



CENTRO UNIVERSITÁRIO LUTERANO DE PALMAS

Recredenciado pela Portaria Ministerial nº 3.607, de 17/10/05, D.O.U. nº 202, de 20/10/2005
ASSOCIAÇÃO EDUCACIONAL LUTERANA DO BRASIL

GUILHERME RAMOS BUENO

**UTILIZAÇÃO DO LODO GERADO NA ETE COMO FONTE
SECUNDÁRIA DE NUTRIENTES NA PASTAGEM DE
*BRACHIARIA BRIZANTHA***

Palmas – TO

2016

GUILHERME RAMOS BUENO

**UTILIZAÇÃO DO LODO GERADO NA ETE COMO FONTE
SECUNDÁRIA DE NUTRIENTES NA PASTAGEM DE
*BRACHIARIA BRIZANTHA***

Projeto apresentado como requisito parcial da disciplina Trabalho de Conclusão de Curso I (TCC I) do curso de Engenharia Civil, orientado pelo Professor M.Sc. José Geraldo Delvaux Silva.

Palmas - TO

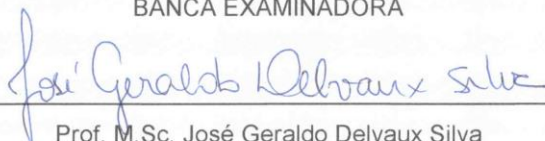
2016

GUILHERME RAMOS BUENO

**UTILIZAÇÃO DO LODO GERADO NA ETE COMO FONTE
SECUNDÁRIA DE NUTRIENTES NA PASTAGEM DE
*BRACHIARIA BRIZANTHA***

Projeto apresentado como requisito parcial da disciplina de Trabalho de Conclusão (TCC II) de Curso Engenharia Civil, orientado pelo Professor M.Sc. José Geraldo Delvaux Silva.


BANCA EXAMINADORA



Prof. M.Sc. José Geraldo Delvaux Silva
Centro Universitário Luterano de Palmas



Prof. M.Sc. Joaquim José de Carvalho
Centro Universitário Luterano de Palmas



Prof. M.Sc. Walkíria Régis de Medeiros
Centro Universitário Luterano de Palmas

Palmas – TO

2016

AGRADECIMENTOS

Faço sinceros agradecimentos a todas as pessoas que estiveram de alguma forma ligada a essa trajetória e que não me lembrarei para fazer os justos agradecimentos pessoais.

Agradeço meu amigo Artur Seixas, que caminhou junto comigo por quase toda essa trajetória e a sua empresa Ortomaq, que serviu de sede para várias maratonas de estudo.

Agradeço minha querida e amada namorada Luara de Jesus, portadora da compreensão, esteve comigo e ajudou por diversas vezes nesta reta final, sem contar a ajuda com formatação e algumas correções. Um beijo pra ela, pois eu à amo!

Agradeço todo apoio da minha família. Ao meu pai um forte abraço!

Um agradecimento especial ao meu querido amigo e orientador deste projeto, José Geraldo Delvaux, bem como os demais professores que também fizeram parte da correção e da banca, Joaquim José de Carvalho e Walkiria Régis de Medeiros.

Um salve pra galera da Real Pizzaria, altas histórias. Tmj

...pela atenção, muito obrigado!

Rise up this mornin
Smiled with the risin' sun
Three little birds
Pitch by my doorstep
Singin' sweet songs
Of melodies pure and true
Singin, "This is my message to you-ou-ou:"

Singin': "Don't worry 'bout a thing
Cause every little thing is gonna be alright?"

Bob Marley – Three Little Birds

RESUMO

BUENO, Guilherme Ramos, **UTILIZAÇÃO DO LODO GERADO NA ETE COMO FONTE SECUNDÁRIA DE NUTRIENTES NA PASTAGEM DE *BRACHIARIA BRIZANTH***. Trabalho de conclusão de curso. 2016/1. Curso de Engenharia Civil. Centro Universitário Luterano de Palmas. Palmas-TO. Professor Orientador Mestre José Geraldo Delvaux.

Desde o momento em que é gerado a partir do tratamento do efluente nas estações de tratamento de esgoto, o lodo é visto como problema e sua disposição final ainda é um grande desafio, pois o mesmo possui concentrações de metal pesado em sua composição, o que pode vir a gerar graves problemas ambientais, sanitários e econômicos. É importantíssimo que alternativas sejam desenvolvidas, no intuito de solucionar o problema e trazer o reaproveitamento de recursos naturais, satisfazendo a necessidade humana na diminuição do impacto ambiental causado. Sendo assim, o presente trabalho além de avaliar a possibilidade de utilização deste bio sólido em pastagem, também constatou rentabilidade, gerada a partir da substituição parcial de fertilizantes químicos pelo lodo proveniente da estação de tratamento de esgoto da cidade de Palmas TO.

PALAVRAS-CHAVE: Lodo de esgoto, reaproveitamento e rentabilidade.

ABSTRACT

BUENO, Guilherme Ramos **THE USE OF SEWAGE SLUDGE GENERATED IN THE ETE AS SECONDARY SOURCE OF NUTRIENTS IN THE PASTURE OF BRACHIARIA BRIZANTH.** Course Completion Work. 2016/1. Civil Engineering course. Lutheran University Center of Palmas. Palmas. Guiding Professor Master José Geraldo Delvaux.

From the moment that the sludge is generated from the treatment of the effluent in the treatment stations, it is seen as a problem and its final disposal is still a great challenge, because the same has concentrations of heavy metal in their composition, which may generate serious health, economic, environmental problems. It is extremely important that alternatives are developed in order to solve the problem and bring the reutilization of natural resources, satisfying the human need to decrease the environmental impact caused. Therefore, the present work in addition to evaluate the possibility of using this biossólido in pasture, also found profitability, generated from partial replacement of chemical fertilisers by the sludge from sewage treatment station of the city of Palmas TO.

KEYWORDS: Sewage sludge, reuse, and profitability.

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1. PRODUÇÃO DE ENERGIA ATRAVÉS DA QUEIMA DO BIOSSÓLIDO.....	17
--	----

LISTA DE QUADROS

QUADRO 1. PRINCIPAIS TIPOS DE RESÍDUOS REMOVIDOS EM ESTAÇÕES DE TRATAMENTO DE ESGOTOS SANITÁRIOS E SUAS CARACTERÍSTICAS.....	15
QUADRO 2. CRONOGRAMA DO PROJETO DE PESQUISA.	ERRO! INDICADOR NÃO DEFINIDO.

LISTA DE TABELAS

TABELA 1. QUANTIDADE DE LODO PRODUZIDO NOS SISTEMAS DE TRATAMENTO DE ESGOTO.	21
TABELA 2. CONCENTRAÇÕES LIMITES DE METAL NO LODO.....	27
TABELA 3. TAXA DE APLICAÇÃO ANUAL MÁXIMA DE METAIS EM SOLOS AGRÍCOLAS TRATADOS COM LODO.....	28
TABELA 4. CARGAS CUMULATIVAS MÁXIMAS PERMISSÍVEIS DE METAIS PELA APLICAÇÃO DE LODO EM SOLOS AGRÍCOLAS.	29
TABELA 5. CONCENTRAÇÃO DOS PRINCIPAIS NUTRIENTES GERADO PELA ETE - NORTE.....	30
TABELA 6. CONCENTRAÇÃO DOS METAIS PESADOS GERADOS PELA ETE-VILA UNIÃO.....	32
TABELA 7. PREÇO DOS NUTRIENTES MINERAIS VENDIDOS NA CIDADE DE PALMAS - TO.	34

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	8
1.1 Objetivos	9
1.1.1 Objetivo geral	9
1.1.2 Objetivos específicos	9
1.2 Justificativa	9
1.3 Problema	10
2. REFERENCIAL TEÓRICO.....	11
2.1 Origem da água residuária	11
2.2 Tratamento de esgoto	12
2.2.1 Resíduos gerados no tratamento de esgoto	13
2.3 Biomassa	15
2.4 Compostagem	17
2.4.1 Fatores que interferem na compostagem.....	17
2.5 Função dos fertilizantes orgânicos	18
2.6 Uso agrícola	19
2.7 Lodo de esgoto	20
2.7.1 Quantidade de lodo gerado no processo de tratamento do esgoto	20
2.7.2 Tratamento de lodo da ETE	21
2.7.3 Ciclagem de nutrientes / Composição média.....	23
2.8 Resíduos sólidos – metais	24
3. METODOLOGIA	26
3.1 Coleta e preparo das amostras	26
3.1.1 Coleta.....	26
3.1.2 Preparo.....	26
3.2 Análise de metal presente na amostra	26
3.3 Determinação de nutrientes da amostra (N, P, K)	26
3.4 Quantidade de lodo a ser incorporado ao solo	27
3.4.1 Composição máxima do lodo.....	27
3.4.2 Taxa de aplicação em função dos nutrientes disponíveis.....	27
3.4.3 Taxa de aplicação do lodo em relação aos metais pesados	28
3.4.4 Relevância de outros nutrientes	28
3.4.5 Limite para o acúmulo de metal no solo	28

4.	RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	30
4.1	Taxa de aplicação do lodo da ETE-Vila União em um latossolo vermelho com base nos macronutrientes (N, P e K).....	30
4.1.1	Metais pesados	31
4.1.2	Valor econômico gerado.....	33
4.2	Rentabilidade do lodo de esgoto como fertilizante.....	35
5.	CONSIDERAÇÕES FINAIS	38
	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	39

1. INTRODUÇÃO

Em seu processo de tratamento as redes de esgoto acabam por gerar o que chamamos de biossólido ou lodo de esgoto. Estudos comprovam que este tipo de resíduo sólido formado a partir de efluentes ricos em matéria orgânica possui em sua composição sais e nutrientes.

Este tipo de resíduo depende de uma disposição final aceitável em termos de saúde pública ambiental, o que tem levado pesquisadores a buscar alternativas que transformem o problema em solução.

Segundo Bettiol & Camargo (2000) a maior parte dos projetos de tratamento de esgoto não prevê destino final para o lodo produzido, tornando-se a etapa considerada problemática dentro do processo operacional das ETE's.

Descartar o lodo gerado na estação de tratamento em algum aterro sanitário tem sido caracterizado como a alternativa de gerenciamento mais comum empregada para solucionar as limitações descritas acima.

No entanto, por ser composto basicamente de matéria orgânica e também possuir boa concentração de nutrientes, o lodo pode ser facilmente assimilado por diversos tipos de cultura agrícola. Essa ótima característica para reuso agrícola pode ser evidenciada a partir de instruções normativas específicas do Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA), tais como as resoluções n. 375, de 29 de agosto de 2006, e n. 380, de 31 de outubro de 2006 (Brasil, 2006a; Brasil, 2006b), que delimitam os critérios de reuso agrícola para o lodo gerado na ETE e o consideram "fonte de matéria orgânica e de nutrientes para as plantas cuja aplicação no solo pode trazer benefícios à agricultura".

A reciclagem agrícola tem se mostrado a alternativa mais promissora em meio às alternativas mais adequadas já estudadas, tanto no aspecto ambiental quanto no econômico, pois tem transformado rejeito num ótimo insumo para a agricultura.

Métodos como a utilização de resíduos sólidos em solos podem ser usados de forma ampla e ainda se mostrar economicamente vantajosos (Andreoli, 2001).

O nível tecnológico de compostagem de resíduos humanos que possuímos hoje pode resultar na produção de adubo de excelente qualidade, dependendo da composição do material e do manejo aplicado (Legan, 2007).

Segundo Rockström (2009, citado por TEIXEIRA, 2012, p. 29) a aplicação excessiva de fertilizantes minerais na agricultura, além de serem poluidores em

potencial para as águas, também podem perturbar o ciclo biogeoquímico do sistema terrestre. O impacto da utilização de fontes adicionais de nutrientes e sua utilização mais eficiente comprovam a adoção de limites para o fluxo desses elementos, priorizando as práticas recicladoras.

Mediante o empasse citado, este trabalho estará realizando um experimento que visa dosar a utilização do lodo de esgoto proveniente da ETE de Palmas TO, como complemento nutricional na pastagem de uma cultura agrícola sem ultrapassar a concentração máxima de metais pesados permitidos pelo solo.

1.1 Objetivos

1.1.1 Objetivo geral

Analisar a possibilidade da substituição parcial de fertilizantes químicos, pelo lodo de estação de tratamento de esgoto de Palmas.

1.1.2 Objetivos específicos

- Caracterizar o lodo da estação de tratamento de esgoto de Palmas-TO nos parâmetros químicos, físicos e biológicos.
- Calcular a quantidade de lodo que poderá ser aplicada em substituição a adubação química.
- Estudar a viabilidade econômica da aplicação do lodo.

1.2 Justificativa

Vivemos hoje, numa sociedade onde as questões ambientais tomaram frente aos assuntos mais discutidos por todo o mundo. Com o grande crescimento da população mundial e o aumento no consumo *per capita*, e conseqüentemente maior geração de resíduos sólidos, faz-se necessário estudar uma maneira de devolvê-lo ao meio ambiente de forma qualitativa.

O lodo de esgoto é gerado a partir do processo de tratamento de água residual e vem crescendo na medida em que o saneamento básico se torna realidade na malha da sociedade da qual pertencemos.

O lodo para ser utilizado na agricultura, é necessário que o mesmo apresente características adequadas, podendo vir a ser utilizado no condicionamento do solo, disponibilizando nutrientes para o plantio e transformando um grande problema numa ótima solução (BETTIOL & CAMARGO, 2000).

Composto por nitrogênio, fósforo e potássio o lodo de esgoto pode ser utilizado como complemento e solução econômica para plantio de culturas, bastando substituir parte do fertilizante mineral pelo composto orgânico.

O processo de compostagem é uma saída adequada para o problema do lodo, sendo uma opção viável, apresentando vários benefícios tanto para o ponto ambiental como em fins econômicos. A partir do mesmo é possível obter um produto final denominado composto orgânico com alta qualidade, podendo vir a ser usado na agricultura respeitando as normas sanitárias e ambientais (ANDREOLLI *et al.*, 1994).

1.3 Problema

Qual a taxa de aplicação de lodo da estação de tratamento de esgoto - ETE Palmas numa implantação de pastagem de *Brachiaria brizantha cv Marandu*?

O lodo traz problemas diretos na eficiência das redes de tratamento de esgoto e seu descarte não pode ser feito de qualquer maneira, visto que a sua composição também apresenta resíduos prejudiciais ao meio ambiente, logo não pode ser lançado em redes hídricas nem mesmo no solo.

Acontece que todo método biológico utilizado para o tratamento do esgoto vem posteriormente gerar o lodo, e, com isso pesquisas buscam uma reutilização desse lodo de maneira agressiva. Para que se possa incluir este subproduto a algum modelo de disposição, primeiro deve-se coletar uma porção e então fazer todo o condicionamento do mesmo para obter listagem e quantidade de toda composição presente na amostra, para só então, determinar se este lodo possui características aproveitáveis a certo tipo de disposição.

A escolha da disposição final do lodo deve ser criteriosa na dosagem e analista no âmbito de buscar resultados da viabilidade econômica e ambiental.

2. REFERENCIAL TEÓRICO

Já faz algum tempo desde que a reutilização do lodo gerado na rede de esgoto (ETE), vem sendo alvo de várias pesquisas no mundo todo. O Brasil não ficando para trás veio nos trazer na última década vários títulos abordando esse tipo de pesquisa. Como por exemplo, a busca de solução para a disposição final do lodo de esgoto.

2.1 Origem da água residuária

A água é um recurso natural de suma importância para a sobrevivência humana, animal e vegetal na terra. Grande parte das atividades desenvolvidas seja no setor industrial, econômico, doméstico ou agroindustrial, não seriam possíveis de realização sem o uso desse recurso. Além de ser vital para a sobrevivência da vida no planeta, pode ser utilizada para transporte de pessoas e mercadorias, geração de energia, processos industriais em diversos setores, recreação, paisagismo, entre muitos outros (VECCHIA, 2012).

Os meios hídricos naturais são freqüentemente utilizados como meios receptores e agentes de transporte de efluentes domésticos e industriais, bem como de escorrências de terrenos agrícolas.

A água depois de utilizada transforma-se numa água poluída, tecnicamente denominada Água Residual. As Águas Residuárias domésticas, que todos produzimos em nossas casas, contêm uma elevada carga orgânica, bem como grandes quantidades de bactérias e vírus, os quais constituem uma ameaça para a saúde pública.

Em função da sua origem, há cinco tipos de águas residuais: as domésticas, industriais, infiltração, escorrência urbana e turística. Explica-se:

- Águas residuais por escorrência urbana - de proveniência doméstica ou a mistura de águas residuais domésticas com águas residuais industriais e ou águas de escoamento pluvial.
- Águas residuais domésticas - são todas aquelas geradas de serviços ou instalações residenciais e essencialmente provenientes do metabolismo humano e de atividades domésticas.

- As industriais - são aquelas provenientes de instalações utilizadas para todo tipo de comércio ou indústria.
- Águas residuais de infiltração são aquelas geradas por infiltração no solo.
- Águas residuais turísticas com características sazonais apresentam menor ou maior carga poluente conforme provenientes de redes hoteleiras mais isoladas ou de complexos turísticos importantes.

2.2 Tratamento de esgoto

A raça humana é em potencial geradora de diversos tipos de resíduos como esgoto, lixo doméstico, industrial e outros. A degradação da vitalidade ambiental das nossas cidades, campos e da rede hídrica é definida como poluição, que é decorrente da falta de disposição específica para cada tipo de resíduo descartado. Essa problemática traz como consequência problemas de saúde, plantações e também nos lençóis freáticos que mais tarde virão a abastecer nossas casas.

Pode se concluir que a maior parte da poluição levada para as malhas urbanas é proveniente da água anteriormente poluída, tendo em vista que a mesma é utilizada em quase todas as atividades domésticas como cozinhar, lavar roupa, tomar banho entre outros, essa água residual contém impurezas. Constituída de resto de alimentos, detergentes, óleo, urina, fezes, papel higiênico e outras substâncias. É nesse processo que a água se transforma em esgoto.

No âmbito de transformar em reutilizáveis esses resíduos para que possam ser inseridos novamente no meio ambiente de maneira não agressiva e degradante os esgotos passam por um processo de tratamento. Para isso, é feita a captação e destinação desse esgoto para estações de tratamento, onde ocorre um processo de desinfecção ao qual posteriormente permite e dá condições de retornarem aos corpos hídricos receptores em características aceitáveis de pureza e que não agredirá o meio ambiente de maneira que degrada.

Devido à grande quantidade de microorganismos, metais pesados, matéria orgânica, entre outros, mesmo que os mananciais tenham uma autodepuração é necessário que se faça a implantação desse tipo de tratamento.

Não fazer a coleta do esgoto, não tratá-lo e a alta demanda disposta em um corpo hídrico receptor causa problemas graves nas esferas econômicas e

ambientais. Alguns destes problemas são citados por Pessoa e Jordão (1982, p.10). Sendo eles:

- Matérias orgânicas solúveis: causam depleção do oxigênio contido nos rios e estuários. O despejo deve estar na proporção da capacidade de assimilação do curso d'água em relação a um efluente normal.
- Matérias orgânicas solúveis produzindo gostos e odores as fontes de abastecimentos de água. Como por exemplo, os fenóis.
- Matérias tóxicas e íons de metais pesados. Ex.: cianetos, Cu, Zn, Hg, etc., geralmente o despejo desses materiais é sujeito a uma regulamentação estadual e federal; apresentam problemas de toxidez e de transferência através da cadeia alimentar.
- Cor e turbidez, indesejáveis do ponto de vista estético. Exigem trabalhos maiores as estações de tratamento d'água.
- Elementos nutritivos (nitrogênio e fósforo) aumentam a eutrofização dos lagos e dos pântanos. Inaceitáveis nas áreas de lazer e recreação.
- Materiais refratários. Ex.: plásticos ABS. Formam espumas nos rios; não são removidos nos tratamentos convencionais.
- Óleo e matérias flutuantes: os regulamentos exigem geralmente sua completa eliminação - indesejáveis esteticamente -, interferem com a decomposição biológica.
- Ácidos e álcalis: neutralização exigida pela maioria dos regulamentos; interferem com a decomposição biológica e com a vida aquática.
- Substâncias que produzem odores na atmosfera: principalmente com a produção de sulfetos e gás sulfídrico.
- Matérias em suspensão: formam bancos de lama nos rios e nas canalizações de esgotos.
- Temperatura: poluição térmica conduzindo ao esgotamento do oxigênio dissolvido (abaixamento do valor da saturação).

2.2.1 Resíduos gerados no tratamento de esgoto

Ao tratar o esgoto a geração de resíduos é imensa, ocorre também uma grande variação de características dependendo do tipo de tratamento adotado.

Fernandes e Silva (1999, p. 24) citam na (tabela 1) os principais tipos de resíduos removidos nas estações de tratamento de esgotos sanitários e suas características.

A palavra “lodo” vem sendo utilizada para mencionar os subprodutos sólidos do tratamento de esgoto. Nos processos biológicos de tratamento, uma parte da matéria orgânica é absorvida e convertida, fazendo parte da biomassa microbiana, denominada genericamente de lodo biológico ou secundário, composto principalmente de sólidos biológicos. A adjacência bio-sólida é usada somente quando o lodo apresenta características que permitam o seu uso agrícola (ANDREOLI *et al.*, 2006).

Os resíduos mais problemáticos provenientes do tratamento da ETE são o primário e secundário, seus volumes de produção são muito altos e o tratamento é complexo, sua disposição final é difícil. Na engenharia sanitária o lodo de esgoto é o mais complexo problema enfrentado atualmente (DUARTE, 2008, p. 14).

A estação deve ser capaz de tratar devidamente de todo o resíduo, desde a coleta até a realocação final. Sem um tratamento competente e condicionamento apropriado da ETE para que sua disposição final do bio-sólido gerado perde-se a finalidade da mesma. Os custos de um projeto como este variam de autor para autor. Fernandes e Silva (1999, p. 14) dizem algo em torno de 60%, Ferreira e Andreoli (1999, p. 6) estipulam que o volume do lodo é 1 a 2% do esgoto tratado e seu custo varia entre 30 e 50%.

No entanto observa-se que em termos de custo operacional, a manipulação correta deste resíduo é de fundamental importância para o sucesso operacional de uma estação de tratamento de esgoto.

Quadro 1. Principais tipos de resíduos removidos em estações de tratamento de esgotos sanitários e suas características.

TIPO DE RESÍDUO	CARACTERÍSTICAS
Lodo primário	Lodo obtido por sedimentação do esgoto no decantador primário. Normalmente cinza e na maioria dos casos de odor ofensivo. Pode ser digerido facilmente por vários processos. Normalmente é encaminhado a um digestor anaeróbio.
Escuma material	Material sobrenadante dos decantadores ou de alguns tipos de reatores, rico em óleos e graxas, sólidos de baixa densidade. Não deve ser misturado ao lodo, caso este venha a ser compostado ou utilizado na agricultura.
Sedimentos de caixa de areia	Material mineral: areia, terra, partículas orgânicas ligadas aos minerais.
Resíduos retidos nas grades	Sólidos grosseiros; pedaços de madeira, papel, etc.
Lodo secundário (processo de lodos ativados)	Apresenta geralmente aparência floculada e com tons marrons. Se a cor é mais escura, as condições do meio se aproximam da anaerobiose. Tende à decomposição anaeróbia devido ao excesso de matéria orgânica. Pode ser digerido facilmente sozinho ou misturado com lodo primário, no digestor.
Lodo digerido aeróbio (ativado e primário)	Apresenta cor marrom escura e aparência floculada, odor inofensivo e é fácil de ser drenado.
Lodo digerido anaeróbio (ativado e primário)	Apresenta cor marrom escura ou preta. Se for bem digerido não apresenta odor ofensivo. Também é fácil de ser desidratado.

2.3 Biomassa

Trata-se da quantidade de matéria orgânica produzida numa determinada área de um terreno. Este termo tem sido usado nos últimos anos em função da

preocupação relacionada aos geradores de energia, pois, a biomassa é capaz de gerar gases que são transformados em usinas específicas em energia.

Humberto (2004) diz que biomassa é toda matéria orgânica existente na terra, especialmente, os resíduos de plantas. Nos parâmetros energéticos, para fim de aprovação ou beneplácito de iniciativas do setor elétrico, biomassa é todo recurso renovável proveniente de matéria orgânica (de ascendência animal ou vegetal) que pode ser empregada na produção de energia. Já na área da energia, a denominação biomassa é usada para delinear todas as formas de plantas e procedidos que podem ser convertidos em energia utilizável como: madeira, resíduos urbanos e florestais, grãos, talos, óleos vegetais, e lodo de tratamento biológico de efluente.

É considerada uma boa solução energética, pois é renovável e gera baixas quantidades de poluente. Numa usina de álcool, por exemplo, os resíduos da cana-de-açúcar (bagaço), podem ser utilizados para produzir biomassa e energia. Basta à queima direta da biomassa para gerar energia térmica ou elétrica. É considerada uma fonte primária de energia e vem obtendo crescimento em muitos países nos dias de hoje. O bagaço de cana é considerado um grande obstáculo entre as usinas, pois é gerado em grandes quantidades (30% da cana), ou seja, ainda ocupa grande quantidade de área e pode vir a sofrer combustão instantânea.

Devido ao fato desse restolho agrícola possui grande percentualidade de fibras, essa característica lhe concede facilidade de combustão, além disso, é gratuito, então o bagaço de cana é queimado em caldeiras visando à geração de vapor para o processo (YOSHIMA *et al.*, 2005).

Essa ideia pode valer também para o lodo de esgoto das várias cidades brasileiras e passar a ser utilizado com a mesma finalidade.

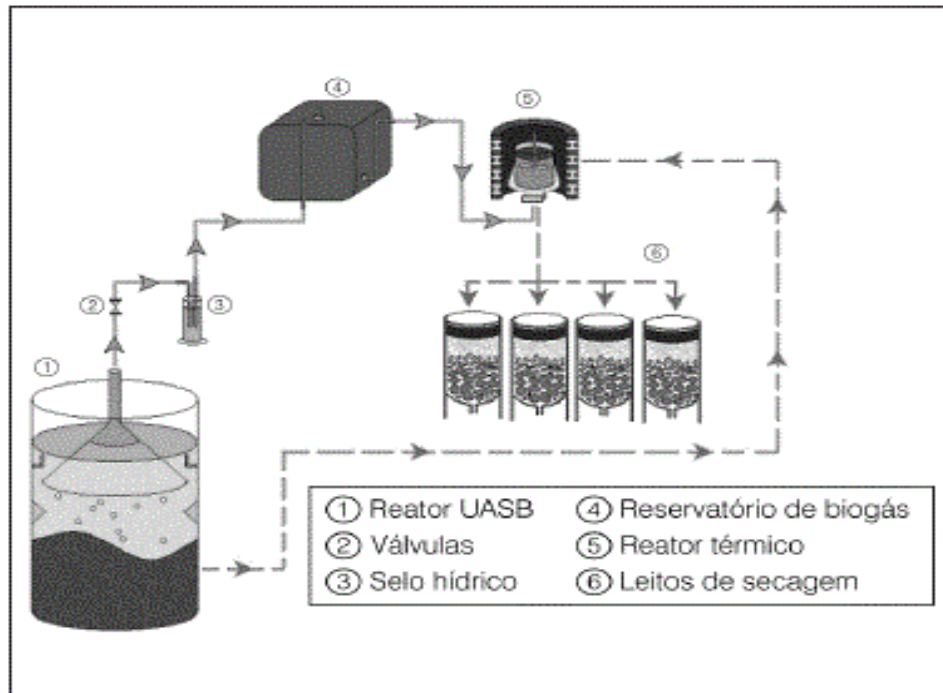
Para se tornar uma biomassa aproveitável na geração de energia, os lodos que são gerados nas redes de tratamento de esgoto devem ser analisados para tal aplicação, não podendo ser constituído de características críticas como um baixo valor calorífico, sua proporcionalidade é proveniente da umidade do material, solicitando primeiramente deságue, e/ou um tratamento de desidratação 30 a 35% na ordem de sólidos, para a possibilidade de uma combustão autossustentável (CAMPREGHER, 2005).

A produção de energia através de queima da biomassa, conforme apresentada na (figura 1), tem como vantagem o baixo custo, fonte renovável,

permite o reaproveitamento de resíduos e é menos poluente que outras formas de energia como as obtidas através da queima de combustíveis fósseis.

A queima de biomassa provoca a liberação de dióxido de carbono na atmosfera, mas antes disso este composto é absorvido previamente por plantas que deram origem ao combustível, o balanço de emissões de CO₂ é nulo.

Figura 1. Produção de energia através da queima do biossólido.



2.4 Compostagem

É um conjunto de técnicas aplicadas para estimular a decomposição de materiais orgânicos por organismos heterótrofos aeróbios, com a finalidade de obter com o menor tempo possível, um material estável, rico em substâncias húmicas e nutriente mineral.

Trata-se de um processo bioxidativo no qual os resíduos orgânicos são reaproveitados, tendo como principais envolvidos o fungo, bactéria e outros microrganismos (PAZ *et al.*, 2003).

2.4.1 Fatores que interferem na compostagem

Os principais fatores que podem vir a interferir o processo da compostagem são:

- **Microorganismos** - A conversão da matéria orgânica bruta ao estado de matéria humificada é um processo microbiológico operado por bactérias, fungos e actinomicetes. Durante a compostagem há uma sucessão de predominâncias entre as espécies envolvidas.
- **Umidade** - A presença de água é fundamental para o bom desenvolvimento do processo. Entretanto, a escassez ou o excesso de água pode desacelerar a compostagem.
- **Aeração** - A compostagem conduzida em ambiente aeróbio, além de mais rápida, não produz odores putrefatos nem proliferação de moscas.
- **Temperatura** - O metabolismo exotérmico dos microrganismos, durante a fermentação aeróbia, produz um rápido aquecimento da massa. Cada grupo é especializado e desenvolve-se numa faixa de temperatura ótima. Promover condições para o estabelecimento da temperatura ótima para os microrganismos é fundamental.
- **Relação carbono nitrogênio (C/N)** - Os microrganismos absorvem os elementos carbono e nitrogênio numa proporção ideal. O carbono é a fonte de energia para que o nitrogênio seja assimilado na estrutura.
- **Preparo prévio da matéria-prima** - A granulometria é muito importante uma vez que interfere diretamente na aeração da massa original. Partículas maiores promovem melhor aeração, mas o tamanho excessivo apresenta menor exposição à decomposição e o processo será mais demorado.
- **Dimensões e formas das pilhas** - Quanto ao comprimento, este pode variar em função da quantidade de materiais, do tamanho do pátio e do método de aeração. Já a altura da pilha depende da largura da base. Pilhas muito altas submetem as camadas inferiores aos efeitos da compactação. Pilhas baixas perdem calor mais facilmente ou nem se aquecem o suficiente para destruir os patogênicos. O ideal é que as pilhas apresentem seção triangular, com inclinação em torno de 40 a 60 graus, com largura entre 2,5 e 3,5 metros e altura entre 1,5 e 1,8 metros.

2.5 Função dos fertilizantes orgânicos

A produtividade das culturas é consequência da ação conjunta de vários fatores: preparo da terra, variedade, adaptação climática, nutrição, espaçamento, disponibilidade de água, conservação de solo, mão-de-obra especializada, etc. A produtividade será máxima, quando todos os fatores forem os mais apropriados a certa cultura. No entanto, a nutrição é o fator que mais contribui para a qualidade da vida de uma planta, de forma que há mais de um século sabe-se que as plantas necessitam de treze elementos essenciais. São eles: nitrogênio (N), fósforo (P), potássio (K), cálcio (Ca), magnésio (Mg), enxofre (S), zinco (Zn), boro (B), cobre (Cu), ferro (Fe), manganês (Mn), molibdênio (Mo), e cloro (Cl). Alguns deles são requisitados em menor quantidade, e outros, em maior quantidade.

2.6 Uso agrícola

Esta alternativa tem como grande benefício a transformação de um resíduo sólido num valioso insumo agrícola, capaz de fornecer matéria orgânica e nutriente ao solo, além de reduzir efeitos adversos causados à saúde pela incineração, diminuindo a necessidade de fertilizantes químicos e melhorando as condições para o balanço do CO₂ com a implantação da matéria orgânica (OUTWATER, 1994 citado por ANDREOLI, 1997).

A utilização do lodo como fertilizante na agricultura pode vir a contaminar o solo com patógenos ou metais pesados, além da possível atração de vetores também pode causar mau cheiro (STENFORD, 1993 citado por GOUVÊA & PEREIRA NETO, 1997).

De acordo com o exposto, para se fazer a aplicação na agricultura, o bio-sólido necessita por um processo de redução de patógenos e de atratividade de vetores, sendo a compostagem um tratamento adequado para esta finalidade (TSUTIYA *et al.*, 2001).

Deve-se fazer a reciclagem do lodo de esgoto para que então sua futura utilização agrônômica tenha um destino correto e contribuindo para a diminuição dos problemas ambientais, atuando como fertilizante e condicionador do solo (VAZ & GONÇALVES, 2002).

2.7 Lodo de esgoto

Os processos de tratamento das águas residuais contribuem na prevenção da contaminação dos recursos hídricos e do solo. O lodo de esgoto, produto final deste tratamento, é rico em matéria orgânica e nutriente (BETTIOL & CAMARGO, 2006a), e pode ser utilizado para beneficiar a agricultura, proporcionando nutrientes.

No entanto para a aplicação na agricultura seguro deste material é preciso que este material não apresente teores de metais pesados e patógenos acima do determinado pela legislação (EPSTEIN, 2002).

Existem duas possíveis origens para o lodo de ETE, sendo a primeira delas o esgoto sanitário formado basicamente por efluentes residenciais com a possibilidade de serem contaminadas por ligações irregulares de diversos locais e o segundo é o esgoto industrial que podem apresentar quantidades significativas de metais pesados, o que torna o material não seguro para a aplicação agrícola de acordo com a indústria despejante original (BETTIOL & CAMARGO 2006b).

De acordo com os dados colhidos pelo IBGE (2008), apenas 55,2% dos municípios do Brasil possuem coleta de esgoto. Na região sul o número de pessoas sem contato com rede coletora de esgoto é de aproximadamente 6,3 milhões de habitantes e Santa Catarina ocupa a 16ª colocação em relação à porcentagem de domicílios atendidos pelas redes de esgoto.

A disposição final do lodo é, diante da legislação Brasileira, bem como a de vários outros países, um problema de responsabilidade do produtor do resíduo, confirmada pela lei de crimes ambientais (Lei no 9.605 de 12/02/1998).

Atualmente grande parte dos órgãos ambientais tem exigido detalhamento das alternativas para a disposição final no processo de licenciamento das ETES, o que demonstra uma grande evolução na gestão ambiental (ANDREOLI *et al.*, 2001).

2.7.1 Quantidade de lodo gerado no processo de tratamento do esgoto

Andreoli *et al.*, (2001) cita, que de todos os sistemas de ETE, as lagoas de estabilização são as que geram a menor quantia de lodo, lembrando também que ativado de forma convencional é o sistema com maior volume a ser tratado.

O motivo é que o lodo produzido nas lagoas fica ali armazenado por grande quantidade de tempo, no qual sofre digestão e adensamento perdendo a maior parte

de seu volume. Em contra partida, o método de lodo ativado convencional o tempo de retenção do lodo é menor, o que dá pouca chance para a digestão do lodo no próprio tanque de aeração (Tabela 2).

O metabolismo aeróbio sofre uma maior produção de lodo e isso elucida a grande quantidade do mesmo a ser rejeitado nos sistemas de lodos ativados. Já nos sistemas anaeróbios é comum possuir uma produção baixa de lodo sendo esse estabilizado, caracterizado como um sistema vantajoso quanto a produção e disposição final do lodo (Metcalf e Eddy, 2002). A caracterização do lodo estabilizado no fundo das lagoas depende muito do tempo de armazenamento.

No caso das lagoas primárias comumente encontram-se altos teores de sólidos totais (ST), superior a 15% (Von Sperling, 2002). É indispensável que se faça a retirada do lodo gerado nas lagoas e isso deve ser realizado de forma bem planejada em termos técnicos por conta dos riscos de se perder as características do lodo.

Tabela 1. Quantidade de lodo produzido nos sistemas de tratamento de esgoto.

TIPO DE SISTEMAS	VOLUME DE LODO PRODUZIDO (L/ HAB.DIA)
Lagoas facultativas	0,05 – 0,15
Reator UASB	0,2 – 0,6
Lodo ativado convencionalmente	3,1 – 8,2
Aeração prolongada	3,3 – 5,6
Lagoa anaeróbia	0,1 – 0,3
Filtro biológico de alta carga	1,4 – 5,2
Lagoa aerada facultativa	0,08 – 0,22

Fonte: Metcalf e Eddy, 2002.

2.7.2 Tratamento de lodo da ETE

Um dos objetivos finais do tratamento é transformar o lodo em bio-sólido, com operações simplificadas que tenham boa relação custo benefício e sejam ambientalmente seguras (AMUDA *et. al*, 2008). Segundo Andreoli *et al.* (2001) as principais etapas do gerenciamento do lodo são: adensamento, estabilização, condicionamento, desidratação ou desaguamento, higienização ou desinfecção e disposição final.

2.7.2.1 Adensamento

O objetivo principal desta etapa é aumentar a concentração e reduzir o volume de lodo, diminuindo a quantidade de lodo e conseqüentemente os custos subsequências aumentando a eficiência do tratamento que segue, como a estabilização, desidratação e secagem (TUROVSKIY & MATHAI, 2006).

2.7.2.2 Estabilização

De acordo com Turovskiy e Mathai (2006), a estabilização tem como finalidade frear a putrefação inibindo ou reduzindo patógenos, transformando o em produto estável para uso ou descarte. São vários os métodos de estabilização disponíveis como a estabilização alcalina, digestão anaeróbia, digestão aeróbia, compostagem e secagem térmica. A escolha do método vai depender do nível de tratamento de lodo de esgoto e as características requeridas (KAJITVICHYANUKUL *et al.*, 2008).

2.7.2.3 Condicionamento

Para o condicionamento do produto são adicionados produtos químicos como cal, o cloreto férrico ou polieletrólitos, visando melhorar a separação entre líquido e sólido, resultando em um acréscimo bastante significativo na redução do volume de lodo (JORDÃO & PESSOA, 2009).

2.7.2.4 Desidratação

É variado de acordo com o tipo de lodo. Um lodo ativo por exemplo, encontra mais dificuldade para desaguar do que um lodo primário digerido anaeróbicamente. Esse tipo de variação na capacidade de desidratação está diretamente ligada ao tipo de sólido e o meio pelo qual a água está ligada às partículas do lodo (ANDREOLI *et al.*, 2001).

2.7.2.5 Desinfecção

Tem como propósito principal minimizar as questões preocupantes para a saúde pública (USEPA, 1979).

2.7.2.6 *Disposição final*

Segundo Jordão & Pessoa (2009), os meios utilizados para disposição final do são: aterros sanitários, incineração, uso agrícola, restauração de terras, reuso industrial e lançamento no oceano.

2.7.3 Ciclagem de nutrientes / Composição média

O lodo de esgoto é em geral, rico em N o que significa que possui alto potencial para se tornar fertilizante nitrogenado. Este N está contido em várias formas orgânicas e inorgânicas e nem todas são disponíveis para a nutrição da planta (VAZ & GONÇALVES, 2002). No geral o lodo contém aproximadamente 40% de matéria orgânica, 4% de nitrogênio, 2% de fósforo e 0,4% de potássio, constituindo nutrientes essenciais e benéficos para o desenvolvimento dos vegetais.

A caracterização do lodo destaca seu potencial para a utilização agrícola como condicionador de propriedades físicas, químicas e biológicas do solo, podendo até substituir em parte a calagem. Estes elementos contidos no lodo se encontram em grande parte na forma orgânica, sendo liberados ao solo gradativamente, por meio de processos oxidativos, aumentando a possibilidade de que estes nutrientes sejam absorvidos pelas plantas e diminuindo o risco de poluição ambiental (BETTIOL, 2000).

2.7.3.1 *Nitrogênio*

O tratamento biológico só pode ser concluído em condições suficientes de nitrogênio (RICHTER; NETTO, 1991). Podemos encontrar nitrogênio no meio aquático na forma de nitrogênio molecular (N_2), nitrogênio orgânico, amônia livre (NH_3), íon amônio (NH_4^+), íon nitrito (NO_2^-) e íon nitrato (NO_3^-). As formas de nitrogênio encontradas em esgotos domésticos brutos são o nitrogênio orgânico e a amônia, que tem origem fisiológica.

Em efluentes formados a partir de tratamentos com nitrificação, a forma mais usualmente encontrada é o nitrato (SPERLING, 2005).

O nitrogênio também é um nutriente essencial no crescimento de algas e plantas sendo facilmente absorvido nas formas de amônia e nitrato.

2.7.3.2 Fósforo

O fosforo pode ser observado no meio aquático na forma de ortofosfato, polifosfato, e fosfato orgânico, sendo esses diretamente os primeiros disponíveis para o metabolismo biológico. O fosforo além de ser indispensável na nutrição de plantas também é responsável por estabilizar a matéria orgânica (SPERLING, 2005).

2.7.3.3 Potássio

Mesmo não possuindo dados relacionados ao aspecto sanitário, sabe-se que o potássio é amplamente absorvido pela planta, sendo o segundo mais bem absorvido depois do nitrogênio. A presença desse macronutriente tende a otimizar o aproveitamento de nitrogênio, dando então melhores resultados na formação dos grãos e dos tubérculos (AZAMBUJA, 1996).

2.8 Resíduos sólidos – metais

O metal faz parte da composição natural do planeta onde vivemos, sendo originários de rochas e de outras fontes adicionadas ao solo como precipitação atmosférica, cinzas, calcários, fertilizantes químicos e adubo orgânico (TSUTIYA *et al.*, 2001). O lodo de esgoto possui metal pesado originário das indústrias. Dessa maneira se deve levar em consideração a quantidade máxima de metais pesados no biossólido, solos agrícolas e as cargas cumulativas máximas de metais em solos para aplicação do biossólido (TSUTIYA *et al.*, 2001).

Como já foi evidenciado por Tsutiya *et al.* (2001), esses metais também estão presentes em fertilizantes químicos e corretivos de solo, e apesar do metal ser considerado vilão ainda não foram relatadas toxidade para com o vegetal. Não resta

dúvida de que a utilização de forma adequada do lodo de esgoto pode constituir um ótimo fertilizante orgânico (BETTIOL, 2000).

3. METODOLOGIA

A partir de uma análise de solo já existente e com os dados da composição do lodo será feito um levantamento para saber qual a quantidade de lodo a ser lançada no solo e a economia financeira gerada pela utilização do lodo como fonte de nutriente.

3.1 Coleta e preparo das amostras

3.1.1 Coleta

A coleta das amostras de lodo será feita na estação de tratamento de esgoto localizada na região norte da cidade de Palmas – TO, próxima à praia das ARNOS, é considerada a maior estação de tratamento de esgoto do estado do Tocantins e ainda considerada uma das mais modernas do País (Mendonça, Angélica 2013).

3.1.2 Preparo

Para atingir peso constante, as amostras foram acondicionadas a uma temperatura de 60°C. A amostra foi triturada logo após a secagem, depois peneirada em malha quadrada de 1,0mm e em seguida armazenado em frasco de vidro ou plástico (CONAMA, 2003).

3.2 Análise de metal presente na amostra

Procederam-se as análises de teores dos seguintes metais: Cadmio (Cd), Cromo (Cr), Zinco (Zn), Cobre (Cu), Manganês (Mn), Níquel (Ni), Chumbo (Pb) e Ferro (Fe).

Para a caracterização de metal das amostras efetuou-se o experimento de absorção atômica de ácido clorídrico.

3.3 Determinação de nutrientes da amostra (N, P, K)

Foram feitos ensaios diferentes para a determinação dos teores de cada um dos três nutrientes em questão. A determinação de Nitrogênio (N) foi feita pelo método de Kjeldahl. O teor de Potássio (K) utilizou a espectrometria de absorção atômica e para o Fósforo (P) utilizou-se o método de refluxo fechado colorimétrico.

3.4 Quantidade de lodo a ser incorporado ao solo

O solo escolhido para o experimento foi o Latossolo Vermelho Amarelo (LVA), e com base em sua análise física e química, foram feitos os cálculos dos principais nutrientes que serão incorporados e também a dosagem máxima permitida para a aplicação dos mesmos, em função da concentração destes nutrientes no material coletado para a pesquisa.

3.4.1 Composição máxima do lodo

Lodo com teores superiores aos estabelecidos na (Tabela 3) não pode ser aplicado em solo agrícola, como pré-estabelecido pela (CETESB, 1999).

Tabela 2. Concentrações limites de metal no lodo.

METAL	Concentração máxima permitida no lodo (base seca) mg/kg.
ARSÊNIO	75
CÁDMIO	85
COBRE	4300
CHUMBO	840
MERCÚRIO	57
MOLIBDÊNIO	75
NÍQUEL	420
SELÊNIO	100
ZINCO	7500

Fonte: CETESB, 1999.

3.4.2 Taxa de aplicação em função dos nutrientes disponíveis

A incorporação de lodo em quilos por hectare não poderá exceder o quociente entre a quantidade de nutriente recomendada para a cultura em (kg/há) e o teor de nutriente disponível no lodo (N Disp em kg/tonelada).

$$\text{Taxa de aplicação (t/ha)} = (\text{Nut. Recomendado (kg/ha)}) / (\text{Nut. Disp. (Kg/t)})$$

Para analisar a quantidade de nutrientes recomendados para a cultura, é sugerido consultar o boletim técnico nº 100 (Raij *et al.*, 1996) do IAC (Instituto Agrônômico de Campinas).

3.4.3 Taxa de aplicação do lodo em relação aos metais pesados

Os limites de metais presentes na amostra deverão ser respeitados de acordo com a (Tabela 4). Será calculada a quantidade máxima de lodo a ser aplicada para não exceder a capacidade máxima do solo.

Tabela 3. Taxa de aplicação anual máxima de metais em solos agrícolas tratados com lodo.

METAL	Taxa de aplicação anual máxima (kg/ha/365 dias)
ARSÊNIO	2,0
CÁDMIO	1,9
COBRE	75
CHUMBO	15
MERCÚRIO	0,85
NÍQUEL	21
SELÊNIO	5,0
ZINCO	140

Fonte: CETESB, 1999.

3.4.4 Relevância de outros nutrientes

Justificados de forma devida, eventuais nutrientes presentes na composição poderão ser utilizados na definição da taxa de aplicação do lodo.

3.4.5 Limite para o acúmulo de metal no solo

Para obter a carga acumulada limite é preciso fazer a soma das cargas de cada metal apresentado na (Tabela 5) levando em consideração o teor de metal

presente no lodo e as taxas de cada aplicação. A reaplicação do lodo deverá respeitar estes limites.

Tabela 4. Cargas cumulativas máximas permissíveis de metais pela aplicação de lodo em solos agrícolas.

METAL	Carga máxima acumulada de metais pela aplicação do lodo (kg/ha)
Arsênio	41
Cádmio	39
Cobre	1500
Chumbo	300
Mercúrio	17
Níquel	420
Selênio	100
Zinco	2800

Fonte: CETESB, 1999.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Taxa de aplicação do lodo da ETE-Vila União em um latossolo vermelho com base nos macronutrientes (N, P e K).

O proveito agrícola no lodo de esgoto está associado diretamente ao teor de nutrientes (nitrogênio e fósforo) e ao conteúdo de matéria orgânica (ANDREOLLI, 1999).

A (Tabela 6), apresenta a concentração dos principais nutrientes que compõe o lodo gerado na ETE-Norte, localizada da cidade de Palmas TO.

Tabela 5. Concentração dos principais nutrientes gerado pela ETE - Norte.

Amostra	K (%)	N (%)	P (%)
Lodo	0,03	3,21	2,39

Fonte: Laboratório de matéria orgânica e resíduos – Viçosa MG

Como os lodos são pobres em potássio, há necessidade de se adicionar esse elemento ao solo na forma de adubos minerais (BETTIOL & CAMARGO, 2006).

Analisando a quantidade recomendada de nutrientes para um latossolo vermelho localizado na cidade de Palmas TO, poderemos encontrar a taxa de aplicação máxima anual de lodo de esgoto por hectare.

Segundo Raij *et al.* (1996), neste local a quantidade necessária de Nitrogênio (N), Potássio (K) e Fósforo (P), são respectivamente 150,00 kg/ha, 58,80 kg/ha e 48,80 kg/ha.

Portanto utilizando a seguinte fórmula para calcular a taxa de aplicação máxima de nitrogênio:

$$\text{Taxa de aplicação} \left(\frac{t}{ha} \right) = \frac{N \text{ recomendado} \left(\frac{kg}{ha} \right)}{N_{disp} \left(\frac{kg}{t} \right)}$$

Então;

$$\text{taxa de aplicação} \left(\frac{t}{ha} \right) = \frac{150,00 \left(\frac{kg}{ha} \right)}{32,1 \left(\frac{kg}{t} \right)}$$

$$\text{taxa de aplicação} \left(\frac{t}{ha} \right) = 4,67$$

Aplicando a mesma formula para o potássio:

$$\text{taxa de aplicação} \left(\frac{t}{ha} \right) = \frac{58,80 \left(\frac{kg}{ha} \right)}{0,2988 \left(\frac{kg}{t} \right)}$$

$$\text{taxa de aplicação} \left(\frac{t}{ha} \right) = 196,78$$

Aplicando a mesma formula para o fósforo:

$$\text{taxa de aplicação} \left(\frac{t}{ha} \right) = \frac{48,80 \left(\frac{kg}{ha} \right)}{23,9 \left(\frac{kg}{t} \right)}$$

$$\text{taxa de aplicação} \left(\frac{t}{ha} \right) = 2,04$$

De acordo com a resolução da CONAMA nº 375/2006, recomenda-se que os resultados obtidos para a aplicação máxima em base seca, o menor valor calculado onde a aplicação máxima anual de lodo de esgoto e produtos derivados em toneladas por hectare não deverá exceder o quociente entre a quantidade de nitrogênio recomendada para a cultura em (kg/há).

Uma aplicação superior a 2,04 t/há causará o excesso de fósforo no solo, podendo modificar a dinâmica de fósforo no solo.

4.1.1 Metais pesados

Quando levantamos a hipótese da utilização do lodo de esgoto como composto parcial na adubação agrícola, a principal preocupação é a concentração de metais pesados no lodo. Além de exercer efeito negativo sobre as plantas, o metal pesado também afeta o processo biogeoquímico que ocorre no solo. A decomposição da matéria orgânica adicionada ao solo, a mineralização do nitrogênio

e a nitrificação podem ser inibidos em locais contaminados por metais pesados (MATIAZZO & ANDRADE, 2000, citado por PEREZ, 2008).

Foi calculada a quantidade de lodo necessária para que ocorra a incorporação de nutrientes no solo. Verificou-se a quantidade de lodo, para que não excedesse o limite permitido de metais pesados no solo (Tabela 4).

Os resultados obtidos pela análise (Tabela 7) mostram que o lodo da ETE-Vila União não apresente teores elevados de metal pesado em sua composição.

Tabela 6. Concentração dos metais pesados gerados pela ETE-Vila União.

Amostra	Cu	Fe	Mn	Zn	Cd	Pb	Cr	Ni
	(mg/kg)	(mg/kg)	(mg/kg)	(mg/kg)	(mg/kg)	(mg/kg)	(mg/kg)	(mg/kg)
Lodo	80,30	2275,00	47,90	211,30	6,80	0,60	57,60	37,30

Fonte: Laboratório de matéria orgânica e resíduos – Viçosa MG

- Cobre (Cu): Máximo de 75,00 kg/ha, na amostra temos 80,30 mg/kg.

Calculando:

$$\frac{80,30 * 10^{-6}}{x} = \frac{1kg}{2040kg/ha}$$

$$x = 0,164kg/ha$$

-Cádmio (Cd): Máximo de 1,90 kg/ha, na amostra temos 6,80 mg/kg.

Calculando:

$$\frac{6,80 * 10^{-6}}{x} = \frac{1kg}{2040kg/ha}$$

$$x = 0,014kg/ha$$

-Níquel (Ni): Máximo de 21,00 kg/ha, na amostra temos 37,30 mg/kg.

Calculando:

$$\frac{37,30 * 10^{-6}}{x} = \frac{1kg}{2040kg/ha}$$

$$x = 0,076kg/ha$$

-Chumbo (Pb): Máximo de 15,00 kg/ha, na amostra temos 0,60 mg/kg.

Calculando:

$$\frac{0,60 * 10^{-6}}{x} = \frac{1kg}{2040kg/ha}$$

$$x = 1,22 * 10^{-3}kg/ha$$

-Zinco (Zn): Máximo de 140kg/ha, na amostra temos 211,30 mg/kg.

Calculando:

$$\frac{211,3 * 10^{-6}}{x} = \frac{1kg}{2040kg/ha}$$

$$x = 0,43kg/ha$$

Observa-se que as quantidades de metais pesados não excederam o máximo permitido pela Resolução CONAMA nº 375/2006.

4.1.2 Valor econômico gerado

FRANK (1998), afirmou que o uso de lodo de esgoto como fertilizante reduziria 60% do consumo de fertilizantes fosfatados atualmente utilizados, o que vai de encontro à afirmação de TSUTIYA (2000) diz que em São Paulo a produção de lodo de esgoto atinge algo perto de 2,4 toneladas de fósforo por dia.

Além do fósforo, este biofertilizante oferece também nitrogênio e outros nutrientes para as plantas, contribuindo com o seu desenvolvimento (SABBEY, 1974).

Analisando a eficiência do lodo de esgoto como fonte de fósforo em comparação ao superfosfato triplo, aplicados em doses equivalentes, SILVA *et al.* (2002b) notaram que aquele foi mais eficiente do que este.

A economia gera pela incorporação de lodo de esgoto na substituição parcial da adubação mineral de culturas, de acordo com a (Tabela 8) se dá através dos cálculos:

Tabela 7. Preço dos nutrientes minerais vendidos na cidade de Palmas - TO.

Minerais	Super Simples	Ureia	KCL
Valor	R\$ 2,0	R\$ 3,80	R\$ 2,78

-Fósforo: Super Simples.

Calculando:

$$\frac{100kg}{2040kg/ha} = \frac{2,39kg}{x}$$

$$x = 48,76kg/ha$$

$$\frac{48,76}{0,2} = 243,8kg/ha$$

$$243,8 * 2,0 \text{ reais} = 487,60 \text{ reais/ha}$$

-Nitrogênio: Ureia.

Calculando:

$$\frac{100kg}{2040kg/ha} = \frac{3,21kg}{x}$$

$$x = 65,48kg/ha$$

$$\frac{65,48}{0,47} = 140,51kg/ha$$

$$140,51 * 3,80 \text{ reais} = 533,94 \text{ reais/ha}$$

-Potássio: KCL.

Calculando:

$$\frac{100kg}{2040kg/ha} = \frac{0,03kg}{x}$$

$$x = 0,6kg/ha$$

$$\frac{0,6}{0,52} = 1,12 \text{ kg/ha}$$

$$1,12 * 2,78 \text{ reais} = 3,11 \text{ reais/ha}$$

Então na somatória do valor economizado por hectare temos:

$$487,6 + 533,94 + 3,11 = 1024,65 \text{ reais/ha}$$

4.2 Rentabilidade do lodo de esgoto como fertilizante

Para viabilizar a utilização de substratos compostos pela mistura de diferentes proporções de lodo de esgotos com casca de arroz carbonizada, TRIGUEIRO (2002) determinou ensaio para produção de mudas de eucalipto e pinus, em medidas variando entre 0 e 100% entre lodo de esgoto e casca de arroz carbonizada. Os resultados revelaram que doses superiores a 70% de lodo foram prejudiciais ao desenvolvimento das mudas de ambas as espécies.

Ao analisar os impactos de diferentes doses de nitrogênio sobre a produção de plantas de alho, RESENDE *et al.* (2000), estudaram a aplicação de cinco doses deste nutriente (0, 35, 70, 105 e 140 kg ha⁻¹) em plantas provenientes de cultura de tecidos e de multiplicação convencional, verificadas aos 30, 50, 90, 110, 130 e 150 dias. Para o caso das plantas provenientes de multiplicação convencional, doses de 119 e 102 kg ha⁻¹ de N proporcionaram o máximo acúmulo de matéria seca aos 90 e 110 dias, respectivamente.

Em uma pesquisa semelhante para verificar a produção de madeira em um povoamento de *Eucalyptus grandis*, ROCHA *et al.* (2004), avaliaram nove tratamentos com lodo de esgoto nas doses 5 t ha⁻¹, 10 t ha⁻¹, 15 t ha⁻¹, 20 t ha⁻¹ e 40 t ha⁻¹. Os autores observaram pela equação de regressão ajustada que a produção máxima de madeira seria conseguida com lodo de esgoto na dose de 37 t ha⁻¹.

Ao estudar a relação custo/benefício da aplicação de biossólido na produção de milho, (SILVA *et al.*, 2002c) concluiu que apesar da produção física ter aumentado com o acréscimo da dosagem de 54 até 216 t/ha⁻¹, houve perda de vantagem em relação ao custo.

Da mesma forma, GOBBI (2003), pode constatar que a utilização do lodo de esgoto como macronutriente também para a cultura do milho, proporciona maior receita bruta do que o tratamento com adubação química. O mesmo autor constatou que a superdosagem de lodo de esgoto apesar de alcançar maior produção física, produziu a menor renda líquida.

HOFFMAN *et al.* (1987), por meio da função de produção; relação que expressa a quantidade máxima de produto obtido por meio de um conjunto de insumos, dada a tecnologia disponível, por unidade de tempo, ou seja, a produção é função de muitas variáveis, sendo que existem relações tecnológicas que amarram as opções dos empresários em condições reais. Por outro lado, na experimentação agrícola, o estudo da produção considera somente um fator variável e os demais constantes.

Quando a aplicação do lodo de esgoto é bem dimensionada, os benefícios podem superar os da adubação mineral, principalmente na economia com fertilizantes (RAIJ 1998).

TRIGUEIRO (2002) obteve resultados excelentes na produção de eucalipto e pinus. No caso da primeira e da segunda espécie houve respectivamente redução de custo com fertilizante mineral de 64% e 12,5%, quando as mudas foram produzidas com o lodo de esgoto.

Destaca-se a utilização agrícola de lodo de esgoto por evitar destinos de custos mais elevados e com maior impacto no ambiente e na população, como por exemplo, a disposição em aterros sanitários (ANDREOLI *et al.*, 1999).

Trannin *et al.* (2005), diz que a disposição do lodo de esgoto na agricultura é vantajosa à medida que garante aos agricultores, reduzir o custo da produção e manter a produtividade da lavoura.

Contudo, por se tratar de um produto recentemente adicionado à agricultura, seu uso ainda é questionado quanto aos valores do produto em relação aos fertilizantes convencionais, sendo então necessária uma análise econômica minuciosa antes de sua aplicação (SILVA *et al.*, 2002c).

Ao avaliar a produtividade do milho cultivado em latossolos fertilizados com lodo de esgoto, MELO (2002) constatou que a utilização do lodo de esgoto como biofertilizante parcial em conjunto com o fertilizante mineral, não causa efeito significativo do insumo em relação à produção de matéria seca nas diferentes partes da planta, concluindo que sua utilização diminui os elevados custos com fertilização.

No entanto, KVARNSTROM & NILSSON (1999) concordaram que o preço do lodo de esgoto foi determinado pela demanda, e não pelo valor instrínseco de sua fertilização. Os autores esclarecem que somente os municípios com demanda igual ou superior à capacidade de produção cobram pelo lodo de esgoto. Nos demais casos, este subproduto é entregue gratuitamente ou até mesmo com frete subsidiado, como estratégia de indução de demanda.

SEROA DA MOTA (1998) indica que outra suposição é a valoração pelo método de mercado de bens substitutos, utilizado quando o recurso a ser valorado pode ser substituído por um insumo comercializado. Neste caso, os preços deste são utilizados no cálculo do valor econômico da alternativa viável.

TRANNIN (2004) explica que para este método, o cálculo do valor monetário de lodo de esgotos como fonte de nitrogênio, fósforo e matéria orgânica utiliza preços de fertilizantes químicos e compostos, cujos mercados já estão consolidados.

Todavia, RAIJ (1998) sugere que a valoração econômica do lodo de esgoto baseie-se na substituição da adubação mineral, quando capaz de proporcionar rendimentos, no mínimo iguais a essa.

Este é o método da chamada produtividade relativa (produtividade obtida pelo lodo de esgoto em relação à atingida pela adubação química), a técnica mais utilizada na atividade de valoração, segundo CORRÊA & CORRÊA (2001).

Dessa forma, a viabilidade econômica de uso agrícola tem como fator limitante o custo do transporte entre a ETE e o local de aplicação, o que deve ser levado em conta na valoração do lodo de esgoto.

TRANNIN (2004) resume que a valoração do lodo de esgoto dependerá dos teores e das formas em que se encontram seus nutrientes. Porém, a consolidação do mercado deste resíduo necessita da sua produção em larga escala, do desenvolvimento de técnicas de uso agrícola e do crescimento da demanda por este produto.

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Buscar alternativas mais eficientes para a disposição correta do lodo gerado nas ETE's ainda é uma prática pouco comum em nosso país. Tendo em vista que este resíduo sólido cresce junto ao número populacional, práticas recicladoras vêm sendo desenvolvidas ao longo dos anos.

Alternativas que comportem os índices ambientais aceitáveis preestabelecidos e que por sua vez, agreguem valor econômico ao bio-sólido que é gerado a partir do tratamento das redes de esgoto, mostram-se cada vez mais importantes e promissoras.

Por ser composto basicamente por matéria orgânica o lodo têm em sua composição, vários macro e micronutrientes necessários para o plantio, podendo ainda, melhorar a produtividade de diversas culturas, tornando-o, uma alternativa importante a fim de reduzir a utilização de fertilizantes químicos na adubação.

Com um baixo índice de metal pesado na composição, os valores nutricionais se sobressaem e se a concentração máxima de cada metal no solo por área for levada em consideração, o lodo deixa de ser um problema e passa a ser um ótimo insumo para o plantio.

A partir do estudo realizado neste trabalho, foi possível constatar que além da viabilidade da aplicação do lodo como fonte parcial de nutrientes numa pastagem também é possível economizar uma parte do dinheiro gasto com fertilizante industrial.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AMUDA, O.S.; DENG, A.; ALADE, A.O.; HUNG, Y. **Conversion of Sewage sludge to Biosolids**. In: WANG, L. K.; SHAMMAS, N. K.; HUNG, Y. T. Handbook of Environmental Engineering, Vol. 7, Humana Press Inc., Totowa, NJ, U.S.A. Chapter 2. 2008. pp. 65-115.

ANDREOLI, C. V., VON SPERLING, M., FERNANDES, F. **Lodo de esgoto: Tratamento e disposição final**. Rio de Janeiro: Editora ABES, 2001.

ANDREOLI, C.V. (coord.) **Resíduos sólidos do saneamento: processamento, reciclagem e disposição final**. Rio de Janeiro: Rima, ABES, 282 p., 2001.

ANDREOLI, C.V. **Lodo de esgotos: tratamento e disposição final**. In: Cleverson V. Andreoli, Marcos von Sperling, Fernando Fernandes (Coordenadores). Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental – UFMG, Belo Horizonte; Companhia de Saneamento do Paraná, 2001.

ANDREOLI, C.V.; FERNANDES, F. DOMASZAK, S.C. **Reciclagem agrícola do lodo de esgoto: estudo preliminar para definição de critérios para uso agrônomico e de parâmetro para normatização ambiental e sanitária**. Companhia de Saneamento do Paraná, Curitiba: Sanepar, 1997.

ANDREOLI, C. V.; LARA, A. I.; FERNANDES, F. **Reciclagem de biossólidos: transformando problemas em soluções**. Curitiba: Sanepar; Finep, 1999. 288p.

ANDREOLLI, C. V.; LARA, A. I.; FERNANDES, F. **Reciclagem de Biossólidos: transformando problemas em soluções**. SANEPAR, FINEP, 2ª Edição, Curitiba, p.288, 2001.

ANDREOLLI, C.V, et al.; **Tratamento e disposição do lodo de esgoto no Paraná**. Sanare, Vol. 1(1), pp 10-15, Curitiba, PA, 1994.

AZAMBUJA, João M. V. de; **O Solo e o Clima na Produtividade Agrícola**. Guaíba, RS; Livraria e Editora Agropecuária Ltda., 1996.

BERNARDOAGRO.BLOGSPOT.COM.BR, 2011 – Acessado em 01/10/2015.

BETTIOL, W.; CAMARGO, O. A., ed. **Impacto ambiental do uso agrícola do lodo de esgoto**. Jaguariúna, SP: Embrapa Meio Ambiente, 2000. 312p.

BETTIOL, W; CAMARGO, O. A. A disposição de lodo de esgoto em solo agrícola. In: BETTIOL, W; CAMARGO, O. A. **Lodo de esgoto: 115 impactos ambientais na agricultura. Embrapa meio ambiente**. Jaguariuna, p. 17-24. 2006b.

BETTIOL, W; CAMARGO, O. A. Impacto ambiental do uso agrícola do lodo de esgoto: Descrição do estudo. In: BETTIOL, W; CAMARGO, O. A. **Lodo de esgoto: impactos ambientais na agricultura. Embrapa meio ambiente**. Jaguariuna, p.25-35, 2006^a.

BRASIL. CONAMA – CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE. Resolução n. 380, de 31 de outubro de 2006. Retifica o anexo I da Resolução CONAMA n. 375/06. **Diário Oficial da União**, Brasília, DF, n. 213, p. 59, 2006b.

CORRÊA, R.S. & CORRÊA, A.S. Valoração de biossólidos como fertilizantes e condicionadores de solos. **Sanare**, Curitiba, v.16, n. 2, p 49-56, 2001.

EPSTEIN, E. **Land application of sewage sludge and biossolid**. EUA. 2002. p.201.

GOUVÊA, L.C.; PEREIRA NETO, J.T. 1997. **Avaliação da distribuição de metais pesados durante o processo de compostagem de lodo de esgoto estritamente doméstico**. In: Anais do 19 Congresso Brasileiro de engenharia sanitária e ambiental. Foz do Iguaçu. PR.

GOBBI, M. A. **Potencialidade do uso do lodo de esgoto como fonte de macronutrientes no cultivo do milho (Zea mays L.)** no município de Maringá – PR. 2003. Tese (Doutorado em Agronomia/Energia na Agricultura) - Faculdade de Ciências Agrônômicas. Universidade Estadual Paulista. Botucatu.

HOFFMAN, R.; SERRANO, O.; NEVES, E. M.; THAME, A. C. M.; ENGLER, J. J. C. **Administração da empresa agrícola**. São Paulo: Pioneira, 1987. 325p. 5ª ed. rev.

HUMBERTO, J. J. **Combustão e Combustíveis: Apostila Química Tecnológica Geral**; Florianópolis; UFSC; 2004; 45 p.

IBGE – INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. Pesquisa nacional do saneamento básico - 2008. Disponível em www.ibge.gov.br acesso em 01/10/11.

JORDÃO, E. P.; PESSOA, C. A. **Tratamento de esgotos domésticos**. ABES, 5ª edição, Rio de Janeiro, 2009.

KAJITVICHYANUKUL, P.; ANANPATTARACHAI, J.; AMUDA, O.S.; ALADE A.O., HUNG, Y. T.; WANG, L.K. **Biosolids Land Disposal and Bioreactor Landfill**. In: Handbook of Environmental Engineering, Vol. 7, Humana Press Inc., Totowa, NJ, U.S.A. Chapter 8. 2008. pp. 415-442.

KVARNSTROM, E. & NILSSON, M. Reusing phosphorus: engineering possibilities and economic realities. **Journal of Economic Issues**, Knoxville, v.33, n.2, p.393-341, June 1999.

LEGAN, L. **Soluções sustentáveis: permacultura urbana**. Pirenópolis, GO: Mais Calango Editora, Ecocentro IPEC, 64 p., 2007.

MENDONÇA, ANGÉLICA. Palmas ganha nova Estação de Tratamento de Esgoto, considerada uma das mais modernas do Brasil. Palmas Tocantins 2013. Disponível em: <http://casacivil.to.gov.br/noticia/2013/6/4/palmas-ganha-novaestacaode->

tratamento-de-esgoto-considerada-uma-das-mais-modernas-do-brasil/ Acessado em 23/09/2015.

MELO, V. P. de. **Propriedades químicas e disponibilidade de metais pesados para a cultura do milho em dois latossolos que receberam a adição de biossólido**. 2002. Dissertação (Mestrado em Agronomia/Produção Vegetal) - Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias. Universidade Estadual Paulista. Jaboticabal

METCALF; EDDY, INC. **Wastewater engineering: Treatment, disposal and reuse**. New York: Ed. McGraw-Hill, 2002. 1334 p.

PESSOA, C. A.; JORDÃO, E. P. **Tratamento de esgotos domésticos: concepções clássicas de tratamento de esgotos**. 2. ed. Rio de Janeiro: ABES, 1982.

RAIJ, B. VAN. **Seleção de métodos de laboratório para avaliar a disponibilidade de fósforo em solos**. R. bras. Ci. Solo, 2:1-9, 1998

RESENDE, F. V.; FAQUIN, V.; SOUZA, R. J. Efeito da adubação nitrogenada no crescimento e na produção de alho proveniente de cultura de tecidos e de multiplicação convencional. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.24, n.1, p.49-57, 2000.

RICHTER, Carlos A.; NETO, José M. de A. **Tratamento de água: Tecnologia atualizada**. 1. ed. São Paulo; Blucher, 1991.

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

ROCKSTROM, em: TEIXEIRA, camilo de. **Higienização de lodo de estação de tratamento de esgoto por compostagem termofílica para uso agrícola**, p. 29 J, W.; STEFFEN, K; NOONE, Å. PERSSON, F. S. CHAPIN, III; LAMBIN, T. M. LENTON, M; SCHEFFER, C; NYKVIST, C. A;. DE WIT, T; VAN DER LEEUW, H; RODHE, S; SORLIN, P. K; SNYDER, R; COSTANZA, U; FALKENMARK, L.) (KARLBER, R. W; CORELL, V. J;, K; RICHARDSON, P; CRUTZEN, J; FOLEY. 2009 in: A safe operation space for humanity. **Nature**. v.461, p.772-475, 2009.

SPERLING, Marcos V. **Introdução á qualidade das águas e ao tratamento de esgoto: princípios do tratamento biológico de águas residuárias**. 3 ed. Belo Horizonte: Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental; Universidade Federal de Minas Gerais, 2005.

SEROA DA MOTA, R. **Manual para valoração econômica de recursos ambientais**. Brasília: Ministério do meio Ambiente, Recursos Hídricos e Amazônia legal – MMA, IPEA, PNUD, CNPq. 1998. 218 p. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/port/sbf/chm/publica/mvalora/man0102.html#s02>> Acesso em: 11 de março de 2016.

SILVA, J.E.; RESCK, D.V.S. & SHARMA, R.D. Alternativa agrônômica para o biofóssido produzido no distrito federal. II – Aspectos qualitativos, econômicos e práticos de seu uso. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.26, p.497-503, 2002c.

TRANNIN, I.C.B.; SIQUEIRA, J.O. & MOREIRA, F.M.S. **Avaliação agrônômica de um biofóssido industrial para a cultura do milho**. *Pesq. Agropec. Bras.*, 40:261-269, 2005.

TRIGUEIRO, R. M. **Uso de biofóssidos como substrato para produção de mudas de pinus e eucalipto**. 2002. 83f. Dissertação (Mestrado em Agronomia/Energia na Agricultura) - Faculdade de Ciências Agrônômicas, Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 2002.

TSUTIYA, M. T. et al.; **Biofóssidos na agricultura**. 1a Ed. São Paulo: SABESP, 2001.

TUROVSKIY I. S.; MATHAI P. K. **Wastewater sludge processing**. New York: Wiley. U.S. Environmental Protection Agency, Emerging Technologies for Biosolids Management, US EPA/832/R-06/005, Washington, DC (2006). 383 p.

USEPA - U.S. Environmental Protection Agency, **Process Design Manual for Sludge Treatment and Disposal**, EPA 625/1-79/011, Washington, DC, (1979).

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

VECCHIA, P. D. **Tratamento de água residuária oriunda do processo de lapidação e polimento de vidro**. Pato Branco; 2012. p. 12.

VON SPERLING, M. **Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos**. Rio de Janeiro: ABES, 2002. 243p.

YOSHIMA, S., SILVA, C.R.A., GARRAFA, M.T.F., NAVARENHO, P.L., GADO, R. A Biomassa como Alternativa Energética para o Brasil. **Revista Brasileira de Ciências Ambientais**. n.2, p. 25 - 36, 2005.