com *E. grandis* e *E. grandis x E. urophylla* no Estado de São Paulo, nos povoamentos jovens, com idade entre 1 a 2,2 anos, o IMA do tratamento testemunha variou de 10 a 48 m^3 ha^{-1} ano^{-1}, com média de 24 ± 4 m^3 ha^{-1} ano^{-1} e nos tratamentos que receberam fertilização comercial (doses de N entre 40 e 140 kg ha^{-1}), o IMA variou de 11 a 55 m^3 ha^{-1} ano^{-1}, com média de 26,7 ± 4 m^3 ha^{-1} ano^{-1}. As variações do IMA ocorreram por conta da quantidade de N aplicada e o tipo de sítio (clima, precipitação, solo, teor de argila e MO). Nesta pesquisa, o melhor tratamento avaliado obteve um IMA de 20,28 m^3 ha^{-1} ano^{-1} aos 26 meses no tratamento com adubação potencial (T3), contendo 85,74 kg ha^{-1} de N e o tratamento com resíduo de gesso (T4), não apresentou diferença significativa em relação ao T3, com IMA de 20,13 m^3 ha^{-1} ano^{-1} e aplicação de 42,87 kg ha^{-1} de N.

Portanto, foi possível constatar um aumento de produtividade de 39% no T3 e 30% no T4 em relação ao T1. Considerando-se o T2 como a adubação usualmente aplicada pelas empresas florestais, o uso de resíduo de gesso (T4) proporcionou um aumento de 9% no IMA, enquanto que a aplicação de resíduos agroindustriais (T5) ocasionou um aumento de 4% e biossólido (T6) de 6,3%.

Vaz e Gonçalves (2002) comparando o crescimento das árvores em várias idades verificaram que a resposta à aplicação de biossólido eleva-se com a idade, acarretando, principalmente, efeitos benéficos decorrentes do aumento da disponibilidade de nutrientes, oriundos da solubilização e mineralização de componentes do resíduo, bem como de um maior volume de solo explorado pelas raízes, o que aumenta o acesso a esses nutrientes. Na Austrália, Polglase e Myers (1995) avaliando a aplicação de resíduo primário de ETE em povoamentos com várias espécies do gênero *Eucalyptus*, verificaram, aos 34 meses de idade, respostas diferenciadas entre espécies. Assim sendo, os resultados obtidos neste estudo devem ser considerados ainda iniciais, visto que o ciclo de corte previsto para o talhão experimental é de aproximadamente 4 anos, já que o uso da madeira será para geração de energia na moagem da cana-de-açúcar.

4.6 Gestão ambiental

O interesse na implantação de um sistema de gestão ambiental está relacionado a uma série de benefícios potenciais, como a manutenção de boas relações com o público/comunidade, o fortalecimento da imagem da empresa e a redução de incidentes que impliquem responsabilidade civil, entre outros (ABNT, 2005).

As soluções incluídas no manejo de resíduos, especialmente em relação ao tratamento são diversas, porém têm em comum os objetivos de reduzir ou eliminar sua periculosidade, imobilizar seus componentes perigosos, e reduzir o volume (VALLE, 2004). Atualmente, dentre as alternativas de tratamento e destinação final de resíduos sólidos, destacam-se: aterros sanitários, incineração, reaproveitamento, reciclagem e compostagem. A principal vantagem do encaminhamento de resíduos para aterros está relacionada ao baixo custo, no entanto, este sistema possui várias desvantagens, como:

- Custos de armazenamento e transporte dos resíduos sólidos para destiná-los ao aterro;
- Sobrecarga dos aterros que, por circunstâncias diversas (geográficas, geológicas e climáticas), tornam este destino muitas vezes inviável;
- A desestruturação do aterro pode ocasionar significativos danos para a imagem das empresas, problemas jurídicos, prejuízos econômicos e financeiros e, até mesmo, passivos ambientais;
- Riscos de contaminação do solo e do lençol freático se os resíduos sólidos e/ou líquidos forem manipulados de forma errada;
- Maior exploração dos recursos naturais já que não há recuperação/reciclagem dos materiais.

A exaustão de soluções paliativas e provisórias para a disposição final de resíduos sólidos orgânicos tem levado a todos os técnicos envolvidos com esta questão, a preocupação de encontrar soluções mais efetivas de longo prazo. Segundo Matthews (1998), o futuro da disposição final deverá ser predominantemente, a incineração, técnica que para evitar problemas de emissões atmosféricas necessita do uso de incineradores de leito fluidizado de custos elevados, além de demandar uma grande quantidade de energia; ou o uso como composto agrícola, o que o torna um produto útil dentro de um processo produtivo (ANDREOLI et al., 1994; TSUTIYA, 1999).

Paralelamente, sabe-se que a silvicultura tem ocupado solos que foram utilizados na agricultura ou que nunca foram próprios ao uso agrícola. Estes solos freqüentemente são

rasos, pedregosos, úmidos, lixiviados, arenosos ou menos férteis do que solos usados na produção agrícola. Em muitas partes do mundo, plantações florestais têm sido estabelecidas em solos de agricultura degradada ou pastagens, devido à produtividade de muitos desses locais ter diminuído a ponto de não poderem suportar economicamente a produção de safras agrícolas ou a criação de animais (FOX, 2000).

Segundo Gonçalves et al. (2002) e Barros e Comerford (2002), solos mais férteis podem ser mais impactados pela exportação de nutrientes do que solos menos férteis (menos produtivos), e serem conseqüentemente menos sustentáveis. Porém, tal conclusão depende do estoque original de nutrientes e do manejo a que é submetido. A reposição dos nutrientes removidos, ou perdidos, é necessária em todos os locais que não são capazes de suprir os nutrientes para um bom crescimento a partir do intemperismo de minerais, do aporte via chuva ou da fixação biológica. Isto inclui a maioria dos solos usados para florestas (HAAG, 1983).

Avaliações do custo da adubação orgânica e mineral feitas com torta de filtro *in natura*, onde são necessárias 60 t ha^{-1}, concluíram que seria economicamente viável transportar e aplicar esta a uma distância de 25,7 km da indústria. Com a concentração do produto, onde se reduz a dosagem para 33 t ha^{-1}, seria possível levá-lo a uma distância de até 62 km, que poderia chegar a 88 km se o composto ou a torta de filtro for enriquecido com uma fonte de P (AIRES, 2008).

Evaristo e Figueiredo (2008), em avaliação do custo de geração de vapor em agroindústria canavieira, citaram que o preço do bagaço de cana varia entre R$ 38,00 e 49,60 a tonelada, e que os demais resíduos (torta de filtro e lodo de vinhaça), presentes em compostos orgânicos aplicados no solo, ainda não possuem valor comercial, pois são utilizados dentro da própria indústria.

Corrêa e Corrêa (2001) e Spadotto e Ribeiro (2006) valorizaram o biossólido e outros resíduos orgânicos como fonte de N, P e MO, utilizando o método de "mercado de bens substitutos" para uma avaliação econômica desse resíduo. O valor do lodo fresco, por exemplo, pode atingir até R$ 22,00 a tonelada. Mas, apesar do valor do biossólido como fonte de nutrientes, não se pode esquecer que se trata de um resíduo do processo de tratamento do esgoto, cuja disposição final é de responsabilidade da unidade geradora. Assim, o valor nutricional do biossólido para cultivos agrícolas e florestais ainda não pode ser convertido em valor monetário, pois, tendo status de resíduo, esse material não possui preço de venda.

O transporte do lodo de esgoto ou biossólido até as áreas a serem recuperadas ou reflorestadas surge como um limitação, no âmbito econômico, para destinação final deste

material. Em estudo feito por Faria e Rodriguez (2008), no Estado de São Paulo, na situação mais favorável, onde se considera a menor quantidade possível de biossólido produzido nas ETEs, a maior dose de aplicação no campo e a existência de nenhuma restrição ao seu uso nas áreas anualmente disponíveis para plantio, observa-se que o biossólido seria utilizado de forma economicamente viável em um raio de 32 km. Em um cenário menos favorável, com alta produção de biossólido nas ETEs, uso de doses menores, o raio necessário para consumir todo o resíduo produzido se elevaria para 120 km, tornando este meio de destinação mais custoso para a estação e/ou produtor.

Entretanto, os impactos econômicos relacionados ao transporte do resíduo não diminuem a importância da sua reciclagem, constituindo uma das alternativas mais viáveis e promissoras de uso é destes materiais, principalmente em plantações florestais destinadas à produção de madeira. O avanço das pesquisas poderá comprovar a viabilidade sócio-econômica, silvicultural e ecológica da utilização de resíduo orgânico em culturas florestais. Estes materiais, cujo destino é hoje problemático, no futuro poderá ser considerado um insumo (GUEDES, 2005).

Da mesma forma que o biossólido, a disposição em aterro sanitário ou industrial de resíduos de gesso da construção civil, constitui um impacto crítico para o meio ambiente, tendo em vista que os resíduos gerados pela construção civil representam 60% de todo o lixo urbano de uma cidade e, desse total, 5% correspondem a descartes de gesso (GUETHS, 2009).

A NBR 10004 (ABNT, 2004) classifica o gesso como material não inerte, pois se solubiliza em água. Por isso, não pode ser descartado misturado a outros resíduos, nem pode ser confinado em áreas de aterros sanitários. Por este motivo, países desenvolvidos baniram o produto dos aterros sanitários.

Entre os processos de destinação está o reaproveitamento dos resíduos de gesso na própria obra, e seu uso pela indústria cimenteira para atuar como retardante de pega, tornando mais lenta a secagem do cimento. Também podem ser reprocessados nas próprias fábricas de chapas de gesso para *drywall* (GUETHS, 2009), processos que geram menores impactos sobre o meio ambiente, embora necessitem de monitoramento quanto à sua pureza e qualidade. A questão é que o gesso, ao contrário da maioria dos outros materiais, não é reaproveitado nem reciclado, gerando, assim, um problema sério sobre a destinação correta do produto.

Todavia, esse resíduo possui potencial de ser empregado em solos agrícolas como corretivo de acidez e fonte de nutrientes, com destaque para o Ca e o S, como demonstrado nesta pesquisa, com comprovada ação sobre a biomassa florestal e o IMA, sem maiores

efeitos sobre o meio ambiente. Portanto, não foram implicações para a não adição do resíduo de gesso em áreas de reflorestamento com *Eucalyptus* spp.

Um fator preponderante no processo de reflorestamento com *Eucalyptus* spp. deve ser considerado, o custo dos fertilizantes empregados (Tabela 20).

Tabela 20 – Custo final dos fertilizantes aplicados nos tratamentos em estudo (R$/ha)

INSUMOS	T1	T2	T3	T4	T5	T6
Calcário	-	3,30	6,60	3,30	3,30	3,30
Superfosfato triplo	-	352,00	704,00	352,00	352,00	352,00
FTE BR12	-	94,60	189,20	94,60	94,60	94,60
Sulfato de amônia	-	404,80	809,60	404,80	404,80	404,80
Cloreto de potássio	-	528,00	1.056,00	528,00	528,00	528,00
Bórax	-	27,50	55,00	27,50	27,50	27,50
Resíduo agroindustrial	-	-	-	-	700,00	-
Lodo de esgoto	-	-	-	-	-	440,00
Gesso	-	-	-	60,00	-	-
TOTAL	**0,00**	**1.410,20**	**2.820,40**	**1.470,20**	**2.110,20**	**1.850,20**

Com a observação dos custos de plantio de 1 ha de eucalipto, adubado com os fertilizantes normalmente utilizados pelas empresas do ramo florestal (T2), que possui custo de R$ 1.410,20 e obteve IMA de 13,99 m^3 ha^{-1} ano^{-1}, constatou-se a superioridade do tratamento com resíduo de gesso (T4), que apresenta custo apenas 4,1% maior e obteve IMA de 20,13 m^3 ha^{-1} ano^{-1}, 30% maior que o T2. Concomitantemente, o tratamento T4 não demonstrou diferença significativa em relação ao tratamento com adubação potencial (T3), que tem valor 52,1% inferior.

5 CONCLUSÕES

- Resíduos agroindustriais e urbanos podem ser aplicados em áreas de reflorestamento com *Eucalyptus* spp. na Região Nordeste, como complemento da fertilização usada comercialmente, proporcionando uma produção de madeira similar à obtida com o dobro da adubação utilizada pelas empresas do ramo florestal.

- A aplicação de 20 t ha^{-1} de resíduos da agroindústria canavieira ou de 20 t ha^{-1} de biossólido, refletiu-se de forma positiva sobre a fertilidade do solo e nutrição das plantas, resultando no aumento dos teores de P, K e Ca no solo.

- A reciclagem de resíduos agroindustriais e urbanos em plantações florestais destinadas à produção de madeira constitui a alternativa mais viável e com menor efeito negativo sobre o meio ambiente, quando comparada as demais formas de destinação utilizadas atualmente.

- O tratamento com aplicação de resíduo de gesso foi considerado superior, podendo ser aplicado como corretivo, demonstrando-se economicamente rentável, em relação aos demais tratamentos, visto que apresentou custo semelhante ao da fertilização comumente aplicada pelas empresas florestais, mas com incremento de madeira mais elevado.

REFERÊNCIAS

ABER, J.D.; MELILLO, J.M. Litter decomposition: measuring relative contributions of organic matter and nitrogen to forest soils. **Canadian Journal of Botany**, Ottawa, v. 58, n. 4, p. 416- 421, 1980.

ABREU JÚNIOR, C.H.; BOARETTO, A.E.; MURAOKA, T.; KIEHL, J.C. Uso agrícola de resíduos orgânicos: propriedades químicas do solo e produção vegetal. **Tópicos em Ciências do Solo**, Viçosa, MG, v. 4, p. 391-479, 2005a.

ABREU JÚNIOR, C.H.; OLIVEIRA, F.C.; BERTON, R.; SILVA, F.C. Uso de resíduos orgânicos no pomar. In: MATTOS JÚNIOR, D.; DE NEGRI, J.D.; PIO, R.M.; POMPEU JÚNIOR, J. **Citros.** Campinas: Instituto Agronômico; FUNDAG, v. 29, 2005b. p. 871-896.

AIRES, M. **Subprodutos da cana podem virar adubo. Por que não?** Curitiba, 2008. Disponível em: <http://www.jornalparana.com.br/materia/ver_edicao.php?id=2168&tipo=102>. Acesso em: 11 fev. 2011.

ALEM SOBRINHO, P. Tratamento de esgoto e geração de lodo. In: TSUTYA, M. T.; CAMPARINI, J. B.; ALEM SOBRINHO, P.; CARVALHO, P. C. T.; MELO, W. J. **Biossólidos na agricultura**. Jaboticabal: ABES, Escola Politécnica-USP, UNESP, 2002, 468 p.

ALEM SOBRINHO, P.; HAANDEL, A. van. Produção, composição e constituição de lodo de esgoto. In: ANDREOLI, C.V. (Coord.). **Biossólidos.** Rio de Janeiro: ABES, 2006. p. 7-28. (Projeto PROSAB n. 4).

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

ALONSO, R. **Reflorestamento contribui para a preservação de florestas nativas.** São Paulo: Secretaria do Meio Ambiente, 2003. Disponível em: <http://www.ambiente.sp.gov.br/destaque/reflorestamento1.htm> Acesso em: 17 mar. 2007.

ALVAREZ V.V.H.; RIBEIRO, A.C. Calagem. In: RIBEIRO, A.C.; GUIMARÃES, P.T.G.; ALVAREZ V.V.H. (Ed.). **Recomendação para o uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais**: 5ª aproximação. Viçosa: Comissão de Fertilidade do Solo do Estado de Minas Gerais, 1999. p. 25-32.

ALVAREZ, V.V. H.; ROSCOE, R.; KURIHARA, C.H.; PEREIRA, N.F. Enxofre. In: NOVAIS, R.F.; ALVAREZ, V.V.H.; BARROS, N.F.; FONTES, R.L.F.; CANTARUTTI, R.B.; NEVES, J.C.L. (Ed.). **Fertilidade do solo.** Viçosa, MG: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2007. cap. 10. p. 595-644.

ALVAREZ V.V.H.; NOVAIS, R.F.; BARROS, N.F.; CANTARUTTI, R.B.; LOPES, A.S. Interpretação dos resultados das análises de solos. In: RIBEIRO, A.C.; GUIMARÃES, P.T.G.; ALVAREZ V.V.H. (Ed.). **Recomendação para o uso de corretivos e fertilizantes**

em Minas Gerais: 5ª aproximação. Viçosa: Comissão de Fertilidade do Solo do Estado de Minas Gerais, 1999. p. 25-32.

AMARAL, F.C.S.; GRAÇA, P.M.L.A.; BRITO, M.M.P.; ABREU JÚNIOR, C.H., CAMPOS, D.C. Comparação entre a concentração de nutrientes das folhas e do folhedo do jacarandá-da-bahia (*Dalbergia Nigra*) e da caberúva (*Myroxylon peruiferum*). In: CONGRESSO LATINO AMERICANO DE CIÊNCIA DO SOLO, 13., 1996, Águas de Lindóia. **Anais...** São Paulo: Sociedade Latino Americana de Ciência do Solo, 1996. 1 CD-ROM.

ANDRADE, C.A.; MATTIAZZO, M.E. Nitratos e metais pesados no solo e nas árvores após aplicação de biossólido (lodo de esgoto) em plantações florestais de *Eucalyptus grandis*. **Scientia Forestalis**, Piracicaba, n. 58, p. 59-72, 2000.

ANDRADE, G.C.; SILVA, H.D.; BELLOTE, A.F.J.; FERREIRA, C.A. Efeitos da adubação fosfatada e da aplicação de resíduo de celulose no crescimento de *Eucalyptus dunnii*. **Boletim de Pesquisa Florestal**, Colombo, n. 47, p. 43-54, 2003.

ANDRADE, G.C.; BELLOTE, A.F.J.; SILVA, H.D.; RIZZI, N.E.; GAVA, J.L. Acúmulo de nutrientes na biomassa e na serapilheira de Eucalyptus grandis em função da aplicação de lixo urbano e nutrientes minerais. **Boletim de Pesquisa Florestal**, Colombo, n. 53, p. 109-136, 2006.

ANDREOLI, C.V. **Manual de métodos para análises microbiológicas e parasitológicas em reciclagem agrícola de lodo de esgoto.** Curitiba: SANEPAR, 1998. 79 p.

ANDREOLI, C.V.; PEGORINI, E.S. Reciclagem agrícola de biossólidos: impactos e regulamentação. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 29., 2003, Ribeirão Preto. **Anais...** Ribeirão Preto: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2003. 1 CD-ROM.

ANDREOLI, C.V.; SOUZA, M.L.P.; COMIM, J.J.; GIOPPO, P.J.; CASTILHO, D.S. B. Bases para uso do lodo de esgoto da ETE-Belém. In: SIMPÓSIO LUSO-BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL, 6., 1994, Florianópolis. **Anais...** Rio de Janeiro: ABES, 1994. p. 389-419.

ANJOS, A.R.M.. **Lixiviação de espécies químicas em Latossolos sucessivamente tratados com biossólido e disponibilidade de metais pesados para plantas de milho.** 1999. 191 p. Tese (Doutorado em Solo e Nutrição de Plantas) – Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo, Piracicaba, 1999.

ANJOS, A.R.M.; MATTIAZZO, M.E. Lixiviação de íons inorgânicos em solos repetidamente tratados com biossólido. **Revista Brasileira de Ciência do Solo,** Viçosa, MG, v. 24, n. 4, p. 927-938, 2000.

AQUARONE, E.; BORZANI, W.; LIMA, U.A. **Biotecnologia:** tópicos de microbiologia industrial. São Paulo: Edgar Blücher, 1990. 231 p. v. 2.

ARAÚJO, A.P.; MACHADO, C.T.T. Fósforo. In: FERNANDES, M.S. (Ed.). **Nutrição mineral de plantas.** Viçosa, MG: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2006. cap. 10. p. 253-280.

ARAÚJO, A.L.; CARVALHO, J.L.N.; GUILHERME, L.R.G.; CURI, N.; MARQUES, J.J. Movimentação de nitrato e amônio em colunas de solo. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 28, n. 3, p. 537-541, 2004.

ARTIGIANI, A.C.C.A. **Combinações de gesso, silicato e calcário aplicados superficialmente no sistema plantio direto de arroz e feijão irrigados por aspersão.** 2008. 128 p. Tese (Doutorado em Agronomia) – Faculdade de Ciências Agronômicas, Universidade Estadual Paulista "Julio de Mesquita Filho", Botucatu, 2008.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 10004:** resíduos sólidos - classificação. Rio de Janeiro, 2004. 71 p.

_____. **NBR 12127:** gesso para construção - determinação das propriedades físicas do pó - método de ensaio. Rio de Janeiro, 1991a. 5 p.

_____. **NBR 12130:** gesso para construção - determinação da água livre e de cristalização e teores de óxido de cálcio e anidrido sulfúrico. Rio de Janeiro, 1991b. 3 p.

_____. **NBR ISO 14004:** sistema de gestão ambiental – diretrizes gerais sobre os princípios, sistemas e técnicas de apoio. Rio de Janeiro, 2005. 45 p.

BARBER, S.A. **Soil nutrient bioavailability**: a mechanistic approach. New York: Wiley-Interscience, 1984. 398 p.

BARBIERI, R. **Gestão ambiental:** responsabilidade social e sustentabilidade. 2. ed. São Paulo: Saraiva, 2007. 342 p.

BARCELLOS, D.C.; COUTO, L.C.; MÜLLER, M.D.; COUTO, L. O Estado-da-arte da qualidade da madeira de eucalipto para produção de energia: um enfoque nos tratamentos silviculturais. **Biomassa & Energia**, Viçosa, MG, v. 2, n. 2, p. 141-158, 2005.

BARROS, N.F.; NOVAIS, R.F.; CARMO, D.N.; NEVES, J.C. Classificação nutricional de sítios florestais - Descrição de uma metodologia. **Revista Árvore**, Viçosa, MG, v. 10, n. 2, p. 112-120, 1986.

BARROS, N.F.; COMERFORD, N.B. Sustentabilidade da produção de florestas plantadas na região tropical. In: ALVAREZ, V.V.H.; SCHAEFER, C.E.G.R.; BARROS, N.F.; MELLO, J.W.V.; COSTA, L.M. (Ed.). **Tópicos em ciência do solo.** Viçosa: SBCS, v. 2, p. 487-492, 2002.

BARROS, N.F.; NOVAIS, R.F. Eucalypt nutrition and fertilizer regimes in Brazil. In: ATTIWILL, P.M.; ADAMS, M.A. **Nutrition of eucalypts.** Collingwood: CSIRO, 1996. cap. 15, p. 335-355.

BARROS, N.F.; NEVES, J.C.L.; NOVAIS, R.F. Recomendação de fertilizantes minerais em plantios de eucalipto. In: GONÇALVES, J.L.M.; BENEDETTI, V. (Ed.). **Nutrição e fertilização florestal.** Piracicaba: IPEF, 2000. cap. 9. p. 269-286.

BARROS, N.F.; NOVAIS, R.F.; NEVES, J.C.L. Fertilização e correção do solo para o plantio de eucalipto. In: BARROS, N.F.; NOVAIS, R.F. (Ed.). **Relação solo-eucalipto**. Viçosa: Ed. Folha de Viçosa, 1990. p. 127-186.

BASSO, L.H.M.; GONÇALVES, A.N.; SILVEIRA, L.V.A.; LIMA, G.P.P. Efeito do alumínio no crescimento de brotações de *Eucalyptus grandis* x *E. urophylla* cultivadas *in vitro*. **Scientia Forestalis**, Piracicaba, v. 63, p. 167-177, 2003.

BAUER, L.A.F. **Materiais de construção**. 5. ed. Minas Gerais: Livros Técnicos e Científicos Ed., 2000. 447 p. v. 1.

BELLOTE, A.F.J. **Suprimento de nutrientes minerais e crescimento de plantações adubadas de *Eucalyptus grandis* nos Cerrados do Estado de São Paulo.** 1990. 166 p. Tese (Doutorado em Ciência do Solo e Nutrição Florestal) – Institut für Bodenkunde und Waldernährungslehre, Universität Freiburg, Freiburg, Alemanha, 1990.

BELLOTE, A.F.J.; SILVA, H.D. Sampling techniques and nutritional evaluations in eucalypt plantations. In: GONÇALVES, J.L.M.; BENEDETTI, V. (Ed.). **Forest nutrition and fertilization**. Piracicaba: IPEF, 2004. p. 113-139.

BELLOTE, A.F.J.; SILVA, H.D.; FERREIRA, C.A.; ANDRADE, G.C. Resíduos da indústria de celulose em plantios florestais. **Boletim de Pesquisa Florestal**, Colombo, n. 37, p. 99-106, 1998.

BERTON, R.S.; CAMARGO, O.A.; VALADARES, J.M.A.S. Absorção de nutrientes pelo milho em resposta à adição de lodo de esgoto a cinco solos paulistas. **Revista Brasileira de Ciências do Solo**, Viçosa, MG, v. 13, p. 187-192, 1989.

BERTON, R.S.; VALADARES, J.M.A.S.; CAMARGO, O.A.; BATAGLIA, O.C. Peletização do lodo de esgoto e adição de $CaCO_3$ na produção de matéria seca e absorção de Zn, Cu e Ni pelo milho em três Latossolos. **Revista Brasileira de Ciências do Solo**, Viçosa, MG, v. 21, p. 685-691, 1997.

BERTONCINI, E.I. Geração de resíduos da indústria canavieira. In: ASPECTOS AMBIENTAIS DA CADEIA DO ETANOL DE CANA-DE-AÇÚCAR, 1., 2008, Piracicaba. **Anais...** Piracicaba: Agência Paulista de Tecnologia dos Agronegócios, 2008. p. 1-12.

BERTONCINI, E.I.; MATTIAZZO, M.E. Lixiviação de metais pesados em solos tratados com lodo de esgoto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo,** Viçosa, MG, v. 23, p. 737-744, 1999.

BINKLEY, D. **Forest nutrition management.** New York: John Wiley & Sons, 1986. 290 p.

BIZON, J.M.C. **Avaliação da sustentabilidade nutricional de plantios de *Pinus taeda* L. usando um balanço de entrada-saída de nutrientes.** 2005. 95 p. Dissertação (Mestrado em Recursos Florestais) – Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2005.

BLEVINS, D.G. Por que as plantas precisam de fósforo? **Informações Agronômicas**, Piracicaba, n. 87, p. 4-5, 1999.

BOEIRA, R.C.; LIGO, M.A.V.; DYNIA, J.F. Mineralização de nitrogênio em solo tropical tratado com lodos de esgoto. **Pesquisa Agropecuária Brasileira,** Brasília, v. 37, n. 11, p. 1639-1647, 2002.

BRAGA, B.; HESPANHOL, I.; CONEJO, J.G.L.; MIERZWA, J.C.; BARROS, M.T.L.; SPENCER, M.; PORTO, M.; NUCCI, N.; JULIANO, N.; EIGER, S. Avaliação de impactos ambientais. In: _____. (Ed.). **Introdução à engenharia ambiental:** o desafio do desenvolvimento sustentável. 2. ed. São Paulo: Pearson Prentice Hall, 2005. cap. 14, p. 251-285.

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. **Manual de métodos de análise de solo.** 2. ed. Rio de Janeiro: EMBRAPA, 1999. 212 p.

_____. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. **Sistema brasileiro de classificação dos solos.** 2. ed. Rio de Janeiro: EMBRAPA Solos, 2006a. 306 p.

_____. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Secretaria de Defesa Agropecuária. Portaria n. 49, de 25 de abril de 2005. Projeto de Instrução Normativa que aprova os limites máximos de agentes fitotóxicos, patogênicos ao homem, animais e plantas, metais pesados tóxicos, pragas e ervas daninhas admitidos nos fertilizantes, corretivos, inoculantes e biofertilizantes. **Diário Oficial**, Brasília, 27 abr. 2005a. Seção 1, p. 20-21.

_____. Ministério das Cidades. Secretaria Nacional do Saneamento. Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento. **Diagnóstico dos Serviços de Água e Esgoto:** 2008. Brasília, DF: Ministério das Cidades, 2008. 408 p.

_____. Ministério do Meio Ambiente. Conselho Nacional do Meio Ambiente. Resolução n. 001, de 23 de janeiro de 1986. Estabelece as definições, as responsabilidades, os critérios básicos e as diretrizes gerais para uso e implementação da Avaliação de Impacto Ambiental como um dos instrumentos da Política Nacional do Meio Ambiente. **Diário Oficial**, Brasília, 17 fev. 1986. p. 2548-2549.

_____. Ministério do Meio Ambiente. Conselho Nacional do Meio Ambiente. Resolução n. 375, de 29 de agosto de 2006. Define critérios e procedimentos, para o uso agrícola de lodos de esgoto gerados em estações de tratamento de esgoto sanitário e seus produtos derivados. **Diário Oficial**, Brasília, 30 ago. 2006b. p. 141-146.

_____. Ministério do Meio Ambiente. Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis. **Manual de recuperação de áreas degradadas pela mineração:** técnicas de revegetação. Brasília, 1990. 96 p.

_____. Ministério de Minas e Energia. Departamento Nacional de Produção Mineral. **Anuário Mineral Brasileiro.** Brasília: DNPM, 2005b. p. 182-187.

_____, Ministério de Minas e Energia. Secretaria de Geologia, Mineração e Transformação Mineral. **Diagnóstico do Município de Baía Formosa.** Recife: CPRM; PRODEEM, 2005c. 20 p.

_____. Ministério do Planejamento, Orçamento e Gestão. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Pesquisa Nacional de Saneamento Básico 2000.** Rio de Janeiro: IBGE, 2002. 397 p.

CAIRES, E.F.; BARTH, G.; GARBUIO, F.J.; KUSMAN, M.T. Correção da acidez do solo, crescimento radicular e nutrição do milho de acordo com a calagem na superfície em sistema plantio direto. **Revista Brasileira de Ciências do Solo**, Viçosa, MG, v. 26, p. 1011-1022, 2002.

CAIRES, E.F.; BLUM, J.; BARTH, G.; GARBUIO, F.J.; KUSMAN, M.T. Alterações químicas do solo e respostada soja ao calcário e gesso aplicados na implantação do sistema plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 27, p. 275-286, 2003.

CAIRES, E.F.; FONSECA, A.F.; MENDES, J.; CHUEIRI, W.; MADRUGA, E.F. Produção de milho, trigo e soja em função das alterações das características químicas do solo pela aplicação de calcário e gesso na superfície, em sistema plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 23, p. 315-327, 1999.

CALDEIRA, M.V.W. **Quantificação da biomassa e do conteúdo de nutrientes em diferentes procedências de acácia-negra (*Acacia mearnsii* De Wild.).** 1998. 96 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 1998.

CALDEIRA, M.V.W.; SCHUMACHER, M.V.; TEDESCO, N.; SANTOS, E.M. Ciclagem de nutrientes em *Acacia mearnsii* De Wild. V quantificação do conteúdo de nutrientes na biomassa aérea de *Acacia mearnsii* De Wild. procedência australiana. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 30, n. 6, p. 977-982, 2000.

CAMARGO, F.A.O.; SÁ, E.L.S. Nitrogênio e adubos nitrogenados. In: BISSANI, C.A.; GIANELO, C.; TEDESCO, M.J.; CAMARGO, F.A.O. **Fertilidade dos solos e manejo da adubação de culturas.** Porto Alegre: Gênese, 2004. p. 93-116.

CAMPELLO, F.C.B.; GARIGLIO, M.A.; SILVA, J.A.; LEAL, A.M.A. **Diagnóstico florestal da Região Nordeste.** Brasília: IBAMA, 1999. 20 p. (Boletim Técnico n. 2).

CAMPINHOS, E.A. A importância da produção de madeira de *Eucalyptus* geneticamente melhorado para os setores moveleiro e de construção civil: perspectivas e desafios. In: SEMINÁRIO MADEIRA DE EUCALIPTO: tendência e usos, 1., 2001, Curitiba. **Anais...** Piracicaba: IPEF; IPT, 2001.

CANELLAS, L.P.; SANTOS, G.A.; AMARAL, N.M.B. Reações da matéria orgânica. In: SANTOS, G.A.; CAMARGO, F.A.O. (Ed). **Fundamentos da matéria orgânica do solo:** ecossistemas tropicais e subtropicais. Porto Alegre: Gênese, 1999. p. 69-90.

CANTARELLA, H. Nitrogênio. In: NOVAIS, R.F.; ALVAREZ, V.V.H.; BARROS, N.F.; FONTES, R.L.F.; CANTARUTTI, R.B.; NEVES, J.C.L. (Ed.). **Fertilidade do solo.** Viçosa, MG: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2007. cap. 7, p. 375-370.

CARVALHO, P.C.T.; BARRAL, M.F. Aplicação de lodo de esgoto como fertilizante. **Fertilizantes**, São Paulo, v. 3, n. 2, p. l-4, 1981.

CASTRO, O.M. Preparo do solo para culturas anuais. In: LOMBARDI NETO, F.; DRUGOWICH, M.I. (Coord.). **Manual técnico de manejo e conservação de solo e água.** 2. ed. Campinas: CATI, 1994. v. 3, p. 61-87.

COLE, L.; BUCKLAND, S.M.; BARDGETT, R.D. Relating microarthropod community structure and diversity to soil fertility manipulations in temperate grassland. **Soil Biology & Biochemistry**, Oxford, v. 37, p. 1707-1717, 2005.

COLODRO, G.; ESPÍNDOLA, C.R. Alterações na fertilidade de um Latossolo degradado em resposta à aplicação de lodo de esgoto. **Acta Scientiarum Agronomy**, Maringá, v. 28, n. 1, p. 1-5, 2006.

CONSELHO REGIONAL DE FARMÁCIA DO ESTADO DE SÃO PAULO. **Resíduos e gestão ambiental.** São Paulo, 2010. 24 p.

COPENER FLORESTAL. **Resultado de experimento de teste clonal.** Inhambupe, 2008. 10 p.

CORRÊA, R.S.; CORRÊA, A.S. Valoração de biossólidos como fertilizantes e condicionadores de solos. **Sanare**, Curitiba, v. 16, n. 16, p. 49-56, 2001.

CORTEZ, L.; MAGALHÃES, P.; HAPP, J. Principais subprodutos da agroindústria canavieira e sua valorização. **Revista Brasileira de Energia**, Itatjubá, v. 2, n. 2, p. 111-146, 1992.

COSTA, E.R.O.; RIZZI, N.E.; SILVA, H.D.; MAEDA, S.; LAVARONI, O.J. Alterações químicas do solo após aplicação de biossólidos de estações de tratamento de efluentes de fábrica de papel reciclado. **Floresta**, Curitiba, v. 39, n. 1, p. 1-10, 2009.

CUNHA, G.M.; GAMA-RODRIGUES, A.C.; COSTA, G.S. Ciclagem de nutrientes em *Eucalyptus grandis* W. Hill ex Maiden no Norte Fluminense. **Revista Árvore**, Viçosa, MG, v. 29, n. 3, p. 353-363, 2005.

CURI, N.; LARACH, J.O.I.; KÄMPF, N.; MONIZ, A.C.; FONTES, L.E.F. **Vocabulário de ciência do solo.** Campinas: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 1993. 90 p.

DANIELS, W.L.; HAERING, K.C. Use of sewage sludge for land reclamation in the Central Appalachians. In: CLAPP, C.E.; LARSON, W.E.; DOWDY, R.H. **Sewage sludge:** land utilization and the environment. Madison: American Society of Agronomy; Crop Science Society of America; Soil Science Society of America, 1994. chap. 16, p. 105-121.

DAY, P.R. Particle fractionation and particle-size analysis. In: BLACK, C.A. (Ed.). **Methods of soil analysis.** Madison: American Society of Agronomy, 1965. v. 1, p. 545-566.

DE BERTOLDI, M.; VALLINI, G.; PERA, A. The biology of composting: a review. **Waste Management & Research**, London, v. 1, n. 1, p. 153-176, 1983.

DIAS, L.E.; GRIFFITH, L.E. Conceituação e caracterização de áreas degradadas. In: DIAS, L.E.; MELO, J.W. (Ed.). **Recuperação de áreas degradadas.** Viçosa: UFV, 1988. p. 1-8.

DIAZ, L.F.; SAVAGE, G.M.; EGGERTH, L.L.; GOLUEKE, C.G. **Composting and recycling: municipal solid waste.** Boca Raton: Lewis Publishers, 1993. 296 p.

EPSTEIN, E. **Nutrição mineral de plantas:** princípios e perspectivas. Rio de Janeiro: Livros Técnicos e Científicos, 1975. 341 p.

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

ERNANI, L.S.P.R. **Disponibilidade de nitrogênio e adubos nitrogenados.** Vacarias, 2010. Disponível em: <http://www.agapomi.com.br/jornal.php?noticia=125>. Acesso em: 30 nov. 2010.

ESTADOS UNIDOS. United States Environmental Protection Agency. **Title 40 Code of Federal Regulations-Part 503 final rules:** standards for the use or disposal of sewage sludge. Washington, DC, 1993. p. 9387-9415. (Federal Register n. 58).

EVARISTO, K.S.; FIGUEIREDO, R.S. **Custo do vapor em agroindústria**. 2008. Disponível em: <http://www.webartigos.com/articles/3770/1/Custo-Do-Vapor-Em-Agroindustria/pagina 1.html>. Acesso em: 11 fev. 2011.

FARIA, L.C.; RODRIGUEZ, L.C.E. Demanda potencial por lodo de esgoto (biossólido) em plantios de eucaliptos no entorno da Região Metropolitana de São Paulo. **Revista Científica Eletrônica de Engenharia Florestal**, Garça, v. 7, n. 12, p. 1-21, 2008. Disponível em: <http://www.revista.inf.br/florestal12/pages/artigos/ REEF-ANOVII-VOL12-ART06.pdf>. Acesso em: 12 jan. 2011.

FERNANDES, F. Estabilização e higienização de biossólidos. In: BETTIOL, W.; CAMARGO, O.A. (Ed.). **Impacto ambiental do uso agrícola do lodo de esgoto**. Jaguariúna: EMBRAPA Meio Ambiente, 2000. p. 45-67.

FERNANDES, F.R.C.; LUZ, A.B.; CASTILHOS, Z.C. (Ed.). **Agrominerais para o Brasil.** Rio de Janeiro: CETEM; MCT, 2010. 380 p.

FERREIRA, C.A.; SILVA, H.D.; ANDRADE, G.C.; BELLOTE, A.F.J.; MORO, L. Deposição de material orgânico e nutrientes em plantios de *Eucalyptus grandis* em diferentes regimes de adubação. **Boletim de Pesquisa Florestal**, Colombo, n. 43, p. 75-86, 2001.

FLORA, A.P.; BRUGGER, B.P.; SANTOS, F.R. COUTO, F.P.; NEGRÃO, R.G. **Estresse nutricional em plantas.** 2010. Disponível em: <http://www.webartigos.com/articles/34518/1/ ESTRESSE-NUTRICIONAL-EM-PLANTAS/pagina1.html>. Acesso em: 25 jan. 2011.

FONSECA, S; BARROS, N.F.; NOVAIS, R.F.; COSTA, L.M.; LEAL, P.G.L.; NEVES, J.C.L. Alterações em um Latossolo sob eucalipto, mata natural e pastagem: 1 - propriedades físicas e químicas. **Revista Árvore**, Viçosa, MG, v. 17, n. 3, p. 271-288, 1993.

FOX, T.R. Sustained productivity in intensively managed forest plantations. **Forest Ecology and Management**, Amsterdam, v. 138, p. 187-202, 2000.

FRANCHINI, J.C.; MIYAZAWA, M.; PAVAN, M.A.; MALAVOLTA, E. Dinâmica de íons em solo ácido lixiviado com extratos de resíduos vegetais de adubos verdes e soluções puras de ácidos orgânicos. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 34, p. 2267-2276, 1999.

FREIRE, W.J.; CORTEZ, L.B. **Vinhaça de cana-de-açúcar.** Guaíba: Livraria e Editora Agropecuária, 2000. 203 p.

FREITAS, R.A. **Estudo da biomassa e do conteúdo de nutrientes em um povoamento de *Eucalyptus grandis* Hill ex Maiden plantado em solo sujeito à arenização no Município de Alegrete-RS**. 2000. 60 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2000.

FREITAS**,** R.A; SCHUMACHER, M.V.; CALDEIRA, M.V.W.; SPATHELF, P. Biomassa e conteúdo de nutrientes em povoamento de *Eucalyptus grandis* W. Hill ex Maiden plantado em solo sujeito a arenização, no Município de Alegrete-RS. **Biomassa & Energia**, Viçosa, MG, v. 1, n. 1, p. 93-104, 2004.

FRIEDRICH, J.W.; SCHRADER, L.E. Sulfur deprivation and nitrogen metabolism in maize seedlings. **Plant Physiology**, Baltimore, v. 61, n. 6, p. 900-903, 1978.

FURTINI NETO, A.E.; VALE, F.R.; MUNIZ, J.A.; GUEDES, G.A.A. Efeito do enxofre no crescimento de cinco espécies de eucalipto. **Revista Árvore**, Viçosa, MG, v. 12, n. 1, p. 1-11, 1988.

GAMA-RODRIGUES, A.C.; GAMA-RODRIGUES, E.F.; BARROS, N.F. Balanço de carbono e nutrientes em plantios puro e misto de espécies florestais nativas no sudoeste da Bahia. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 32, p. 1165-1179, 2008.

GAVA, J.L. Efeito da adubação potássica em plantios de *E. grandis* conduzidos em segunda rotação em solos com diferentes teores de potássio trocável. **Série Técnica IPEF**, Piracicaba, v. 11, p. 89-94, 1997.

GOMES, M.A.F.; SOUZA, M.D.; BOEIRA, R.C.; TOLEDO, L.G. **Nutrientes vegetais no meio ambiente:** ciclos bioquímicos, fertilizantes e corretivos. 2. ed. Jaguariúna: EMRAPA Meio Ambiente, 2008. 62 p. (Documentos n. 66).

GONÇALVES, J.L.M. **Propriedades físico-químicas dos solos *vs.* exigências nutricionais de espécies florestais de rápido crescimento.** IPEF: Piracicaba, 1988. 16 p. (Circular Técnica 154).

_____. Efeito do cultivo mínimo sobre a fertilidade do solo e ciclagem de nutrientes. In: SEMINÁRIO SOBRE CULTIVO MÍNIMO DO SOLO EM FLORESTAS, 1., 1995, Curitiba. **Anais...** Piracicaba: IPEF, 1995a. p. 43-60.

_____. Recomendações de adubação para *Eucalyptus*, *Pinus* e espécies típicas da Mata Atlântica. **Documentos Florestais**, Piracicaba, n. 15, p. 1-23, 1995b.

GONÇALVES, J.L.M.; MENDES, K.C.F.S.; SASAKI, C.M. Mineralização de nitrogênio em ecossistemas florestais naturais e implantados do Estado de São Paulo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 25, n. 3, p. 601-616, 2001.

GONÇALVES, J. L.M.; BARROS, N.F.; NAMBIAR, E.K.S.; NOVAIS, R.F. Soil and stand management for short-rotation plantations. In: NAMBIAR, E.K.S.; BROWN, A.G. (Ed.). **Management of soil, water, and nutrients in tropical plantation forests.** Canberra: Australian Centre for International Agricultural Research, 1997. p. 379-418. (Monograph n. 43).

GONÇALVES, J.L.M.; STAPE, J.L.; WITCHERT, M.C.P.; GAVA, J.L. Manejo de resíduos vegetais e preparo do solo. In: GONÇALVES, J.L.M.; STAPE, J.L. (Ed.). **Conservação e cultivo de solos para plantações florestais.** Piracicaba: IPEF, 2002. p. 131-204.

GONÇALVES, J.L.M.; STAPE, J.L.; BENEDETTI, V.; FESSEL, V.A.G.; GAVA, J.L. Reflexos do cultivo mínimo intensivo do solo em sua fertilidade e na nutrição das árvores. In: GONÇALVES, J.L.M.; BENEDETTI, V. (Ed.). **Nutrição e fertilização florestal.** Piracicaba: IPEF, 2000. cap. 1. p. 1-57.

GRESPAN, S.L. **Produção e eficiência nutricional de clone de eucalipto e suas relações com características do solo.** 1997. 81 p. Dissertação (Mestrado em Ciência Florestal) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG, 1997.

GROSSI, M.G.L. **Avaliação da qualidade dos produtos obtidos de usinas de compostagem brasileiras de lixo doméstico através da determinação de metais pesados e substâncias orgânicas tóxicas.** 1993. 222 p. Tese (Doutorado em Química Analítica) – Instituto de Química, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1993.

GUEDES, M.C. **Ciclagem de nutrientes após aplicação de lodo de esgoto (biossólido) sobre Latossolo cultivado com *Eucalyptus grandis*.** 2005. 154 p. Tese (Doutorado em Recursos Florestais) – Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2005.

GUEDES, M.C., POGGIANI, F. Variação dos teores de nutrientes foliares em eucalipto fertilizado com biossólido. **Scientia Forestalis**, Piracicaba, v. 63, p. 188-201, 2003.

GUETHS, M. Entulho engessado. **Revista CREAPR Online**, Curitiba, n. 59, p. 1-2, 2009. Disponível em: <http://www.crea-pr.org.br/crea3/html3_site/site_revista/ed_anteriores/59/mat11.html>. Acesso em: 12 jan. 2011.

HAAG, H.P. **Nutrição mineral de *Eucalyptus*, *Pinus*, *Araucaria* e *Gmelina* no Brasil.** Campinas: Fundação Cargill, 1983, 210 p.

HALSALL, D.M.; FORRESTER, R.I.; MOSS, T.E. Effects of nitrogen, phosphorus and calcium nutrition on growth of eucalypt seedlings and on the expression of disease associated with *Phytophthora cinnamomi* infection. **Australian Journal of Botany**, Melbourne, v. 31, n.4, p. 341-355, 1983.

HAMMOUDA, G.H.H.; W.A. ADAMS. The decomposition, humification and fate of nitrogen during the composting of some plant residues. In: DE BERTOLDI, M.; FERRANTI, M.P.; L'HERMITE, P.L.; ZUCCONI, F. (Ed.). **Compost**: quality and use. London: Elsevier Applied Science, 1987. p. 245-253.

HANSEN, E.A.; BARKER. Biomass and nutrient removal in short rotation intensively cultured plantations, In: ANNUAL MEETING OF THE NORTH AMERICAN POPLAR COUNCIL, 16., 1979, Thompsonville. **Proceedings…** Thompsonville: North American Poplar Council, 1979. p. 130-151.

HARRISON, R.B.; HENRY, C.L.; XUE, D.S. Magnesium deficiency in Douglas-fir and grand fir growing on a sandy outwash soil amended with sewage sludge. **Water, Air, and Soil Pollution**, Dordrecht, v. 75, n. 1/2, p. 37-50, 1994.

HAUG, R.T. **The practical handbook of compost engineering.** Boca Raton: Lewis Publishers, 1993. 717 p.

HENRY, C.L.; COLE, D.W.; HARRISON, R.B. Use of municipal sludge to restore and improve site productivity in forestry: the Pack Forest Sludge Research Program. **Forest Ecology and Management**, Amsterdam, v. 66, p. 137-149, 1994.

HERNANI, C.L.; SALTON, C.L., FABRÍCIO, C.A.; REDECER, R.; ALVES JÚNIOR, M. Perdas por erosão e rendimentos de soja e de trigo em diferentes sistemas de preparo de um Latossolo roxo de Dourados-MS. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 21, p. 667-676, 1997.

HOWARTH, W.R.; ELLIOTT, L.F.; CHURCHILL, D.B. Mechanisms regulating composting of high carbon to nitrogen ratio grass straw. **Compost Science & Utilization**, Emmaus, v. 3, n. 3, p. 22-30, 1995.

JACKSON, W.A. Physiological effects of soil acidity. In: PEARSON, R.W.; ADAMS, F. (Ed.). **Soil acidity and liming**. Madison: American Society of Agronomy, 1967. p. 43-124.

JORGE, R.A.B.; ABREU, C.A.; ANDRADE, C.A.; CAMARGO, O.A. Torta de filtro e turfa na mitigação de solo contaminado com resíduo de sucata rico em boro. **Bragantia**, Campinas, v. 69, n. 2, p. 467-476, 2010.

KOLM, L.; POGGIANI, F. Ciclagem de nutrientes em povoamento de Eucalyptus grandis submetidos à prática de desbastes progressivos. **Scientia Forestalis**, Piracicaba, n. 63, p. 79-93, 2003.

LACLAU, J.P.; RANGER, J.; NZILA, J.D.; BOUILLET, J.P. Nutrient cycling in a short rotation *Eucalyptus* plantation and an adjacent savanna in Congo. In: SITE MANAGEMENT AND PRODUCTIVITY IN TROPICAL PLANTATION FORESTS: a progress report, 1999, Kerala, India. **Proceedings...** Bogor: CIFOR, 1999. p. 95-99.

LACLAU, J.P.; RANGER, J.; NILZA, J.D.; BOUILLET, J.P.; DELEPORTE, P. Nutrient cycling in a clonal stand of Eucalyptus and an adjacent savanna ecosystem in Congo. 2. Chemical composition of soil solutions. **Forest Ecology and Management**, Amsterdam, v. 180, p. 527-544, 2003.

LARA CABEZAS, W.A.R.; SOUZA, M.A. Volatilização de amônia, lixiviação de nitrogênio e produtividade de milho em resposta à aplicação de misturas de uréia com sulfato de amônia ou com gesso agrícola. **Revista Brasileira de Ciências do Solo**, Viçosa, MG, v. 32, p. 2331-2342, 2008.

LEITE, V.D.; LOPES, W.S.; SOUSA, J.T.; PRASAD, S. Tratamento anaeróbio de resíduos orgânicos com baixa concentração de sólidos. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, Rio de Janeiro, v. 9, n. 4, p. 280-284, 2004.

LEITE, F.P.; SILVA, I.R.; NOVAIS, R.F.; BARROS, N.F.; NEVES, J.C.L. Alterations of soil chemical properties by *Eucalyptus* cultivation in five regions in the Rio Doce Valley. **Revista Brasileira de Ciências do Solo**, Viçosa, MG, v. 34, p. 821-831, 2010.

LEITE, G.H.; JACOVINE, L.A.G.; SILVA, C.A.B.; PAULA, R.A.; PIRES, I.E.; SILVA, M.L. Determinação dos custos da qualidade em produção de mudas de eucalipto. **Revista Árvore**, Viçosa, MG, v. 29, n. 6, p. 955-964, 2005.

LIMA, P.C.F.; DRUMOND, M.A.; SOUZA, S.M.; LIMA, J.L.S. Inventário florestal da fazenda Canaã. In: CONGRESSO FLORESTAL BRASILEIRO, 3., 1979. Manaus. **Anais...** São Paulo: Sociedade Brasileira de Silvicultura; Sociedade Brasileira de Engenheiros Florestais, 1979. p. 398-399.

LIMA, W.P. **O reflorestamento com eucalipto e seus impactos ambientais.** São Paulo: Artpress, 1987. 114 p.

LIRA, A.C.S.; GUEDES, M. C.; SCHALCH, V. Reciclagem de lodo de esgoto em plantação de eucalipto: carbono e nitrogênio. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, Rio de Janeiro, v. 13, n. 2, p. 207-216, 2008.

LOGAN, T.J.; LINDSAY, B.J.; GOINS, L.E.; RYAN, J.A. Field assessment of sludge metal bioavailability to crops: sludge rate response. **Journal of Environmental Quality**, Madison, v. 26, p. 534-550, 1997.

LOPES, A.S. **Manual internacional de fertilidade do solo.** Piracicaba: POTAFOS, 1998. p. 79-85.

_____. **Solos sob Cerrados:** características, propriedades e manejo. Piracicaba: POTAFOS, 1984. 162 p.

LOPES, A.S.; GUILHERME, L.R.G. Fertilidade do solo e produtividade agrícola. In: NOVAIS, R.F.; ALVAREZ, V.V.H.; BARROS, N.F.; FONTES, R.L.F.; CANTARUTTI, R.B.; NEVES, J.C.L. (Ed.). **Fertilidade do solo.** Viçosa, MG: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2007. cap. 1, p. 1-64.

LOVELAND, P.; WEBB, J. Is there a critical level of organic matter in the agricultural soils of temperate regions: a review. **Soil Tillage and Research**, Melbourne, v. 70, p. 1-18, 2003.

LÚCIO, A.D.C.; ROSSATO, R.A.R.; SCHUMACHER, M.V.; FORTES, F.O.; STORCK, L.; WITSCHORECK, R. Limites de precaução e de controle em análises nutricionais de espécies florestais. **Revista Árvore**, Viçosa, MG, v. 34, n. 3, p. 529-537, 2010.

LUDOVICE, M.T.F. **Estudo do efeito poluente da vinhaça infiltrada em canal condutor de terra sobre lençol freático.** 1997. 143 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo, Universidade Estadual de Campinas, 1997.

LUZ, A.B.; BALTAR, C.A.M.; FREITAS, E.J.G.; SILVA, A.P. Gesso: mineração São Jorge. In: SAMPAIO, J.A.; LUZ, A.B.; LINS, F.F. **Usinas de beneficiamento de minérios no Brasil.** Rio de Janeiro: CETEM, 2001. p. 240-249.

MAESTRI, R. **Modelo de crescimento e produção para povoamentos clonais de *Eucalyptus grandis* considerando variáveis ambientais.** 2003. 143 p. Dissertação (Doutorado em Engenharia Florestal) – Centro de Ciências Florestais e da Madeira, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2003.

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

_____. O gesso agrícola no ambiente e na nutrição da planta - perguntas e respostas. In: SEMINÁRIO SOBRE O USO DO GESSO NA AGRICULTURA, 2., 1992, Uberaba. **Anais...** São Paulo: Nagy, 1992. p. 41-66.

MALAVOLTA, E.; VITTI, G.C.; OLIVEIRA, S.A. **Avaliação do estado nutricional das plantas, princípios e aplicações.** 2. ed. Piracicaba: POTAFOS, 1997. 319 p.

MALAVOLTA, E.; ROMERO, J.P.; LIEM, T.H.; VITTI, G.C. **Gesso agrícola: seu uso na adubação e correção do solo**. São Paulo: ULTRAFÉRTIL, 1981. 30 p.

MARQUES, V.B.; PAIVA, H.N.; GOMES, J.M.; NEVES, J.C.L.; BERNARDINO, D.C.S. Efeito de fontes e doses de nitrogênio sobre o crescimento inicial e qualidade de mudas de jacarandá-da-bahia (*Dalbergia nigra* (Vell.) Fr. All. ex Benth.). **Revista Árvore**, Viçosa, MG, v. 30, p. 725-735, 2006.

MARSCHNER, H. **Mineral nutrition of higher plants.** 2th ed. London: Academic Press, 1995. 887 p.

MATOS, A.T. **Tratamento de resíduos agroindustriais**. Viçosa, MG, 2005. Disponível em: <http://www.ufv.br/dec/simea/apresentacoes/CursoMatosFEAM2005.pdf>. Acesso em: 20 jan. 2011.

MATTHEWS, P. Sustainability in biosolids management. **Water Science and Technology**, London, v. 38, n. 2, p. 97-102, 1998.

MELO, G.M.P.; MELO, V.P.; MELO, W.J. **Metais pesados no ambiente decorrente da aplicação de lodo de esgoto na agricultura.** Grupo de Trabalho Regulamentação do uso do Lodo de Esgoto. Brasília, DF, 2004. Disponível em: <http://www.mma.gov.br>. Acesso em: 06 abr. 2009.

MELO, J.T.; RESCK, D.V.S.; GOMES, A.C. **Efeito de procedências de *Eucalyptus cloeziana* sobre os teores de nutrientes e de carbono orgânico em solo de Cerrado.** Planaltina: EMBRAPA Cerrados, 2005. 16 p. (Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento n. 155).

MELO, W.J.; MARQUES, M.O.; SILVA, F.C.; BOARETTO, A.E. Uso de resíduos sólidos urbanos na agricultura e impactos ambientais In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA

DO SOLO, 26., Rio de Janeiro. **Anais...** Rio de Janeiro: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo; EMBRAPA, 1997. 1 CD-ROM.

MELO, W.J.; MARQUES, M.O.; SANTIAGO, G.; CHELLI, R.A.; LEITE, S.A.A. Efeito de doses crescentes de; lodo de esgoto sobre frações da matéria orgânica e CTC de um Latossolo cultivado com cana-de-açúcar. **Revista Brasileira de Ciências do Solo**, Viçosa, MG, v. 18, p. 449-455, 1994.

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

MERLIM, A.O.; GUERRA, J.G.M.; JUNQUEIRA, R.M.; AQUINO, A.M. Soil macrofauna in cover crops of figs grown under organic management. **Scientia Agricola**, Piracicaba, v. 62, p. 57-61, 2005.

MEURER, E.J. Potássio. In: FERNANDES, M.S. (Ed.). **Nutrição mineral de plantas.** Viçosa, MG: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2006. cap. 11. p. 281-298.

MEYER, V.F.; REDENTE, E.F.; BARBARICK, K.A.; BROBST, R. Biosolid applications after runoff water quality following forest fire. **Journal of Soil Environmental Quality**, Madison, v. 30, n. 5, p. 1528-1532, 2001.

MIERZWA, J.C., HESPANHOL, I. **Água na indústria: uso racional e reuso.** São Paulo: Oficina de Textos, 2005. 144 p.

MISRA, R.K.; TURNBULLA, C.R.A.; CROMERA, R.N.; GIBBONSA, A.K.; LASALA, A.V. Below and above ground growth of *Eucalyptus nitens* in a young plantation. II Nitrogen and Phosphorus. **Forest Ecology and Management**, Amsterdam, v. 106, n. 2-3, p. 295-306, 1998.

MISSIO, E.L.; NICOLOSO, F.T.; JUCOSKI, G.O.; SARTORI, L. Exigências nutricionais da grápia ao fósforo e enxofre em Argissolo vermelho distrófico arênico: efeito da adubação no crescimento. **Ciência Rural**, Santa Maria, RS, v. 34, n. 4, p. 1051-1057, 2004.

MIYAZAWA, M.; BARBOSA, G.M.C.; PARRA, M.S. Lixiviação de nitrogênio no solo pela aplicação de dejeto suíno. In: SIMPÓSIO INTERNACIONAL SOBRE GERENCIAMENTO DE RESÍDUOS DE ANIMAIS, 1., 2009, Florianópolis. **Anais eletrônicos...** Florianópolis: Sociedade Brasileira dos Especialistas em Resíduos das Produções Agropecuária e Agroindustrial, 2009. Disponível em: <http://www.sbera.org.br/sigera2009/downloads/obras/004.pdf>. Acesso em: 30 nov. 2010.

MOLINA, M.V. **Nitrogênio e metais pesados em Latossolo e eucalipto cinqüenta e cinco meses após a aplicação de biossólido.** 2004. 66 p. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2004.

MOREIRA, F.M.S.; SIQUEIRA, J.O. **Microbiologia e bioquímica do solo.** Lavras: UFV, 2002. 626 p.

NÄSHOLM, T.; PERSSON, J. Plant acquisition of organic nitrogen in boreal forests. **Physiologia Plantarum**, Copenhagen, v. 111, p. 419-426, 2001.

NIMER, E. **Clima. Geografia do Brasil: região Nordeste**. Rio de Janeiro: SERIGRAF, 1977. v. 2.

NOLASCO, A.M.; GUERRINI, I.A.; BENEDETTI, V. Uso de resíduos urbanos e industriais como fonte de nutrientes e condicionadores de solos florestais. In: GONÇALVES, J. L. de M.; BENEDETTI, V. (Ed.). **Nutrição e fertilização florestal**. Piracicaba: IPEF, 2000. p. 385-414.

NOVAIS, R.F.; BARROS, N.F.; NEVES, J.C.L. Nutrição mineral do eucalipto. In: BARROS, N.F.; NOVAIS, R.F (Ed.). **Relação solo-eucalipto**. Viçosa: Folha de Viçosa, 1990. p. 25-98.

NOVAIS, R.F.; MELLO, J.W.V. Relação solo-planta. In: NOVAIS, R.F.; ALVAREZ, V.V.H.; BARROS, N.F.; FONTES, R.L.F.; CANTARUTTI, R.B.; NEVES, J.C.L. (Ed.). **Fertilidade do solo.** Viçosa, MG: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2007. cap. 4, p. 133-204.

O'CONNELL, A.M.; RANCE, S.J. Predicting nitrogen supply in plantation eucalypt forest. **Soil Biology & Biochemistry**, Oxford, v. 31, p. 1943-1951, 1999.

OLIVEIRA, F.C. **Disposição de lodo de esgoto e composto de lixo urbano num Latossolo vermelho-amarelo cultivado com cana-de-açúcar.** 2000. 247 p. Tese (Doutorado em Solo e Nutrição de Plantas) – Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2000.

OLIVEIRA, J.T.O. **Caracterização da madeira de eucalipto para a construção civil.** 1997. 2 v. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1997.

OLIVEIRA, E.L.; PAVAN, M.A. Control of soil acidity in notillage system for soybean production. **Soil & Tillage Research**, Amsterdam, v. 38, p. 47-57, 1996.

OLIVEIRA, F.C.; MARQUES, M.O.; BELLINGIERI, P.A.; PERECIN, D. Lodo de esgoto como fonte de macronutrientes para a cultura do sorgo granífero. **Scientia Agricola**, Piracicaba, v. 52, p. 360-367, 1995.

OLIVEIRA, F.C.; MATTIAZZO, M.E.; MARCIANO, C.R.; MORAES, S.O. Lixiviação de nitrato em um Latossolo amarelo distrófico tratado com lodo de esgoto e cultivado com cana-de-açúcar. **Scientia Agricola**, Piracicaba, v. 58, p. 171-180, 2001.

OLIVEIRA, F.C.; MATTIAZZO, M.E.; MARCIANO, C.R.; ROSSETTO, R. Efeito de aplicações sucessivas de lodo de esgoto em um Latossolo amarelo distrófico cultivado com cana-de-açúcar: carbono orgânico, condutividade elétrica, pH e CTC. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 26, n. 2, p. 505-520, 2002.

ORTEGA FILHO, S. **O potencial da agroindústria canavieira do Brasil.** Serrana: PHB Industrial, 2003. 9 p.

PALLARDY, S. **Physiology of woody plants**. San Diego: Academic Press, 2008. 454 p.

PAULA, T.A.; SILVEIRA, R.L.V.A.; SILVA, C.R.; PATROCÍNIO, D.D. **Influência da adubação nitrogenada e potássica no crescimento do clone 041 (*E. urophylla* x *E. grandis*) em solos com teor médio de potássio trocável.** Piracicaba: RR Agroflorestal, 2004. 14 p. (Addubare n. 12).

PEGORARO, R.F. **Fluxo difusivo de micronutrientes catiônicos em resposta a adição de compostos orgânicos ao solo.** 78 p. Dissertação (Mestrado em Solos e Nutrição de Plantas) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG, 2003.

PEREIRA, A.R.; ANGELOCCI, L.R.; SENTELHAS, P.C. **Agrometeorologia fundamentos e aplicações práticas.** Guaíba: Agropecuária, 2002. 478 p.

PEREIRA, J.R.; FERREIRA, G.B.; GONDIM, T.M.S.; SANTOS, J.W.; VALE, D.V. Adubação orgânica com torta de filtro de cana-de-açúcar no algodoeiro semiperene BRS 200 no Cariri cearense. In: CONGRESSO BRASILEIRO DO ALGODÃO, 5., 2005, Salvador. **Anais...** Campina Grande: EMBRAPA Algodão, 2005. 1 CD-ROM

PEREIRA NETTO, A.D.; SISINNO, C.L.S.; MOREIRA, J.C., ARBILLA, G. Polycyclic aromatic hydrocarbons in leachate from a municipal solid waste dump of Niterói city, RJ, Brazil. **Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology**, New York, v. 68, p. 148-15, 2002.

PEREZ, L.; BENACHOUR, M.; SANTOS, V.A. **O gesso:** produção e utilização na construção civil. Recife: Bagaço, 2001. 156 p.

PERSSON, H.; MADJII, H. Effects of acid deposition on tree roots in Swedish forest stands. **Water, Air, and Soil Pollution**, Dordrecht, v. 85, p. 1287-1292, 1995.

PHILIPPI JÚNIOR, A.; AGUIAR, A.O. Resíduos sólidos: características e gerenciamento. In: PHILIPPI JÚNIOR, A. (Org.). **Saneamento, saúde e ambiente:** fundamentos para um desenvolvimento sustentável. Barueri: Manole, 2005. cap. 8. p. 267-280.

PIERCE, B.L.; REDENTE, E.F.; BARBARICK, K.A.; BROBST, R.B.; HEGEMAN, P. Plant biomass and elemental changes in shrubland forages following biosolids application. **Journal of Environmental Quality**, New York, v. 27, n. 4, p. 789-794, 1998.

PIRES O'BRIEN, M.J. **Ecologia e modelamento de florestas tropicais.** Belém: FCAP, 1995. 400 p.

PITTA, G.V.E.; COELHO, A.M.; ALVES, V.M.C.; FRANÇA, G.E.; MAGALHÃES, J.V. **Considerações importantes sobre a aplicação de gesso agrícola.** Belo Horizonte, 2004. Disponível em: <http://www.rehagro.com.br/siterehagro/publicacao.do?cdnoticia=54>. Acesso em: 22 mar. 2009.

POGGIANI, F., COUTO, H.T.Z.; SUITER FILHO, W. Biomass and nutrient estimates in short rotation intensively cultured plantation of *E. grandis*. **IPEF,** Piracicaba, v. 23, p. 37, 1983.

POLGLASE, P.J.; MYERS, B.J. Tree plantations for recycling effluent and biosolids in Australia. In: ELDRIDGE, K.G.; CROWE, M.P.; OLD, K.M. (Ed.). **Environmental management: the role of eucalypts and other fast growing species.** Canberra: CSIRO, 1995. p. 100-109.

PRADO, R.M. Efeitos da aplicação de calcário no desenvolvimento, no estado nutricional e na produção de matéria seca de mudas de maracujazeiro. **Revista Brasileira de Fruticultura**, Jaboticabal, v. 26, n. 1, p. 145-9, 2004.

PRETTY, K.M. O potássio e a qualidade da produção agrícola. In: YAMADA, T.; IGUE, K.; MUZILLI, O.; USHERWOOD, N.R. **Potássio na agricultura brasileira.** Piracicaba: POTAFOS, 1982. p. 177-194.

PRIMAVESI, A. **Manejo ecológico do solo**: a agricultura em regiões tropicais. São Paulo: Nobel, 2002. 549 p.

PULITO, A.P. **Resposta à fertilização nitrogenada e estoque de nitrogênio biodisponível em solos usados para plantações de *Eucalyptus*.** 2009. 58 p. Dissertação (Mestrado em Recursos Florestais) – Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2009.

QUADROS, R.M.B. **Avaliação nutricional em plantios de *Eucalyptus grandis*, em diferentes solos, no Estado de São Paulo**. 1996. 158 p. Dissertação (Mestrado em Silvicultura) – Centro de Ciências Florestais e da Madeira, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 1996.

RAIJ, B. van. **Gesso agrícola na melhoria do ambiente radicular do subsolo.** São Paulo: ANDA, 1988. 88 p.

_____. **Gesso na agricultura.** Campinas: Instituto Agronômico de Campinas, 2008. 233 p.

RAIJ, B. van.; ANDRADE, J.C.; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J.A. **Análise química para avaliação da fertilidade de solos tropicais.** Campinas: Instituto Agronômico de Campinas, 2001. 285 p.

RAIJ, B. van; MASCARENHAS, H.A.A.; PEREIRA, J.C.V.N.A.; IGUE, T.; SORDI, G. Efeito de calcário e de gesso para a soja cultivada em Latossolo roxo ácido saturado com sulfato. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 18, p. 305-312, 1994.

REIS, M.G.F.; BARROS, N.F. Ciclagem de nutrientes em plantios de eucalipto. In: BARROS, N.F.; NOVAIS, R.F. (Ed.). **Relação solo-eucalipto**. Viçosa: Folha de Viçosa, 1990. p. 265-302.

RIO GRANDE DO NORTE (Estado). Instituto de Defesa do Meio Ambiente. **Perfil do seu Município**: Baía Formosa. Natal, 1999. 22 p.

ROBLES JÚNIOR, A. **Custos da qualidade:** uma estratégia para a competição global. São Paulo: Atlas, 1994. 135 p.

ROCHA, A.A. A história do lixo. In: FORTI, R. (Org.). **Resíduos sólidos e ambiente.** São Paulo: Secretaria de Estado do Meio Ambiente, 1993. p. 15-22. (Série Seminários e Debates).

ROCHA, A.T.; OLIVEIRA, A.C.; RODRIGUES, A.N.; LIRA JÚNIOR, M.A.; FREIRE, F.J. Emprego do gesso do Araripe na melhoria do ambiente radicular da cana-de-açúcar. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, Recife, v. 3, n. 4, p. 307-312, 2008.

RODRIGUES, F.L.; CAVINATTO, V.M. **Lixo: de onde vem? Para onde vai?** 2. ed. São Paulo: Moderna, 2003. 80 p.

SANKARAN, K.V.; CHACKO, K.C.; PANDALAI, R.C.; KALLARACKAL, J.; SOMEN, C.K.; SHARMA, J.K.; BALAGOPALAN, M.; BALASUNDARAN, M.; KUMARASWAMY, S.; SANKAL, S.; GILKES, R.J.; GROVE, T.S.; MENDHA, M.D. Effects of site management on *Eucalyptus* plantations in the monsoonal tropics. In: SITE MANAGEMENT AND PRODUCTIVITY IN TROPICAL PLANTATION FORESTS: a progress report, 1999, Kerala, India. **Proceedings...** Bogor: CIFOR, 1999. p. 51-60.

SÁNCHEZ, L.E. **Avaliação de impacto ambiental**: conceitos e métodos. São Paulo: Oficina de Textos, 2008. 495 p.

SANTANA, R.C.; BARROS, N.F.; COMERFORD, N.B. Aboveground biomass, nutrient content, and nutrient use efficiency of eucalypt plantations growing in different sites in Brazil. **New Zealand Journal of Forest Science**, Rotorua, v. 30, n. 1/2, p. 225-236, 2000.

SANTANA, R.C.; BARROS, N.F.; NEVES, J.C.L. Eficiência de utilização de nutrientes e sustentabilidade da produção em procedências de *Eucalyptus grandis* e *Eucalyptus saligna* em sítios florestais do Estado de São Paulo. **Revista Árvore**, Viçosa, MG, v. 26, n. 4, p. 447-457, 2002.

SANTOS, H.F.; TSUTYA, M.T. Aproveitamento e disposição final do lodo de esgoto de ETEs do Estado de São Paulo. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, Rio de Janeiro, v. 2, n. 2, p. 70-82, 1997.

SÃO PAULO (Estado). Companhia de Tecnologia e Saneamento Ambiental (CETESB). **Norma Técnica CETESB P4.230** de 28 de outubro de 1999: Aplicação de lodos do sistema de tratamento biológico em áreas agrícolas - Critérios para projetos e operação. São Paulo: CETESB, 1999. 32 p.

_____. Instituto Agronômico de Campinas (IAC). Centro de Pesquisa e Desenvolvimento de Solos e Recursos Ambientais**. Informação sobre interpretação e análise de solo.** Campinas: IAC, 2009. Disponível em: <http://www.iac.sp.gov.br/ UniPesquisa/Solo/Serviço/Interpretação.asp>. Acesso em 10 fev. 2011.

SAS INSTITUTE. **Statistical Analysis System 9.0.** Cary: 2003. 1 CD-ROM.

SCATOLINI, F.M.; FIRME, D.J.; GARCIA, C.H.; GOMES, F.P.; CAMARGO, F.R. Parcelamento da adubação potássica em *E. grandis* em áreas de reforma da Votorantim Celulose e Papel. In: CONGRESSO LATINO AMERICANO DE CIÊNCIA DO SOLO, 13., 1996, Águas de Lindóia. **Anais...** Piracicaba: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo; Sociedade Latino-Americana de Ciências do Solo, 1996. 1 CD-ROM.

SCHOENHOLTZ, S.H.; MIEGROET, H. van; BURGER, J.A. A review of chemical and physical properties as indicators of forest soil quality: challenges and opportunities. **Forest Ecology Management**, Amsterdam, v. 138, n. 1/3, p. 335-356, 2000.

SCHUMACHER, F.X.; HALL, F. S. Logarithmic expression of timber-tree volume. **Journal of Agricultural Research**, Washington, D.C., v. 47, n. 9, p. 719-734, 1933.

SCHUMACHER, M.V. Estudo da biomassa e dos nutrientes de um povoamento de *Eucalyptus globulus* (Labillardière) subespécie *bicostata*. **Revista Árvore**, Viçosa, MG, v. 22, n. 2, p. 281-286, 1998.

SCHUMACHER, M.V.; CALDEIRA, M.V.W. Estimativa da biomassa e do conteúdo de nutrientes de um povoamento de *Eucalyptus globulus* (Labillardière) subespécie *maidenii*. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 11, n. 1, p. 45-53, 2001.

SCHUMACHER, M.V.; POGGIANI, F. Produção de biomassa e remoção de nutrientes em povoamentos de *Eucalyptus camaldulensis* Dehnh, *Eucalyptus grandis* Hill ex Maiden e *Eucalyptus torelliana* f. Muell, plantados em Anhembi, SP. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 3, n. 1, p. 9-18, 1993.

SCHUMACHER, M.V.; BRUN, E.J.; HERNANDES, J.I.; KÖNIG, F.G.. Produção de serapilheira em uma floresta de *Araucaria angustifolia* (Bertol.) Kuntze no Município de Pinhal Grande-RS. **Revista Árvore**, Viçosa, MG, v. 28, p. 29-37, 2004.

SELIVANOVSKAYA, S.Y.; LATYPOVA, V.Z.; ARTAMONOVA, L.A. Use of sewage sludge compost as the restoration agent on the degraded soil of Tatarstan. **Journal of Environmental Science and Health - Part A**, London, v. 38, n. 8, p. 1549-1556, 2003.

SILVA, D.J.; DEFELIPO, B.V. Necessidade de calagem e diferentes relações Ca:Mg para a produção de mudas de eucalipto. **Revista Árvore**, Viçosa, MG, v. 17, n. 3, p. 303-313, 1993.

SILVA, I.R.; MENDONÇA, E.S. Matéria orgânica do solo. In: NOVAIS, R.F.; ALVAREZ, V.V.H.; BARROS, N.F.; FONTES, R.L.F.; CANTARUTTI, R.B.; NEVES, J.C.L. (Ed.). **Fertilidade do solo.** Viçosa, MG: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2007. cap. 6. p. 275-374.

SILVA, H.D.; POGGIANI, F.; COELHO, L. C. Biomassa, concentração e conteúdo de nutrientes em cinco espécies de *Eucalyptus* plantadas em solos de baixa fertilidade. **Silvicultura**, Curitiba, v. 6/7, p. 9-25, 1983.

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

SILVA, N.M.; RAIJ, B. van; CARVALHO, L.H.; BATAGLIA, O.C.; KONDO, J.I. Efeitos do calcário e do gesso nas características químicas do solo e na cultura do algodão. **Bragantia**, Campinas, v. 56, n. 2, p. 389-401, 1997.

SILVEIRA, R.L.V.; MALAVOLTA, E. Nutrição e adubação potássica em *Eucalyptus*. **Informações Agronômicas**, n. 91, p. 1-12, 2000a. (Encarte Técnico POTAFOS).

SILVEIRA, R.L.V.A.; ARAÚJO, E.F.; SOUZA, A.J. **Avaliação do estado nutricional de povoamentos de *Eucalyptus* pelo método do nível crítico e DRIS.** Teixeira de Freitas: Bahia Sul Celulose, 2001a. 82 p. (Relatório de Pesquisa).

SILVEIRA, R.L.V.A.; ARAÚJO, E.F.; SOUZA, A.J. **Efeito da aplicação de nitrogênio sobre a produtividade do *Eucalyptus* em Espodossolo nas condições de 1ª rotação.** Teixeira de Freitas: Bahia Sul Celulose, 2001b. 9 p. (Relatório de Pesquisa).

SILVEIRA, R.L.V.A.; SILVEIRA, R.I.; HIGASHI, E.N. **Monitoramento nutricional nos povoamentos de *Eucalyptus* na região de Bofete e Itatinga pelos métodos do nível crítico e DRIS.** Salto: Eucatex, 2002. 30 p. (Relatório de Pesquisa).

SILVEIRA, R.L.V.A.; CAMARGO, M.A.F.; LUCCA, E.F.; LUZ, H.F. Absorção e exportação de macronutrientes pelas brotações de *Eucalyptus grandis* e *Eucalyptus saligna* em jardim clonal. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 25., 1995, Viçosa. **Anais**... Viçosa, MG: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo; UFV, 1995. p. 845-847.

SILVEIRA, R.L.V.A.; HIGASHI, E.N.; GONÇALVES, A.N.; MOREIRA, A. Avaliação do estado nutricional do *Eucalyptus*: diagnose visual, foliar e suas interpretações. In: GONÇALVES, J.L.M.; BENEDETTI, V. (Ed.). **Nutrição e fertilização florestal.** IPEF: Piracicaba, 2000. p. 79-104.

SILVEIRA, R.L.V.A.; HIGASHI, E.N.; SGARBI, F.; MUNIZ, M.R.A. **Seja o doutor do seu eucalipto.** Piracicaba: POTAFOS, 2001. 23 p. (Informações Agronômicas, 93)

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

SIMON-SYLVESTRE, G. Les composés du soufree du sol et leur evolution - rapports avec la microflore, utilisation par les plantes. **Annales Agronomiques**, Paris, v. 3, p. 311-332, 1960.

SISINNO, C.L.S. Disposição em aterros controlados de resíduos sólidos industriais não-inertes: avaliação dos componentes tóxicos e implicações para o ambiente e para a saúde humana. **Caderno de Saúde Pública**, Rio de Janeiro, v. 19, n. 2, p. 369-374, 2003.

SMITH, W.H.; EVANS, J.O. Special opportunities and problems in using forest soils for organic waste application. In: ELLIOTT, L.F.; STEVENSON, F.J. (Ed.). **Soil for management of organic wastes and waste waters**. Madison: Soil Science Society of America, 1977. p. 429-454.

SOARES, M.F.S. **Taxa de mineralização e de lixiviação de nitrogênio, e alterações da fertilidade de um Latossolo vermelho-amarelo degradado e outro não-degradado fertilizados com biossólido e florestados com *Eucalyptus grandis*.** 2003. 142 p. Tese (Doutorado em Agronomia) – Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2003.

SOARES, M.T S.; GONÇALVES, J.L.M.; MELFI, A.J.; ALVAREZ, L.; TEIXEIRA, C.M.; FEIGHL, B. Uso de biossólido em povoamentos de eucalipto em solos degradados e não

degradados: transferência de nitrogênio. In: SIMPÓSIO NACIONAL SOBRE RECUPERAÇÃO DE ÁREAS DEGRADADAS, 5,. 2002, Belo Horizonte. **Anais...** Belo Horizonte: SOBRADE, 2002. p. 221-223.

SOCIEDADE BRASILEIRA DE FLORESTAS PLANTADAS. **Fatos e números do Brasil florestal.** São Paulo, 2008. Disponível em: <http://www.sbs.org.br/FatoseNumerosdoBrasil Florestal.pdf>. Acesso em 19 nov. 2010.

SORATTO, R.P.; CRUSCIOL, C.A.C. Cátions hidrossolúveis na parte aérea de culturas anuais mediante aplicação de calcário e gesso em superfície. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 31, p. 81-90, 2007.

SOUZA, D.M.G.S.; MIRANDA, L.N.; OLIVEIRA, S.A.V. A acidez do solo e sua correção. In: NOVAIS, R.F.; ALVAREZ, V.V.H.; BARROS, N.F.; FONTES, R.L.F.; CANTARUTTI, R.B.; NEVES, J.C.L. (Ed.). **Fertilidade do solo.** Viçosa, MG: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2007. cap. 5, p. 205-274.

SOUZA, F.A.; AQUINO, A.M.; RICCI, M.S.F.; FEIDEN, A. Compostagem. **Agrobiologia**, Seropédica, n. 50, p. 1-10, 2001. (Comunicado Técnico EMBRAPA Agrobiologia).

SPADOTTO, C.; RIBEIRO, W. **Gestão de resíduos na agricultura e agroindústria.** Botucatu: Fepaf, 2006. 319 p.

STAPE, J.L. **Production ecology of clonal *Eucalyptus* plantation in Northeastern Brazil.** 2002. 225 p. Tese (Pós Doutorado em Ciência Florestal) – Colorado University, Fort Collins, 2002.

STAPE, J.L.; ZANI FILHO, J. Aumento da produtividade do *E. grandis* em areias quartzosas através da fertilização de manutenção. **Silvicultura**, São Paulo, v. 42, n. 3, p.386-390, 1990.

STAPE, J.L.; BINKLEY, D.; RYAN, M.G. *Eucalyptus* production and the supply, use and efficiency of use of water, light and nitrogen across a geographic gradient in Brazil. **Forest Ecology and Management,** Amsterdam, v. 193, p. 17-31, 2004.

STEVENSON, F.J. **Cycles of soil, carbon, nitrogen, phosphorus, sulfur, micronutrients.** New York: John Wiley and Sons, 1986. 380 p.

STIPP, S.R.; CASARIN, V. A importância do enxofre na agricultura brasileira. **Informações Agronômicas**, Piracicaba, n. 129, p. 14-20, 2010.

SUI, Y.; THOMPSON, M.L. Phosphorus sorption, desorption, and buffering capacity in a biosolids-amended mollisol. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v. 64, p. 164-169, 2000.

SZMRECSÁNYI, T. Tecnologia e degradação ambiental: o caso da agroindústria canavieira no Estado de São Paulo. **Revista Informações Econômicas**, São Paulo, v. 24, n. 10, 1994.

SWITZER, G.L.; NELSON, L.E. Nutrient accumulation and cycling in loblolly pine (*Pinus taeda*) plantation ecosystems: the first 20 years. **Soil Science Society of America Proceedings**, Madison, v. 36, p. 143-147, 1972.

TAIZ, L.; ZEIGER, E. **Fisiologia vegetal**. 3. ed. Porto Alegre: Artmed, 2006. 719 p.

TEDESCO, M.J.; SELBACH, P.A.; GIANELLO, C.; CAMARGO, F.A.O. Resíduos orgânicos no solo e os impactos no ambiente. In: SANTOS, G.A.; CAMARGO, F.A.O. (Ed). **Fundamentos da matéria orgânica no solo:** ecossistemas tropicais e subtropicais. Porto Alegre: Gênese, 1999. p. 159-196.

TSUTIYA, M.T. Alternativas de disposição final de biossólidos gerados em estações de tratamento de esgotos. In: BETTIOL, W.; CAMARGO, O.A. (Ed.). **Impacto ambiental do uso do lodo de esgoto.** São Paulo: EMBRAPA, 2000. p. 69-105.

_____. Tecnologias emergentes para a disposição final de biossólidos das estações de tratamento de esgotos. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL, 20., 1999, Rio de Janeiro. **Anais...** Rio de Janeiro: ABES, 1999. p. 762-770.

UDOP. **Subprodutos da cana se tornaram fonte de receita.** Araçatuba, 2004. Disponível em: <http://www. udop.com.br/index.php?item=busca_biblio>. Acesso em: 15 nov. 2010.

UNEP. **The state of the environment:** past, present, and future. Washington, D.C., 2000. Disponível em: <http://www.unep.org/GEO/press.htm>. Acesso em: 19 nov. 2010.

UNICA. **Produção Brasil.** São Paulo, 2009. Disponível em: <http://www.unica.com.br/dados Cotacao/estatistica/>. Acesso em: 15 nov. 2010.

VALERI, S.V.; AGUIAR, I.B.; CORRADINI, L. Composição química foliar e crescimento volumétrico de *Eucalyptus grandis* Hill ex Maiden cultivado em Areia quartzosa, em resposta à aplicação de fósforo e calcário dolomítico. **IPEF**, Piracicaba, n. 46, p. 63-75, 1993.

VALERI, S.V.; ISMAEL, J.J., TORRES, R.M.; CORRADINI, L. Efeito do potássio no crescimento e idade de corte de povoamentos de *Eucalyptus grandis*, em Areia quartzosa e Latossolo vermelho-escuro. In: CONGRESSO LATINO AMERICANO DE CIÊNCIA DO SOLO, 13., 1996, Águas de Lindóia. **Anais...** Piracicaba: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo; Sociedade Latino-Americana de Ciências do Solo, 1996. 1 CD-ROM.

VALLE, C.E. **Qualidade ambiental:** ISO 14000. 5. ed. São Paulo: SENAC, 2004. 193 p.

VAZ, L.M.S.; GONÇALVES, J.L.M. Uso de biossólidos em povoamento de eucalipto: efeito em atributos químicos do solo, no crescimento e na absorção de nutrientes. **Revista Brasileira de Ciências do Solo**, Viçosa, MG, v. 26, n. 3, p. 747-758, 2002.

VEGA, F.V.A.; BOVI, M.L.A.; BERTON, R.S.; GODOY JÚNIOR, G. Movimento vertical e horizontal de NO_3^- e NH_4^+, em solo tratado com lodo de esgoto, aplicado no plantio de pupunheira. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 29., Ribeirão Preto, 2003. **Anais...** Ribeirão Preto: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2003. 1 CD-ROM.

VELHO, J.; GOMES, C.; ROMARIZ, C. **Minerais industriais.** Aveiro: Universidade de Aveiro, 1998. 591 p.

VEZZANI, F.M.; TEDESCO, M.J.; BARROS, N.F. Alterações dos nutrientes no solo e nas plantas em consórcio de eucalipto com acácia negra. **Revista Brasileira de Ciências do Solo**, Viçosa, MG, v. 25, p. 225-231, 2001.

VIEIRA, J.A.G.; TEIXEIRA, M.B.; LOSS, A.; LIMA, E.; ZONTA, E. Produção de serapilheira e retorno de nutrientes ao solo pela espécie *Eucalyptus urograndis*. **Revista Brasileira de Agroecologia**, Cruz Alta, v. 4, n. 2, p. 40-43, 2009.

VIEIRA, R.G.P.; RODRIGUES FILHO, G.; ASSUNÇÃO, R.M.N.; MEIRELES, C.S.; VIEIRA, J.G.; OLIVEIRA, G.S. Synthesis and characterization of methylcellulose from sugar cane bagasse cellulose. **Carbohydrate Polymers**, Boston, n. 67, p. 182-189, 2007.

VITAL, A.R.T.; LIMA, W.P.; CAMARGO, F.R.A. Efeito do corte raso de uma plantação de *Eucalyptus* sobre o balanço hídrico, a qualidade da água e as perdas de solo e de nutrientes em uma microbacia no Vale do Paraíba, SP. **Scientia Forestalis**, Piracicaba, v. 55, p. 5-16, 1999.

VITOUSEK, P.M. Litterfall, nutrient cycling and nutrient limitation in tropical forest. **Ecology**, Brooklyn, v. 65, p. 285-298, 1984.

VITTI, G.C.; FERREIRA, M.E.; MALAVOLTA, E. O gesso agrícola como fonte de cálcio e enxofre - respostas de culturas anuais e perenes. In: SEMINÁRIO SOBRE O USO DO FOSFOGESSO NA AGRICULTURA, Brasília, 1985. **Anais...** Brasília: EMBRAPA, 1985. p.17-43.

VITTI, G.C.; LIMA, E.; CICARONE, F. Cálcio, magnésio e enxofre. In: FERNANDES, M.S. (Ed.). **Nutrição mineral de plantas.** Viçosa, MG: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2006. cap. 12. p. 299-325.

VITTI, D.M.S.S.; DEL MASTRO,N.L.; KIKUCHI, O.K.; NOGUEIRA, N.L. Irradiação de resíduos fibrosos com feixes de elétrons: efeitos na composição química e digestibilidade. **Scientia Agricola**, Piracicaba, v. 55, n. 2, p. 159-171, 1998.

WADT, P.G.S.; NOVAIS, R.F.; ALVAREZ, V.V.H.; FONSECA, S.; BARROS, N.F. Valores de referência para macronutrientes em eucalipto obtidos pelos métodos DRIS e chance matemática. **Revista Brasileira de Ciências do Solo**, Viçosa, MG, v. 22, p. 685-692, 1998.

WIEBE, H.J. Einfluss von stroh und torf auf ertragsbestimmende faktoren des bodens. **Gartenbauwiss**, Stuttgart, n. 31, p. 125-162, 1966.

ZAIA, F.C.; GAMA-RODRIGUES, A.C. Ciclagem e balanço de nutrientes em povoamentos de eucalipto na região norte fluminense. **Revista Brasileira de Ciências do Solo**, Viçosa, MG, v. 28, p. 843-852, 2004.

ZABOWSKI, D.; HENRY, C.L. Soil and foliar nitrogen after fertilizer treatment of *Pinus ponderosa*. **New Zealand Journal of Forestry Science**, Rotorua, v. 24, n. 23, p. 333-343, 1994.

ZIMMER, G.F. **The biological farmer**: a complete guide to the sustainable and profitable biological system of farming. Austin, Texas: Acres, 2000. 352 p.

ZOBEL, B.J.; JETT, J.B. **Genetics of wood production.** Berlin Heidelberg: Springer-Verlag, 1995. 337 p.