



CENTRO UNIVERSITÁRIO LUTERANO DE PALMAS

Recredenciado pela Portaria Ministerial nº 1.162, de 13/10/16, D.O.U nº 198, de 14/10/2016
ASSOCIAÇÃO EDUCACIONAL LUTERANA DO BRASIL

Thiago Magalhães Souza

UTILIZAÇÃO DO LODO RESIDUAL PROVENIENTE DA ESTAÇÃO DE TRATAMENTO DE ESGOTO COM FOCO NA SUA APLICABILIDADE EM SOLO PARA AGRICULTURA

Palmas - TO

2018

Thiago Magalhães Souza

UTILIZAÇÃO DO LODO RESIDUAL PROVENIENTE DA ESTAÇÃO DE
TRATAMENTO DE ESGOTO COM FOCO NA SUA APLICABILIDADE EM SOLO
PARA AGRICULTURA

Trabalho de Conclusão de Curso (TCC) II elaborado e apresentado como requisito parcial para obtenção do título de bacharel em Engenharia Civil pelo Centro Universitário Luterano de Palmas (CEULP/ULBRA).

Orientador: Prof. Dr. José Geraldo Delvaux Silva.

Palmas - TO

2018

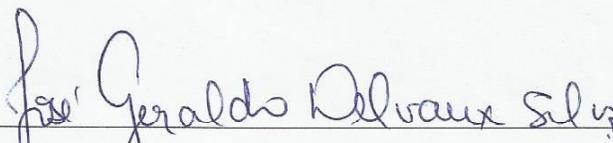
Thiago Magalhães Souza
UTILIZAÇÃO DO LODO RESIDUAL PROVENIENTE DA ESTAÇÃO DE
TRATAMENTO DE ESGOTO COM FOCO NA SUA APLICABILIDADE EM SOLO
PARA AGRICULTURA

Trabalho de Conclusão de Curso (TCC) II elaborado e
apresentado como requisito parcial para obtenção do
título de bacharel em Engenharia Civil pelo Centro
Universitário Luterano de Palmas (CEULP/ULBRA).

Orientador: Prof. Dr. José Geraldo Delvaux Silva.

Aprovado em: 06/11/2018

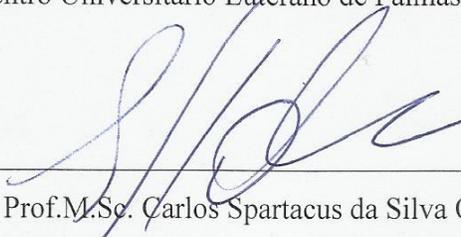
BANCA EXAMINADORA



Prof. Dr. José Geraldo Delvaux Silva

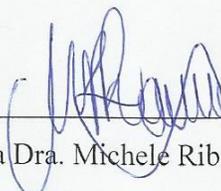
Orientador

Centro Universitário Luterano de Palmas – CEULP



Prof. M.Sc. Carlos Spartacus da Silva Oliveira

Centro Universitário Luterano de Palmas - CEULP



Prof.ª Dra. Michele Ribeiro Ramos

Centro Universitário Luterano de Palmas - CEULP

Palmas - TO

2018

Dedico este trabalho aos que se fizeram presente ao longo desta jornada acadêmica tornando possível a conquista do título de Bacharel em Engenharia Civil.

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus por me dar a oportunidade, sabedoria, forças para chegar até este momento de conclusão de mais uma etapa em minha vida.

Agradeço meus pais, minha família, minha namorada, amigos e colegas que contribuíram, incentivaram e tiveram paciência. Agradeço imensamente ao orientador José Geraldo pelo apoio e sabedoria transmitidos para a realização deste trabalho.

“Deus quer, o homem sonha, a obra nasce.”

(Fernando Pessoa)

RESUMO

SOUZA, Thiago Magalhães. **Utilização do lodo residual proveniente da estação de tratamento de esgoto com foco na sua aplicabilidade em solo para agricultura.** 71 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) – Curso de Engenharia Civil, Centro Universitário Luterano de Palmas, Palmas/TO, 2018.

O crescimento populacional desordenado, nos últimos anos, vem ocasionando problemas no setor de saneamento básico, forçando o sistema a buscar alternativas mais eficazes para atender as demandas existentes e futuras, o que afeta diretamente a qualidade de vida das pessoas, pois a falta de tratamento adequado do esgoto encadeia uma série de fatores favoráveis para a proliferação de doenças à população. A correta disposição do esgoto reduz impactos ambientais, contribuindo para a melhoria da saúde, possibilitando o surgimento de alternativas sustentáveis de uso dos produtos provenientes das Estações de Tratamento de Esgoto (ETE). Diante disso, um dos produtos resultantes das ETE's com aspectos que o torna favorável para se reutilizar de maneira sustentável, é o lodo de esgoto, que é gerado em quantidades elevadas nas estações. Em sua composição nota-se a presença de elementos como: nitrogênio (N), fósforo (P) e potássio (K), nutrientes que possibilitam sua inserção para enriquecer solos agricultáveis. Porém, além de conter tais nutrientes favoráveis, o lodo também possui metais pesados e substâncias nocivas ao ser humano, devendo considerar seu tratamento antes da aplicação. Assim, após o correto tratamento do material, obteve-se resultados positivos para sua aplicação ao solo, com controle da quantidade de metais pesados e teores de nutrientes capazes de promover melhorias ao desenvolvimento no que diz respeito a cultura agrícola presente. Consequente a isso, a utilização do lodo de esgoto permitiu uma economia razoável em relação a produtos industrializados e a área de aplicação destes que oferecem as mesmas características ao solo, o que garantiu que sua utilização possui cunho viável economicamente e sustentável ambientalmente.

Palavras-chave: Lodo, Nutrientes, Saneamento Básico.

ABSTRACT

SOUZA, Thiago Magalhães. **Use of sewage sludge from the sewage treatment plant with a focus on its applicability in agricultural soil.** 71 p. Course Completion Work (Undergraduate) - Civil Engineering Course, Lutheran University Center of Palmas, Palmas / TO, 2018.

Disorganized population growth in recent years has led to problems in the basic sanitation sector, forcing the system to seek more effective alternatives to meet existing and future demands, which directly affects people's quality of life, since the lack of treatment of sewage links a number of factors favorable to the proliferation of diseases to the population. The correct disposition of the sewage reduces environmental impacts, contributing to the improvement of health, allowing the emergence of sustainable alternatives of use of the products coming from Sewage Treatment Stations (STS). Therefore, one of the products resulting from STS's with aspects that make it favorable to reuse in a sustainable way, is the sewage sludge, which is generated in high quantities in the stations. In its composition, the presence of elements such as nitrogen (N), phosphorus (P) and potassium (K), nutrients that enable its insertion to enrich arable soils. However, besides containing such favorable nutrients, the sludge also contains heavy metals and substances harmful to humans, and should consider its treatment before application. Thus, after the correct treatment of the material, positive results were obtained for its application to the soil, with control of the amount of heavy metals and nutrient contents capable of promoting development improvements with respect to the present agricultural crop. Consequently, the use of sewage sludge allowed a reasonable saving in relation to industrialized products and the area of application of these, which offer the same characteristics to the soil, which ensured that its use is economically feasible and environmentally sustainable.

Key words: Sludge, Nutrients, Basic sanitation.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 01: Atlas esgoto Brasil

Figura 02: Atlas esgoto Tocantins

Figura 03: Atlas esgoto Palmas- TO

Figura 04: Ciclo do sistema de esgotamento sanitário

Figura 05: Hidrograma típico da vazão afluente de uma ETE

Figura 06: Comparativo em percentual de domicílios brasileiros com iluminação elétrica, coleta de lixo, abastecimento de água e esgotamento sanitário no ano de 2014.

Figura 07: Comparativo em percentual de domicílios brasileiros com iluminação elétrica, coleta de lixo, abastecimento de água e esgotamento sanitário no ano de 2015.

Figura 08: Processo que ocorre dentro da lagoa facultativa.

Figura 09: Processo químico que ocorre entre os componentes da lagoa facultativa.

Figura 10: ETE Norte, Palmas- TO

Figura 11: Processo total de tratamento do esgoto.

Figura 12: Localização ETE Norte

Figura 13: Gradeamento mecanizado

Figura 14: Estação elevatória de esgoto bruto

Figura 15: Tratamento preliminar

Figura 16: Calha Parshall

Figura 17: UASB

Figura 18: Reator de lodo ativado

Figura 19: Decantador secundário

Figura 20: Tanque de lodo

Figura 21: Armazenamento lodo desidratado

Figura 22: Queimador de gás

Figura 23: Ciclo do nitrogênio

Figura 24: Ligação peptídica aminoácido

Figura 25: Estrutura de quitina

Figura 26: Estrutura parede celular

Figura 27: Estrutura básica de um nucleotídeo

Figura 28: Estrutura das bases púricas (A) e pirimídicas (B)

Figura 29: Ciclo do Potássio (K), relação solo e planta

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

AAS	Atomic Absorption Spectroscopy
ANA	Agência Nacional de Águas
ATR	Agência Tocantinense de Regulação, Controle e Fiscalização de Serviços Públicos.
CETESB	Companhia Ambiental do Estado de São Paulo
CONAMA	Conselho Nacional do Meio Ambiente
COPASA	Companhia de Saneamento de Minas Gerais
DBO	Demanda Bioquímica de Oxigênio
DQO	Demanda Química de Oxigênio
EEEB	Estações Elevatórias de Esgoto Bruto
EMPRAPA	Empresa Brasileira de Pesquisa
ETE	Estação de Tratamento de Esgoto
FUNASA	Fundação Nacional de Saúde
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatísticas
NBR	Norma Brasileira
OAS	Organization of American States
OMS	Organização Mundial da Saúde
WHO	World Health Organization
ONU	Organização das Nações Unidas
PLANASA	Plano Nacional de Saneamento
PROSAB	Programa de Pesquisa em Saneamento Básico
SNIS	Sistema Nacional de Informações Sobre Saneamento
UASB	Reator Anaeróbio de Manta de Lodo

LISTA DE SIMBOLOS

<i>B</i>	Boro
°C	Escala de grau Celsius
<i>C</i>	Carbono
<i>Ca</i>	Cálcio
<i>Cd</i>	Cádmio
<i>CH₄</i>	Gás metano
<i>cm³</i>	Centímetro cúbico
<i>Co</i>	Cobalto
<i>CO₂</i>	Gás carbônico
<i>Cr</i>	Crômio
<i>Cu</i>	Cobre
<i>dm</i>	Decímetro
<i>Fe</i>	Ferro
<i>g</i>	Gramma
<i>H</i>	Hidrogênio
<i>H₂S</i>	Ácido sulfídrico
<i>ha</i>	Hectare
<i>hb</i>	Habitante
<i>K</i>	Potássio
<i>K₂O</i>	Óxido de potássio
<i>KNO₃</i>	Nitrato de potássio
<i>K₂SO₄</i>	Sulfato de potássio
<i>K₂SO₄. 2MgSO₄</i>	Sulfato duplo de potássio e magnésio
<i>KCl</i>	Cloreto de potássio
<i>kg</i>	Quilograma
<i>km</i>	Quilômetro
<i>L</i>	Litro
<i>mg</i>	Miligrama
<i>Mg</i>	Magnésio
<i>mmolc</i>	Milimol de carga

<i>Mn</i>	Manganês
<i>N</i>	Nitrogênio
<i>NaOH</i>	Hidróxido de sódio
<i>NH₃</i>	Amoníaco
<i>Ni</i>	Níquel
<i>O₂</i>	Oxigênio
<i>OH</i>	Hidróxido
<i>P</i>	Fósforo
<i>Pb</i>	Chumbo
<i>pH</i>	Potencial hidrogeniônico
<i>P₂O₅</i>	Pentóxido de fósforo
<i>s</i>	Segundo
<i>ton.</i>	Tonelada
<i>Zn</i>	Zinco

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO.....	01
1.1 PROBLEMA.....	02
1.2 HIPÓTESE	02
1.3 OBJETIVOS	02
1.3.1 Objetivo Geral.....	02
1.3.2 Objetivo Específico	03
1.4 JUSTIFICATIVA.....	03
2. REFERENCIAL TEÓRICO	05
2.1 SANEAMENTO BÁSICO	05
2.2 HISTÓRIA DO SANEAMENTO BÁSICO E TRATAMENTO DE ÁGUA E ESGOTO	08
2.2.1 Idade Antiga.....	08
2.2.2 Idade Média	08
2.2.3 Idade Moderna.....	09
2.2.4 Idade Contemporânea	09
2.2.5 Surgimento das legislações no Brasil.....	09
2.3 DEFINIÇÃO DO ESGOTO SANITÁRIO	10
2.4 CARACTERÍSTICAS DO ESGOTO SANITÁRIO	10
2.4.1 Características físicas	11
2.4.2 Características químicas.....	12
2.4.3 Características biológicas	14
2.5 SISTEMA DE ESGOTAMENTO SANITÁRIO.....	15
2.5.1 Ausência de sistema de coleta de esgoto.....	15
2.5.2 Tratamento do esgoto	17
2.5.3 Fases do tratamento de esgoto.....	18
2.6 IMPORTÂNCIA DO TRATAMENTO DE ESGOTO.....	20
2.7 CARACTERÍSTICAS DO LODO DE ESGOTO	20
2.8 TRATAMENTO E DISPOSIÇÃO FINAL DO LODO.....	22
2.8.1 Aterro sanitário.....	23
2.8.2 Incineração.....	24
2.8.3 Reuso industrial.....	24
2.8.4 Reciclagem agrícola	24

2.8.3 Landfarming	25
2.9 APLICABILIDADE DO LODO DE ESGOTO NO SOLO.....	25
2.9.1 Fertilidade e características do solo	26
2.10 ESTAÇÃO DE TRATAMENTO DE ESGOTO NORTE (PALMAS – TO)	26
3. MATERIAL E MÉTODOS	28
3.1. AMOSTRAGEM	28
3.2. ANÁLISE DE METAIS/PARÂMETROS PARA METAIS PESADOS (<i>mg/kg</i> de lodo seco)	29
3.3. INSERÇÃO DO LODO AO SOLO.....	29
3.3.1 Composição do lodo	29
3.3.2 Taxa de aplicação do lodo x nutrientes	30
3.3.3 Taxa de aplicação do lodo x metais pesados	30
3.4 VIABILIDADE ECONÔMICA DA UTILIZAÇÃO DO LODO	30
4. RESULTADOS E DISCUSSÕES	31
4.1 ESTAÇÃO DE TRATAMENTO DE ESGOTO	31
4.1.1 Estações de tratamento de esgoto em Palmas – TO	31
4.1.2 Estação de tratamento de esgoto Norte	31
4.1.3 Etapas do tratamento de esgoto da ETE Norte	31
4.2 MACRONUTRIENTES APLICADOS AO LODO (<i>N, P, K</i>)	36
4.2.1 Nitrogênio (<i>N</i>)	36
4.2.2 Fósforo (<i>P</i>)	39
4.2.3 Potássio (<i>K</i>)	40
4.2.4 Resultados das concentrações nas amostras	42
4.3 METAIS PESADOS	44
4.4 VIABILIDADE ECONÔMICA	45
4.5 APLICAÇÃO DO LODO DA ESTAÇÃO DE TRATAMENTO DE ESGOTO DE PALMAS- TO AO SOLO.....	47
CONCLUSÃO	48
REFERÊNCIAS	49
ANEXOS	54

1. INTRODUÇÃO

Com o desenvolvimento urbano, se tem um crescimento desordenado referente a ocupação populacional, o que gera descontrole e uma carência de saneamento básico. Tal crescimento das cidades pode ocasionar dificuldades no que se refere a sanar problemas de utilidade pública, como: abastecimento de água, limpeza pública, coleta de esgoto e resíduos, entre outros.

A qualidade de vida está relacionada diretamente ao saneamento básico, o que traz um bem-estar social, preservando o meio ambiente. De acordo com a Constituição da Organização Mundial da Saúde (OMS, 1946), todo ser humano tem o direito de gozar do melhor estado de saúde que é possível atingir, constituindo seus direitos fundamentais, sem distinção de raça, de religião, de credo político, de condição econômica ou social. No Brasil, de acordo com o Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento (SNIS, 2014), em média 60% dos esgotos não são tratados e mais de 100 milhões de brasileiros não tem acesso a este serviço. De forma geral, as capitais brasileiras geram em torno de 1,2 bilhões de metro cúbico de volume de esgoto por ano, que são tratados pelas Estações de Tratamento de Esgoto e lançados na natureza.

Uma correta disposição do esgoto reduz impactos ambientais além de auxiliar a saúde pública, evitando a veiculação de doenças que ocorrem por meio hídrico, causadas principalmente por microrganismos patogênicos de origem entérica, animal ou humana (Instituto Trata Brasil, 2018). Além disso, o despejo incorreto das águas servidas pode acarretar no assoreamento de corpos hídricos, desequilíbrio ecológico, entre outros, o que vem a agravar ainda mais a crise hídrica sofrida nos últimos anos.

A fim de se reverter tal quadro impróprio de descarte, a solução vem da implantação de Estações de Tratamento de Esgoto (ETE), cujo objetivo se baseia na remoção de poluentes residentes nas águas sem que afete a sua qualidade, havendo assim o tratamento correto desses efluentes por metodologias físicas, químicas ou biológicas.

Conforme cita Campos (1999), de um modo geral, 98% do esgoto sanitário é constituído por água, quanto a outra parcela corresponde aos sólidos, sendo que em sua maioria, posteriormente, se transforma em lodo. Von Sperling (2001) explica que, apesar da geração de lodo ficar em torno de 1 a 2% do volume de esgoto, o gerenciamento deste é extremamente complexo, sendo que seu custo varia de 20 a 60% do total gasto com o operacional da ETE.

Contudo, se tem uma grande preocupação quanto à disposição final do lodo gerado pelas ETE's, os métodos mais comuns são promover a incineração do mesmo, disposição em Aterros

Sanitários, utilização de *landfarming*¹ ou a reciclagem agrícola. Dentre tais métodos, o Conselho Nacional de Meio Ambiente (CONAMA, 2008), regulamenta apenas a reciclagem agrícola (Resolução 375), isso não implica dizer que os demais métodos são irregulares. Todo o lodo que é resultante dos processos de decomposição dos efluentes, possui uma grande quantidade de matéria orgânica e nutrientes, o que possibilita a sua aplicação no solo de áreas agrícolas.

Ao optar pela metodologia a se aplicar para a disposição final do lodo, um fator importante que se deve levar em conta é o impacto ambiental gerado por tal prática. Com isso, o estudo tem como foco analisar e ponderar a aplicação do lodo gerado por uma ETE em um determinado solo, promovendo assim uma melhoria quanto aos nutrientes presentes no lodo e sua interferência ao solo.

1.1 PROBLEMA

Avaliando que o lodo gerado nas Estações de Tratamento de Esgoto possui quantidade considerável e ciente dos métodos de disposição final deste, de que forma sua reciclagem na agricultura, tendo como princípio a sua inserção no solo, pode contribuir para discernir sua utilização em grandes áreas de cultivo?

1.2 HIPÓTESE

A utilização do lodo em solos agrícolas se mostra uma alternativa viável no que diz respeito a melhoria dos nutrientes necessários de um solo para que este se classifique como fértil, além de promover certa economia financeira.

Após realizado tratamento do lodo, este é inserido diretamente ao solo o que eleva a concentração de nutrientes, que seriam adubados com produtos químicos industrializados à base de nitrogênio, fósforo e potássio.

1.3 OBJETIVOS

1.3.1 Objetivo Geral

Apontar a possível viabilidade da utilização do lodo proveniente do tratamento de esgoto em solos agrícolas, com foco na redução dos impactos causados por ele ao meio ambiente.

¹ *Landfarming* é um termo utilizado na agricultura para designar o processo de mistura do solo degradado e contaminado com um solo limpo que contenha nutrientes adequados, tal efeito gera o crescimento de fungos e bactérias que posteriormente irão anular os contaminantes do solo anterior (PORTAL DA EDUCAÇÃO, 2018).

1.3.2 Objetivo Específico

- Apresentar as etapas de tratamento do esgoto em uma Estação de Tratamento de Esgoto (ETE) em Palmas – TO;
- Analisar os teores dos nutrientes e metais pesados existentes no lodo de uma Estação de Tratamento de Esgoto (ETE) localizada em Palmas - TO;
- Analisar a possível utilização do lodo proveniente da Estação de Tratamento de Esgoto (ETE) de Palmas - TO na aplicação do solo;
- Demonstrar a viabilidade econômica do emprego de tal material em culturas agrícolas.

1.4 JUSTIFICATIVA

O desordenamento urbano devido ao êxodo rural ocorrido durante a Revolução Industrial afetou diversos setores da cidade, dentre elas destacam-se a falta de saneamento básico, alta densidade territorial, precariedade no controle de doenças, entre outras. As consequências ligadas a infraestrutura geraram caos, a por exemplo se tem o aumento na produção de efluentes, tal situação pressionou as autoridades a buscar meios para sanar estes problemas.

Os problemas ocasionados nas temporalidades anteriores, refletem-se em várias outras atividades desenvolvidas atualmente. Pode-se mencionar que na agricultura a busca crescente pela utilização de produtos confiáveis e sustentáveis provem melhorias físicas, químicas e biológicas do solo.

Na esfera ambiental, o lodo que se obtém pelo tratamento de esgoto é rico em nutrientes que podem ser utilizadas para enriquecer os solos agricultáveis, entretanto, este elemento possui em sua composição alguns metais pesados e organismos que são nocivos ao ser humano, resultando maior atenção no seu propósito.

Segundo a Lei nº 261, de 20 de fevereiro de 1991, que dispõe sobre a política ambiental do Estado do Tocantins, o capítulo 2 aborda os objetivos e diretrizes que devem ser seguidas, dentre elas a garantia de priorizar processos de insumos agrícolas compatíveis com a saúde ambiental. Dessa forma, as pesquisas com foco na melhoria de produtos utilizados na agricultura ganham total atenção e viabilidade, desde que estejam em conformidade com o equilíbrio ambiental e consequentemente à sustentabilidade.

Conforme apresentado, o estímulo para realização do presente estudo baseou-se na possibilidade de reduzir a interferência antrópica ao meio ambiente, a fim de moderar tal dependência da fabricação pela substituição de materiais reciclados. O propósito de se utilizar

estes materiais resulta na amenização dos impactos causados, impulsionando seu discernimento pela população agrícola, dentre outras, com intuito de reduzir o elevado custo no gerenciamento e disposição correta do lodo, além de minimizar os gastos com insumos na agricultura.

2. REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 SANEAMENTO BÁSICO

O saneamento básico é um direito constituído pela lei nº. 11.445/2007 que possui um dos princípios fundamentais a universalização do abastecimento de água potável, coleta, transporte e tratamento do esgoto sanitário e resíduos sólidos, entre outros.

O acesso a informação é de essencial importância no que diz respeito a colocação da população frente ao ambiente em que se insere, assim, os órgãos e entidades a partir desse retorno promovem investimentos para que se eleve a qualidade de vida populacional. De todos os setores que envolve a infraestrutura de uma cidade, o saneamento básico é tido como primordial, sendo que seus fatores garantem a salubridade ambiental e dignidade humana.

No Brasil o sistema de políticas públicas ainda é de certa forma precário, em principal no que diz respeito ao esgotamento sanitário. Como alternativa de implantação de políticas públicas mais eficientes se tem parcerias com iniciativas privadas.

De acordo com a ficha técnica Medindo o Saneamento, disponível pela Fundação Getúlio Vargas (2018), foram propostas minutas de medidas provisórias com mudanças no marco legal no saneamento no último trimestre do ano de 2017, atraindo capital privado para ampliar o acesso aos serviços de saneamento.

A Agência Nacional das Águas (ANA), em sua plataforma digital, disponibiliza o atlas esgoto como uma ferramenta de auxílio com informações no diagnóstico do setor de saneamento básico. Com ele é possível acessar dados nacionais ou por unidade federativa (Figuras 01, 02 e 03), com uma perspectiva populacional e dados relacionados a esse crescimento demográfico.

Além de apresentar soluções de tratamento de esgoto, tal plataforma aponta diagnósticos sobre a eficiência mínima de remoção de carga poluidora dos esgotos e a capacidade receptora do corpo hídrico frente a essa carga, de modo que seja possível manter suas qualidades após diluição do efluente.

Figura 01: Atlas esgoto Brasil



Fonte: ANA (2018)

Figura 02: Atlas esgoto Tocantins



Fonte: ANA (2018)

Figura 03: Atlas esgoto Palmas- TO



Fonte: ANA (2018)

No atlas esgoto do Tocantins (Figura 02), nota-se que 54,06% do esgoto da cidade não é coletado e nem tratado, 28,97% é coletado e tratado de forma correta, 15,66% é coletado e tratado com soluções individuais, nesse caso se enquadram a utilização de fossas sépticas, valas, entre outros, e 1,31% do esgoto é coletado porém não se tem o tratamento, contaminando a região em que é despejado.

2.2 HISTÓRIA DO SANEAMENTO BÁSICO E TRATAMENTO DE ÁGUA E ESGOTO

2.2.1 Idade Antiga

Neste período que compreende a idade antiga, o povo notou que havia acúmulo de lixo e água suja nos locais em que viviam, posteriormente aprenderam que esse acúmulo era propício para disseminação de doenças, assim, desenvolveram técnicas para evitar com que isso acontecesse. Foi então que se iniciou a ideia de saneamento básico. Construíram diques, canalizações superficiais e subterrâneas e de irrigação (EOS, 2018).

Quanto as medidas sanitárias criaram-se o tratado de Hipócrates: “Ares, Águas e Lugares”, que informava aos médicos sobre a relação entre o ambiente e a saúde. Na Grécia já se enterravam as fezes ou as depositavam o mais distante possível das habitações. Em Roma, somente os que possuíam melhores condições financeiras recebiam encanamento em suas residências, pois tal serviço era pago, nesse mesmo período surgiram as doenças de veiculação hídrica, induzindo ao afastamento das águas servidas (EOS, 2018).

As primeiras galerias de esgoto da história foram construídas em Nippur, na Babilônia. O império Romano também desenvolveu um sistema de abastecimento que consistia em um aqueduto com aproximadamente 17 *km* de extensão, construíram reservatórios, e nomearam um responsável efetivo como Superintendente de Águas de Roma (EOS, 2018).

2.2.2 Idade Média

A água era tida como um elemento vital para o desenvolvimento econômico, com utilização, além do consumo, para rodas d'água para moagem, tecelagem, tinturaria e curtimento. Em 1425, (EOS, 2018), foi revelado ensinamentos de hidráulica, saneamento e gestão das águas, passando sua responsabilidade do governo para os cidadãos. Algumas famílias, grande parte delas, escavavam poços dentro de suas casas, próximas a fossas e esterco de animais, causando contaminação em massas de doenças como: cólera, lepra e tifo, onde metade da população da Europa veio a óbito junto a quase um terço da população da Índia.

2.2.3 Idade Moderna

No período entre 1453 a 1789, a hidrologia começou a ser explorada, desenvolvendo metodologia de medição de velocidade de escoamento e de vazões, estabeleceu também que rios, fontes e águas subterrâneas dependiam das chuvas para se formarem (EOS, 2018).

Em Paris, a distribuição era controlada por canalizações. No Brasil inicia com obras de saneamento, construção do aqueduto do Rio Carioca para abastecimento do Rio de Janeiro.

Em 1664, iniciou a fabricação de tubos de ferro fundido, sendo implantados na distribuição de água canalizada, posteriormente houve a invenção da bomba centrífuga, em 1775, ambos por Johan Jordan.

2.2.4 Idade Contemporânea

Iniciando-se no ano de 1790, até os dias atuais, na França em 1829, houve intensificação ao combate à poluição das águas, criando leis que puniam os indivíduos que provocassem por algum meio a contaminação das águas. Na Inglaterra, os resíduos industriais foram incluídos na lei britânica de poluição as águas (EOS, 2018).

Em meados do século XIX iniciou a implantação do saneamento, administração e legislação, contribuindo para que Edwin Chadwick realizasse estudos que serviram de base para o desenvolvimento das relações entre saúde e saneamento, foi quando iniciou a implantação da medicina preventiva.

Na década de 50 surgiram no Brasil, problemas relacionados a degradação dos corpos hídricos, devido à industrialização e urbanização, conflitos sociais e aumento da pobreza, má qualidade de vida, concentração populacional, exploração contínua e desregulada de produtos naturais.

2.2.5 Surgimento das legislações no Brasil

Foram criadas leis que minimizassem os problemas referentes a infraestrutura e saneamento básico no Brasil, servindo como diretrizes que instruíram o Plano Nacional de Saneamento (PLANASA), surgiram também órgãos responsáveis pelo monitoramento da aplicação dessas leis, como: ANA (Agência Nacional de Águas) que promove o gerenciamento dos recursos hídricos, SNIS (Sistema Nacional de Informação sobre Saneamento), que fornece informações sobre saneamento, entre outros (EOS, 2018).

2.3 DEFINIÇÃO DO ESGOTO SANITÁRIO

O esgoto sanitário, de acordo com a normatização brasileira, é definido como um líquido que deve ser conduzido a um destino final, classificando-se quanto a sua origem, são eles: Esgoto doméstico, que é resultante do uso da água para limpeza pessoal e necessidades fisiológicas; Esgoto industrial, proveniente de processos industriais em conformidade com os padrões de lançamento estabelecidos pelo órgão fiscalizador; Água de infiltração, são advindas do subsolo e que adentra nas canalizações e Águas pluviais, que são originárias das chuvas (NBR 9649/86).

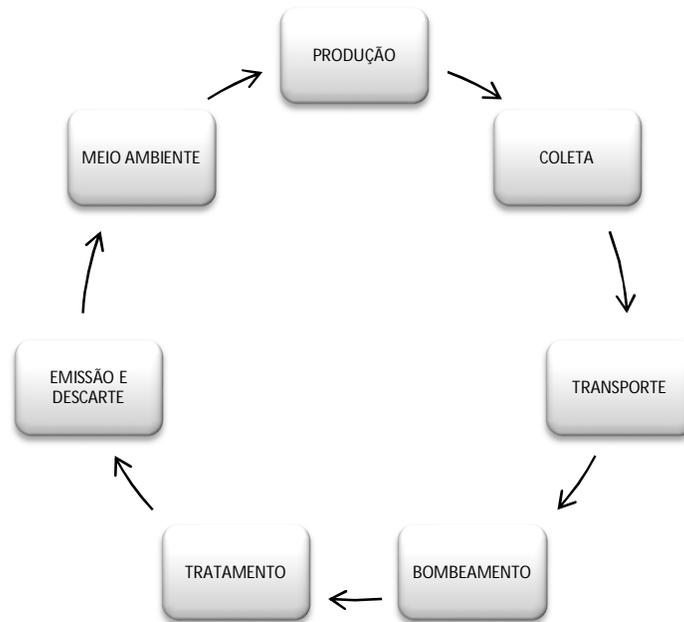
2.4 CARACTERÍSTICAS DO ESGOTO SANITÁRIO

O esgoto sanitário se define como uma mistura de líquido e matéria orgânica (fezes, urina e água do serviço doméstico), seu volume é 99% composto por água e 1% ou mais de matéria orgânica, sendo que o principal objetivo do tratamento seja realizar a separação dessa mistura, fazendo com que as partículas sólidas fiquem “inertes” quimicamente, sem que prejudique o meio ambiente na disposição final (CESAN, 2013).

De acordo com Campos (1999), de modo geral, além dos compostos orgânicos e água, o esgoto também é composto por sólidos suspensos, nutrientes (nitrogênio e fósforo), metais, sólidos dissolvidos, inorgânicos, sólidos inertes, sólidos grosseiros, compostos não biodegradáveis, organismos patogênicos e contaminantes tóxicos como resultado das atividades industriais ou acidentais.

Um ciclo do sistema de esgotamento sanitário compreende desde a sua produção, seja ela domiciliar ou industrial, até o meio ambiente em que é disposto. No intermédio desse ciclo se encontram todo o traçado de linhas de coleta de esgoto que levam a instalação de ETE's, que promove seu tratamento adequado até destinação final, conforme ilustrado na Figura 04.

Figura 04: Ciclo do sistema de esgotamento sanitário



Fonte: Autor (2018)

Em se tratando das características do esgoto, a FUNASA (2006) o divide quanto as características físicas, químicas e biológicas.

2.4.1 Características físicas

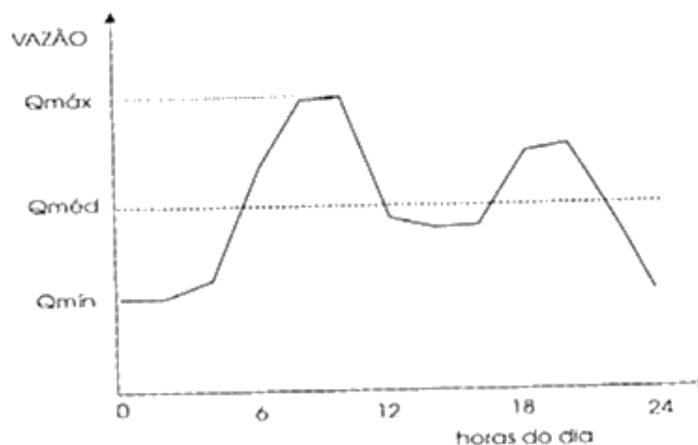
Quanto a matéria sólida, o esgoto doméstico possui 0,1% composto por sólidos, mesmo sendo uma porcentagem baixa, já acarreta problemas de poluição das águas, havendo a obrigatoriedade de se eliminar tais poluentes. A temperatura do esgoto é semelhante as condições das águas de abastecimento, sendo que em elevadas temperaturas o esgoto tende a se decompor com mais facilidade (CESAN, 2013).

O odor característico do esgoto é proveniente da elevada concentração dos gases formados no processo de decomposição da matéria orgânica, quando novo seu odor se assemelha ao do mofo, já quando envelhecido se torna mais forte, adquirindo maior concentração de gás sulfídrico o que leva a ter um odor de algo podre. A coloração e turbidez do esgoto permite aferir a quanto tempo este se decompõe, a tonalidade mais acinzentada é característica de esgoto novo, já a coloração mais escura compreende um esgoto velho, cujo processo de tratamento iniciou a mais tempo (AMORIM, 2013).

No que se refere a variação de vazão do esgoto, tal alteração se dá em decorrência dos hábitos da população em questão, sendo calculada em função do consumo médio diário de água por indivíduo, ou seja, para cada 200 litros consumidos são lançados 160 litros de esgoto na rede coletora, obtendo assim a porcentagem de esgoto em torno de 80% em relação ao consumo de água (FUNASA, 2004).

De acordo com Von Sperling (1996), ao longo do dia há dois principais picos no que se refere a vazão de efluente numa ETE, sendo o primeiro pico no período matutino e o segundo no período noturno, períodos estes que se igualam aos horários de saída e retorno dos trabalhadores às respectivas residências (Figura 05).

Figura 05: Hidrograma típico da vazão afluyente de uma ETE



Fonte: Von Sperling (1996)

2.4.2 Características químicas

De acordo com Von Sperling (2005), estas características podem ser explanadas nas classificações de matéria orgânica ou inorgânica. A matéria orgânica diz respeito aos sólidos que em sua composição apresentam compostos orgânicos combinados entre carbono, hidrogênio, oxigênio e, em algumas vezes, nitrogênio. Enquanto a matéria inorgânica se traduz sendo a presença de areia e substâncias minerais dissolvidas, que por sua vez não influencia de forma significativa no tratamento do esgoto, porém deve-se estar atento ao possível entupimento que pode ser causado caso se tenha elevadas concentrações desses materiais.

Jordão e Pessoa (1995) afirmam que cerca de 70% dos sólidos no esgoto são de origem orgânica, constituídos principalmente por proteínas, carboidratos, gorduras e óleos, e em menores partes temos a ureia, sulfatantes, fenóis e pesticidas. As proteínas presentes liberam o nitrogênio, carbono, hidrogênio e podem conter também fósforo, enxofre e ferro, em geral são de origem animal, não sendo exclusivo a esse grupo. Os carboidratos possuem carbono,

hidrogênio e oxigênio, sendo as primeiras substâncias atacadas por bactérias, sua degradação bacteriana produz ácidos orgânicos que aumentam a acidez do esgoto (SILVA, 2004). As gorduras e óleos, de acordo com a FUNASA (2006), são designados como matéria graxa oriundos do esgoto doméstico, podendo também possuir origem de produtos como querosene, óleos de garagens, entre outros.

Para a quantificação da matéria orgânica presente no esgoto são utilizados métodos indiretos titulado de demanda bioquímica de oxigênio e demanda química de oxigênio.

A demanda bioquímica de oxigênio, comumente conhecida por DBO, é um dos parâmetros mais utilizados para aferir a eficiência de um sistema de tratamento de esgoto. Netto (1991) afirma que a DBO é capaz de medir a quantidade de matéria orgânica oxidável por ação de uma bactéria, indicando o grau de poluição existente no esgoto. A DBO pode vir a ocorrer em dois estágios, segundo Jordão e Pessôa (1995), primeiro a matéria carbonácea é oxidada, o que leva 5 dias para se ter essa oxidação, e segundo ocorre a nitrificação, onde a temperatura local é fundamental para realizar tal ação.

Ao se definir DBO, entende-se que há a necessidade da presença de microrganismos que estabilizem a matéria orgânica em decomposição, assim, quanto maior a presença de matéria orgânica biodegradável, maior será o índice de DBO. Na realização de análises laboratoriais, as amostras devem ser incubadas a uma temperatura média de 20°C, durante cinco dias. Segundo Von Sperling (1996), a quantidade média de DBO de um esgoto doméstico é de 300 *mg/L* e carga per capita (contribuição de cada indivíduo por unidade de tempo) de 54 *g/hb. dia* de DBO.

A Demanda Química de Oxigênio, mais conhecida por DQO, de acordo com Netto (1991), mede a quantidade de oxigênio necessária para oxidação da parte orgânica de uma amostra, sendo oxidada por permanganato ou dicromato de potássio em solução ácida. No DQO, considera-se além da fonte de oxigênio orgânica a mineral, sua análise laboratorial é mais rápida que o DBO, e segundo Jordão e Pessôa (1995), pode-se ter resultado em até 2 minutos em alguns aparelhos e de duas horas se utilizado método do dicromato.

Um dos mais importantes parâmetros químicos de aferição da eficiência do tratamento de esgoto em uma ETE, é o potencial hidrogeniônico (*pH*) que tem por principal finalidade medir o grau de acidez, alcalinidade e neutralidade de um fluido, caracterizando-o como ácido, básico ou neutro conforme escala logarítmica, o que possibilita o despejo das águas na natureza sem que venha a afetar o meio inserido.

2.4.3 Características biológicas

As características biológicas são definidas pelos seres existentes na água, podendo ser vivos ou mortos.

Os seres vivos fazem parte do reino animal e vegetal, além de conter também os protistas. Este último abrange os microrganismos como as bactérias, algas, fungos, protozoários, vírus e helmintos, presentes nos processos de tratamento de esgoto (VON SPERLING, 2005), conforme Tabela 01.

Existem vários organismos capazes de indicar se há indícios de poluição num corpo d'água. Em se tratando de poluição causada por seres humanos, adotam-se os organismos do grupo coliformes, tais bactérias são típicas do intestino humano e de outros animais, sendo de simples determinação, já que estes estão presentes nas fezes humanas.

Tabela 01: Tabela de organismos do reino protista	
Microrganismo	Descrição
Bactérias	Organismos monera unicelulares; Possuem várias formas e tamanhos; São os principais responsáveis pela estabilização da matéria orgânica; Algumas bactérias são patogênicas, causando principalmente doenças intestinais.
Algas	Organismos fotossintetizantes; Importantes na produção de oxigênio nos corpos d'água e em alguns processos de tratamento de esgoto.
Fungos	Organismos aeróbicos, multicelulares, não fotossintéticos, heterotróficos; Também muito importante na decomposição da matéria orgânica; Podem crescer em condições de baixo <i>pH</i> .
Protozoários	Organismos unicelulares; Maioria é aeróbia ou facultativa; Alimentam-se de bactérias, algas e outros microrganismos; São essenciais no tratamento biológico para a manutenção de um equilíbrio entre os diversos grupos; Alguns são patogênicos.
Vírus	Organismos parasitas, formados pela associação de material genético (DNA ou RNA) e uma carapaça proteica; Causam doenças que podem ser de difícil remoção no tratamento da água ou do esgoto.
Helmintos	Animais superiores; Ovos de helmintos presentes nos esgotos podem causar doenças.
Fonte: Silva Mara (1979), Tchabanoglous e Schroeder (1985). Molcall & Eddy (1991) apud Von Sperling, 2005.	

2.5 SISTEMA DE ESGOTAMENTO SANITÁRIO

O sistema de esgotamento sanitário tem por finalidade a coleta e disposição dos despejos o mais distante possível das edificações, sendo encaminhado assim ao seu correto tratamento. Para isso, devem ser atendidas 3 fases: a concepção, compreende o conjunto de estudos e diretrizes, bem como parâmetros para caracterizar o sistema a ser projetado; o projeto básico, realização dos traçados, linhas de tubulações e cálculos de dimensionamento dos sistema de coleta de esgoto; e o projeto executivo, parte prática, sendo a implantação das canalizações e escoamento até a Estação de Tratamento de Esgoto, impedindo a poluição ambiental e principalmente dos mananciais d'água (FUNASA, 2004).

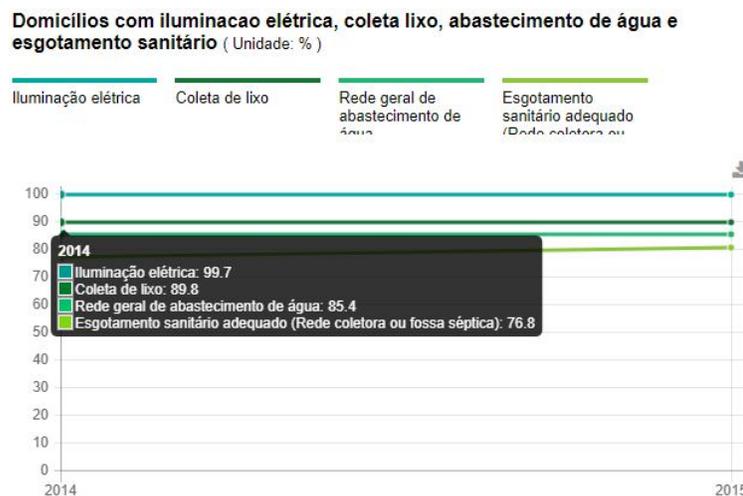
A fase de concepção de um projeto é uma das mais importantes, segundo Leme (1982), as diretrizes a se utilizar podem ser adquiridas por órgãos administrativos, que tenha a disponibilidade de cartas topográficas, para se ter estudo da topografia e hidrografia da área a se implantar tal sistema, além de identificar o possível corpo receptor que será o destino final das contribuintes coletadas. Nesta fase também é realizada a análise quantitativa e qualitativa, de onde sairão dados base para o correto dimensionamento do projeto básico, obtendo um orçamento prévio para posterior implantação.

A parte de projeto é realizada encima das cartas topográficas adquiridas juntamente ao plano diretor da cidade, onde se identificam os ramais de saída residencial que ligam a rede coletora. Do ponto de vista técnico e econômico, o ideal é que o escoamento seja promovido pela ação gravitacional, sem o uso de Estações Elevatórias de Esgoto Bruto (EEEB), que são instaladas para elevar o esgoto de uma cota mais baixa para uma mais elevada (LEME, 1982).

2.5.1 Ausência de sistema de coleta de esgoto

Apesar do Governo possuir políticas públicas que exigem o acesso das moradias ao saneamento básico, ainda existem casos em que não se tem a implantação destes por problemas de gestão. Um desses casos podemos citar o acesso a ligação de rede de esgoto, como mostra nas imagens abaixo (Figura 06 e Figura 07).

Figura 06: Comparativo em percentual de domicílios brasileiros com iluminação elétrica, coleta de lixo, abastecimento de água e esgotamento sanitário no ano de 2014.



Fonte: IBGE (2015)

Figura 07: Comparativo em percentual de domicílios brasileiros com iluminação elétrica, coleta de lixo, abastecimento de água e esgotamento sanitário no ano de 2015.



Fonte: IBGE (2015)

Os dados da Figura 07 mostram um aumento de 3,8% no que se refere ao esgotamento sanitário adequado, ou seja, o efluente que é coletado de forma adequada pela rede coletora ou destinado a fossa séptica. Enquanto que os outros identificadores da tabela não tiveram alteração. Diante desse demonstrativo, é possível notar que houve aumento no esgotamento sanitário, uma possível justificativa é que os locais irregulares de descarte de esgoto foram reclusos e seus montantes destinados para local adequado.

2.5.2 Tratamento do esgoto

Ao realizar o despejo do esgoto na Estação de Tratamento de Esgoto (ETE), o esgoto puro deve ser tratado em duas etapas, para assim ser remanejado ao corpo receptor, essas etapas são: preliminar e biológica, em alguns casos pode ser realizado o tratamento físico-químico e a desinfecção do esgoto tratado. Durante o processo de tratamento se tem a formação do lodo e de gases.

No tratamento preliminar, seu objetivo é a máxima remoção de sólidos grosseiros e em suspensão, como por exemplo: areia, papéis, plástico, entre outros, que seguem escoamento junto ao esgoto, para esse tratamento, a ETE dispõe de tanques desarenadores e gradeamento, que retém tais sólidos. No tratamento biológico, temos o sistema aeróbio e o anaeróbio, que possuem aspectos positivos e negativos, esses processos fazem o uso de organismos que removem bactérias indesejáveis para se classificarem de acordo com a norma vigente, e somente depois seguem ao corpo receptor.

Segundo o autor Von Sperling (1996), o tratamento do esgoto se divide em etapas, sendo estas:

- Tratamento preliminar: visa promover a remoção dos sólidos grosseiros advindos juntamente ao esgoto.
- Tratamento primário: remoção de sólidos sedimentares e parte da matéria orgânica, com predominância da utilização de mecanismos físicos.
- Tratamento secundário: predominância de mecanismos biológicos para retirada de matérias orgânicas e nutrientes.
- Tratamento terciário: objetiva remover poluentes específicos, que persistem após tratamento secundário.

A Companhia de Saneamento de Minas Gerais (COPASA, 2007), expõe os processos de tratamento exigíveis de uma ETE, servindo de auxílio para diversas outras estações, visando uma melhor eficiência em âmbito geral. Essas etapas são dispostas da seguinte forma:

- 1ª etapa: Filtração grossa - compreende a etapa preliminar, com a retirada de sólidos grosseiros do esgoto, utilizando-se de meios físicos como: grades, peneiras e sedimentação.

- 2ª etapa: Sedimentação primária - remove os sólidos em suspensão, reduzindo a quantidade de matéria orgânica, além da retirada do lodo primário que é retirado por raspadores mecanizados, tubulações ou bombas.
- 3ª etapa: Filtração - utilização de filtros anaeróbios, onde existem bactérias que crescem e formam uma biomassa, reduzindo a carga orgânica do esgoto. Nesta etapa temos o reator Anaeróbio de Manta de Lodo, mais conhecido como UASB, onde a biomassa cresce e se dispersa no meio formando pequenos grânulos que posteriormente servem de suporte para outras bactérias, nesse processo tem a formação de gases como: metano e gás carbônico.
- 4ª etapa: Tanque de aeração - remoção de matéria orgânica e sólidos em suspensão, através de processos biológicos, por microrganismos que realizam reações bioquímicas, obtendo como resultado a formação de gás carbônico.
- 5ª etapa: Sedimentação final - ocorre nas lagoas de estabilização, onde a matéria orgânica se encontra como sólidos em suspensão, formando o lodo.
- 6ª etapa: Adição de cloro - Nesta etapa ainda se tem concentrações de microrganismos, que serão removidos com a adição de cloro.

2.5.3 Fases do tratamento de esgoto

Como exemplo de modelo de tratamento de esgoto, temos a utilização de lagoas de estabilização, considerado o mais simples dentre os sistemas de tratamento, por ser composto por lagoas: facultativa, anaeróbia, aeradas facultativas, aeradas de mistura completa e de maturação. De acordo com os conceitos de Von Sperling (2005), as lagoas são diferenciadas da seguinte forma:

- Lagoa Facultativa: Este tipo de lagoa é o mais simples e seu processo de estabilização e depende apenas de fenômenos naturais. Na lagoa facultativa o processo acontece da seguinte forma: o efluente entra em uma de suas das extremidades e sai pela extremidade oposta, durante este percurso ocorrem reações químicas que contribuem no tratamento do esgoto. O processo de entrada e saída do efluente demora alguns dias e a matéria orgânica em suspensão começa a se sedimentar e desenvolver o lodo de fundo. O lodo então formado se decompõe por meio de microrganismos anaeróbios e se converte em gás carbônico e outros compostos, aquilo que não é biodegradável permanece na camada de fundo.

- Lagoa Anaeróbia: Este sistema possui eficiência superior à da lagoa facultativa. Entretanto, sua unidade de operação é aberta e quando o sistema não está equilibrado tem a probabilidade de maus odores serem liberados. Assim como o acontecimento de problemas de operação pode liberar gás sulfídrico, responsável por odores ruins. Por este motivo, este sistema é implantado em locais distantes de áreas residenciais.

- Lagoa Aerada Facultativa: A lagoa aerada facultativa possui o mesmo processo de tratamento que a lagoa facultativa, a diferença está na obtenção do oxigênio dos dois sistemas, enquanto um utiliza microrganismos protistas (algas), o outro utiliza equipamentos denominados aeradores, motivo pelo qual leva o nome aerada. Estes dispositivos mecânicos possuem unidades de eixo vertical como hélices e durante a sua alta rotação ocasionam redemoinhos na água, permitindo a penetração de oxigênio do meio atmosférico no líquido da lagoa. Isso possibilita maiores concentrações de oxigênio e conseqüentemente maior rapidez na decomposição da matéria orgânica. O processo citado não possui energia suficiente para manter a oxigenação e os sólidos em suspensão, por este motivo ainda precisa dos microrganismos para decompor alguns de seus elementos. Ele também resulta em lodo de fundo, semelhante ao que ocorre na lagoa facultativa.

- Lagoa Aerada de Mistura Completa: Neste sistema acontece os mesmos processos realizados na lagoa aerada, porém sua diferença está no nível de aeração, que neste caso é maior e quanto maior a quantidade de turbulência maior é a oxigenação do líquido. Este procedimento garante energia suficiente para permitir que os aeradores mantenham os sólidos em suspensão no líquido e aumente a concentração de bactérias, aumentando conseqüentemente a eficiência na remoção da Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO). Tal acontecimento possibilita a redução do volume da lagoa, que por sua vez ocupa menor espaço que a lagoa aerada facultativa. No entanto, o sistema acarreta uma elevada concentração de bactérias e elas devem ser retiradas antes que o afluente seja destinado ao corpo receptor, devido ao fato de algumas bactérias serem patogênicas.

- Lagoa Maturação: Tem por objetivo ser um complemento no tratamento do esgoto, elevando a eficiência e reduzindo patógenos. De acordo com Netto (1991), as Lagoas de Maturação se assemelham as Lagoas Facultativas, sendo que a sua eficiência de redução de coliformes fica em torno de 99%.

- Reatores Anaeróbios de Fluxo Ascendente: Processo de tratamento recém implantado, também chamado por reator UASB, podendo reduzir em 70% a DBO, funcionam de forma anaeróbia antes das Lagoas Facultativas, como subproduto se tem a formação de metano e gás carbônico, além de adubo orgânico (lodo seco).

2.6 IMPORTÂNCIA DO TRATAMENTO DE ESGOTO

O correto tratamento do esgoto sanitário contribui para melhoria da saúde pública, para ecologia, economia local e patrimônios públicos. Cada vez mais a administração pública vem investindo no saneamento básico, dando importância a preservação dos recursos naturais, colocando em prática conceitos de sustentabilidade ambiental.

Ao promover o tratamento do esgoto, reduz-se o número de organismos que transmitem doenças de veiculação hídrica, evita-se a degradação ambiental, reduz-se o custo do tratamento da água para o consumo humano e aumenta-se sua disponibilidade, contribuindo para a manutenção do lazer e turismo em decorrência das boas práticas aplicadas.

Segundo Pimenta et al (2002), o lançamento de efluentes in natura nos recursos hídricos resulta além de vários problemas socioambientais, em impactos significativos sobre a vida aquática. Por exemplo, a matéria orgânica presente nos dejetos ao entrar em contato com a água eleva a quantidade de bactérias aeróbicas o que provoca o consumo do oxigênio dissolvido, podendo haver esgotamento deste, gerando impactos à vida aquática. Havendo investimento no tratamento de efluentes, a infraestrutura local se desenvolve positivamente melhorando a qualidade de vida da população e incentivando oportunidade de negócios. Com isso, a coleta, o tratamento, e a disposição ambientalmente adequada de efluentes, são fundamentais para a melhoria do quadro de saúde da população e pré-requisito para busca da sustentabilidade.

Estima-se que 80 por cento de todas as moléstias e mais de um terço dos óbitos dos países em desenvolvimento sejam causados pelo consumo de água contaminada e, em média, até um décimo do tempo produtivo de cada pessoa se perde devido a doenças relacionadas com a água (AGENDA 21).

2.7 CARACTERÍSTICAS DO LODO DE ESGOTO

O lodo resultante da degeneração de efluentes no tratamento de esgoto possui composição diferente e isso depende diretamente do local de origem desses resíduos. Além disso, há múltiplos fatores que influenciam na formação deste produto, são eles: a procedência,

constituindo em residencial ou industrial; condições climáticas; processos realizados na Estação de Tratamento de Esgoto (ETE); entre outros fatores (BETTIOL; CAMARGO, 2006).

Ainda conforme o mesmo autor, quando não há separação entre os efluentes industriais e os não industriais, o produto resultante é o lodo de esgoto com altos índices de metais pesados, como cádmio, cobre, zinco, níquel, cromo, entre outros, e presença de organismos patogênicos como bactérias, protozoários e helmintos.

As características básicas que o lodo apresenta é matéria orgânica, nitrogênio, fósforo e outros elementos com potenciais tóxicos ao ser humano, este último merece atenção especial, afinal, se utilizado para fins agrícolas certamente será ingerido pelo homem e afetará o organismo deste. Ademais, o lodo não dispõe de valores altos de potássio em sua composição, sendo necessário a adição de soluções para satisfazer esta carência. De acordo com Richter (1998), durante o ciclo biológico um dos elementos mais importantes é o nitrogênio, pois em quantidade suficiente ele auxilia no tratamento biológico dos esgotos.

O nitrogênio presente no lodo é indispensável para o crescimento dos microrganismos que auxiliam nos processos de tratamento de esgoto, onde atua principalmente nos processos de conversão da amônia a nitrito, do nitrito a nitrato e do nitrato em nitrogênio gasoso, que implica na deterioração da decantabilidade do lodo, quando este ocorre de forma não controlada (VON SPERLING, 2005).

O fósforo é de grande importância em lodos oriundos do tratamento de esgotos. Durante o tratamento de esgoto, este elemento é convertido a ortofosfato, que é utilizado nos metabolismos biológicos que acontece nos processos de tratamento. Além disso ele é essencial para o crescimento de microrganismos responsáveis para o equilíbrio da matéria orgânica e auxilia no crescimento de algas (VON SPERLING, 2005).

Ainda sobre os elementos de composição do lodo e em vista do seu emprego no solo, Bettiol e Camargo (2006) alerta sobre o conhecimento preciso da sua composição, tendo em vista a realização correta dos cálculos quantitativos de cada elemento que será incorporado ao substrato e sobre os riscos de toxicidade que podem ocasionar nas plantas, ao homem e ao meio ambiente.

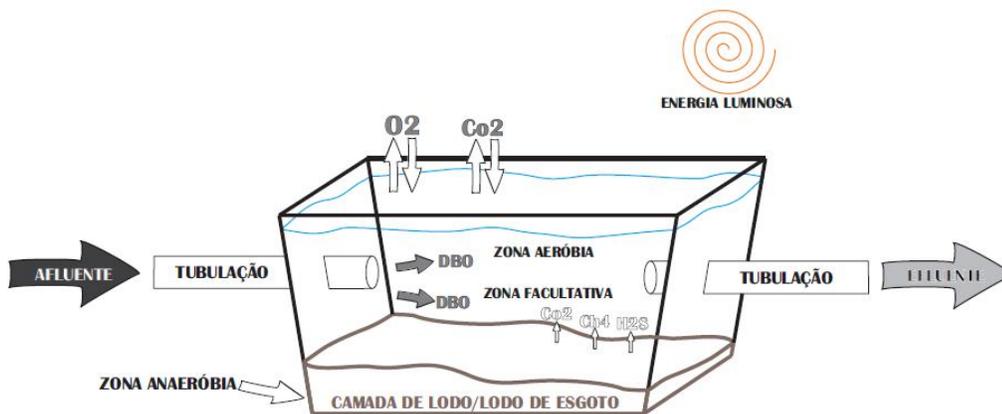
Bactérias, fungos, protozoários, vírus e algas são os microrganismos mais importantes no esgoto. De acordo com Nuvolari (2003), grande parte das bactérias que constituem o lodo são unicelulares procariontes e se reproduzem por divisão celular, já os fungos são estritamente aeróbicos, o que permite controle por anaerobiose temporária.

No decantador secundário, os protozoários se alimentam das bactérias dispersas, não as deixando sedimentar, caso haja menor concentração destes microrganismos em relação a comparação entre amostras, há grande chance da presença de produtos tóxicos no efluente, que deve ser tratado de modo a excluir quaisquer que sejam as chances de contaminação indesejada.

2.8 TRATAMENTO E DISPOSIÇÃO FINAL DO LODO

O processo de formação do lodo de esgoto ocorre quando o afluente chega através da tubulação até a lagoa facultativa, onde alguns dos compostos vão para a superfície e outros imergem e formam o lodo. Durante esse procedimento, a água existente na lagoa está em constante movimentação, realizando ações químicas como por exemplo a entrada e saída de oxigênio (O_2) e gás carbônico (CO_2) e a liberação de gás carbônico (CO_2), metano (CH_4) e ácido sulfídrico (H_2S) da camada de lodo. Conforme a Figura 08.

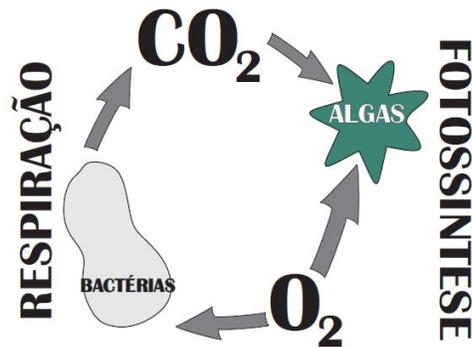
Figura 08: Processo que ocorre dentro da lagoa facultativa.



Fonte: Von Sperling (2005), alterado pelo autor (2018)

Ocorrem outras reações químicas simultâneas na lagoa, como é demonstrado na Figura 09, o ciclo da respiração e da fotossíntese que são realizadas entre as bactérias e as algas contribuem para a purificação da água, para que desta forma o efluente seja destinado ao corpo receptor.

Figura 09: Processo químico que ocorre entre os componentes da lagoa facultativa.



Fonte: Von Sperling (2005) alterado pelo autor (2018)

Segundo Von Sperling (2005), em alguns sistemas de tratamento, ocorre a retirada do lodo de fundo. No caso de tratamentos do tipo anaeróbio, o lodo resultante já sai usualmente estabilizado, enquanto que no processo que acontece na lagoa facultativa o lodo fica retido e não necessita ser removido e tratado. As principais etapas de tratamento do lodo são:

- Adensamento: que resulta na remoção de umidade
- Estabilização: resultando na remoção da matéria orgânica
- Condicionamento: preparação para a desidratação
- Desidratação: ocasionando a remoção de umidade
- Disposição final: destinação final dos subprodutos

De acordo com Bettiol e Camargo (2006) a disposição final do lodo é um grande desafio para as estações de tratamento de esgoto pelo constante crescimento do volume gerado, principalmente em grandes centros urbano. Existem alternativas que o lodo pode ser descartado em aterro sanitário ou incinerado, mas também pode ser aproveitado os benefícios do lodo como reuso industrial, reciclagem agrícola e landfarming.

2.8.1 Aterro sanitário

Para a disposição final no aterro sanitário, primeiramente deve-se ser analisado se o lodo foi obtido de esgoto que tenha uma contaminação significativa de efluentes industriais, pelo fato que na NBR 10.004/1987 este lodo pode ser classificado como classe I (Perigoso), sendo necessário à disposição em aterros especiais. Caso não seja afirmado a situação anterior, este lodo será classificado como classe II (Não inerte) podendo ser disposto em aterro sanitário (SANTOS, 2003).

O lodo de esgoto estabilizado com taxa de sólido de 50%, possui benefícios para ser empregado diariamente como camada de cobertura no aterro sanitário, como a redução de contaminação do solo e do mau cheiro emitido, contribui com o controle de vetores, entre outros. Para utilizar o lodo como camada final terá que reduzir a taxa de sólidos voláteis estabilizado e dispor a taxa de sólidos superior que 20%. Para garantir que não ocorra deslizamento nas encostas das extremidades é recomendável misturar o lodo com solo e reforçar as laterais (PIMENTEL, 2012 apud GRIFFIN et al, 1998).

De acordo com SANTOS (2003) a combinação entre o lodo e resíduos sólidos proporciona aumento no processo de biodegração, caso for considerável a quantidade de lodo colocado, deste modo reduzindo a vida útil do aterro sanitário.

2.8.2 Incineração

A Associação de Tratamento de Esgoto do Japão (Japan Sewage Works Association, 2014), afirma que a incineração do lodo em fornos reduz o seu volume de 1/8 a 1/10. Esses fornos de incineração são compostos por múltiplos estágios, possibilitando a incineração estável do lodo o desaguando com floculante inorgânico. Assim, com uma pequena área, uma grande quantidade de lodo pode ser disposta na forma incinerada, não causando contaminação do solo. Por outro lado, o processo de incineração provoca a liberação de gases, visto que se tem a combustão de materiais, afetando a qualidade do ar.

2.8.3 Reuso industrial

De acordo com Bettiol e Camargo (2006), o lodo de esgoto pode ser também empregado na indústria como produção de agregado e cimento, confecção de tijolos e revestimento cerâmico. Porém é recomendado a análise das características do lodo para verificar se terá interferência na resistência, durabilidade, funcional do produto gerado a partir da reutilização.

2.8.4 Reciclagem agrícola

De acordo com Lee e Santos (2011), a utilização da reciclagem agrícola como disposição final do lodo de ETE possui vantagens e desvantagens, dentre elas a grande disposição de área, grande potencial fertilizante, porém, se tem limitações de implantação devido as taxas de metais, que podem levar a um efeito reverso, vindo a contaminar o solo e causar odores.

2.8.5 Landfarming

Tendo em vista que a utilização do lodo é com a finalidade de condicionador do solo e/ou fertilizante (BETTIOL; CAMARGO, 2006), é possível usá-lo também em áreas degradadas. Este procedimento é conhecido como *landfarming* e é amplamente difundido pelo mundo. Seu tratamento é na camada superficial do terreno e opera para impedir a contaminação de águas subterrâneas (PORTAL DA EDUCAÇÃO, 2018).

2.9 APLICABILIDADE DO LODO DE ESGOTO NO SOLO

A aplicação de lodo de esgoto no solo não é uma prática recente, sua disposição

“... é uma prática antiga. As informações mais conhecidas são as originárias da China. No ocidente sabe-se que na Prússia, a irrigação com efluentes de esgoto era praticada desde 1560. Na Inglaterra, por volta de 1800, foram desenvolvidos muitos projetos para a utilização agrícola dos efluentes de esgoto, especialmente em razão do combate à epidemia do cólera. A prática de uso do solo como meio de disposição do esgoto ou do lodo tem sido frequente em muitos países.”

(Bettiol; Camargo, 2006, pág. 27, 2º parágrafo)

A aplicabilidade de compostos orgânicos como o lodo no substrato, possibilita algumas vantagens nas condições físicas do solo, como por exemplo: o aumento da retenção de umidade em solos com propriedades arenosas e melhora a permeabilidade e a infiltração em solos argilosos. Mantém em consequência disso a estabilidade dos agregados na superfície e enriquece as propriedades minerais do solo (BETTIOL; CAMARGO, 2006).

As precauções que se deve ter para o lodo de esgoto quando aplicado no solo está no seu tratamento e desinfecção, existindo, no entanto, condições de limites permissíveis quanto a valores de dosagem máxima para matéria orgânica e nitrogênio, níveis de toxidade para vegetais e microrganismos do solo. Sua usabilidade pode ser destinada para solos agrícolas destinado para o plantio de cana-de-açúcar, milho, arroz, trigo, pastagens, feijão, soja, girassol, entre outras (BETTIOL; CAMARGO, 2006).

Toda a incorporação do lodo ao solo, tem que ser de forma planejada e monitorada, para garantir que não acondicione problemas mais sérios. Em países que se utiliza o lodo de esgoto na agricultura, possuem normativas que estabelecem as concentrações máximas

permitidas de metais pesados e a concentração de teor máximo acumulado no solo, por este motivo é que sua aplicação deve ser de forma policiada (BETTIOL; CAMARGO, 2006).

2.9.1 Fertilidade e características do solo

Os solos são constituídos por frações sólidas, líquidas e gasosas, na parte sólida é onde se encontram os minerais advindos da rocha que deu origem a ele (rocha mãe), além de conter matéria orgânica e microrganismos que fornecem os nutrientes às plantas, porém, estes nutrientes somente serão absorvidos na presença de meio aquoso, que por sua vez vem a preencher os espaços vazios entre os grãos do solo. A depender das condições climáticas, os espaços vazios de um solo podem ser preenchidos somente por água ou pela água e o ar, concluindo assim as três frações do solo.

De acordo com o Programa de Pesquisa em Saneamento Básico (PROSAB, 2003) as características do solo podem se classificar diante da textura, estrutura, porosidade, entre outros, sendo propriedades físicas e químicas variáveis que juntas definem a fertilidade de um solo. No que se refere a densidade, solos minerais possuem estas em torno de 2,6 a 2,7 g/cm^3 enquanto no geral podem variar entre 1,1 e 1,6 g/cm^3 .

Em se tratando da fertilidade do solo, deve-se levar em consideração o potencial hidrogeniônico (pH) deste que fica responsável pela solubilidade dos elementos minerais, o ideal é que se tenha um equilíbrio de pH , devido a presença de minerais que se desenvolvem de acordo com sua variação.

A concentração de nitrogênio (N), fósforo (P) e potássio (K) são essenciais para desenvolver a fertilidade do solo. A presença e necessidade de nitrogênio é variável conforme crescimento das plantas, sendo maior na fase inicial e menor na fase final, onde as pequenas parcelas no solo são capazes de suprir essa carência. O fósforo por sua vez possui maior dificuldade na interação com a água de irrigação do solo, pois apresenta uma forte retenção por óxidos e minerais de argila, já o potássio em excesso deve ter cuidado devido posteriores problemas de salinização.

2.10 ESTAÇÃO DE TRATAMENTO DE ESGOTO NORTE (PALMAS – TO)

A Estação de Tratamento de Esgoto localizada ao norte da cidade de Palmas foi concebida por meio de notificação realizada pela Agência Tocantinense de Regulação, Controle e Fiscalização de Serviços Públicos (ATR), que por sua vez, visando a manutenção da qualidade de vida e saneamento básico da população, sucedeu sua construção (Figura 10).

Em entrevista a redação da página Conexão Tocantins (2013), afirmou-se que a nova ETE norte é capaz de atender a demanda do Plano Diretor da Capital, além de permitir sua ampliação. A obra em questão fica localizada próximo à Praia das Arnos, sendo considerada a maior ETE do estado e uma das mais modernas do País.

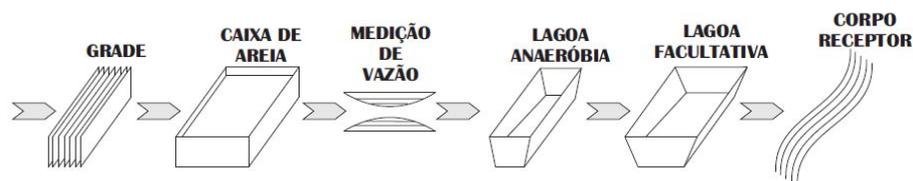
Figura 10: ETE Norte, Palmas- TO



Fonte: Conexão Tocantins (2013)

O método de tratamento de esgoto realizado nas estações segue conforme o diagrama da Figura 11, onde o esgoto passa primeiro pela grade e pela caixa de areia, neles os dejetos ainda estão na fase sólida. Em seguida passam pelo medidor de vazão até chegar na lagoa anaeróbia, onde ocorrem os processos iniciais de limpeza do esgoto, com a utilização de bactérias anaeróbias. A última fase é passar pela lagoa facultativa, onde desencadeia alguns outros processos químicos e então é destinado ao corpo receptor, que são os rios, lagos, riachos, entre outros.

Figura 11: Processo total de tratamento do esgoto.



Fonte: Von Sperling, 2005. Alterado pelo autor, 2018.

3. MATERIAL E MÉTODOS

3.1. AMOSTRAGEM

Para subsidiar as análises do estudo desenvolvido, verificou-se por meio de revisões bibliográficas em livros, artigos entre outros veículos, os assuntos pertinentes ao tratamento de esgoto sanitário e o lodo de esgoto a ser implantado em solos agrícolas. Para as análises da composição do lodo da ETE Norte, utilizou-se os dados obtidos por Brito (2016), que trabalhou com este resíduo.

Para realizar o projeto, o autor optou pela ETE – Norte, antiga ETE - Vila União, situada ao Norte da cidade de Palmas- TO (Figura 12), porém, por possuir um grande volume de lodo, este realizou a análise por amostragem, seguindo critérios abordados por Barbetta (2002), utilizando da estatística para se ter um resultado representativo diante da população de lodo.

Figura 12: Localização ETE Norte



Fonte: Google Earth (2018)

Segundo Brito (2016), para que a análise fosse representativa, coletou-se três amostras simples. O local de armazenamento de lodo da ETE se encontrava a céu aberto, assim, sugeriu-se a divisão do local por meio de uma quadrícula imaginária, configurada em 24 partes iguais com dimensões de 5 metros de comprimento, 4 metros de largura e 1 metro de altura. Posteriormente realizou a seleção das amostras aleatoriamente por meio de sorteio de conjuntos eventuais. Todas as amostras coletadas foram acondicionadas em gelo seco e encaminhadas

para que fossem realizadas análises laboratoriais, onde foram preparadas e secas a uma temperatura de 60°C, trituradas e passadas na peneira de 1,0 milímetro, depois foram armazenadas em recipiente de vidro.

3.2. ANÁLISE DE METAIS/PARÂMETROS PARA METAIS PESADOS (*mg/kg* de lodo seco)

Através da utilização do método de Espectrometria de Absorção Atômica (AAS), sendo composta por metais de cobre (*Cu*), ferro (*Fe*), magnésio (*Mg*), zinco (*Zn*), cádmio (*Cd*), chumbo (*Pb*), crômio (*Cr*), manganês (*Mn*), níquel (*Ni*) e cálcio (*Ca*). Os resultados foram expressos em miligramas (*mg*) em relação ao quilograma (*kg*) de lodo seco.

3.3. INSERÇÃO DO LODO AO SOLO

Procedeu o levantamento das concentrações após realizar análise quantitativa de nitrogênio, fósforo e potássio existente na amostra, empregou-se então o método do ácido salicílico, com digestor-destilador do tipo Kjeldahl, com resultados expressos em *NaOH*, fotometria de chama e método colorimétrico, respectivamente, visto que estes são os principais nutrientes que constituem o solo, tornando-o fértil para o plantio.

3.3.1 Composição do lodo

Como visto, o lodo é composto por metais que de acordo com a CETESB, Companhia Ambiental do Estado de São Paulo, não devem possuir concentrações superiores aos do quadro abaixo (Quadro 1):

Quadro 1: Concentração máxima de metais no lodo

METAL	CONCENTRAÇÃO MÁXIMA PERMITIDA NO LODO (base seca) mg/ kg
Arsênio	75
Cádmio	85
Cobre	4300
Chumbo	840
Merúrio	57
Molibdênio	75
Níquel	420
Selênio	100
Zinco	7500

Fonte: CETESB (1999)

3.3.2 Taxa de aplicação do lodo x nutrientes

Segundo o CONAMA (2006), a quantidade de lodo em toneladas (Eq. 01) não pode exceder a relação entre a quantidade de nutrientes recomendada para a cultura (kg/ha) e o teor de nutrientes disponível no lodo ($kg/ton.$).

$$Taxa\ de\ aplicação\ (ton./ha) = \frac{N\ recomendável\ (\frac{kg}{ha})}{N\ disponível\ (\frac{kg}{ton.})} \quad (Eq. 01)$$

3.3.3 Taxa de aplicação do lodo x metais pesados

Existem limites da quantidade de metais presentes no lodo a serem respeitados (Quadro 2), esses limites são intitulados taxas, sendo aferidas anualmente conforme amostras representativas.

Quadro 2: Taxa aplicação anual máxima de metais em solos agrícolas

METAL	TAXA DE APLICAÇÃO ANUAL MÁXIMA (kq/ha/período de 365 dias)
Arsênio	2,0
Cádmio	1,9
Cobre	75
Chumbo	15
Merúrio	0,85
Níquel	21
Selênio	5,0
Zinco	140

Fonte: CETESB (1999)

Procedeu-se o levantamento dos metais a serem incorporados no solo, com base na composição do lodo e o valor máximo permitido desses elementos.

3.4 VIABILIDADE ECONÔMICA DA UTILIZAÇÃO DO LODO

O levantamento dos custos da principal fonte de nitrogênio (N), fósforo (P) e potássio (K) procedeu segundo pesquisas de campo no mercado da cidade de Palmas - TO. Configurando como fonte de nitrogênio (N), utilizou-se a ureia, para o fósforo (P) o superfosfato simples e para o potássio (K) o cloreto de potássio, objetivando com isso estipular os recursos fundamentais que seriam economizados quando se utiliza o lodo como fonte de nutrientes nos solos.

4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

4.1 ESTAÇÃO DE TRATAMENTO DE ESGOTO

4.1.1 Estações de tratamento de esgoto em Palmas – TO

De acordo com a Agência Nacional das Águas (Anexo 1) no ano de 2013, o município possuía uma população estimada de 250.461 habitantes, sendo que 81% do esgoto gerado pela população são coletados e tratados por 5 estações de tratamento de esgoto, e 19% são coletados por soluções individuais (fossa séptica). Há previsão de ampliar e modernizar a estação de tratamento de esgoto Santa Bárbara e inaugurar uma nova estação no setor Taquari devido uma previsão de acréscimo aproximada de 83.708 habitantes até o ano de 2035.

4.1.2 Estação de tratamento de esgoto Norte

A estação de tratamento de esgoto Norte em 2013 atendia 113.126 habitantes da população do município de Palmas –TO, com uma vazão de 150 *L/s*, recebendo uma carga de 6.108,80 *kg.DBO/dia* e lançando no corpo hídrico uma carga de 427,60 *kg.DBO/dia*. Deste modo tendo uma eficiência de remoção em matéria orgânica de 93% e a demanda bioquímica de oxigênio resultando em 32,99 *mg/L* (ANA, 2017).

A previsão de projeto para 2035 desta estação é atender 157.307 habitantes da população do município de Palmas – TO, com uma vazão de 222,10 *L/s*, irá receber uma carga de 8.494,60 *kg.DBO/dia* e será lançado no corpo hídrico uma carga de 594,60 *kg.DBO/dia*. Assim prevendo que permanecerá a eficiência de remoção em matéria orgânica de 93% e a demanda bioquímica de oxigênio de 32,99 *mg/L*. (ANA, 2017).

Conforme a Resolução CONAMA 430/2011, a demanda bioquímica de oxigênio máxima é de 120 *mg/L*, podendo ultrapassar este limite somente quando o efluente tratado tenha uma remoção mínima de 60% da carga DBO, ou caso seja comprovado que o corpo hídrico tenha capacidade de auto depurar o efluente tratado lançado no corpo receptor. Desta maneira pode concluir que a estação de tratamento de esgoto Norte está obedecendo umas das condições impostas pelo CONAMA para o lançamento do efluente tratado no corpo hídrico.

4.1.3 Etapas do tratamento de esgoto da ETE Norte

De acordo com Brito (2016) o processo de tratamento do esgoto na ETE Norte inicia com a retirada de sólidos grosseiros do esgoto bruto, através de dois equipamentos semelhantes

que possuem gradeamento mecanizado de 20 milímetros de abertura, interligado em uma esteira automática. Um equipamento é utilizado como reserva, para fins de manutenção ou falha no outro equipamento. Os sólidos que ficam retidos no gradeamento são removidos por um raspador automatizado que simultaneamente transfere estes sólidos para a esteira que os transportam para uma caçamba de entulho para serem descartados em um aterro sanitário licenciado.

Figura 13: Gradeamento mecanizado



Fonte: Plano Municipal de Saneamento Básico de Palmas – TO
Volume I: Considerações Iniciais

Após o esgoto bruto passar pelo gradeamento acima, ele é direcionado para a estação elevatória automatizada que é constituído por 5 repartições com comportas, tendo respectivamente uma motobomba para cada repartição, sendo uma de reserva para fins de manutenção ou falha em outro equipamento. Segundo Brito (2016) cada motobomba possui uma vazão de 785.000 litros por hora e também podem ser utilizada separadamente ou de forma conjunta, dependendo do volume de vazão que está chegando na estação.

Figura 14: Estação elevatória de esgoto bruto



Fonte: Plano Municipal de Saneamento Básico de Palmas – TO
Volume I: Considerações Iniciais

O esgoto bruto é bombeado para o tratamento preliminar, local denominado de casa dos sopradores que são constituídos por 3 desarenadores mecanizados tipo *air-lift* e 3 grades escalar

com abertura de 3 milímetros, todos automatizados podendo ser utilizados separadamente ou de forma conjunta. A estrutura é repartida em 3 canais abertos com 22 metros de comprimento.

Cada repartição possui uma ponte rolante equipada com aspirador de areia, um soprador centrífugo. As grades são fixadas em um sistema de limpeza e compactação de sólidos que são transportados pelo equipamento para uma caçamba de entulho e os equipamentos desarenadores também transportar a areia para outra caçamba de entulho. Quando a caçamba de entulho encher será destinado ao aterro sanitário licenciado.

Figura 15: Tratamento preliminar



Fonte: Plano Municipal de Saneamento Básico de Palmas – TO
Volume I: Considerações Iniciais

Após retirar boa parte dos sólidos e areia do esgoto bruto no tratamento preliminar, o esgoto será direcionado para a calha Parshall para aferição do volume da vazão através de um medidor de nível por ultrassom, permitindo marcando a vazão imediata.

Figura 16: Calha Parshall



Fonte: Autor (2017)

De acordo com Brito (2016) o esgoto depois de verificar a vazão na calha Parshall é direcionado para iniciar o tratamento primário reatores anaeróbicos de fluxo ascendente e manto

de lodo, conhecido como reator UASB. Este tem a capacidade de remover em média de 60% da demanda bioquímica de oxigênio e 70% dos sólidos suspensos nesses reatores.

Figura 17: UASB



Fonte: Autor (2017)

Após aproximadamente oito horas do tempo de retenção do efluente na UASB, ele será direcionado para o tratamento secundário no reator de lodo ativado que entrará sequencialmente na zona aeróbica, anóxica, no sentido tipo carrossel. Este método é considerado como biológico devido a formação de flocos titulado como lodo ativado ou biológico. Nesse procedimento a finalidade é a remoção de matéria orgânica biodegradável presente.

Figura 18: Reator de lodo ativado



Fonte: Autor (2017)

No tratamento terciário é realizado em um decantador circular. A finalidade é sedimentar os flocos, titulado como lodo ativado ou biológico, gerado no reator de lodo ativado. Depois de sedimentados uma parcela retorna aos reatores biológicos para manter o controle e equilíbrio, a outra parcela passa pelo processo de secagem e disposição final em aterro, incineração ou reutilização. Após este processo o efluente passará por outra calha Parshall e será lançado no corpo hídrico.

Foto 19: Decantador secundário



Foto: Autor (2017)

O lodo que foi produzido nas etapas do tratamento do esgoto, como no UASB e no reator de lodos ativados, serão submetidos a desidratação através da utilização de centrífugas e posteriormente o lodo é armazenado até o instante que será realizado a disposição final do lodo e o líquido retido retorna para o tratamento preliminar.

Figura 20: Tanque de Lodo



Fonte: Plano Municipal de Saneamento Básico de Palmas – TO
Volume I: Considerações Iniciais

Figura 21: Armazenamento lodo desidratado



Fonte: Autor (2017)

Os gases formados ao longo do tratamento do esgoto, principalmente no UASB como o metano e gás carbônico, são canalizados até uma área isolada aonde ocorre a combustão destes gases.

Figura 22: Queimador de gás



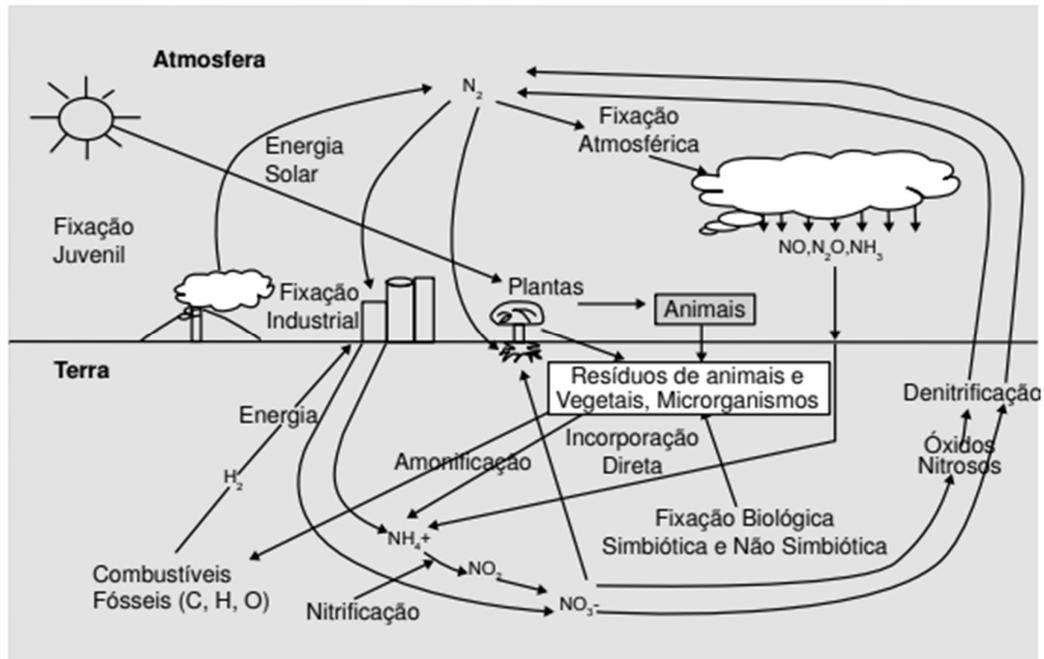
Fonte: Plano Municipal de Saneamento Básico de Palmas – TO
Volume I: Considerações Iniciais

4.2 MACRONUTRIENTES APLICADOS AO LODO (*N, P, K*)

4.2.1 Nitrogênio (*N*)

De acordo com Vieira (2017), o ciclo biogeoquímico do nitrogênio possui capacidade de transformação que em sua maioria são promovidos por microrganismos que conduzem processos específicos, desencadeando uma rede de reações de oxidação-redução, resultando em energia para seu metabolismo. Na atmosfera, o nitrogênio se encontra na forma de gás, já no solo na forma orgânica, e nas rochas, fundo dos oceanos, como sedimento (Figura 23).

Figura 23: Ciclo do nitrogênio

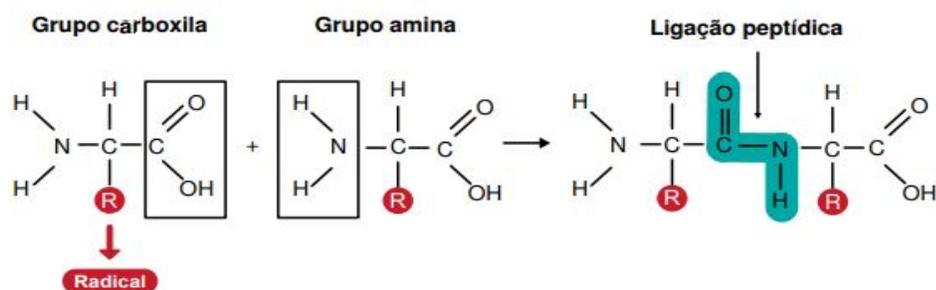


Fonte: Vieira (2017)

Ainda segundo a autora, o nitrogênio desempenha papel de nutrição mineral de plantas, sendo necessária em grandes quantidades, pois é componente principal de proteínas, ácidos nucleicos e outros constituintes celulares. No solo, tal componente pode ter fontes orgânicas na forma de:

- Proteínas: como polímeros unidos por ligações peptídicas (Figura 24), é o principal elemento de crescimento para as plantas. Em sua decomposição, a cadeia proteica é quebrada por enzimas, liberando aminoácidos, que por sua vez liberam amina na forma de amônia.

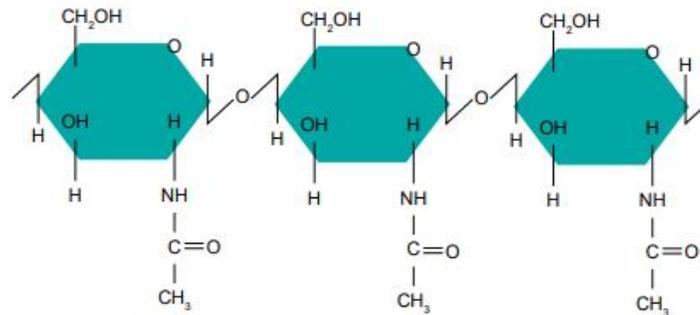
Figura 24: Ligação peptídica aminoácido



Fonte: Vieira (2017)

- Quitina: polímero não ramificado que ao se romper formam moléculas de *N*-acetilglucosamina, responsável pelo desenvolvimento e arquitetura da parede celular durante crescimento dos microrganismos (Figura 25).

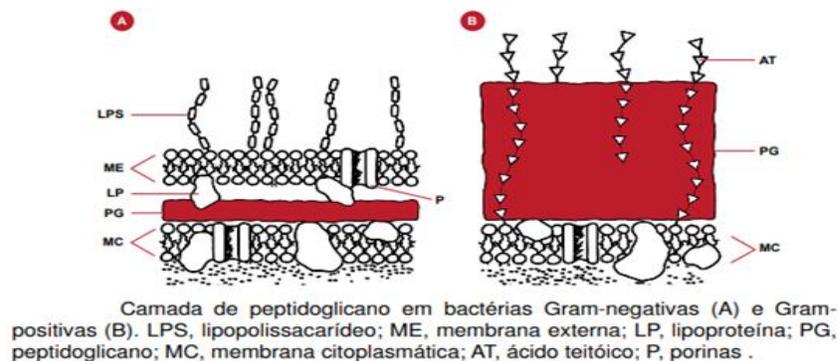
Figura 25: Estrutura da quitina



Fonte: Vieira (2017)

- Parede celular: fonte de nitrogênio orgânico composta por rede de macromoléculas. As espessuras das paredes celulares variam entre as bactérias (Figura 26).

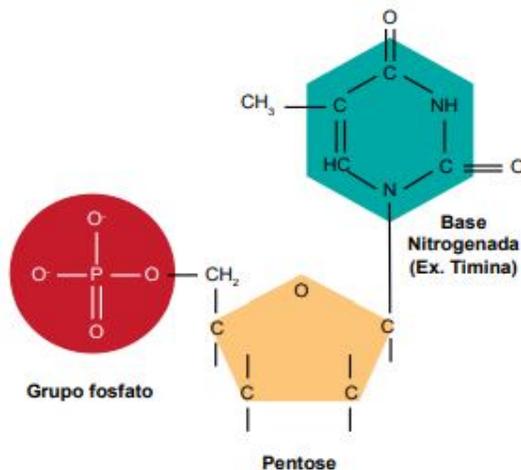
Figura 26: Estrutura parede celular



Fonte: Vieira (2017)

- Ácidos nucleicos: fonte de nitrogênio constituído por fosfato de base nitrogenada e açúcares pentose (Figura 27), a quebra dessa molécula resulta no NH_3 .

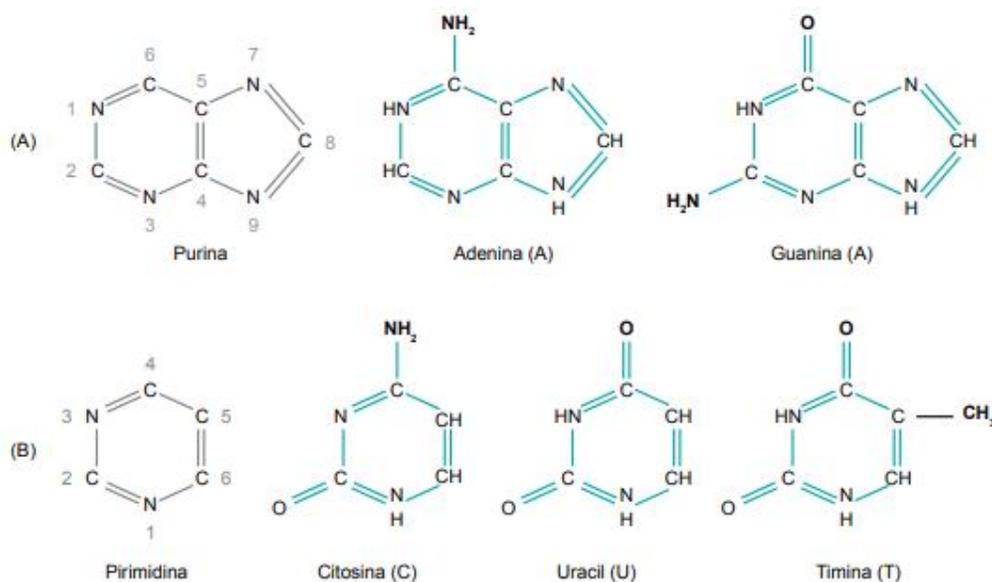
Figura 27: Estrutura básica de um nucleotídeo



Fonte: Vieira (2017)

- Ureia: liberada no meio ambiente por meio de processos biológicos, no solo estão presentes como produto da degradação do aminoácido arginina e do ácido úrico (Figura 28). Também pode ser adicionada ao solo por meio de fertilizantes.

Figura 28: Estrutura das bases púricas (A) e pirimídicas (B)



Fonte: Vieira (2017)

4.2.2 Fósforo (P)

Segundo Santos, Gatiboni e Kaminski (2008), a presença do fósforo no solo é estabelecida por meio de derivações do ácido ortofosfórico. Já os minerais primários fosfatados

são provenientes da sedimentação de rochas por meio de intempéries e resultam em minerais secundários mais estáveis que posteriormente se associarão a compostos orgânicos biológicos.

Ainda de acordo com o autor, as intervenções do fósforo no solo estão diretamente relacionadas com o controle de atividades dos microrganismos presentes nele, isso interfere de forma significativa nos fatores ambientais, como por exemplo nas propriedades físico-químicas e minerais da terra. Existem dois tipos deste composto que podem ser encontrados no solo, são eles os fósforos inorgânicos (*Pi*) e os fósforos orgânicos (*Po*). O grupo *Pi* é comumente encontrado associado ao silanol e aluminol, em argilas silicatadas e nos oxihidróxidos de ferro e alumínio. Já o grupo *Po* pode corresponder até 80% do fósforo que o solo possui, sendo caracterizado por fornecer suas propriedades às plantas (SANTOS; GATIBONI; KAMINSKI, 2008 apud RHEINHEIMER E ANGHINONI, 2003).

Os fósforos orgânicos encontrados no solo são formados por meio de resíduos vegetais e possuem em sua composição porcentagens de fosfolípidios, ácidos nucleicos e outros ésteresfosfato. Eles são utilizados para prover carbono e elétrons aos microrganismos, que posteriormente é mineralizado e resulta no fósforo (SANTOS; GATIBONI; KAMINSKI, 2008).

A utilização do fósforo no solo é comumente aplicada na camada superficial, o que de acordo com Santos, Gatiboni e Kaminski (2008) pode vir a influenciar na produtividade, pois quando os teores de fósforo estão abaixo do que é considerado adequado há uma queda na produtividade. A perda da produtividade neste caso, deve ser cada vez maior, em vista da redução dos teores do solo e em anos com a falta de recursos hídricos.

O fósforo também pode ser introduzido ao solo por meio de fertilizantes, os mais comuns são: fosfato diamônico ou DAP ($H_9N_2O_2P$); superfosfato simples ($Ca(H_2PO_4)_2 \cdot 2H_2O + CaSO_4$); superfosfato triplo ($Ca(H_2PO_4)_2 \cdot 2H_2O$) e termofosfato.

4.2.3 Potássio (K)

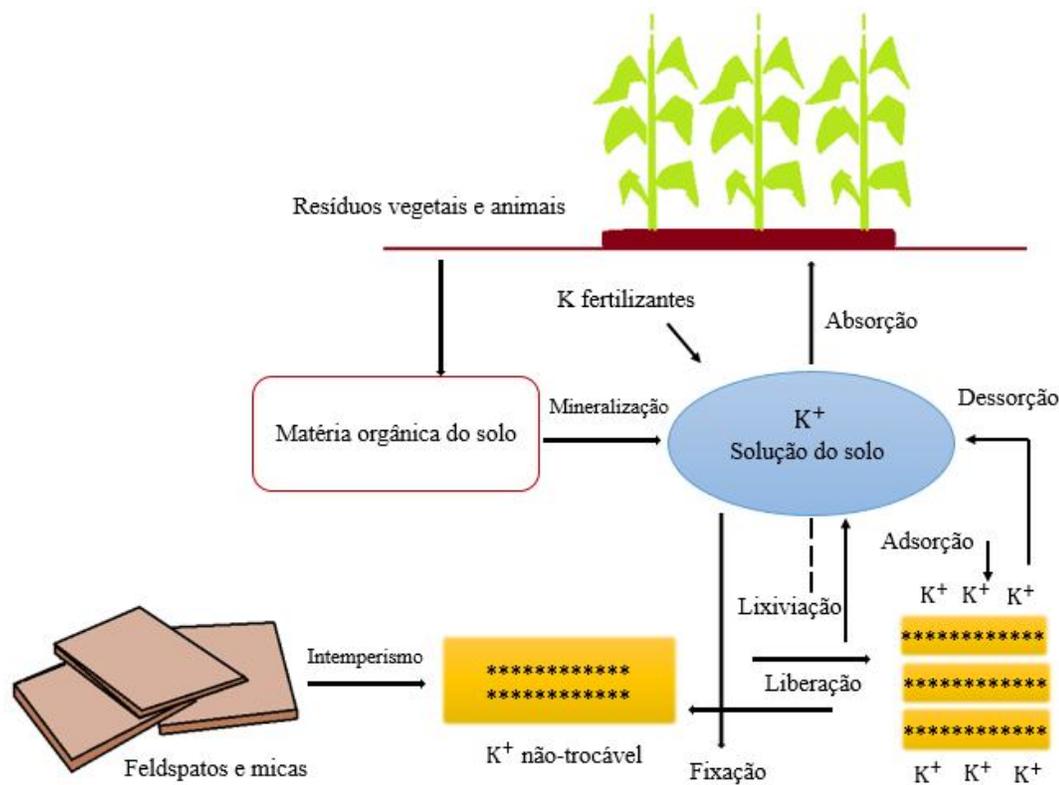
Os teores de potássio existentes no solo são baixos, de acordo com Bernardi (2012), apresenta números abaixo de $1,5 \text{ mmolc. dm}^{-3}$ e necessitam de compostos que agreguem estes nutrientes, possibilitando então uma produtividade mais sustentável. O potássio é responsável pelas reações metabólicas e estruturais das plantas, sua absorção é na forma iônica e seus macronutrientes são importantes para o processo fotossintético. Quando a planta apresenta níveis baixos de potássio, há comprometimento da fotossíntese e aumento da respiração, isso reduz as concentrações de carboidrato e impede a eficiência do nitrogênio. Todo esse processo

faz com que debilite a estrutura da planta, que por sua vez afeta o fruto e a área verde da folha e isso compromete o processo de fotossíntese (BERNARDI, 2012).

Existe no solo três tipos de potássio, são eles: o trocável, não trocável e o fixado. O potássio trocável compõe até 8% do solo, está ligado as cargas negativas e é de grande interesse na nutrição vegetal. O potássio não-trocável é obtida por meio de solução de ácido nítrico fervente, extraída do potássio trocável. Já o potássio fixado é encontrado em solos de clima temperado e tem a função de neutralizar as cargas negativas dos minerais que estão no solo (MACHADO; VENANCIO; RIBEIRO, 2018).

A Figura 29 dispõe de todo o processo que ocorre com o composto potássio. Como foi mencionado anteriormente, o solo possui um número não suficiente deste composto, sendo necessário haver uma complementação por meio de fertilizantes. Por ser aplicado na camada superficial do solo, uma parte deste composto é levado por lixiviação e o restante é absorvido pelo solo e posteriormente pela planta.

Figura 29: Ciclo do Potássio (K), relação solo e planta



Fonte: Autor (2018)

Segundo Machado, Venancio e Ribeiro (2018), os fertilizantes potássicos existentes são:

- Cloreto de Potássio (KCl): É o mais utilizado para fertilizar o solo, possui coloração avermelhada com pontos brancos e elevado índice salino.
- Sulfato de Potássio (K_2SO_4): É o segundo mais utilizado para fertilização do solo, possui coloração branca e índice salino menor que o KCl .
- Nitrato de Potássio (KNO_3): É configurado como um fertilizante misto, possui coloração branca e é um adubo foliar.
- Sulfato duplo de Potássio e Magnésio ($K_2SO_4 \cdot 2MgSO_4$): Trata-se de um fertilizante com baixo teor de potássio (K), possui coloração branca e é aplicado em culturas sensíveis ao cloreto.

4.2.4 Resultados das concentrações nas amostras

Das amostras de lodo coletadas para fins de cálculos de teores de N, P, K e os metais abaixo citados, utilizou a média dos resultados obtidos nas três coletas realizadas.

Quadro 5: Concentração em N, P, K na amostra do lodo

NUTRIENTES	CONCENTRAÇÃO (%)
K_2O	1,07
P_2O_5	2,33
N	2,43

Fonte: Autor (2018)

Quadro 6: Concentrações na amostra de lodo

METAIS	CONCENTRAÇÃO (mg/kg)
B	26,67
Cu	261,33
Fe	5162
Mn	594,67
Zn	446,67
Co	0,73

Fonte: Autor (2018)

O *pH* aferido foi de 5,4 e o teor de matéria orgânica 44,77%.

Além das análises de metais e nutrientes, das amostras recolhidas e enviadas ao laboratório, obteve-se os seguintes resultados de concentração dos macronutrientes *N*, *P* e *K* (Quadro 7).

Quadro 7: Concentração de macronutrientes ETE Norte

AMOSTRA	<i>N</i> (%)	<i>P</i> (%)	<i>K</i> (%)
Lodo	2,43	1,00	0,89

Fonte: Autor (2018)

Foram realizados os cálculos para as concentrações máximas de cada nutriente em relação à análise de solo, de acordo com o manual da EMBRAPA (1998), de onde retirou-se os teores de referência.

A partir dos teores de *P* no P_2O_5 , e de *K* no K_2O procedeu-se os cálculos para a obtenção destes nutrientes no lodo.

Cálculo da massa

- 70 kg P_2O_5 kg/ha

P: 2 x 31 g = 62 g

O: 5 x 16 g = 80 g

Somatória = 142 g

142 g de P_2O_5 ----- 62 g de *P*

70 g de P_2O_5 ----- *x*

x* = 30,56 kg de *P

Cálculo da massa

- 60 kg K_2O kg/ha

K: 2 x 39 g = 78 g

O: 1 x 16 g = 16 g

Somatória = 94 g

94 g de K_2O ----- 78 g de *K*

60 g de K_2O ----- *x*

x* = 49,79 kg de *K

No Quadro 8 a seguir sai indicadas os teores de *N*, *P* e *K*.

Quadro 8: Quantidade máxima de nutrientes

NUTRIENTE	QUANTIDADE (kg/ha)
<i>N</i>	150
<i>P</i>	30,56
<i>K</i>	49,79

Fonte: EMBRAPA (1998)

Assim, o CONAMA (2006) indica que a quantidade de nutrientes recomendada para se aplicar não deve exceder o quociente em relação ao teor de nutrientes disponível no lodo. Dessa forma, calculou-se os limites máximos de taxa de aplicação dos nutrientes:

$$\text{Taxa de aplicação (ton./ha)} = \frac{N \text{ recomendável } (\frac{kg}{ha})}{N \text{ disponível } (\frac{kg}{ton.})} \quad (\text{Eq. 01})$$

$$\text{Taxa de aplicação (ton./ha)} = \frac{150}{24,30}$$

$$\text{Taxa de aplicação (ton./ha)} = 6,17 \text{ de Nitrogênio}$$

$$\text{Taxa de aplicação (ton./ha)} = \frac{30,56}{10,00}$$

$$\text{Taxa de aplicação (ton./ha)} = 3,06 \text{ de Fósforo}$$

$$\text{Taxa de aplicação (ton./ha)} = \frac{58,80}{8,90}$$

$$\text{Taxa de aplicação (ton./ha)} = 5,59 \text{ de Potássio}$$

Com isso, não se deve ultrapassar a taxa de 6,17 toneladas por hectare de Nitrogênio, 3,06 toneladas por hectare de Fósforo e 5,59 toneladas por hectare de Potássio.

4.3 METAIS PESADOS

Os limites de toxicidade devem ser monitorados, conforme Von Sperling (2001), apesar dos nutrientes do lodo apresentarem benefícios se inseridos ao solo, podem ser encontrados em forma de metais pesados, o que prejudica as plantas, elevando a toxicidade do solo.

De acordo com a CETESB (1999), é necessário fazer a verificação da quantidade de lodo a incorporar, para que não se exceda o limite permitido de metais pesados conforme Quadro 2:

Cobre (Cu): limite máximo de 75,00 kg/ha, quantidade na amostra de 261,33 mg/kg

$$\frac{261,33 \times 10^{-6} \text{ kg}}{x} = \frac{1 \text{ kg}}{4880 \frac{\text{kg}}{\text{ha}}}$$

$$x = 1,27 \text{ kg/ha}$$

Zinco (*Zn*): limite máximo de 140,00 *kg/ha*, quantidade na amostra de 446,67 *mg/kg*

$$\frac{446,67 \times 10^{-6} \text{ kg}}{x} = \frac{1 \text{ kg}}{4880 \frac{\text{kg}}{\text{ha}}}$$

$$x = 2,18 \text{ kg/ha}$$

Ferro (*Fe*): quantidade na amostra de 5.160,67 *mg/kg*

$$\frac{5160,67 \times 10^{-6} \text{ kg}}{x} = \frac{1 \text{ kg}}{4880 \frac{\text{kg}}{\text{ha}}}$$

$$x = 25,18 \text{ kg/ha}$$

Boro (*B*): quantidade na amostra de 26,67 *mg/kg*

$$\frac{26,67 \times 10^{-6} \text{ kg}}{x} = \frac{1 \text{ kg}}{4880 \frac{\text{kg}}{\text{ha}}}$$

$$x = 0,13 \text{ kg/ha}$$

Manganês (*Mn*): quantidade na amostra de 594,67 *mg/kg*

$$\frac{594,67 \times 10^{-6} \text{ kg}}{x} = \frac{1 \text{ kg}}{4880 \frac{\text{kg}}{\text{ha}}}$$

$$x = 2,90 \text{ kg/ha}$$

Com os cálculos procedidos, nota-se que em nenhum deles há em excesso a concentração de metais pesados na amostra de lodo, encaixando-se de acordo com os parâmetros exigidos pelo CONAMA, em sua resolução de nº 375/2006.

4.4 VIABILIDADE ECONÔMICA

O procedimento que utiliza o lodo de esgoto aplicado nos solos agrícolas é considerado uma alternativa de baixo custo quando se comparado com fertilizantes químicos, segundo (BETTIOL e CAMARGO, 2006). Porém, este mesmo autor adverte que devem ser realizados

estudos que comprovem qual método é o mais eficaz, visto que o lodo é pobre em potássio, nitrogênio e fósforo, devendo então adicionar compostos que possibilitem estes nutrientes.

Para definir a viabilidade econômica da utilização do lodo de esgoto no solo, foi preciso levar em consideração não apenas os aspectos de proteção à saúde e ao meio ambiente, como também os custos necessários para suprir a carência de alguns elementos essenciais para as plantas e que não são encontrados neste composto orgânico.

Procede-se então cálculos quantitativos sob o valor dos nutrientes encontrados em mercado e a quantidade em quilogramas necessários por hectare:

- Nitrogênio

Utilizou-se a ureia como fonte de nitrogênio, o valor do *kg* deste se encontra em torno de R\$ 3,20, necessitando de 150 *kg* do material, o valor ficou em R\$ 480,00 por hectare. O teor de nitrogênio na ureia é de 46,66%, assim, para suprir à quantidade que necessita por hectare, dividiu-se o valor em reais pela porcentagem encontrada resultando em um valor final de R\$ 1.030,04 para cada hectare de cultivo.

- Fósforo

Como fonte de fósforo, utilizou-se o superfosfato simples, o valor do *kg* deste se encontra em torno de R\$ 1,90, necessitando de 30,56 *kg* do material, o valor ficou em R\$ 58,06 por hectare. O teor de fósforo no superfosfato simples é de 43,66%, dividindo-se o valor em reais pela porcentagem encontrada resulta em um valor final de R\$ 132,99 para cada hectare de cultivo.

- Potássio

Como fonte de potássio, utilizou-se o cloreto de potássio, o valor do *kg* deste se encontra em torno de R\$ 2,60, necessitando de 49,79 *kg* do material, o valor ficou em R\$ 129,45 por hectare. O teor de potássio no cloreto de potássio é de 52,30%, dividindo-se o valor em reais pela porcentagem encontrada resulta em um valor final de R\$ 247,52 para cada hectare de cultivo.

Somando-se os valores finais por hectare de todos os nutrientes, chega-se ao valor de R\$ 1.410,55. Isso quer dizer que a cada hectare que se utiliza o lodo como fertilizante do solo, economiza-se R\$ 1.410,55.

4.5 APLICAÇÃO DO LODO DA ESTAÇÃO DE TRATAMENTO DE ESGOTO DE PALMAS- TO AO SOLO

A quantidade de nutrientes e metais encontrados nas amostras retiradas possibilitou a comparação com os mesmos produtos vendidos no mercado, bem como seus teores, assim, apontou-se pontos positivos para sua aplicação. Entre as características favoráveis à sua aplicação, tem-se a redução do impacto ambiental causado com a reutilização do lodo para fins sustentáveis.

Com resultados das amostras de lodo retiradas da Estação de Tratamento de Esgoto Norte, localizada em Palmas- TO, e tendo como base a quantidade de nutrientes aceitas em referência aos teores mostrados pela norma, é possível sua aplicação ao solo, desde que se promova o correto tratamento antes de se inserir o produto as áreas agrícolas.

CONCLUSÃO

Em concordância com os fundamentos levantados, verificou-se que o lodo de esgoto resultante das Estações de Tratamento de Esgoto (ETE) é uma alternativa de baixo custo viável para fins de aplicação em solos agrícolas. Considerando a preocupação ambiental, a análise indica que sua reciclagem proporciona redução do impacto gerado ao meio ambiente.

As análises bibliográficas acerca do lodo gerado pela Estação de Tratamento de Esgoto Norte da cidade de Palmas – TO, define que a quantidade máxima de lodo gerado que está apto para aplicação do solo é de 4,88 *ton/ha* e que nesta concentração possui baixos índices de Nitrogênio e Potássio, sendo necessário utilizar compostos de fertilização que os complemente.

No que tange a viabilidade econômica, este processo permitiu uma economia de cerca de R\$ 1.410,55 por hectare, neste sentido, a utilização do lodo de esgoto que possui índices adequados de adubo à base de nitrogênio, fósforo e potássio compreende viabilidade econômica se comparada a todas as considerações feitas para sua inserção no solo.

Em vista da falta de saneamento básico aliada com a questão de utilizar o lodo de esgoto para fins de melhorias dos solos agrícolas, faz-se necessário avaliar que a substituição dos fertilizantes químicos pelo lodo é uma maneira de promover uma prática sustentável. Isso se deve ao fato deste possibilitar a redução de compostos químicos prejudiciais ao meio ambiente que seriam aplicados nos solos agropecuários, tornando o lodo uma alternativa viável não só ecologicamente, mas também economicamente.

REFERÊNCIAS

AMORIM, J. C. C. **Emissões odoríferas provenientes da decomposição de Resíduos Sólidos Urbanos (RSU) em centrais de Tratamento de Resíduos (CTR)- Estudo de caso: CTR Seropédica.** 2013. Disponível em:

<http://www.civilnet.com.br/Files/Hidra/SANEAMENTO/AP_Esgoto2.doc>

ANA- Agência Nacional das Águas. **Atlas Esgoto: Sistema Nacional de Informações sobre Recursos Hídricos.** Acesso em 01 de outubro de 2018. Disponível em:

<<http://www.snirh.gov.br/portal/snirh/snir -1/atlas-esgotos>>

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 570: Projeto de Estações de Tratamento de Esgoto Sanitário.** Rio de Janeiro, 1990.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 9.649: Projeto de redes coletoras de esgoto sanitário – Procedimento.** Rio de Janeiro. 1986.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 10.004: Resíduos sólidos – Classificação.** Rio de Janeiro. 2004.

AZEVEDO NETTO, J. M. de.; BOTELHO, M. H. C. **Manual de Saneamento de cidades e edificações.** São Paulo, Pini, 1991.

BARBETTA, P. A. **Estatística aplicada às ciências sociais.** 5ª ed.- Florianópolis: Ed. UFSC, 2002, p. 230.

BERNARDI, Alberto C. de Campos (Org.). **Teores de potássio no solo, estado nutricional e produção de matéria seca de alfafa em função de doses e frequência da adubação potássica após dois anos de cultivo.** São Carlos: Embrapa Pecuária Sudeste, 2012. 25 p. Disponível em: <<http://www.cppse.embrapa.br/080servicos/070publicacao gratuita/boletim-de-pesquisa-desenvolvimento/Boletim33.pdf/view>>. Acesso em 07 de outubro de 2018.

BETTIOL, W.; CAMARGO, O. A. de (Ed.). **Lodo de esgoto: impactos ambientais na agricultura.** 1ª Ed. Jaguariúna: Embrapa Meio Ambiente, 2006. 349 p. v. 1º. Disponível em: <<http://www.cnpma.embrapa.br/download/LivroLodoEsgoto.pdf>>. Acesso em: 31 ago. 2018.

BRASIL – **Lei nº 11.445**, de 5 de janeiro de 2007. Estabelece diretrizes nacionais para o saneamento básico; cria o Comitê Interministerial de Saneamento Básico, altera a Lei nº 6.766, de 19 de dezembro de 1979, a Lei nº 8.036, de 11 de maio de 1990, a Lei nº 8.666, de 21 de junho de 1993 e a Lei nº 8.987, de 13 de fevereiro de 1995, e revoga a Lei nº 6.528, de 11 de maio de 1978. (Redação dada pela Medida Provisória nº 844, de 2018). Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_Ato2007-2010/2007/Lei/L11445.htm>. Acesso em: 29 ago. 2018.

BRITO, D. **Utilização do lodo de estação de tratamento de esgoto na agricultura.** 2016.

CAMPOS, J. R., ANDRADE NETO, C. O. Cap. 1 - Introdução. In: CAMPOS, José Roberto (Coord.). **Tratamento de Esgotos Sanitários por Processo Anaeróbio e Disposição Controlada no Solo**. Rio de Janeiro: ABES, 1999.

CESAN. **Apostila tratamento de esgoto**. 2013. Disponível em: <http://www.cesan.com.br/wp-content/uploads/2013/08/APOSTILA_TRATAMENTO_ESGOTO.pdf>

CETESB. **Aplicação de lodos sistemas de tratamento biológico em áreas agrícolas - critérios para projeto e operação**: manual técnico. Norma Técnica CETESB P4.230, São Paulo, 1999. 33 p.

CONAMA - Conselho Nacional do Meio Ambiente. Resolução n° **375/08. Define critérios e procedimentos, para o uso agrícola de lodos de esgoto gerados em estações de tratamento de esgoto sanitário e seus produtos derivados, e dá outras providências**. Brasília, SEMA, 2006.

CONAMA – Conselho Nacional do Meio Ambiente. Resolução n° **430/11. Dispõe sobre as condições e padrões de lançamento de efluentes, complementa e altera a Resolução n° 357, de 17 de março de 2005, do Conselho Nacional do Meio Ambiente**. Brasília. 2011.

Conexão Tocantins. 2013. Acesso em: 13 de setembro de 2018. Disponível em:<[https://conexaoto.com.br/2013/06/04/nova-estacao-de-tratamento-de-esgoto-contribui-com-preservacao-ambiental#pp\[noticia\]/0/>](https://conexaoto.com.br/2013/06/04/nova-estacao-de-tratamento-de-esgoto-contribui-com-preservacao-ambiental#pp[noticia]/0/>)

COPASA, Companhia de Saneamento de Minas Gerais. **Processos de tratamento**. 2007. Disponível em: <www.copasa.com.br/wps/portal/internet/esgotamento-sanitario/processos-de-tratamento>

DIAS, M. S. O. **Sistema de esgotamento sanitário no município de Belém: proposta de concepção para universalização do atendimento até 2030**. 2009. Disponível em:<<http://www.ufpa.br/ppgec/data/producaocientifica/Monique%20Dias.pdf>>

EBC, **Agência Brasil**. 12 de julho de 2017. Disponível em: <http://agenciabrasil.ebc.com.br/internacional/noticia/2017-07/mais-da-metade-da-populacao-mundial-nao-tem-acesso-saneamento-basico>. Acesso em: 29 de agosto de 2018.

EMBRAPA. **Calagem e adubação para pastagem na região do cerrado**. 1998. Acesso em: 20 de setembro de 2018, disponível em: < <https://www.embrapa.br/busca-de-publicacoes/-/publicacao/323934/calagem-e-adubacao-para-pastagens-na-regiao-do-cerrado>>

EOS. Organização e sistemas. **Conheça a história do saneamento básico e tratamento de água e esgoto**. Disponível em:<<https://www.eosconsultores.com.br/historia-saneamento-basico-e-tratamento-de-agua-e-esgoto/>>

Esgotamento sanitário: Projetos e construção de sistemas de esgotamento sanitário: guia do profissional em treinamento. nível 2 / Secretaria Nacional de Saneamento Ambiental (org). – Salvador: ReCESA, 2008. 183p.

FUNASA. **Manual de saneamento**. 3. ed. rev. - Brasília: Fundação Nacional de Saúde, 2006, 408 p.

FUNASA. **Manual de saneamento**. Brasília: Fundação Nacional de Saúde, 2004.

FUNDAÇÃO GETÚLIO VARGAS/ CERI. **Medindo o saneamento, potencialidades e limitações dos bancos de dados brasileiros**. 2018. Disponível em: <<https://bibliotecadigital.fgv.br/dspace/bitstream/handle/10438/23000/fgv-ceri-medindo-o-saneamento-2018.pdf>>.

IBGE, Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Pesquisa nacional de saneamento básico: Quantidade diária de lixo coletado, por unidade de destino final do lixo coletado, segundo as Grandes Regiões, Unidades da Federação, Regiões Metropolitanas e Municípios das Capitais - 2000. 2000.** Disponível em: <https://ww2.ibge.gov.br/home/estatistica/populacao/condicaodevida/pnsb/lixo_coleta_do110.shtm>. Acesso em 01. Set. 2018.

Instituto Trata Brasil. Disponível em: <<http://www.aguasguariroba.com.br/esgoto-tratado-saude/>>. Acesso em 29 de agosto de 2018.

Japan Sewage Works Association. **Associação das empresas de tratamento de esgoto do japão**. 2014. Disponível em: <http://site.sanepar.com.br/sites/site.sanepar.com.br/files/incineracaodolodoyamamoto_0.pdf>

JORDÃO, Eduardo P. e PESSÔA, Constantino A. **Tratamento de Esgotos Domésticos**. 4ª Edição. Rio de Janeiro: ABES, 932p. 1995.

LEE, E. S., SANTOS, F. J. dos. **Caracterização do lodo proveniente de estação de tratamento de esgoto (ETE) e estudo sobre seu potencial energético**. 2011. Disponível em: <<http://www.ibeas.org.br/congresso/Trabalhos2011/X-001.pdf>>

LEME, F. P. **Planejamento Introdução a Engenharia do Saneamento Ambiental**. Rio de Janeiro: LTC – Livros Técnicos e Científicos, 1982. 358 p.

MACHADO, L. de S; VENANCIO, L. P.; RIBEIRO, V. J. **Fertilidade do solo: Potássio**. Disponível em: <<https://pt.slideshare.net/lindomarsouzamachado/fertilidade-do-solo-potssio>>. Acesso em 07 de outubro de 2018.

NBR 9649/ 86- **Projeto de Redes de Esgoto**. Disponível em: <<https://www.ebah.com.br/content/ABAAAhAmsAF/nbr-9649-projeto-redes-esgoto>>

NUVOLARI, A. **Esgoto sanitário: coleta, transporte, tratamento e reuso agrícola**. Edgard Blucher: São Paulo, 2003.

OMS - **Constituição da Organização Mundial da Saúde**, 1946. Disponível em: <http://www.direitoshumanos.usp.br/index.php/OMS-Organiza%C3%A7%C3%A3o-Mundial-da-Sa%C3%BAde/constituicao-da-organizacao-mundial-da-saude-omswho.html>. Acesso em: 29 de agosto de 2018.

Panorama dos planos municipais de saneamento básico no Brasil. Ed. Janeiro de 2017. Disponível em: <<http://tratabrasil.org.br/datafiles/estudos/panorama-dos-pmbs/panorama-completo.pdf>>

PIMENTA, H. C. D., TORRES, F. R. M, RODRIGUES, B. S. **O esgoto: A importância do tratamento e as opções tecnológicas.** XXII Encontro Nacional de Engenharia de Produção. Curitiba- PR, 2002. Disponível em:<www.abepro.org.br/biblioteca/ENEGEP2002_TR104_0458.pdf>

PIMENTEL, Francisco José Guedes. **Aproveitamento de lodo de estação de tratamento de esgoto em camada de cobertura de aterro sanitário.** Florianópolis – SC, 2012.

Portal Educação. **Método Landfarming.** 1ª Ed. 2018. Disponível em: <<https://www.portaleducacao.com.br/conteudo/artigos/biologia/metodo-landfarming/25649>>. Acesso em: 01 set. 2018.

PROSAB - Programa de Pesquisa em Saneamento Básico. **Utilização de esgotos tratados em fertilização, hidroponia e piscicultura.** Rio de Janeiro: ABES, RiMa, 2003. p. 267.

RAIJ, B. V; *et al.* **Recomendações de adubação e calagem para o Estado de São Paulo.** 2.ed. Campinas: IAC, 1996. 285p. (Boletim técnico, 100).

RAIJ, B. V. **Fósforo no solo e interação com outros nutrientes.** 2003. Disponível em:<[http://brasil.ipni.net/ipniweb/region/brasil.nsf/e0f085ed5f091b1b85257900057902e/de2da84e7376676083257b080045a415/\\$FILE/Palestra%20Bernardo%2001.pdf](http://brasil.ipni.net/ipniweb/region/brasil.nsf/e0f085ed5f091b1b85257900057902e/de2da84e7376676083257b080045a415/$FILE/Palestra%20Bernardo%2001.pdf)>

SANTOS, Ailton Dias dos. **Estudo das possibilidades de reciclagem dos resíduos de tratamento de esgoto da Região Metropolitana de São Paulo.** São Paulo, 2003. 265p.

SILVA, G. H. **Sistema de alta eficiência para esgoto residencial- estudo de caso na lagoa da conceição.** Monografia. Programa de graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2004.

SNIS, Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento. **Diagnósticos dos serviços de água e esgoto.** 2014. Disponível em: <http://www.epsjv.fiocruz.br/upload/Diagnostico_AE2014.pdf>

SPELLMAN, F. R. **Dewatareing Biosolids.** Lancaster: Technomic, 1997. 275 p. Disponível em <<http://resurrectbook.com/25335060-pdf-book-dewatering-biosolids-by-frank-r-spellman-gratuitous-pdf-epub-and-mobi.html>>.

TOCANTINS – **Lei nº 261**, de 20 de fevereiro de 1991. Dispõe sobre a política ambiental do Estado do Tocantins e dá outras providências.

VIEIRA, F. R. **Ciclo do nitrogênio em Sistemas Agrícolas- EMBRAPA.** 2017. Disponível em: <<https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/175460/1/2017LV04.pdf>>

VON SPERLING, M. **Princípios básicos do tratamento de esgotos -** Princípios do tratamento biológico de águas residuárias. Belo Horizonte, UFMG. v.2. 1996. p. 211.

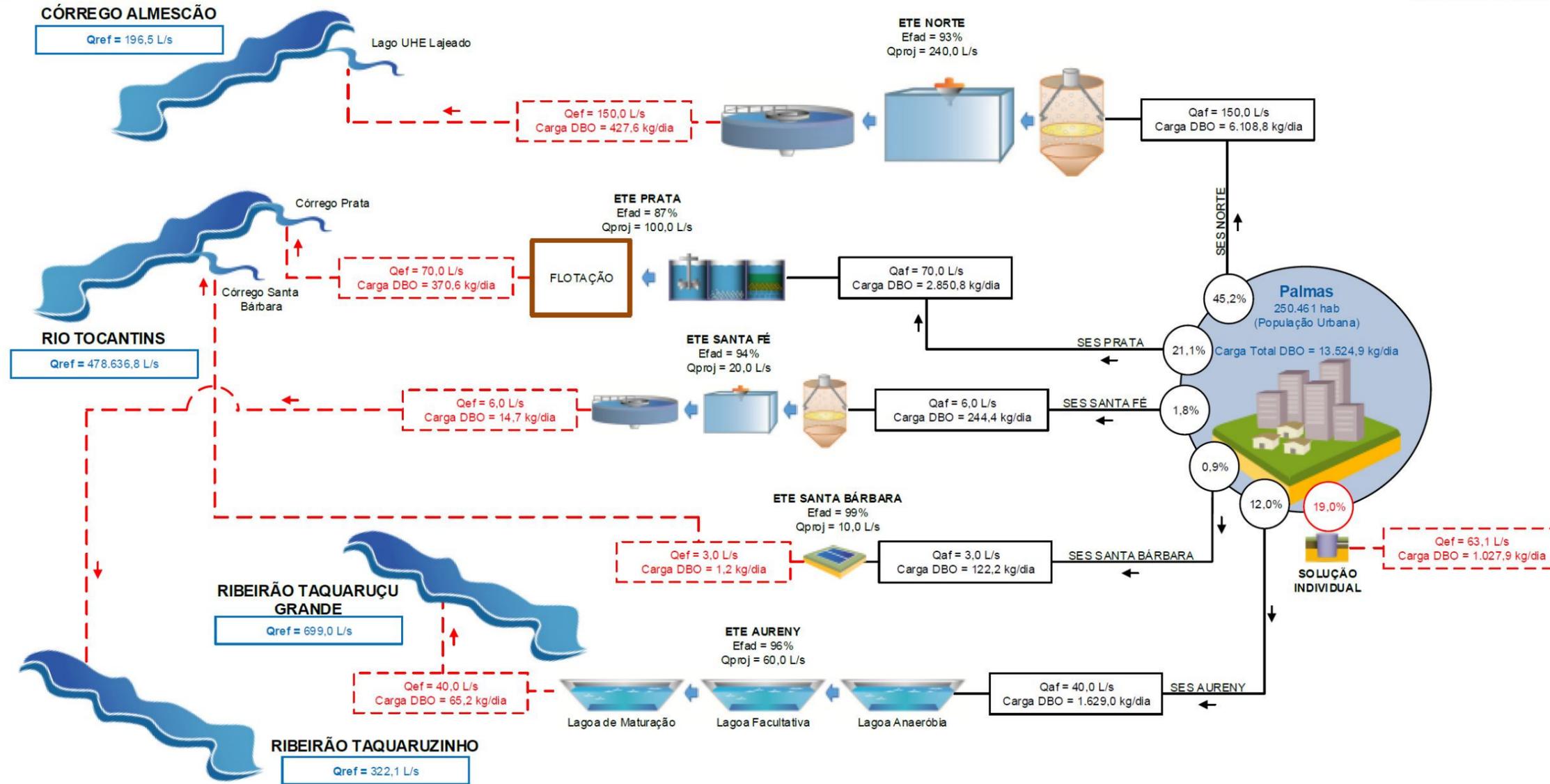
VON SPERLING, M.; ANDREOLI, C. V; FERNANDES, F; **Lodo de Esgotos: tratamento e disposição final.** v. 6; Belo Horizonte: Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental UFMG; 2001. 484 p.

VON SPERLING, Marcos. **Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgoto - Princípios do tratamento biológico de águas residuárias**. 3ªEd. Belo Horizonte: Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental, 2005. 452 p. v. 1º.

ANEXOS

Anexo 1: Sistema existente de esgotamento sanitário, Palmas- TO

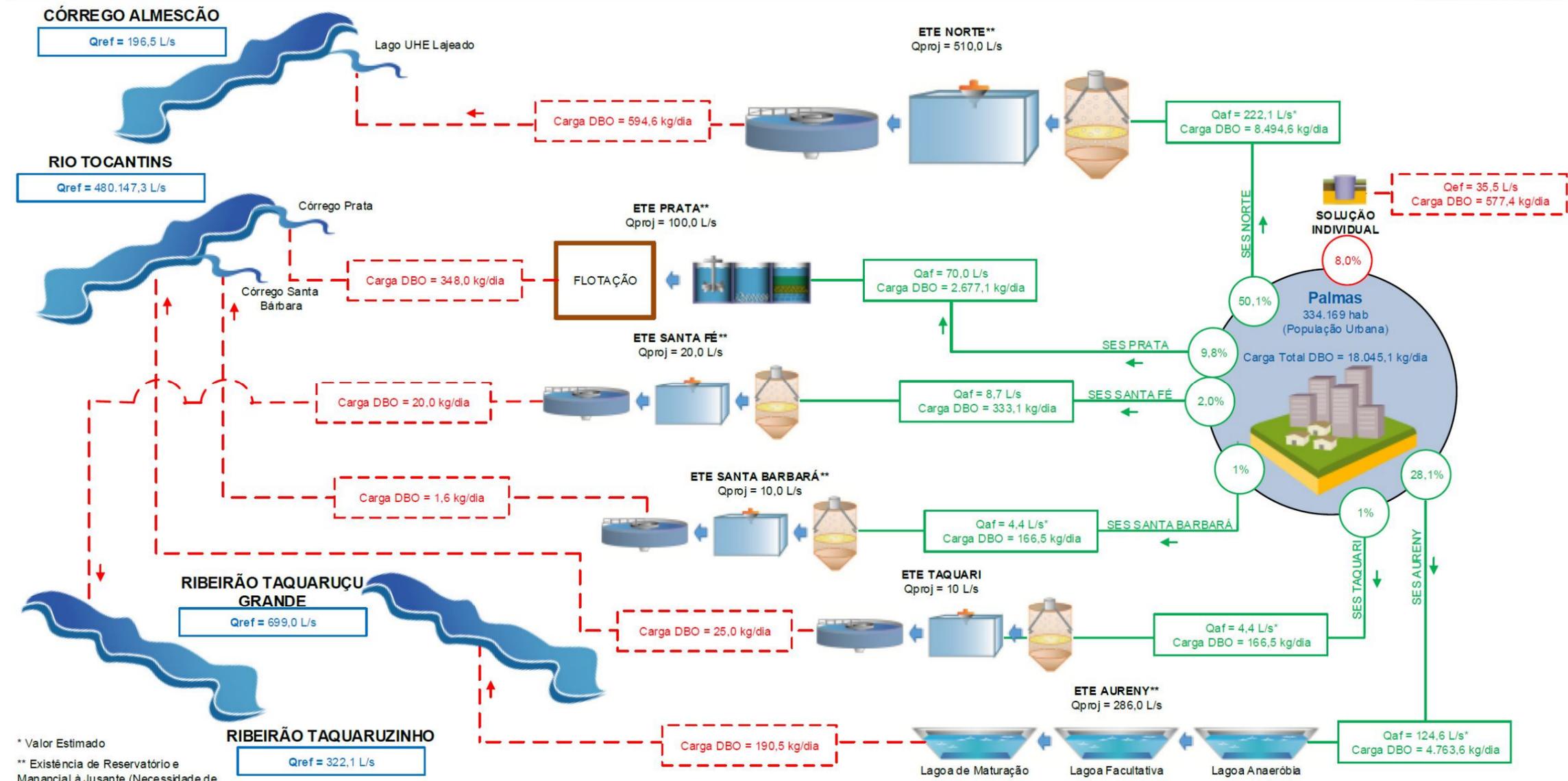
ATLAS ESGOTOS : DESPOLUIÇÃO DE BACIAS HIDROGRÁFICAS – SISTEMA EXISTENTE



POPULAÇÃO URBANA (hab)	SISTEMA DE ESGOTAMENTO SANITÁRIO	NOTAS	SITUAÇÃO	SISTEMA PALMAS
<p>Bairro/Distrito/Povoado</p> <p>De 50.000 a 250.000</p> <p>Até 5.000</p> <p>De 250.000 a 1.000.000</p> <p>De 5.000 a 50.000</p> <p>Mais de 1.000.000</p>	<p>Fossa Sética</p> <p>Fossa-Filtro</p> <p>Físico-Químico</p> <p>MBBR</p> <p>Decantador Primário</p> <p>Reator Aeróbio</p> <p>Reator Anaeróbio / UASB</p> <p>Filtro Aeróbio</p> <p>Filtro Anaeróbio</p> <p>Filtro Aerado Submerso</p> <p>Valo de Oxidação</p> <p>Lagoas de Estabilização</p> <p>Terras Úmidas Fluxo Subsuperficial</p> <p>Desaguamento (filtro-prensa/centrífuga)</p> <p>Decantador Secundário</p> <p>Leito de Secagem de Lodo</p> <p>ETEs de Pequeno Porte</p> <p>Estação de Bombeamento de Esgoto</p> <p>Corpo Receptor (Lago)</p> <p>Corpo Receptor (Rio)</p> <p>Córrego</p> <p>Emissário Submarino</p> <p>Esgoto Remanescente</p> <p>Sistema Existente</p> <p>Sistema Planejado</p> <p>ETE / Sistema Desativado</p>	<p>Obs.: Tratamento preliminar já considerado nas ETE's</p> <p>Qaf = vazão afluente</p> <p>Qef = vazão efluente</p> <p>Qproj = vazão de projeto</p> <p>Qeb = vazão de esgoto bruto</p> <p>Qref = vazão de referência</p> <p>Efad = eficiência adotada (projeto, operação ou literatura)</p> <p>ETE = estação de tratamento de esgoto</p> <p>DBO = demanda bioquímica de oxigênio</p> <p>População urbana: fonte SNIS 2013</p> <p>Sol. individual: remoção adotada = 60%</p> <p>% = parcela do esgoto total produzido</p>	<p>SITUAÇÃO</p>	<p>Município: Palmas</p> <p>Estado: Tocantins</p> <p>Operador: SANEATINS</p> <p>Data: Fevereiro/2016</p>

Fonte: ANA (2018)

ATLAS ESGOTOS : DESPOLUIÇÃO DE BACIAS HIDROGRÁFICAS – ALTERNATIVA(S) AVALIADA(S) 2035



* Valor Estimado
** Existência de Reservatório e Manancial à Jusante (Necessidade de remoção de Fósforo e Nitrogênio)

POPULAÇÃO URBANA (hab)	SISTEMA DE ESGOTAMENTO SANITÁRIO						NOTAS	SITUAÇÃO	SISTEMA PALMAS
 De 50.000 a 250.000 Até 5.000 De 5.000 a 50.000 Mais de 1.000.000	 Fossa Sética Fossa-Filtro Físico-Químico MBBR Decantador Primário	 Reator Aeróbio Reator Anaeróbio / UASB Filtro Aeróbio Filtro Anaeróbio Filtro Aerado Submerso	 Valo de Oxidação Lagoas de Estabilização Terras Úmidas Fluxo Subsuperficial Desaguamento (filtro-prensa/centrifuga) Decantador Secundário	 Leito de Secagem de Lodo ETEs de Pequeno Porte Estação de Bombeamento de Esgoto Corpo Receptor (Lago) Corpo Receptor (Rio)	 Córrego Emissário Subterrâneo Esgoto Remanescente Sistema Existente Sistema Planejado ETE / Sistema Desativado	Obs.: Tratamento preliminar já considerado nas ETE's Qaf = vazão afluente Qef = vazão efluente Qproj = vazão de projeto Qeb = vazão de esgoto bruto Qref = vazão de referência Efad = eficiência adotada (projeto, operação ou literatura) ETE = estação de tratamento de esgoto DBO = demanda bioquímica de oxigênio População urbana: fonte SNIS 2013 Sol. individual: remoção adotada = 60% % = parcela do esgoto total produzido		Município: Palmas Estado: Tocantins Operador: SANEATINS Data: Julho/2016 	