

**INSTITUTO FEDERAL DE ALAGOAS  
MESTRADO EM TECNOLOGIAS AMBIENTAIS**

**THOMÁS CORREIA LINS**

**LODO DE ESGOTO COMO ALTERNATIVA DE FERTILIZAÇÃO AGRÍCOLA  
PARA O MUNICÍPIO DE IGACI - AL**

**Marechal Deodoro**

**2021**

**THOMÁS CORREIA LINS**

**LODO DE ESGOTO COMO ALTERNATIVA DE FERTILIZAÇÃO AGRÍCOLA  
PARA O MUNICÍPIO DE IGACI - AL**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Programa de Pós-Graduação em Tecnologias Ambientais (Modalidade Mestrado Profissional) como requisito para a obtenção do título de Mestre em Tecnologias Ambientais.

**Orientador:** Prof. Dr. André Suêlto Tavares de Lima

**Coorientadora:** Profa. Dra. Michely Inêz Prado de Camargo Libos

**Marechal Deodoro**

**2021**



**Dados Internacionais de Catalogação na  
Publicação  
Instituto Federal de Alagoas  
Campus Marechal Deodoro  
Biblioteca Dorival Apratto**

---

L7591

Lins, Thomás Correia.

Lodo de esgoto como alternativa de fertilização agrícola para o município de Igaci - AL / Thomás Correia Lins. – 2021.

98 f. : il., col.

1 CD-ROM ; 4 <sup>3</sup>/<sub>4</sub> pol. ; caixa acrílica(12,5 cm x 14 cm).

Inclui bibliografia, figuras e anexo.

Dissertação (Mestrado Profissional em Tecnologias Ambientais) – Instituto Federal de Alagoas, *Campus* Marechal Deodoro, Marechal Deodoro, 2021.

Orientador: Dr. André Suêlto Tavares de Lima.

Coorientadora: Dra. Michely Inês Prado de Carmargo Libos.

1. Agricultura sustentável. 2. Biossólido. 3. Gerenciamento de lodo. 4. Resíduos de saneamento. 5. Geoprocessamento. I. Título. II. Lima, André Suêlto Tavares de . III. Libos, Michely Inês Prado de Carmargo.

CDD: 630

---

**Andreia Gomes de Azevedo  
Bibliotecária – CRB-4/2164**

## THOMÁS CORREIA LINS

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Programa de Pós-Graduação em Tecnologias Ambientais (Modalidade Mestrado Profissional) como requisito para a obtenção do título de Mestre em Tecnologias Ambientais.

Aprovado em 25 de novembro de 2021.

### **Orientador:**

---

Dr. André Sueldo Tavares de Lima - IFAL / Maragogi

### **Banca examinadora:**

---

Dr. Alexandre Nascimento dos Santos – IFAL / Maragogi

---

Dra. Erika Socorro Alves Graciano de Vasconcelos – INSA/MCTI

**Marechal Deodoro, AL**

**2021**

*Dedico a presente Dissertação, a prefeitura do município de Igaci - AL, a todos os profissionais que fizeram parte do Programa de Pesquisa em Saneamento Básico - PROSAB, e ao Programa de Pós-Graduação em Tecnologias Ambientais - PPGTEC do Instituto Federal de Alagoas - IFAL - Campus Marechal Deodoro.*

LINS, Thomás Correia. Lodo de esgoto como alternativa de fertilização agrícola para o município de Igaci - AL. 75 f. 2021. Trabalho de Conclusão de Curso (Mestrado em Tecnologias Ambientais) – Campus Marechal Deodoro, Instituto Federal de Alagoas, Marechal Deodoro, 2021.

## **RESUMO**

No Brasil, geralmente, o lodo de esgoto é encaminhado para o aterro sanitário, comprometendo o tempo de vida útil dos aterros, por ocupar o local de outros resíduos sólidos domésticos. Tendo em vista a riqueza de nutrientes do lodo, e a sua reciclagem agrícola como alternativa técnica, econômica e ambientalmente segura, o presente trabalho desenvolveu uma técnica para a reciclagem agrícola do lodo de esgoto gerado pela estação de tratamento de esgoto do município de Igaci, escolhido por ter sua estação de tratamento de esgoto construída recentemente (agosto/2018). Os procedimentos metodológicos foram divididos em duas etapas, onde a primeira é realizada através do Sistema de Informações Geográficas (SIG), em que foram construídos mapas que mostram as áreas do município que podem ser aplicados o lodo de esgoto com fins agrícolas. Por último, o presente trabalho buscou calcular a dosagem de lodo necessária nas áreas agrícolas, para as principais culturas utilizadas no município. Com isso, pretende-se realizar a reciclagem do lodo de esgoto do município de Igaci, analisando os locais em que eles devem ser inseridos, e a dosagem necessária do bio sólido para cada tipo de cultura que possa ser utilizada nas áreas agrícolas. Esse estudo possibilita uma boa gestão do lodo da estação de tratamento de esgoto do município de Igaci, favorecendo a recuperação dos solos e a otimização da agricultura.

Palavras-chave: Agricultura sustentável. Bio sólido. Gerenciamento de lodo. Resíduos de saneamento. Geoprocessamento.

LINS, Thomás Correia. Sludge as an alternative for agricultural fertilization for the municipality of Igaci - AL. 75 f. 2021. Trabalho de Conclusão de Curso (Mestrado em Tecnologias Ambientais) – Campus Marechal Deodoro, Instituto Federal de Alagoas, Marechal Deodoro, 2021.

### **ABSTRACT**

In Brazil, sewage sludge is generally sent to the landfill, compromising the useful life of the landfills, as it occupies the place of other solid domestic waste. Considering the nutrient richness of the sludge, and its agricultural recycling as a technical, economic and environmentally safe alternative, the present work developed a technique for agricultural recycling of sewage sludge generated by the sewage treatment plant in the municipality of Igaci, chosen for having its sewage treatment plant built recently (August/2018). The methodological procedures were divided into two stages, where the first is carried out through the Geographic Information System (GIS), in which maps were built showing the areas of the municipality where sewage sludge can be applied for agricultural purposes. Finally, the present work sought to calculate the necessary sludge dosage in agricultural areas, for the main crops used in the municipality. With this, it is intended to carry out the recycling of sewage sludge in the municipality of Igaci, analyzing the places where they must be inserted, and the necessary dosage of biosolids for each type of crop that can be used in agricultural areas. This study enables a good management of the sludge from the sewage treatment plant in the municipality of Igaci, favoring soil recovery and the optimization of agriculture.

Key words: Sustainable Agriculture. Biosolid. Sludge Management. Sanitation waste. Geoprocessing.

## LISTA DE FIGURAS

<b>Figura 1: Mapa de localização do município de Igaci</b>	41
<b>Figura 2: Gradeamento</b>	42
<b>Figura 3: Desarenador</b>	42
<b>Figura 4: Calha Parshall</b>	42
<b>Figura 5: Tanque de Aeração</b>	43
<b>Figura 6: Decantador secundário</b>	43
<b>Figura 7: Entrada do tanque de cloração</b>	44
<b>Figura 8: Saída do tanque de cloro (centro)</b>	44
<b>Figura 9: Leitos de Secagem</b>	45
<b>Figura 10: Leitos de Secagem</b>	45
<b>Figura 11: Leitos de Secagem</b>	45
<b>Figura 12: Leitos de Secagem</b>	45
<b>Figura 13: Mapa Hidrográfico do município de Igaci</b>	46
<b>Figura 14: Mapa de áreas alagadas de Alagoas</b>	46
<b>Figura 15: Mapa de áreas alagoas, destacando Igaci</b>	46
<b>Figura 16: Mapa de aptidão agrícola (critério 1)</b>	47
<b>Figura 17: Áreas de domínio no município de Igaci</b>	48
<b>Figura 18: Mapa de declividade do município de Igaci</b>	49
<b>Figura 19: Áreas de Morros do município de Igaci</b>	50
<b>Figura 20: Mapa de vegetações nativas do município de Igaci</b>	51
<b>Figura 21: Mapa de aptidão agrícola (critério 2)</b>	52
<b>Figura 22: Área do antigo lixão</b>	53
<b>Figura 23: Área do antigo lixão</b>	53
<b>Figura 24: Área do antigo lixão</b>	53
<b>Figura 25: Localização da área do lixão</b>	53
<b>Figura 26: Mapa de localização dos poços existentes no município de Igaci</b>	54
<b>Figura 27: Mapa da zona central do município de Igaci</b>	55
<b>Figura 28: Imagem ilustrando aglomerados populacionais no município de Igaci</b>	56
<b>Figura 29: Mapa de localização das manchas urbanas do município de Igaci</b>	57
<b>Figura 30: Mapa de aptidão agrícola (critério 3)</b>	58
<b>Figura 31: Mapa de aptidão agrícola do município de Igaci</b>	59
<b>Figura 32: Leito de Secagem</b>	61
<b>Figura 33: LE no Leito de Secagem</b>	61
<b>Figura 34: Primeira amostra do LE</b>	61
<b>Figura 35: Leito de Secagem</b>	61
<b>Figura 36: LE no Leito de Secagem</b>	61
<b>Figura 37: Segunda amostra de LE</b>	61

## LISTA DE QUADROS

<b>Quadro 1: Censo Agropecuário do município de Igaci</b>	24
<b>Quadro 2: Lavoura Temporária do município de Igaci</b>	26
<b>Quadro 3: Lavoura Permanente do município de Igaci</b>	27
<b>Quadro 4: Produção Agrícola do município de Igaci</b>	27
<b>Quadro 5: Critérios eliminatórios para valorização agrícola de solos com a aplicação de lodos de ETEs</b>	36
<b>Quadro 6: Resultado das análises do LE</b>	60
<b>Quadro 7: Cálculo de adubação para as principais culturas de Igaci</b>	63
<b>Quadro 8: Caracterização dos estercos de animais</b>	64
<b>Quadro 9: Caracterização de adubos verdes</b>	64
<b>Quadro 10: Caracterização de resíduos industriais</b>	66

## LISTA DE GRÁFICOS

**Gráfico 1: Porcentagem das áreas aptas e restritas para reciclagem agrícola no município de Igaci**

58

## SUMÁRIO

<b>1. INTRODUÇÃO</b>	13
<b>2. JUSTIFICATIVA</b>	15
<b>3. REVISÃO DE LITERATURA:</b>	17
3.1. TIPOS DE RECICLAGEM DO LODO DE ESGOTO	17
3.2. APLICAÇÃO DE LODO NA RECUPERAÇÃO DO SOLO E NA AGRICULTURA	18
3.3. CARACTERÍSTICAS DO LODO DE ESGOTO	20
3.4. GEOPROCESSAMENTO COMO FERRAMENTA DE GESTÃO PARA A DESTINAÇÃO DO LODO DE ESGOTO	22
3.5. HISTÓRICO DAS CULTURAS DE IGACI	24
<b>4. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS</b>	28
<b>5. OBJETIVOS</b>	34
5.1. OBJETIVO GERAL	34
5.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS	34
<b>6. MATERIAL E MÉTODOS</b>	35
6.1. CRIAÇÃO DA CARTA DE APTIDÃO DO LODO DE ESGOTO	35
6.2. CÁLCULO DE ADUBAÇÃO	37
<b>7. RESULTADOS E DISCUSSÃO</b>	39
7.1. CARACTERIZAÇÃO DO MUNICÍPIO DE IGACI	39
7.2. CARACTERÍSTICAS DA ETE DE IGACI	40
7.2.1. Tratamento preliminar	40
7.2.2. Tratamento do esgoto	41
7.2.3. Pós Tratamento do Efluente	42
7.2.4. Pós Tratamento do Lodo	43
7.3. ÁREAS APTAS PARA APROVEITAMENTO AGRÍCOLA DO LODO DE ESGOTO	44
7.3.1. Recursos Hídricos	44
7.3.2. Contexto Institucional	46
7.3.3. Saúde Pública	51
7.3.4. Áreas Aptas para receber o lodo com finalidade agrícola	57
7.4. CÁLCULO DE ADUBAÇÃO	59

7.4.1.	Características do lodo	59
7.4.2.	Cálculo de adubação	61
7.4.3.	Comparação com outros adubos orgânicos	64
<b>8.</b>	<b>CONCLUSÃO</b>	<b>68</b>
<b>9.</b>	<b>CONSIDERAÇÕES FINAIS</b>	<b>69</b>
<b>10.</b>	<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS</b>	<b>70</b>
	<b>ANEXO I - PRODUTO TÉCNICO TECNOLÓGICO (PTT)</b>	<b>76</b>

## 1. INTRODUÇÃO

O esgotamento sanitário do Brasil é pauta de discussões e debates por apresentar índices de coleta e tratamento inferiores a 50% em vários municípios, principalmente, das regiões Norte e Nordeste (BRASIL, 2019). No entanto, uma constante expansão de obras e investimentos vem ocorrendo no país, como forma de universalizar o esgotamento sanitário e reduzir impactos na saúde da população e no meio ambiente (PAC, 2018).

As Estações de Tratamento de Esgoto (ETE) são peças fundamentais para reduzir estes impactos, pois funcionam como fábricas, possuindo como matéria prima todo o esgoto bruto coletado, e tendo como produto final o esgoto tratado. Assim como toda fábrica, são gerados rejeitos a partir do seu sistema de produção (tratamento do esgoto), sendo eles os gases e o lodo de esgoto.

Com o funcionamento das ETEs, um novo problema ambiental é gerado: a gestão e disposição desse lodo de esgoto (LE). No Brasil, o LE geralmente é encaminhado para o aterro sanitário, sendo esse processo chamado de codisposição (Ludovice e Fernandes, 2001). Esse tipo de disposição acaba diminuindo o tempo de vida útil dos aterros, que misturam o lodo com os resíduos sólidos domésticos, ocupando assim mais espaço (Alamino, 2010).

A Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS), instituída pela Lei nº12.305 de 02 de agosto de 2010 (BRASIL, 2010), tem como diretrizes o incentivo a não geração e a redução, reutilização e tratamento dos resíduos sólidos, bem como destinação adequada dos rejeitos. Segundo essa legislação, são considerados rejeitos apenas as partes dos resíduos que não apresentam possibilidade de reciclagem.

A PNRS combina com o reaproveitamento dos resíduos urbanos gerados, favorecendo o uso do lodo de esgoto gerado na ETE municipal. A reciclagem de lodo gerado na Estação de Tratamento de Esgoto, visando à valorização de solos, representa uma alternativa técnica, econômica e ambientalmente segura, por ser um resíduo rico em matéria orgânica, que aumenta a resistência dos solos à erosão.

Além disso, esse resíduo é uma excelente fonte de nutrientes, como nitrogênio e fósforo, o que o torna uma boa alternativa para áreas agrícolas (PROSAB, 2001). Essas características do resíduo podem trazer benefícios às plantas, possibilitando aumento da produtividade, o valor nutricional do produto e, conseqüentemente, a lucratividade na atividade agrícola.

Em alguns países como os EUA e o Canadá, o lodo de esgoto está sendo aproveitado para a agricultura, devido a sua riqueza em nutrientes (Alamino, 2010). Nos estados brasileiros, as regulamentações dessa aplicação foram iniciadas em 1999 em São Paulo com a Norma Técnica P4.230 da CETESB (CETESB, 1999). Em 2006 foi criada a Resolução CONAMA 375, definindo critérios e procedimentos para utilização agrícola do lodo de esgotos gerados em estação de tratamento (Brasil, 2006).

A aplicação do lodo na agricultura, além de poder ser considerado um descarte ambientalmente adequado do rejeito sólido da ETE, agrega valor econômico positivo para as atividades agrícolas, pois pode ser utilizado como adubo pelos pequenos e grandes agricultores, favorecendo um bom crescimento e desenvolvimento das culturas locais.

Tendo em vista a construção da Estação de Tratamento de Esgoto do município de Igaci, e o valor socioeconômico do LE gerado quando adequado para adubo (biossólido), a proposta da presente dissertação é viabilizar a aplicação do LE na área de agricultura, fazendo um mapeamento das áreas mais propícias a recebê-lo e mostrando a dosagem necessária do biossólido para os principais tipos de cultura existente no município de Igaci.

## 2. JUSTIFICATIVA

Foi escolhido o município de Igaci como área de estudo, por ter a execução do seu esgotamento sanitário concluída recentemente, no ano de 2018. A ETE de Igaci é do tipo lodo ativado. Esse sistema possui basicamente um tanque de aeração, em que ocorrem as reações bioquímicas de remoção da matéria orgânica, um decantador secundário, utilizado para sedimentar os sólidos e permitir a saída do líquido clarificado, e um sistema de recirculação, que retira os sólidos sedimentados do decantador e os encaminha novamente para o tanque de aeração.

Nos sistemas de lodos ativados, “sistema aeróbio”, a geração do volume de lodo é maior do que qualquer outro sistema comum de tratamento de esgoto doméstico (aeróbio ou anaeróbio), sendo esta característica considerada como uma desvantagem (Chernicharo, 2007, p 25; Von Sperling, 1997, p. 22; Von Sperling, 2005, p. 340-346).

De acordo com os dados do IBGE (2017), a população atual estimada do município de Igaci é de 25.188 habitantes. Essa quantidade de habitantes, de acordo com os cálculos mostrados em Andreoli *et al.* (2001, p. 37-39), pode fornecer uma massa total de lodo para disposição final de 3,7 toneladas por dia (ton/dia), resultando em aproximadamente 112,5 ton/mês e 1350,5 ton/ano.

Atualmente, o lodo gerado na ETE de Igaci, possui como destino adequado a Central de Resíduos Sólidos (CTR) de Craíbas, localizada no município de Arapiraca (fronteira com Igaci). Essa condução acaba gerando um custo constante para o município, sendo ele ocasionado pela logística de transporte do lodo produzido até a CTR de Craíbas, e pelo pagamento recorrente da entrega desse resíduo no aterro, em que no ano de 2019, o valor cobrado por tonelada de resíduo é de R\$ 85,00 (oitenta e cinco reais).

Fora os custos financeiros para o município, essa ação acaba gerando alguns problemas ambientais como emissão de gases tóxicos pelos veículos de transporte do lodo à CTR e redução da área útil do aterro, que recebe um rejeito sanitário que poderia ser

reutilizado para o melhoramento da eficiência na produção dos alimentos do município e da qualidade do solo na região.

Dessa forma, o presente trabalho visou abordar o desenvolvimento, avaliação e aplicação de métodos utilizando Sistema de Informação Geográfica (SIG), voltados para a reciclagem agrícola do lodo de esgoto gerado pela Estação de Tratamento de Esgoto do município de Igaci, e calcular a dosagem necessária de lodo para as principais culturas da região.

### 3. REVISÃO DE LITERATURA:

#### 3.1. TIPOS DE RECICLAGEM DO LODO DE ESGOTO

Urban, Lima e Morita (2019) trazem vários exemplos do uso benéfico do lodo de estações de tratamento de água e esgoto, como a recuperação de áreas degradadas, matéria-prima de compostos orgânicos, aplicação em telhados verdes, controle de erosão, utilização em solo de silvicultura, uso em fornos de cimento, fabricação de materiais de construção, pavimentação, cobertura de área e final de aterros sanitários. Além disso, eles ainda trazem a possibilidade de fontes de energia por processos termais de tratamento incineração, co-incineração, pirólise e gaseificação.

De acordo com Fernandes & Silva (1999), as principais alternativas de tratamento e destinação final de lodos de esgoto incluem a sua disposição em aterros sanitários, incineração, disposição oceânica e várias formas de disposição no solo, tais como recuperação de áreas degradadas, uso como fertilizante em grandes culturas, reflorestamento e land farming.

O trabalho de Abreu et al. (2019) mostrou a viabilidade técnica química e biológica, considerando os parâmetros disposto na Resolução CONAMA nº 375/2006, para uso agrônomico do lodo de esgoto como componente do substrato da produção de mudas de *Schinus terebinthifolia Raddi* (aroeira pimenteira). Nobrega, Pontes e Santiago (2017) relata que a utilização do lodo de esgoto em mudas reduz o custo comercial com outros adubos, e já é aplicada, além de ser uma técnica que também pode ser utilizada para a recuperação de áreas degradadas.

Na pesquisa documental de Martins (2016), foi estudada a viabilidade econômica do lodo compostado e lodo seco, e a valoração econômica dos nutrientes (Nitrogênio, Fósforo e Potássio). Independente da comercialização do biossólido, considerando apenas os custos com transporte e disposição, a compostagem do lodo de esgoto na ETE sem adição de material estruturante representou apenas cerca de 27% do custo de disposição em aterro sanitário. Já com adição de material estruturante, apresentou um custo 62% inferior ao custo de disposição em aterro.

O biossólido também serve como matéria-prima para a vermicompostagem, pois a eficiência de eliminação de ovos de helmintos por meio da compostagem variou entre 93 e 100%, atingindo, na maioria dos casos, concentrações que atendem à legislação brasileira para biossólidos Classe A (CORRÊA, FONSECA e YONE, 2007).

O LE tem potencial de utilização em diversas áreas, permitindo sua comercialização e reduzindo a necessidade de aterros sanitários. Oliveira, Kikkawa e Santos (2018), fazem uma revisão bibliográfica sobre a utilização do lodo de esgoto como fertilizantes, fabricação de agregados leves, fabricação de cimento Portland, produção de cerâmica vermelha e fabricação de tijolos refratários.

### 3.2. APLICAÇÃO DE LODO NA RECUPERAÇÃO DO SOLO E NA AGRICULTURA

A aplicação do lodo na recuperação de solos e na agronomia ainda não é comum em todos os estados brasileiros. Sampaio (2013) relata que apenas algumas estações de tratamento encaminham o lodo para uso agrícola, e que essa ação vem crescendo consideravelmente nos últimos anos, principalmente nos Estados do Paraná, São Paulo, Rio Grande do Sul e Distrito.

Bittencourt Aisse e Serrat (2017) em sua pesquisa documental, avaliaram a gestão do processo de uso agrícola de lodo de esgoto do Paraná, no período de 2011 à 2013, retratando uma aplicação de 107.416 toneladas de lodo em 5.529 hectares de áreas agrícolas. Foram beneficiados 104 agricultores em 41 municípios do estado do Paraná, com a aplicação do LE em adubação verde, amora, azevém, café, cana, cevada, citrus, feijão, milho, soja, implantação de grama e reflorestamentos de eucalipto e pinus (BITTENCOURT, AISSE e SERRAT, 2017). Atendendo os limites exigidos pela Resolução SEMA nº 021/09 (PARANÁ, 2009).

Corrêa et al. (2010), mostraram que o desenvolvimento da cobertura vegetal (*Paspalum notatum* var. *saurae* Parodi) nas parcelas tratadas com lodo de esgoto foi

determinado pela capacidade desse resíduo aumentar a CTC do substrato e fornecer N, P e Zn para as plantas, desenvolvendo assim a cobertura vegetal.

O estudo de Campos et al (2008) também mostrou que o lodo influenciou as propriedades físicas do solo, trazendo resultados positivos no crescimento de plantas de eucalipto, apresentando uma boa reestruturação de solo degradado, com melhores densidades do solo, porosidade total e macroporosidade. Também foi observado um maior rendimento de matéria verde e seca na plantação de braquiária.

No cultivo de eucalipto, o trabalho de Afaz (2017), mostra um desenvolvimento inicial satisfatório, não apresentando diferenças significativas no composto de lodo de esgoto e na adubação mineral (método convencional), não havendo prejuízo na taxa de crescimento ou acúmulo de nutrientes nas folhas. O trabalho ainda conclui dizendo que o fertilizante mineral poderia ser substituído pelo composto de lodo, já que em termos de matéria seca das plantas houve uma adição de 50% quando comparado ao fertilizante orgânico do mineral.

O Lodo de Esgoto das Estações de Tratamento de Esgoto, são economicamente viáveis quando utilizados para técnicas de recuperação do solo, trazendo benefícios ambientais (MIRANDA et al, 2011). O LE recupera atributos químicos do solo degradado, como pH, CTC, SB, MO, P, Ca, Mg e K, (BONINI et al., 2015), e se mostra eficiente também na recuperação das propriedades físico-hídricas de áreas degradadas pela construção de obras civis, agindo de forma semelhante à adubação mineral, porém o lodo de esgoto foi ainda mais promissor na camada superficial do solo (CAMPOS, 2011).

A aplicação do LE com finalidade agrícola ou de recuperação do solo, é uma alternativa particularmente promissora para países como o Brasil, onde se faz necessária a reposição do estoque de matéria orgânica dos solos devido ao intenso intemperismo das nossas condições climáticas (PROSAB, 1999).

### 3.3. CARACTERÍSTICAS DO LODO DE ESGOTO

O destino final do lodo é, portanto, uma atividade de grande importância e complexidade, pois frequentemente extrapola os limites das estações de tratamento e exige a integração com outros setores da sociedade (PROSAB, 2001).

Segundo a Lei nº 9.605 de 12/02/98, a responsabilidade compartilhada pelo ciclo de vida dos produtos é:

Conjunto de atribuições individualizadas e encadeadas dos fabricantes, importadores, distribuidores e comerciantes, dos consumidores e dos titulares dos serviços públicos de limpeza urbana e de manejo dos resíduos sólidos, para minimizar o volume de resíduos sólidos e rejeitos gerados, bem como para reduzir os impactos causados à saúde humana e à qualidade ambiental decorrentes do ciclo de vida dos produtos.

A mesma Lei, no Art. 30 informa que essa responsabilidade tem por objetivo:

- I - compatibilizar interesses entre os agentes econômicos e sociais e os processos de gestão empresarial e mercadológica com os de gestão ambiental, desenvolvendo estratégias sustentáveis;
- II - promover o aproveitamento de resíduos sólidos, direcionando-os para a sua cadeia produtiva ou para outras cadeias produtivas;
- III - reduzir a geração de resíduos sólidos, o desperdício de materiais, a poluição e os danos ambientais;
- IV - incentivar a utilização de insumos de menor agressividade ao meio ambiente e de maior sustentabilidade;
- V - estimular o desenvolvimento de mercado, a produção e o consumo de produtos derivados de materiais reciclados e recicláveis;
- VI - propiciar que as atividades produtivas alcancem eficiência e sustentabilidade;
- VII - incentivar as boas práticas de responsabilidade socioambiental.

Bittencourt, Serrat e Aisse (2017), dizem que os diferentes processos de tratamento de esgoto, possivelmente, explicam as variações encontradas para SVT, Corg, Ptotal, Ntotal, Nkjeldahl e Stotal. Relatam ainda que os parâmetros ST, Ktotal e Mgtotal, podem estar relacionados aos processos de desaguamento, higienização e estocagem dos lotes de lodo.

De acordo com Bittencourt et al. (2016), o condicionamento e tratamento do lodo de esgoto como o desaguamento, secagem térmica, compostagem e a estabilização alcalina, promovem a remoção dos compostos sorvidos ao lodo, de modo a evitar a sua entrada ao ambiente.

Em uma ETE composta por três lagoas de estabilização, Costa et al. (2018) perceberam que o processo de caleação no lodo, promoveu bons parâmetros para fins agronômicos, visto que apresentou teores adequados de macronutrientes (K, Ca, Mg, S, P, N) e micronutrientes (Fe, Mn, Cu e Zn). Os teores de metais pesados (Pb, Ni, Cr, Cd, Cu e Zn) se encontraram abaixo dos limites estabelecidos pela Resolução CONAMA nº. 375/2006, possibilitando o uso seguro do lodo como adubo orgânico.

Mais de 50.000 artigos científicos sobre a reciclagem agrícola de esgoto já foram publicados, e nenhum efeito adverso do uso controlado do insumo foi encontrado. As regulamentações de uso asseguram a proteção à saúde animal e humana, a qualidade das colheitas, do solo e do meio ambiente em todo o mundo (EVANS, 1998 apud PROSAB, 1999, p. 20).

Em contrapartida, SILVA e MIKI (2017) destacam que no Estado de São Paulo, desde a publicação no ano de 1999, pela Companhia Ambiental do Estado de São Paulo – CETESB, da Norma P4230, nunca se conseguiu uma única licença ambiental para o uso agrícola de lodo de ETE, apesar dos vários esforços empreendidos. Desde então, para viabilizar o uso agrícola do lodo, sem desperdícios de tempo e dinheiro, as empresas paulistas operadoras de saneamento têm evitado percorrer este caminho burocrático.

Vale destacar que a Lei nº 9.605 de 12/02/98 informa que a responsabilidade por danos que vierem a ser provocados pelo gerenciamento inadequado dos respectivos resíduos ou rejeitos, é das pessoas físicas e jurídicas produtoras, assim também como dos serviços de coleta, armazenamento, transporte, transbordo, tratamento ou destinação final de resíduos sólidos, ou de disposição final de rejeitos.

### 3.4. GEOPROCESSAMENTO COMO FERRAMENTA DE GESTÃO PARA A DESTINAÇÃO DO LODO DE ESGOTO

CUNHA et al. (2019), analisaram sete características de restrição para a utilização agrícola do lodo de esgoto na Mesorregião Centro Ocidental Rio Grandense (RS). Em seu trabalho, encontraram uma restrição de 72%, em que 50,5% foram por causa dos Recursos Hídricos, 25,1% do lençol freático, 25,8% da Pedologia, 6,1% sistema viário, 2,0% área urbana, 1,5% clinografia, e 0,03% unidades de conservação.

Urban e Isaac (2016) utilizaram o Sistema de Informações Geográficas (SIG) para facilitar a tomada de decisão dos gestores da bacia dos rios Piracicaba, Capivari e Jundiá, situada em São Paulo, mapeando quais áreas que estão aptas para receber o lodo de ETE, e descobrindo um percentual de 11,33% da área da bacia PCJ, correspondendo a 2600,8 mil toneladas de ST por ano, de acordo com os critérios limites de alteração do pH do solo utilizados.

Souza et al. (2014) em seu estudo utilizaram 8 características limitantes (textura, profundidade, erosão, pedregosidade, hidromorfismo, drenagem, relevo, fertilidade), e 5 níveis de limitação (Sem limitação, limitação ligeira, moderada, forte e limitação muito forte). Através do sistema de Geográfico de Informação (SIG), eles conseguiram mapear todo o estado do Paraná para disposição final do lodo de esgoto.

Andreoli, Pergorini e Castro (2000) desenvolveram um mapa de aptidão agrícola do lodo, utilizando profundidade do solo, textura superficial, suscetibilidade a erosão, drenagem, relevo, pedregosidade, hidromorfismo e pH do solo da região.

Após a demarcação das áreas do município de São Leopoldo (RS), que poderiam receber o lodo com finalidade agrícola, Gomes, et al. (2001) criaram um mapa informando quais locais teriam prioridade para receber esse bio-sólido. Para isso o estudo utilizou critérios de nota e peso em três variáveis:

- Vulnerabilidade do aquífero: em que analisava a permeabilidade do solo; espessura do solo, profundidade do lençol freático; e formação geológica do local;

- Implantação/operação: levando em consideração a inclinação do terreno avaliando a facilidade de implantação; e distância do ponto gerador);
- E aptidão agrícola: observando a declividade para os tipos de cultura; % de matéria orgânica no solo; e % de argila no solo.

Lima (2014), faz o seu estudo em uma região com alto potencial agrícola, situada ao norte de Minas Gerais (Setor C2 do Projeto Jaíba). Ele utiliza ferramentas de geoprocessamento para classificar 18% da área como inapta, e 78% das áreas aptas à aplicação de lodo de esgoto. Das áreas aptas, 9% (882 hectares) estão classificadas como boas, 69% (7.253 hectares) como regular, e 4% (410 hectares) como restrito.

No trabalho de Costa et al (2014), diferente dos demais citados no presente tópico, eles não utilizaram o geoprocessamento para descobrir áreas aptas para utilização do biossólido, mas sim para avaliar a distribuição espacial do Fósforo. Foi mostrado que apesar do lodo aumentar os teores de P disponíveis no sólido, não ocorreu o arraste deste nutriente para as parcelas inferiores.

Fernandes, Barbosa e Silva (1998), em seu estudo de caso na bacia do Rio Seridó, na Paraíba, gerou um banco de dados através do sensoriamento remoto, determinando as áreas de aptidão agrícola. Tiveram o resultado de 23.641,0 ha (25,20%) poderia ser utilizada para lavouras; 34.821,0 (37,12%) para pastagem natural e 35.334,0 (37,68%) sem aptidão agrícola, mas podendo ser utilizada para preservação da flora, fauna ou recreação.

### 3.5. HISTÓRICO DAS CULTURAS DE IGACI

Para o presente subtópico, foram criadas planilhas com os dados retirados no site do IBGE (Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística). O **Quadro 1**, apresenta o Censo Agropecuário do município de Igaci, mostrando as características dos estabelecimentos agropecuários; Os **Quadro 2**, **Quadro 3** e **Quadro 4** apresentam as culturas locais de Igaci, destacando as principais culturas, a quantidade de produção, a área plantada e o valor arrecadado.

**Quadro 1: Censo Agropecuário do município de Igaci**

CENSO AGROPECUÁRIO (2017) - Características Dos Estabelecimentos Agropecuários			
	Característica	Tipo	Quantidades
ÁREA DOS ESTABELECIMENTOS	Utilização das terras	Lavoura	378 ha permanentes e 5.677 ha temporárias
		Pastagem	8.433 ha naturais, 2.569 ha plantadas em boas condições e 839 ha plantadas em más condições

		Matas ou Florestas	70 ha naturais, 569 ha naturais destinadas à preservação permanente ou reserva legal, e 8 ha de florestas plantadas		
		Sistemas Agroflorestais	336 ha de área cultivada com espécies florestais também usada para lavoura e pastoreio por animais		
	Sistema de preparo do solo	Plantio Direto na Palha	40 ha		
	Área irrigada	-	22 ha		
NÚMERO DE ESTABELECIMENTOS	Assistência técnica	Recebe	240	estabelecimentos	
		Não Recebe	2.705	estabelecimentos	
	Adubação	Fez Adubação química	2.218	650 Química	
				417 Orgânica	
		1.151 Química e Orgânica			
	Não Fez Adubação	725	estabelecimentos		
	Agrotóxicos	Utilizou	1.595	estabelecimentos	
		Não Utilizou	1.348	estabelecimentos	
	Financiamentos / Empréstimos	Obteve*	578	estabelecimentos	
		Não Obteve	2.368	estabelecimentos	
	Utilização das terras	Lavoura		1.442 Permanentes	estabelecimentos
				2.736 Temporárias	estabelecimentos
Pastagem			1.039 Naturais	estabelecimentos	
			383 Plantadas em Boas Condições	estabelecimentos	

			152 Plantadas em Más Condições	estabelecimentos
		Matas ou Florestas	15 Naturais	estabelecimentos
			132 Naturais destinadas à preservação permanente ou reserva legal	estabelecimentos
			18 Florestas Plantadas	estabelecimentos
		Sistemas Agroflorestais	55 Área cultivada com espécies florestais também usada para lavouras e pastoreio por animais	estabelecimentos
	Sistema de preparo do solo	Cultivo Convencional	1.764	estabelecimentos
		Cultivo Mínimo	899	estabelecimentos
		Plantio Direto na Palha	44	estabelecimentos
	Área irrigada	-	71	estabelecimentos

Fonte: Adaptado de IBGE (2017).

### Quadro 2: Lavoura Temporária do município de Igaci

PRODUÇÃO AGRÍCOLA - LAVOURA TEMPORÁRIA (2019)						
Produção Agrícola	Tipo	Quantidade Produzida	Valor da Produção	Área plantada	Área colhida	Rendimento médio
Fava	Grão	3 t	15,00 (x 1000) R\$	10 ha	10 ha	300 kg/ha
Feijão	Grão	36 t	65,00 (x 1000) R\$	160 ha	60 ha	600 kg/ha
Fumo	Folha	725 t	2.900,00 (x1000) R\$	500 ha	500 ha	1.450 kg/ha
Mandioca	-	385 t	96,00 (x 1000) R\$	35 ha	35 ha	11.000 kg/ha
Milho	Grão	450 t	284,00 (x 1000) R\$	2.100 ha	1.000 ha	450 kg/ha

Fonte: Adaptado de IBGE (2019).

**Quadro 3: Lavoura Permanente do município de Igaci**

<b>PRODUÇÃO AGRÍCOLA - LAVOURA PERMANENTE (2019)</b>						
<b>Produção Agrícola</b>	<b>Tipo</b>	<b>Quantidade Produzida</b>	<b>Valor da Produção</b>	<b>Área destinada à colheita</b>	<b>Área colhida</b>	<b>Rendimento médio</b>
Banana	Cacho	11 t	18,00 (x 1000) R\$	1 ha	1 ha	11.000 kg/ha
Castanha de Caju	-	63 t	126,00 (x 1000) R\$	100 ha	100 ha	630 kg/ha
Coco-da-baía	-	10 (x 1000) frutos	8,00 (x 1000) R\$	2 ha	2 ha	5.000 frutos/ha
Laranja	-	38 t	23,00 (x 1000) R\$	5 ha	5 ha	7.600 kg/ha
Manga	-	210 t	206,00 (x 1000) R\$	30 ha	30 ha	7.000 kg/ha

Fonte: Adaptado de IBGE (2019).

**Quadro 4: Produção Agrícola do município de Igaci**

<b>PRODUÇÃO AGRÍCOLA - CEREAIS, LEGUMINOSAS E OLEAGINOSAS (2007)</b>						
<b>Produção Agrícola</b>	<b>Tipo</b>	<b>Área Colhida</b>	<b>Área Plantada</b>	<b>Quantidade Produzida</b>	<b>Rendimento Médio da Produção</b>	<b>Valor da Produção</b>
Algodão	Herbáceo (caroço)	800 ha	1.000 ha	120 t	150 kg/ha	120,00 (x 1000) R\$
Amendoim	em casca	5 ha	6 ha	11 t	2.200 kg/ha	7,00 (x 1000) R\$
Feijão	grão	4.300 ha	4.550 ha	1.785 t	415 kg/ha	1607 (x 1000) R\$
Milho	grão	3.800 ha	4.000 ha	1.862 t	490 kg/ha	652,00 (x 1000) R\$

Fonte: Adaptado de IBGE (2007)

#### 4. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABREU, A. H. M. et al. Caracterização de biossólido e potencial de uso na produção de mudas de *Schinus terebinthifolia Raddi*. Engenharia Sanitária e Ambiental [online]. 2019, v. 24, n. 03 [Acessado 28 Maio 2021]. pp. 591-599. Disponível em: <<https://doi.org/10.1590/S1413-41522019108265>>. Acesso em 6 de junho de 2019. ISSN 1809-4457. <https://doi.org/10.1590/S1413-41522019108265>.

AFAZ, Daniela Cristina de Souza et al. Composto de lodo de esgoto para o cultivo inicial de eucalipto. **Rev. Ambient. Água**, Taubaté, v. 12, n. 1, p. 112-123, fev. 2017. Disponível em: <[http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S1980-993X2017000100112&lng=pt&nrm=iso](http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1980-993X2017000100112&lng=pt&nrm=iso)>. Acesso em 20 maio 2021. <https://doi.org/10.4136/ambi-agua.1965>.

ANDREOLI, C. V.; PEGORINI, E. S.; CASTRO, L. A. R. Diagnóstico do Potencial dos Solos da Região de Maringá para a Disposição Final do Lodo Gerado pelos Sistemas de Tratamento de Esgoto do Município. Sanare – Revista Técnica da Sanepar, v. 13, nº 13, janeiro a junho de 2000. Curitiba, PR. p. 40-50.

BITTENCOURT, S.; AISSE, M. M.; SERRAT, B. M.; AZEVEDO, J. C. R. Sorção de poluentes orgânicos emergentes em lodo de esgoto Sorption of emerging organic pollutants on wastewater sludge. **Revisão de Literatura • Eng. Sanit. Ambient.** 21 (01) • Mar 2016 • <https://doi.org/10.1590/S1413-41520201600100119334>

BITTENCOURT, S.; AISSE, M. M.; SERRAT, B. M. Gestão do uso agrícola do lodo de esgoto: estudo de caso do estado do Paraná, Brasil. Engenharia Sanitaria e Ambiental. Vol.22 nº6, Rio de Janeiro Nov./Dec. 2017.

BITTENCOURT, S.; SERRAT, B. M.; AISSE, M. M. Parâmetros agronômicos e inorgânicos de lodo de esgoto: estudo de caso da Região Metropolitana de Curitiba (PR). Revista DAE. vol 65 nº 207. 2017. pp.50-61. DOI:10.4322/dae.2016.034)

Bonini, Carolina S.B., et al. "Sewage sludge and mineral fertilization on recovery of chemical properties of a degraded soil/ Lodo de esgoto e adubacao mineral na recuperacao de atributos quimicos de solo degradado." *Revista Brasileira de Engenharia Agricola e Ambiental*, vol.

19, no. 4, 2015, p. 388+. Disponível em:  
<[link.gale.com/apps/doc/A442116959/AONE?u=capes&sid=AONE&xid=d9286cc4](http://link.gale.com/apps/doc/A442116959/AONE?u=capes&sid=AONE&xid=d9286cc4)>.

Acesso em: 20 de maio de 2021.

BRASIL. **LEI Nº 12.305, DE 2 DE AGOSTO DE 2010.** Institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos; altera a Lei nº 9.605, de 12 de fevereiro de 1998; e dá outras providências. DOU de 03.08.2010

BRASIL. **Lei Nº 9.605 DE 12 DE FEVEREIRO DE 1998.** Dispõe sobre as sanções penais e administrativas de condutas e atividades lesivas ao meio ambiente, e dá outras providências.

CAMPOS, Fabiana da Silva de; ALVES, Marlene Cristina. Uso de lodo de esgoto na reestruturação de solo degradado. **Rev. Bras. Ciênc. Solo**, Viçosa , v. 32, n. 4, p. 1389-1397, Aug. 2008. Disponível em:

<[http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0100-06832008000400003&lng=en&nrm=iso](http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0100-06832008000400003&lng=en&nrm=iso)>. Acesso em: 20 de maio de 2021.  
<https://doi.org/10.1590/S0100-06832008000400003>.

CAMPOS, Fabiana da Silva de et al. Atributos físico-hídricos de um Latossolo após a aplicação de lodo de esgoto em área degradada do Cerrado. *Cienc. Rural*, Santa Maria , v. 41, n. 5, p. 796-803, May 2011 . Disponível em:  
<[http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0103-84782011000500010&lng=en&nrm=iso](http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0103-84782011000500010&lng=en&nrm=iso)>. Acesso em: 20 de maio de 2021.  
<http://dx.doi.org/10.1590/S0103-84782011000500010>.

CORRÊA, R. S. et al. Fertilidade química de um substrato tratado com lodo de esgoto e composto de resíduos domésticos. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental* v.14, n.5, p.538–544, Campina Grande, 2010.

CORRÊA, R. S.; FONSECA, Y. M. F; CORRÊA, A. S. Produção de biossólido agrícola por meio da compostagem e vermicompostagem de lodo de esgoto. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental* [online]. 2007, v. 11, n. 4 [Acessado 28 Maio 2021] , pp. 420-426. Disponível em: <<https://doi.org/10.1590/S1415-43662007000400012>>. Epub 23 Ago 2007. ISSN 1807-1929. <https://doi.org/10.1590/S1415-43662007000400012>.

COSTA, V. L.; MARIA, I. C.; CAMARGO, O. A.; GREGO, C. R.; MELO, L. C. A. Distribuição espacial de fósforo em Latossolo tratado com lodo de esgoto e adubação mineral. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental. Vol 18 nº.3, Campina Grande. Mar. 2014.

COSTA, T. G. A.; CUNHA, L. M.; IWATA, B. F.; COELHO, J. V.; SANTOS, J. G. P.; CLEMENTINO, G. E. S. Tratamento alcalino de lodo de esgoto no preparo do biossólido como alternativa de adubo orgânico. Instituto Federal Goiano. Multi-Science Journal, v. 1, n. 13. 2018. 374-377 pp.

CUNHA, H. N.; SPIERING, V.; SIQUEIRA, R. O.; MIURA, A. K.; SOUZA, B. S. P. Disposição de biossólidos residuários de estações de tratamento de esgoto: um estudo de áreas com potencial aplicação na mesorregião Centro Ocidental Rio Grandense-RS. XVIII SBGFA - Simpósio Brasileiro de Geografia Física Aplicada. Fortaleza-CE. 2019.

EVANS, Accessing the risks of recycling. Water & Environmental International, 27-30. England, 1998. FERNANDES, F., COELHO, L. O., NUNES, C. W., SILVIA, S. M. C. P. Aperfeiçoamento da tecnologia de compostagem e controle de patógenos. Sanare, Curitiba, v. 5, n. 5, 1996. p. 36 - 45

FERNANDES, M. F.; BARBOSA, M. P.; SILVA, M. J. O uso de um Sistema de Informações Geográficas na determinação da aptidão agrícola das terras de parte do setor leste da bacia do Rio Seridó, PB. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, v.2, n.2, p.195-198, 1998. ----- Campina Grande, PB, DEAg/UFPB

FERNANDES, S.A.P.; SILVA, S.M.C.P. da. Manual Prático para a Compostagem de Biossólidos. Londrina: Prosab, Finep, 1999. 84p.

FERNANDES, S.A.P.; SILVA, S.M.C.P. da. Manual Prático para a Compostagem de Biossólidos. Londrina: Prosab, Finep, 1999. 51-52p.

GOMES, L. P.; COELHO, O. W.; ERBA, D. A.; VERONEZ, M. Critérios de Seleção de Áreas para Disposição Final de Resíduos Sólidos. *in*: PROSAB. **Resíduos Sólidos do Saneamento: Processamento, Reciclagem e Disposição Final. Aproveitamento do Lodo Gerado em Estações de Tratamento de Água e Esgotos Sanitários, inclusive com a**

**Utilização de Técnicas Consorciadas com Resíduos Sólidos Urbanos.** Curitiba-PR, 2001. p. 165-188.

LIMA, F. A. Determinação de áreas potenciais à aplicação de lodo de esgoto como insumo agrícola utilizando geoprocessamento. 2014. Dissertação (Mestrado em Produção Vegetal) – Instituto de Ciências Agrárias, Universidade Federal de Minas Gerais.

MARTINS, S. F. Análise econômica da produção de lodo de esgoto compostado para uso na agricultura. 2016. Dissertação (Mestrado) - Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Ciências Agrônomicas, Botucatu.

MIRANDA, Luiz Paulo Montenegro de et al. Custo de implantação de *Astronium fraxinifolium schott* em área degradada com uso de fertilizante verde e lodo de esgoto. **Pesqui. Agropecu. Trop.** , Goiânia, v. 41, n. 4, pág. 475-480, dezembro de 2011. Disponível em:

<[http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S1983-40632011000400005&lng=en&nrm=iso](http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1983-40632011000400005&lng=en&nrm=iso)>. Acesso em 20 de maio de 2021. <https://doi.org/10.5216/pat.v41i4.10053> .

NOBREGA, M. A. S.; PONTES, M. S.; SANTIAGO, E. F. Incorporação do Lodo de Esgoto na composição de substrato para reprodução de mudas nativas. *ACTA Biomedica Brasiliensia*. Vol 8. n° 1. Julho de 2017. ISSN: 2236-0867. DOI: <https://doi.org/10.18571/acbm.121>.

OLIVEIRA, G.; KIKKAWA, L. S.; SANTOS, A. M. Reutilização de lodo de estação de tratamento de efluentes (ETE) na Região de Suzano, São Paulo, Brasil: alternativas e oportunidades. *Revista Brasileira de Gestão Ambiental e Sustentabilidade*, 2018, v. 5, n. 11. p. 999-1007.

PARANÁ. (2009) Secretaria de Estado de Meio Ambiente e Recursos Hídricos. Resolução Sema n° 021, de 30 de junho de 2009. Dispõe sobre licenciamento ambiental, estabelece condições e padrões ambientais e dá outras providências, para empreendimentos de saneamento. Diário Oficial do Estado do Paraná, Curitiba.

PAREDES FILHO, M. V. Compostagem de lodo de esgoto para uso agrícola. **Revista Agrogeoambiental**, [S.l.], dez. 2011. ISSN 2316-1817. Disponível em:

<<https://agrogeoambiental.ifsuldeminas.edu.br/index.php/Agrogeoambiental/article/view/364>>. Acesso em: 26 maio 2021. doi:<http://dx.doi.org/10.18406/2316-1817v3n32011364>.

PROGRAMA DE PESQUISA EM SANEAMENTO BÁSICO - PROSAB. Aproveitamento do Lodo Gerado em Estações de Tratamento de Água e Esgotos Sanitários, Inclusive com a Utilização de Técnicas Consorciadas com Resíduos Sólidos Urbanos. Cleverson Vítório Andreoli (coordenador). -- Rio de Janeiro : RiMa, ABES, 2001. 282 p.

PROGRAMA DE PESQUISA EM SANEAMENTO BÁSICO - PROSAB. USO E MANEJO DO LODO DE ESGOTO NA AGRICULTURA. Companhia de Saneamento do Paraná - SANEPAR. Paraná - Curitiba, 98p. 1999.

URBAN, R. C.; ISAAC, R. L. Mapa de aptidão do solo para a aplicação de lodo de esgoto: Bacia dos rios Piracicaba, Capivari e Jundiáí. Revista Ambiente e Água - Na Interdisciplinary Journal of Applied Science vol. 11 n. 1 Taubaté - Jan. / Mar. 2016.

URBAN, R. C.; ISAAC, R. L.; MORITA, D. M. Uso benéfico de lodo de estações de tratamento de água e de tratamento de esgoto: estado da arte. Revista DAE. núm. 219. vol. 67. 2019. 128-158pp. DOI: <https://doi.org/10.4322/dae.2019.050>.

SAMPAIO, A. Afinal, queremos ou não viabilizar o uso agrícola do lodo produzido em estações de esgoto sanitário? Uma avaliação crítica da Resolução CONAMA 375. Revista DAE, São Paulo, n. 193, p. 16-27, 2013. Disponível em: Acesso em: 14/04/2014. DOI: <http://dx.doi.org/10.4322/dae.2014.109>

SILVA. B. S.; MIKI, M. K. Práticas operacionais e de empreendimentos – Análise crítica dos instrumentos legais do ministério da agricultura, pecuária e abastecimento (mapa) para uso agrícola do lodo de esgoto. Revista DAE. Journal volume & issue. vol. 65, nº 205. pp. 54-70. 2017.

SOCIEDADE BRASILEIRA DE CIÊNCIA DO SOLO. Manual de adubação e de calagem para os Estados do Rio Grande do Sul e de Santa Catarina. Comissão de Química e Fertilidade do Solo. - 10. ed. – Porto Alegre, 2004. 400pp.

SOUZA, M. L. P.; RIBEIRO, A. N.; ANDREOLI, C. V.; SOUZA, L. C. P.; BITTENCOURT, S. Aptidão das terras do estado do Paraná. Land Aptitude for final sewage sludge. Revista DAE, 2014. p. 20-29.

## **5. OBJETIVOS**

### **5.1. OBJETIVO GERAL**

O presente trabalho tem o intuito de viabilizar a reciclagem agrícola do Lodo gerado na Estação de Tratamento de Esgoto do município de Igaci, selecionando áreas seguras no município para a sua aplicação, e calculando sua dosagem para as principais culturas locais.

### **5.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

Levantar, organizar e padronizar dados espaciais secundários de diferentes fontes;

Criar cartas temáticas das áreas do município de Igaci que podem utilizar o biossólido de esgoto como adubo agrícola;

Caracterizar físico-quimicamente o lodo gerado na Estação de Tratamento de Esgoto do município;

Selecionar as principais culturas do município;

Calcular a dosagem de biossólido necessária para as principais culturas existentes nas regiões agrícolas do município.

## 6. MATERIAL E MÉTODOS

O presente trabalho possui uma postura epistemológica positivista, um enfoque quantitativo e uma abordagem exploratória. O método adotado foi o estudo de caso, tendo como instrumento de coleta a revisão da literatura, interpolação de dados em Sistemas de Informação Geográficos (SIG), e protocolo de medição, possuindo o lodo de esgoto como amostra.

A seguir serão mostrados os procedimentos metodológicos necessários para se alcançar os objetivos específicos do presente projeto.

### 6.1. CRIAÇÃO DA CARTA DE APTIDÃO DO LODO DE ESGOTO

Foi importante se atentar aos locais em que esse resíduo sólido deve ser inserido, observando legislações vigentes e características do terreno, para que não ocorram riscos de impacto socioambiental.

A metodologia do presente subtópico foi baseada no PROSAB (2001, p. 165-187), que apresentou ferramentas de geoprocessamento que viabilizaram o estudo das áreas do município de Igaci que estão aptas para receber o lodo de esgoto gerado na estação de tratamento de esgoto do município, com a finalidade agrícola, de forma a minimizar possíveis impactos socioambientais.

A criação das cartas temáticas foi realizada através do Sistema de Informações Geográficas (SIG), utilizando os softwares gratuitos QGIS e Google Earth. Inicialmente foi realizado um inventário do local, constando o levantamento de dados espaciais temáticos de interesse ambiental (solo, água, vegetação nativa, relevo), uso atual do solo (rural e urbano) e contexto institucional (legislação).

Os dados foram obtidos através do Sistema Eletrônico do Serviço de Informação ao Cidadão (E-sic), da Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico (ANA), da Companhia de Pesquisa e Recursos Minerais (CPRM), da Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA), do Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação (MCTIC) e da Secretaria do

Estado do Meio Ambiente e Recursos hídricos de Alagoas (SEMARH). Também foram baixados do site do Instituto do Meio Ambiente de Alagoas (IMA) os vetores de hidrografia, vegetação nativa, ferrovias, rodovias e estradas.

Após o inventário, parte-se para uma etapa de análise, definindo os critérios detalhados no **Quadro 5**, para eliminação de áreas não adequadas para receber o lodo da ETE. Com o processamento dessas informações obteve-se três cartas, respectiva a cada critério. Por fim foi realizada a interpolação das três cartas para gerar o Mapa de Aptidão Agrícola do município de Igaci, para receber o biossólido da ETE.

**Quadro 5: Critérios eliminatórios para valorização agrícola de solos com a aplicação de lodos de ETEs**

CRITÉRIOS	DETALHAMENTO
Recursos Hídricos	<p>I) Tendo em vista a preservação dos recursos hídricos superficiais, conforme ao Código Florestal (BRASIL, 2012), será mantida a distância de 200 metros aos cursos d'água, distância máxima para as Matas Ciliares;</p> <p>II) Por motivos operacionais e de segurança hídrica, optou-se pela não utilização de lodos de ETEs nas áreas inundáveis do município.</p>
Contexto Institucional	<p>I) Áreas de domínio público, como as vias e ferrovias devem ser respeitados, por essa razão serão desconsideradas como áreas aptas para plantações de agricultura;</p> <p>II) As áreas de topos de morros são protegidas pelas leis, e por essa razão também serão excluídas graças ao Código Florestal, que a classificam como APP e a Resolução CONAMA 375 de 2006, que proíbe a aplicação do LE em APPs;</p> <p>III) Nos locais de vegetação nativa, para não incentivar o desmatamento para plantação de culturas.</p>
Saúde Pública	<p>I) Serão analisadas as possíveis áreas contaminadas do município;</p> <p>II) Serão isoladas áreas no entorno de 500m de poços;</p> <p>III) Não será utilizado o lodo da Estação de Tratamento de Esgoto na área urbana do município, e no entorno de 150 metros, área essa mais propícia à expansão populacional e excluídas de acordo com a Lei 375 de 2006. Além disso, também não será utilizado o LE nas proximidades de núcleos populacionais, de casas isoladas e povoados.</p>

**Fonte:** Adaptado de PROSAB (2001), BRASIL (2012) e CONAMA (2006).

## 6.2. CÁLCULO DE ADUBAÇÃO

O biossólido utilizado no trabalho foi proveniente da Estação de Tratamento de Esgoto do município de Igaci, que teve o seu projeto de execução finalizado em 2018 (AL1, 2018). O esgoto tratado da ETE é derivado das áreas urbanas domiciliares e comerciais, e foi disponibilizado pela prefeitura.

Para caracterização do biossólido, foram feitas duas coletas, a primeira em dezembro de 2020 e a segunda em junho de 2021, ambas foram levadas para laboratório particular em Maceió, que realizou os seguintes parâmetros:

- Nitrogênio Total;
- Fósforo;
- Potássio;
- Umidade;
- Matéria Orgânica Total;
- Cobre;
- Ferro;
- Manganês;
- Zinco;
- Cálcio;
- Magnésio.

Para a obtenção do cálculo de dosagem do biossólido, inicialmente foram pesquisadas as principais culturas do município, através dos dados do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE, 2007; IBGE, 2017; e IBGE, 2019). Em seguida foi realizado o cálculo de adubação utilizando como referências dois manuais de adubação de cultura: IPA (2008) e SOCIEDADE BRASILEIRA DE CIÊNCIA DO SOLO (2004).

O parâmetro utilizado para realizar o cálculo de dosagem, foi a % de Nitrogênio, baseando-se no teor recomendado por cada cultura e no teor disponível no LE da ETE municipal de Igaci, como consta na fórmula abaixo:

$$TLH = \frac{N_{recomendado} (kg/ha)}{N_{disponível} (kg/t)}$$

**Nrecomendado (kg/ha): Nitrogênio recomendado para cultura.**

**Ndisponível (kg/t): Nitrogênio disponível no lodo.**

Atualmente no município de Igaci, as lavouras agrícolas permanentes que predominam são as plantações de banana, castanha de caju, coco-da-baía, laranja e manga (IBGE, 2019). Já nas lavouras temporárias, são encontrados milho, fava, feijão, fumo e mandioca (IBGE, 2019), sendo essa última impedida de ser adubada com o biossólido (BRASIL, 2006).

Dessa maneira, para que a aplicação do LE seja adequada na agricultura, foram comparados os resultados com os apontados na resolução nº 375/2006 do Conselho Nacional do Meio Ambiente - CONAMA (BRASIL, 2006), que regulamenta e define critérios e procedimentos para o uso agrícola de lodos de esgoto gerados em estações de tratamento de esgoto sanitário e seus produtos derivados.

Entretanto, as análises de agentes patógenos (Coliformes Termotolerantes, ovos de helmintos, *Salmonella* e vírus) e de substâncias inorgânicas (Arsênio, Bário, Cádmio, chumbo, Cromio, Mercúrio, Molibdênio, Níquel e Selênio), destacadas na CONAMA 375, não foram realizadas.

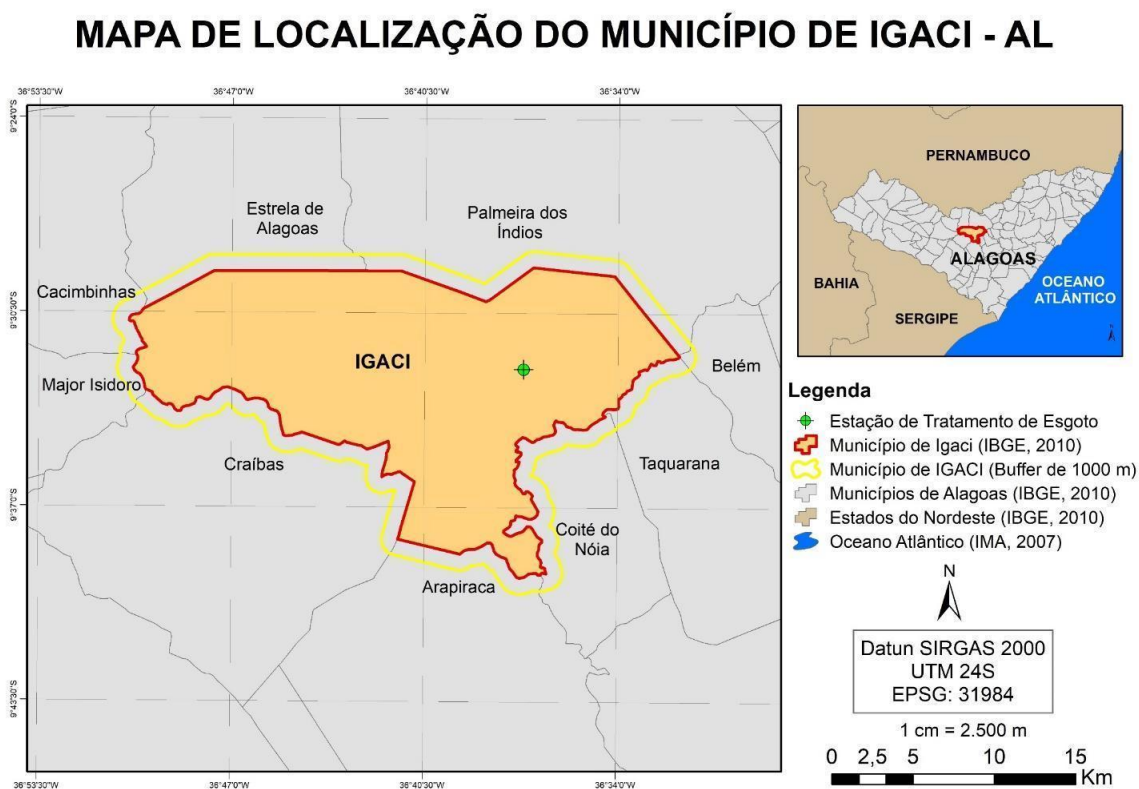
O conhecimento dos nutrientes extraídos do solo para as diferentes culturas é importante para um bom manejo e adubação, entretanto, também não fez parte do escopo da presente dissertação.

## 7. RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 7.1. CARACTERIZAÇÃO DO MUNICÍPIO DE IGACI

O município de Igaci está localizado na região central do Estado de Alagoas, e de acordo com o IBGE (2021) ocupando uma área de aproximadamente 334 km<sup>2</sup> (1,20 % de AL). Limita-se ao norte com os municípios de Palmeira dos Índios e Estrela de Alagoas, ao sul com Arapiraca e Craibas, ao leste com Coité do Nóia e Taquarana e ao oeste com Cacimbinhas, Major Isidoro e Craibas (CPRM, 2005) (**Figura 1**).

**Figura 1: Mapa de localização do município de Igaci**



**Fonte:** Elaborado pelo autor.

## 7.2. CARACTERÍSTICAS DA ETE DE IGACI

### 7.2.1. Tratamento preliminar

O pré tratamento ou tratamento preliminar, é uma etapa que deve estar a montante do processo de tratamento de esgoto. É nela que se remove todo o material indevido que venha a entrar nas redes de esgoto, sejam eles inseridos dentro da residência (sanitários, pias e ralos) ou direto nas redes (boca de visita), assim como remover partículas de maior peso específico, como areia, argila, silte etc. (PEREIRA e SILVA, 2018). Esses materiais podem reduzir a eficiência de tratamento, obstruir e desgastar bombas e tubulações e por essa razão devem ser retidos antes da ETE.

O tratamento preliminar de Igaci é constituído por uma grade (**Figura 2**), responsável em reter os materiais mais grosseiros, como papéis, plásticos, pedras, bitucas de cigarro, cabelos, fios dentais, copos, embrulhos plásticos, fraldas, tecidos, sacolas plásticas, preservativos, restos de comida, madeiras, vidros, metais, etc.

Para reter as partículas menores como as areias, o sistema contém um desarenador (**Figura 3**), construído em duas células, isoladas por comportas, que podem ser abertas e fechadas priorizando fluxos e garantindo o isolamento para remoção das partículas armazenadas, como solicitado pela NBR 12209 de 2011.

Por fim, o efluente passa por uma calha parshall (**Figura 4**), responsável por medir a vazão do sistema, e em seguida é direcionada para uma Estação Elevatória de Esgoto Bruto (EEEB) de poço seco, em que bombas succionam o esgoto do poço, trazendo-o para a casa de bombas e assim recalçando-o para o Tanque de Aeração (TSUTIYA, 2011).

**Figura 2: Gradeamento**



**Figura 3: Desarenador**



**Figura 4: Calha Parshall**



**Fonte:** Elaborada pelo autor.

#### 7.2.2. Tratamento do esgoto

O sistema de tratamento de Igaci, é do tipo Lodos Ativados, e consiste em um tanque de aeração (**Figura 5**), um decantador secundário (**Figura 6**), e uma bomba de recirculação do lodo (decantador para o tanque de aeração).

Von Sperling (2016), informa que a massa microbiana envolvida nos processos aeróbios é constituída basicamente por bactérias e protozoários, mas que fungos e rotíferas podem ser encontrados, mas a sua importância é menor na degradação do efluente.

A degradação da matéria orgânica e dos nutrientes ocorre no tanque de aeração, graças a alta concentração de bactérias aeróbias e formação de flocos microbianos, mantidos em suspensão e recebendo oxigênio (D'AVIGNON, 2002).

O decantador secundário, ou sedimentador, se encontra a jusante do aerador, e possui como finalidade sedimentar o lodo e fazer com que o efluente saia clarificado, graças ao adensamento dos flocos microbianos (SANT'ANNA JUNIOR, 2010). Bactérias ainda ativas para assimilar a matéria orgânica estão presentes no lodo decantado, e dessa forma há uma recirculação, dele para o tanque de aeração, para aumentar a capacidade de biomassa no tanque de aeração (VON SPERLING, 2012).

**Figura 5: Tanque de Aeração**



**Figura 6: Decantador secundário**



**Fonte:** Elaborada pelo autor.

### 7.2.3. Pós Tratamento do Efluente

O pós-tratamento é a etapa essencial para inativar seletivamente espécies de organismos presentes no esgoto sanitário, em especial aquelas que ameaçam a saúde humana, ou seja, os organismos patogênicos (GONÇALVES, 2003).

A desinfecção do efluente em Igaci é por cloração (hipoclorito de sódio). Uma bomba dosadora injeta o cloro líquido no efluente, e ele passa por várias chicanas verticais, que facilitam a mistura do cloro (**Figura 7 e Figura 8**).

O princípio de atuação do cloro no pós-tratamento é o de inativação dos organismos, produzindo efeitos letais nas células microbiológicas e próximo delas, conseguindo atingir o DNA (NUVOLARI, 2011).

**Figura 7: Entrada do tanque de cloração**



**Figura 8: Saída do tanque de cloro (centro)**



**Fonte:** elaborada pelo autor.

#### 7.2.4. Pós Tratamento do Lodo

Na ETE de Igaci, existem descargas de fundo para remoção do lodo nos tanques de aeração e decantação. O lodo é conduzido para uma calha e assim para os Leitos de Secagem (Figura 9 à Figura 12). São quatro Leitos na área da ETE, que podem operar em fases diferentes: lodo seco por semanas, enquanto outro Leito acaba de receber o LE.

**Figura 9: Leitos de Secagem**



**Figura 10: Leitos de Secagem**



**Figura 11: Leitões de Secagem**



**Figura 12: Leitões de Secagem**



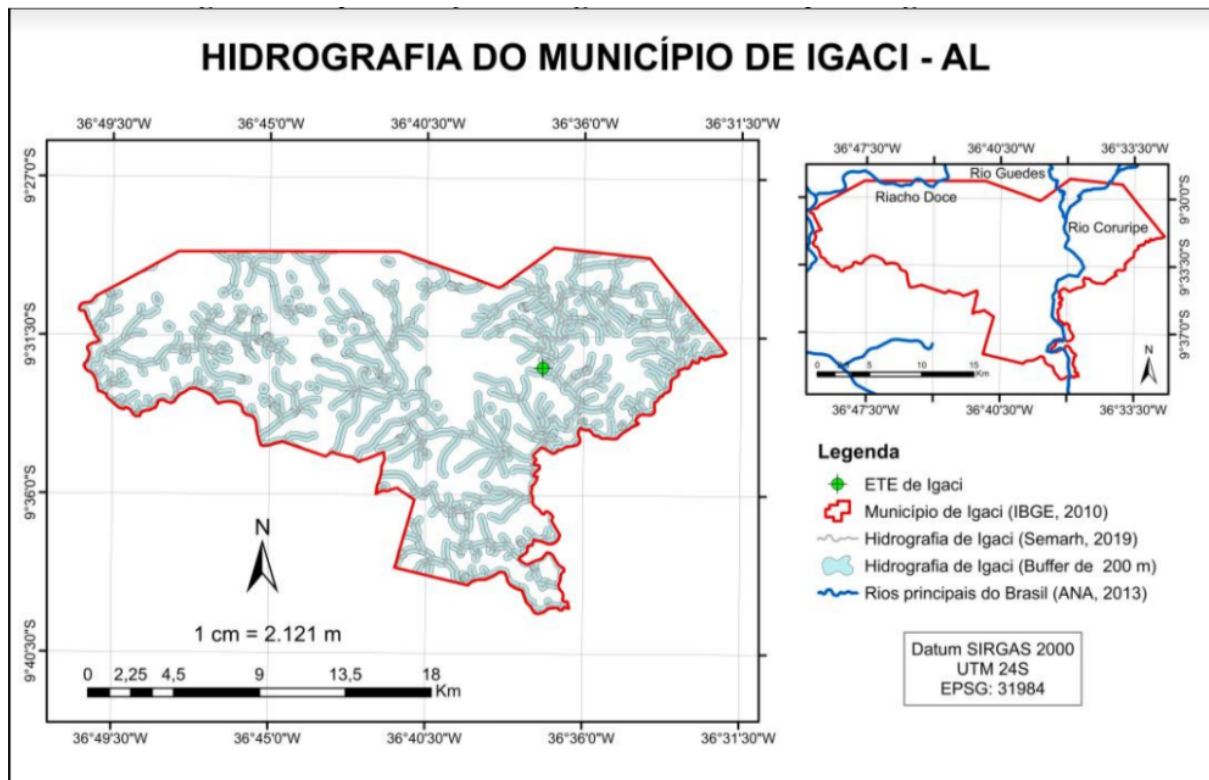
**Fonte:** Elaborado pelo autor.

### 7.3. ÁREAS APTAS PARA APROVEITAMENTO AGRÍCOLA DO LODO DE ESGOTO

#### 7.3.1. Recursos Hídricos

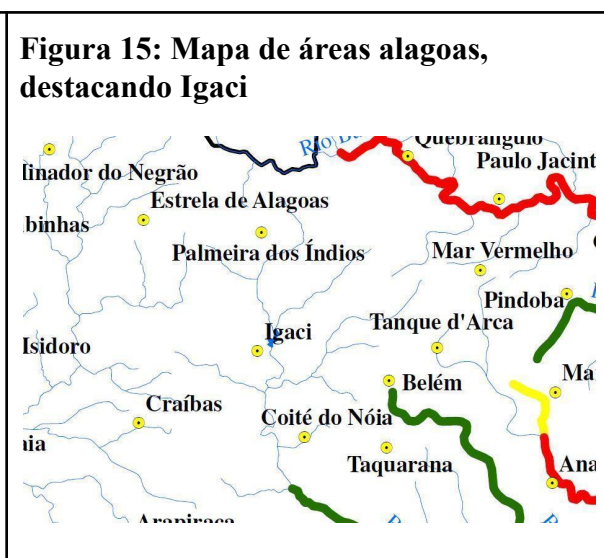
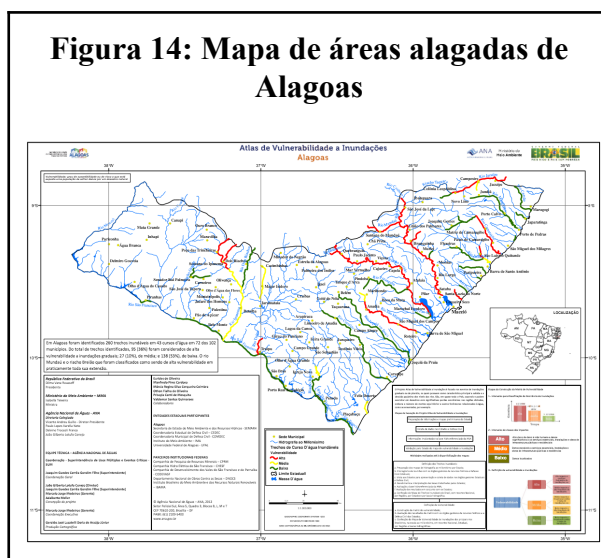
Com a camada de hidrografia da Secretaria do Estado do Meio Ambiente e Recursos Hídricos de Alagoas (Semarh) foi extraída a carta da hidrografia de Igaci (**Figura 13**) constando um amortecimento (buffer) de 200 metros das laterais dos rios.

**Figura 13: Mapa Hidrográfico do município de Igaci**



**Fonte:** Elaborada pelo autor.

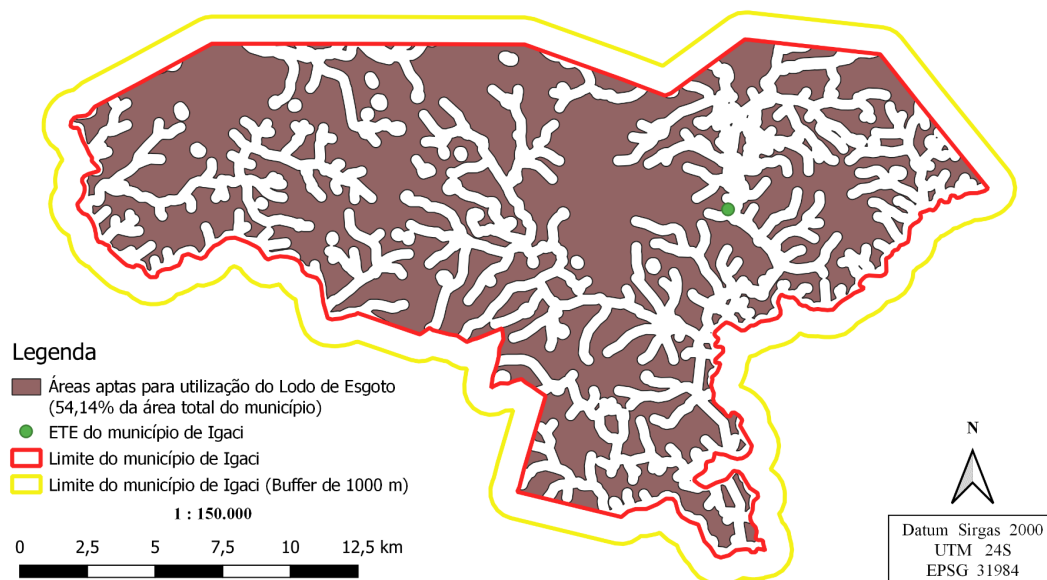
De acordo com os dados recebidos da ANA, não existem áreas alagadas no município de Igaci (**Figura 14 e Figura 15**), por essa razão, apenas a carta hidrografia do município de Igaci foi o suficiente para o critério Recursos Hídricos, deixando uma área de 181,0582 km<sup>2</sup> disponível para a agricultura (**Figura 16**).



**Fonte:** Editado de ANA.

**Figura 16: Mapa de aptidão agrícola (critério 1)**

**MAPA DE APTIDÃO AGRÍCOLA DO LODO DE ESGOTO  
NO MUNICÍPIO DE IGACI  
Critério: Recursos Hídricos**



**Fonte:** Elaborada pelo autor.

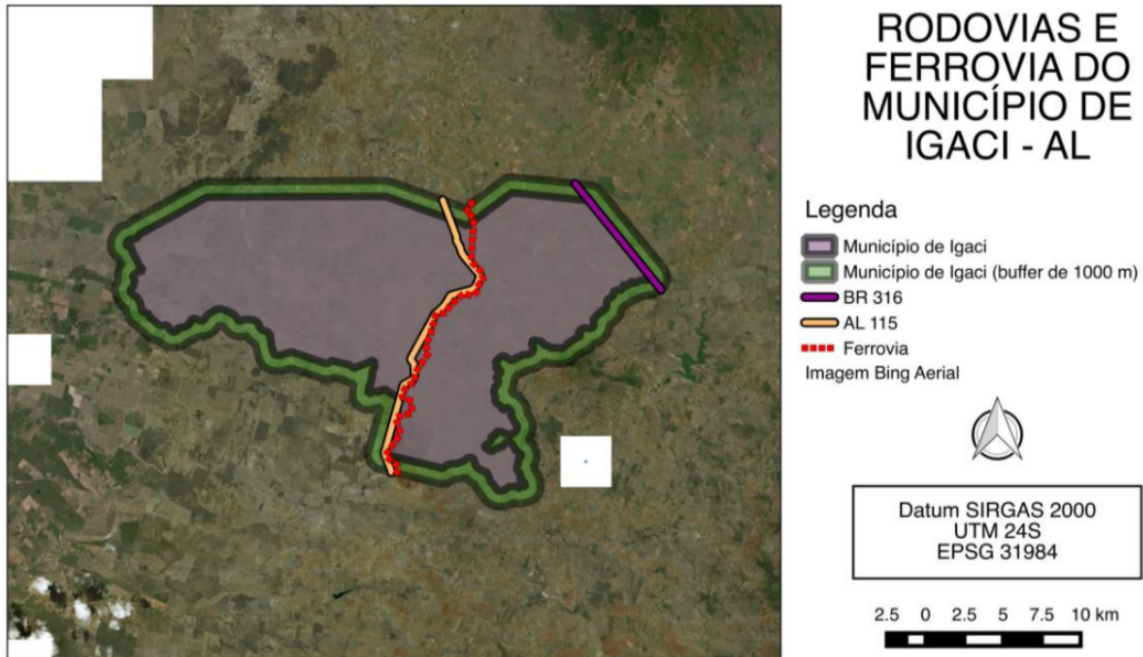
### 7.3.2. Contexto Institucional

Esse tópico é referente às legislações vigentes no município de Igaci e/ou no Estado de Alagoas. Foram consideradas as faixas de domínio de rodovias e ferrovias; as Áreas de Preservação Permanente (APPs) dos topos de morros; e as áreas de vegetações remanescentes.

Foram demarcadas as faixas de domínio das rodovias e da malha ferroviária (**Figura 17**). Em Igaci, existem duas rodovias, a AL-115 que intercepta o município, informado pelo Departamento de Estradas de Rodagem de Alagoas (DER) que possui uma faixa de domínio de 15 metros (para cada lado, a partir da faixa amarela); e a BR-316, que faz fronteira com Palmeira dos Índios, informada pelo Departamento Nacional de Infraestrutura de Transporte (DNIT) que possui faixa de domínio de 35 metros (para cada lado, a partir da faixa amarela).

Já a Ferrovia, apesar de não estar havendo transporte, deve possuir a faixa de domínio de 6 metros como informado pelo DNIT.

**Figura 17: Áreas de domínio viário e ferroviário do município de Igaci - AL**

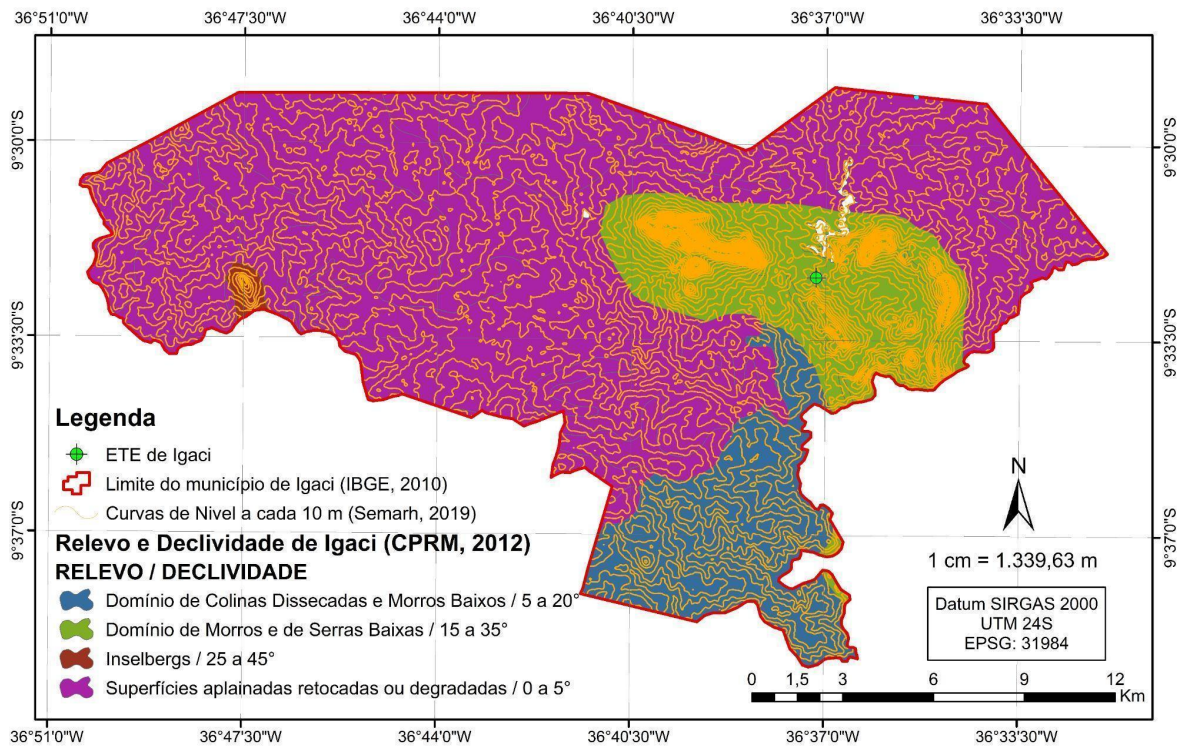


**Fonte:** Elaborada pelo autor.

Foi recebido pela Semarh um Modelo Digital de Elevação (MDE) a cada 10 metros. Além disso, também foi recebido uma camada de relevo e declividade pela Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais (CPRM) (**Figura 18**). Com isso, foi criada a carta geográfica Topos de Morros (**Figura 19**), que são considerados Áreas de Preservação Permanente de acordo com o art. 4 do código florestal (BRASIL, 2012), e por esta razão, não se deve inserir o LE (CONAMA, 2006).

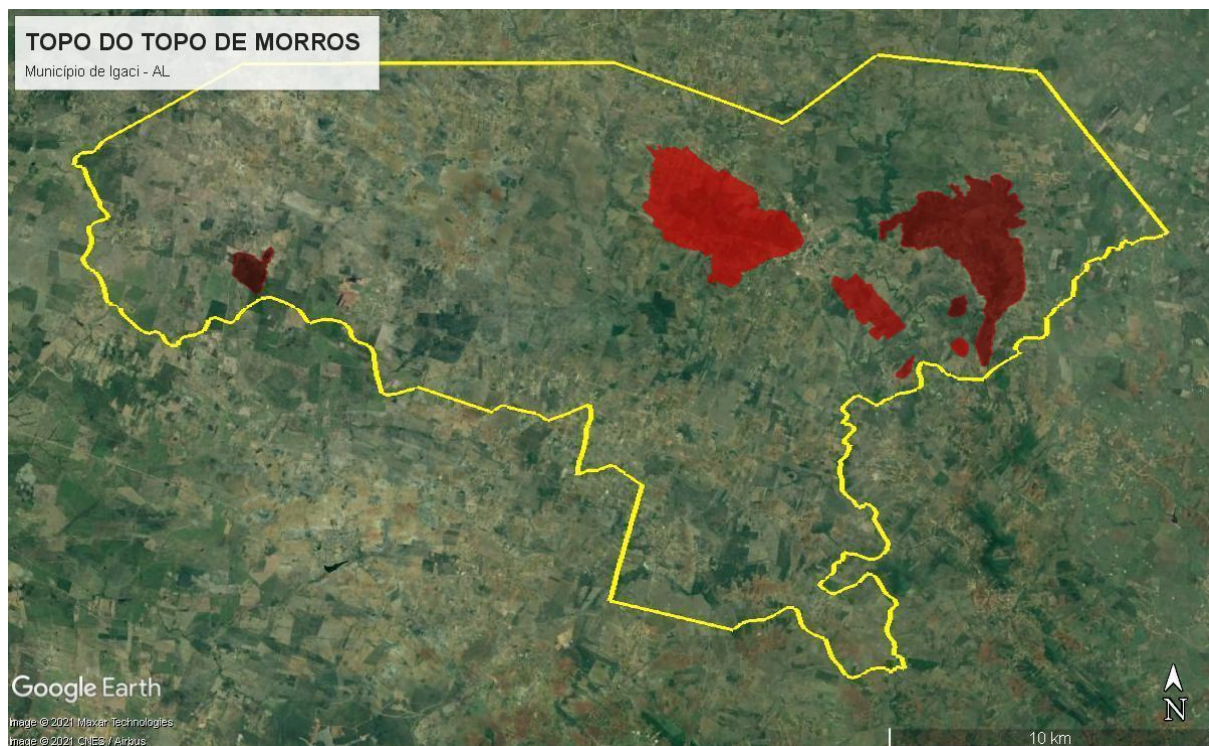
Figura 18: Mapa de declividade do município de Igaci

### MAPA DE RELEVO E DECLIVIDADE DO MUNICÍPIO DE IGACI - AL



Fonte: Elaborado pelo autor.

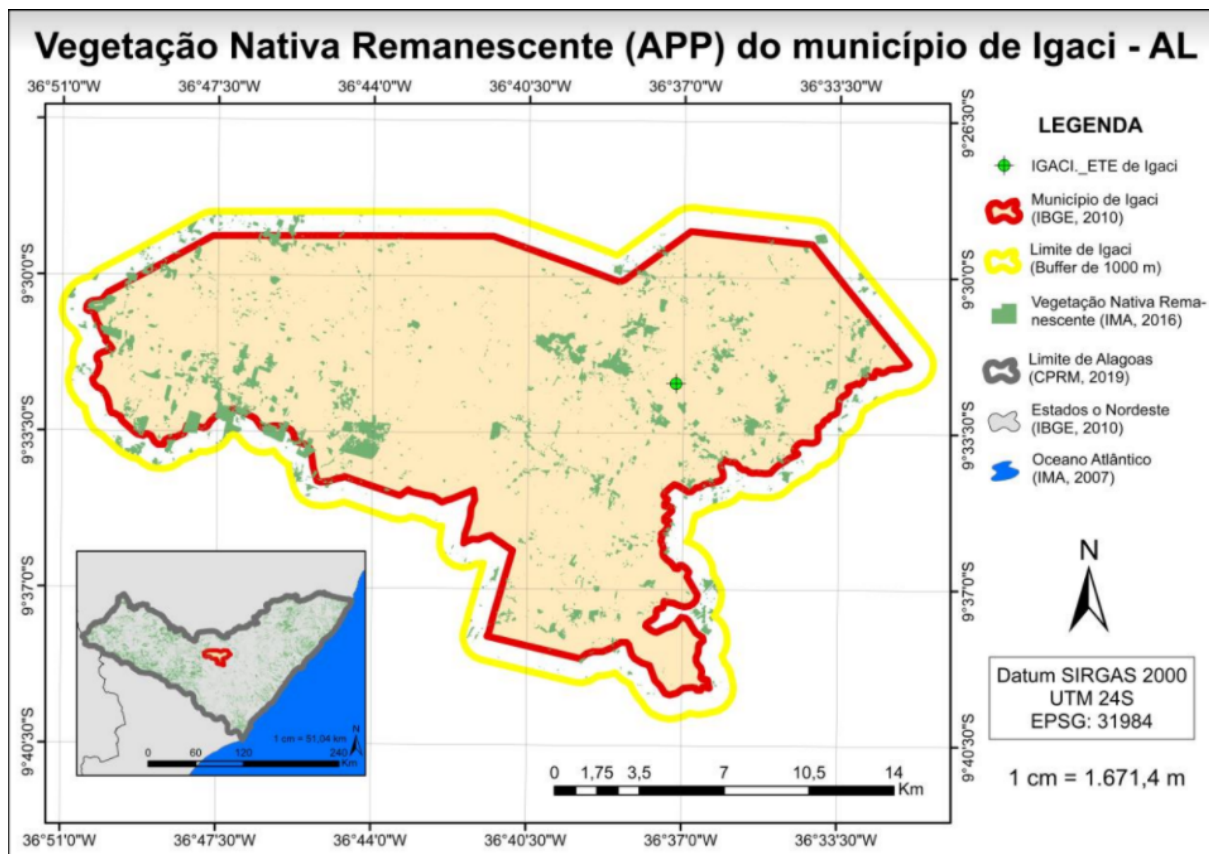
**Figura 19: Áreas de Morros do município de Igaci**



**Fonte:** Elaborado pelo autor.

O Código Florestal habilita que ocorra intervenção ou supressão de vegetação em APPs e de Reserva Legal, para atividades eventuais ou de baixo impacto ambiental dos agricultores familiares. Apesar disso, para não incentivar o desmatamento, foi criado um mapa com as áreas de vegetação nativa do município (**Figura 20**), através dos vetores disponibilizados no site do IMA.

Figura 20: Mapa de vegetações nativas do município de Igaci

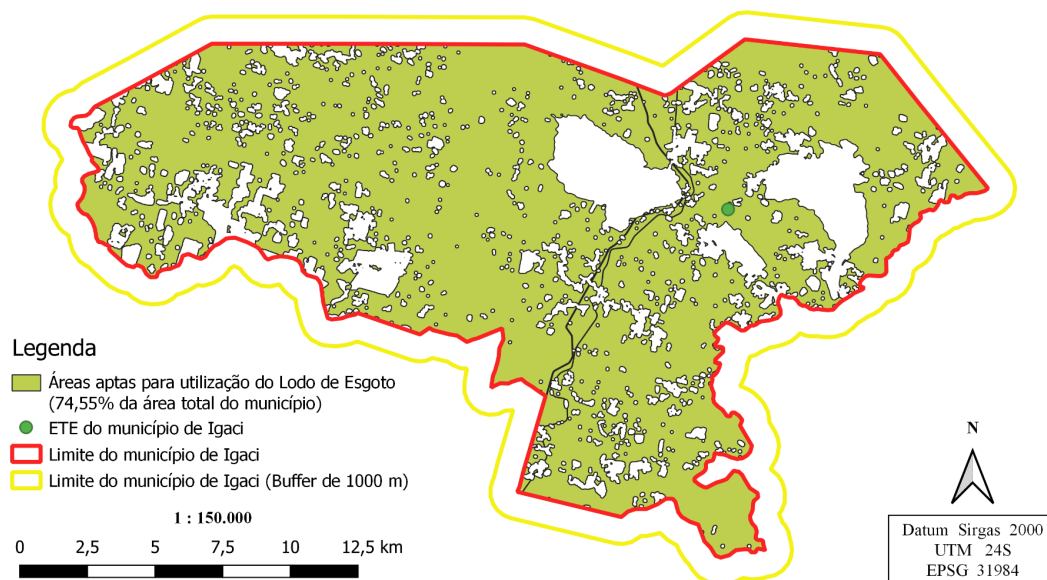


Fonte: Elaborado pelo autor.

A Carta de Aptidão Agrícola para o critério Contexto Institucional (**Figura 21**), foi elaborada interpolando o resultado dos mapas de Topos de Morro, Vegetação e Áreas de Domínio. Após isso, foi georreferenciado com a ferramenta Interseção, as três restrições mencionadas, apresentando uma área livre à disposição do bio-sólido com finalidade agrícola, de aproximadamente 249,328 km<sup>2</sup>.

**Figura 21: Mapa de aptidão agrícola (critério 2)**

## MAPA DE APTIDÃO AGRÍCOLA DO LODO DE ESGOTO NO MUNICÍPIO DE IGACI Critério: Contexto Institucional



**Fonte:** Elaborado pelo autor.

### 7.3.3. Saúde Pública

Para o presente subtópico, foram analisadas duas questões, a primeira delas foram as áreas contaminadas do município. Para isso, foi consultado junto a prefeitura do município, que informou que a única área de possível contaminação era um antigo lixão, que ainda contém resíduos dispostos no solo (**Figura 22 à Figura 24**).

**Figura 22: Área do antigo lixão**



**Figura 23: Área do antigo lixão**



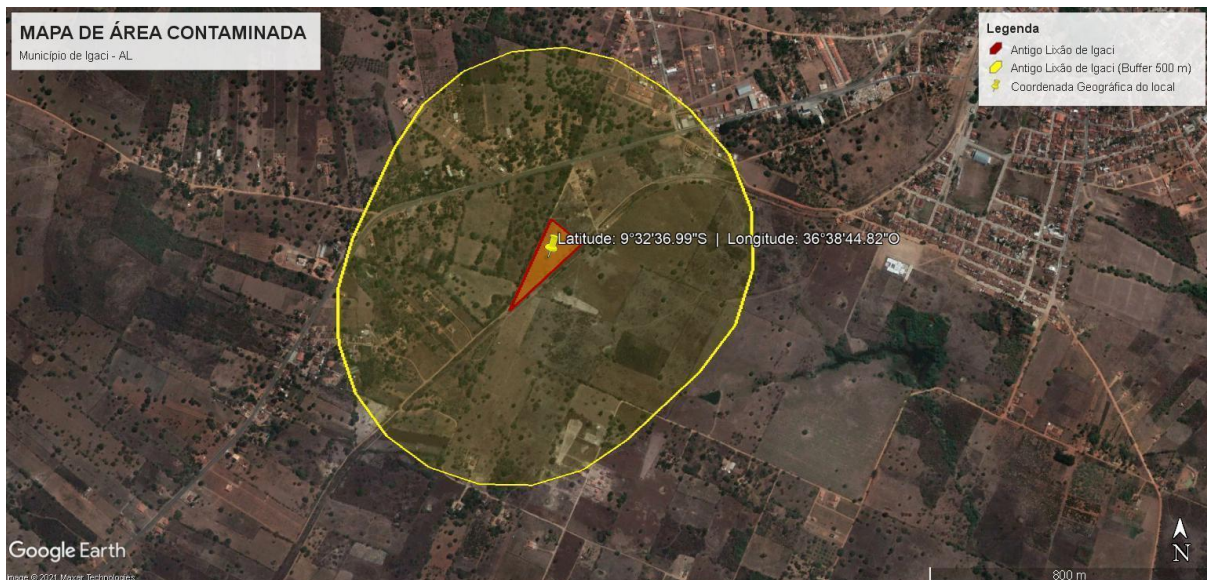
**Figura 24: Área do antigo lixão**



**Fonte:** Elaborado pelo autor.

Para a elaboração da carta de restrição, foi adotado um buffer de 500 m para a área contaminada. Esse afastamento é o aceitável entre aterros sanitários e áreas agrícolas (Bollo, 2004 apud LINO, 2007, p. 85). Dessa forma, a restrição ocupou uma área total de aproximadamente 1,133 km<sup>2</sup> (Figura 25).

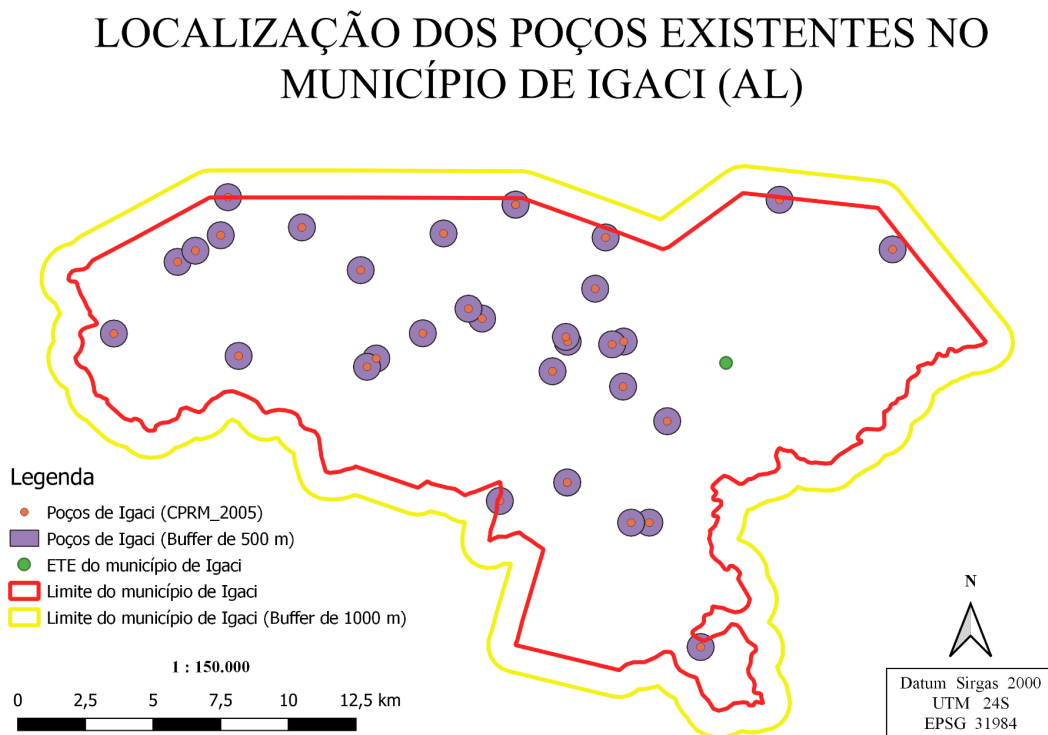
**Figura 25: Localização da área do lixão**



**Fonte:** Elaborado pelo autor.

A segunda questão analisada foram as proximidades dos poços. O levantamento foi feito através dos dados da CPRM (2005) que apontaram 33 poços inseridos no território do município de Igaci. Os critérios de distanciamento também foram de 500 m, que é o distanciamento favorável entre aterros sanitários e poços (Zuquette et al., 1994 apud LINO, 2007, p. 60.), dando assim maior segurança para o abastecimento local, visto que os aterros são fontes de maior contaminação, quando comparados com os lodos de esgoto. Dessa forma, a restrição ocupou uma área total de aproximadamente 20,8661 km<sup>2</sup>, como pode ser visto na (Figura 26).

**Figura 26: Mapa de localização dos poços existentes no município de Igaci**



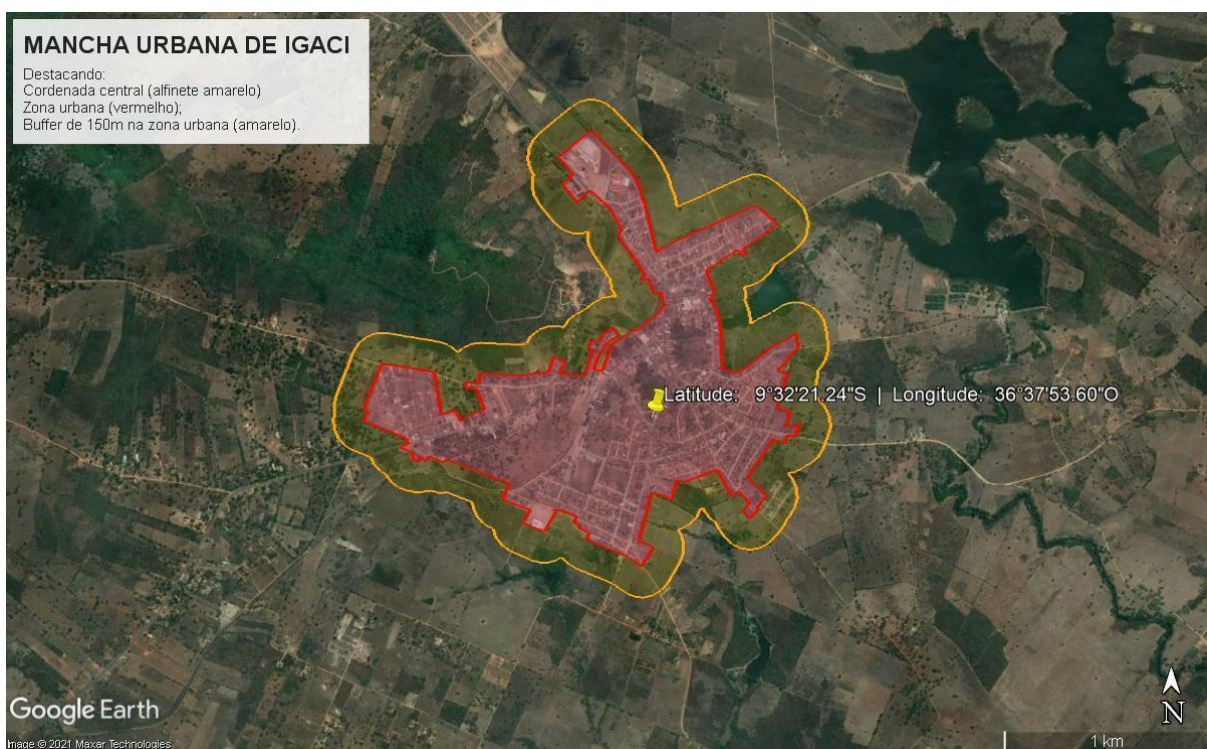
**Fonte:** Elaborado pelo autor.

Outra variável utilizada foi a proximidade de residências. Foi utilizada a camada Manchas Urbanas disponibilizadas na página eletrônica do Instituto do Meio Ambiente de Alagoas (IMA) para localizar os pontos mais urbanizados. No entanto, foi observada uma imprecisão devido a escala de elaboração dos dados ser menor, nível de estado, do que a

municipal, e também devido à dinâmica de crescimento populacional e consequente expansão urbana, uma vez que os dados do IMA são do ano de 2007.

Por esta razão, foi criado um polígono cobrindo melhor toda a área urbana do município de Igaci e, em seguida, feito uma nova camada com o amortecimento de 150 metros (buffer) (**Figura 27**), levando em consideração as áreas mais propícias à expansão populacional nos próximos anos. Foram detectadas 2 (duas) manchas urbanas no município de Igaci.

**Figura 27: Mapa da zona central do município de Igaci**



**Fonte:** Elaborado pelo autor.

Também foi necessário fazer a análise nas proximidades de pequenos povoados ou aglomerados populacionais. Como essa população geralmente se encontra nas proximidades de estradas (**Figura 28**), foi realizado um Buffer de 150 m das estradas existentes em Igaci, de dados da EMBRAPA (2013) baixados no site do IMA. Dessa forma, foi criada a carta temática das áreas urbanas e povoados (**Figura 29**).

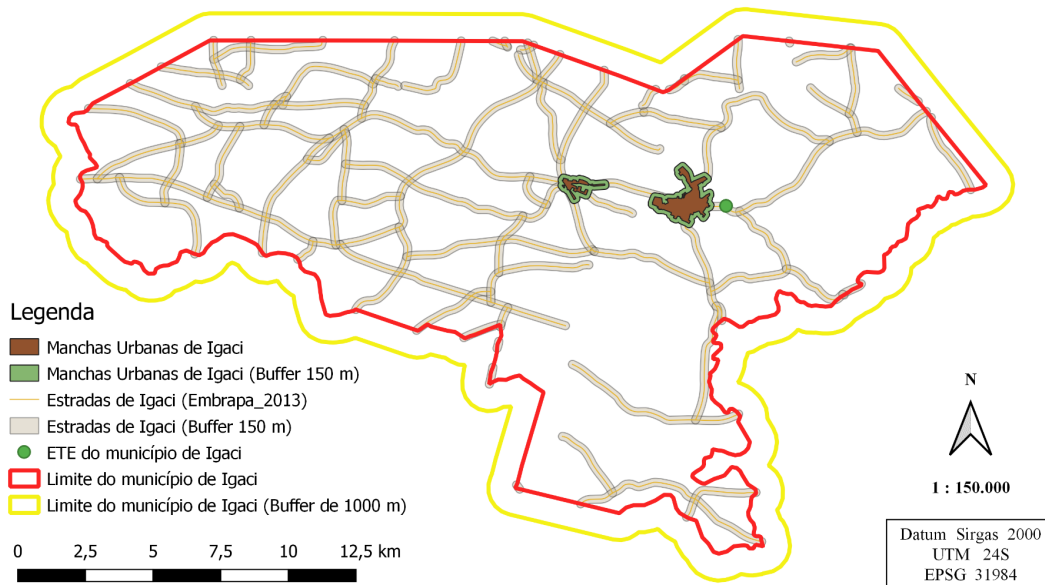
**Figura 28: Imagem ilustrando aglomerados populacionais no município de Igaci**



**Fonte:** Elaborado pelo autor.

**Figura 29: Mapa de localização das manchas urbanas do município de Igaci**

## LOCALIZAÇÃO DAS ÁREAS URBANAS E POVOADOS NO MUNICÍPIO DE IGACI (AL)

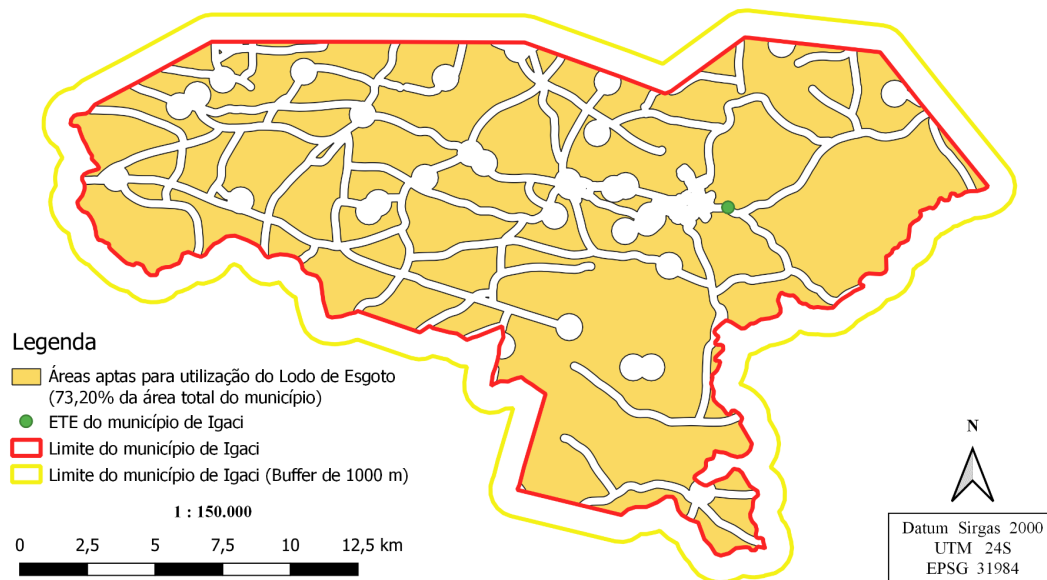


**Fonte:** Elaborado pelo autor.

A Carta de Aptidão Agrícola para o critério Saúde Pública (**Figura 30**), foram interpolados os resultados dos afastamentos (500 m) da área contaminada e dos poços, e feito a união dos dados dos Buffers de Mancha Urbana e Estradas de Igaci. Ao georreferenciar com a ferramenta Diferença, o mapa do município e as três restrições mencionadas, foi observado uma área livre à disposição do bio-sólido com finalidade agrícola, de aproximadamente 244,8093 km<sup>2</sup>.

**Figura 30: Mapa de aptidão agrícola (critério 3)**

### MAPA DE APTIDÃO AGRÍCOLA DO LODO DE ESGOTO NO MUNICÍPIO DE IGACI Critério: Saúde Pública



**Fonte:** Elaborado pelo autor

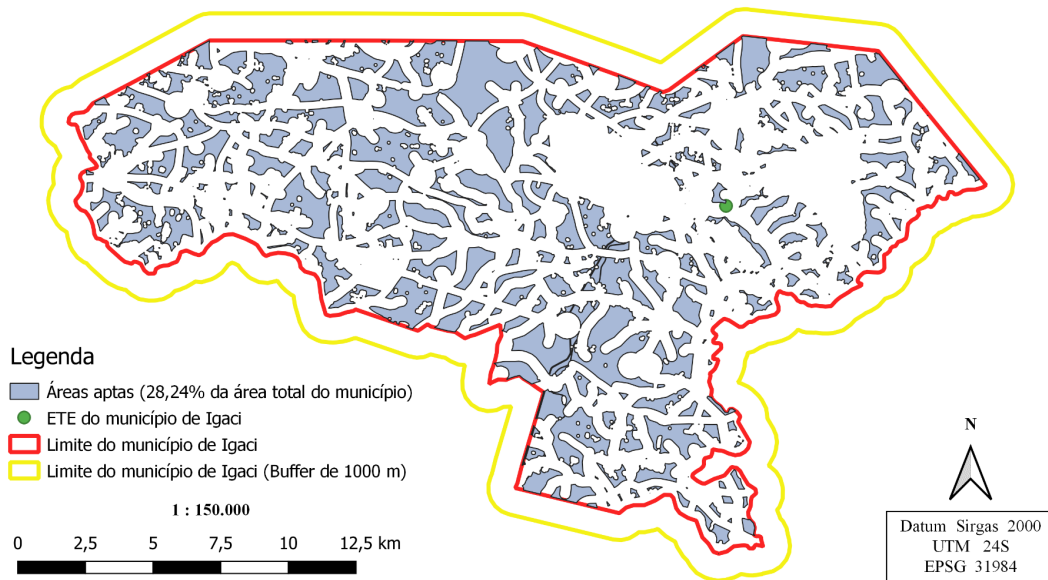
#### 7.3.4. Áreas Aptas para receber o lodo com finalidade agrícola

Após a finalização das Cartas Temáticas de Distanciamento dos Recursos Hídricos; Contexto Institucional; e Saúde Pública, foi possível criar o Mapa de Aptidão Agrícola do município de Igaci através do georreferenciamento entre a diferença desses três critérios (**Figura 31**).

A área disponível no município Igaci, para receber o biossólido com finalidade agrícola, foi de 94,46 km<sup>2</sup>, o equivalente a aproximadamente 28,24% da área total do município (334,45 km<sup>2</sup>). A carta temática, pode ser visualizada abaixo (**Gráfico 1**), e o gráfico comparativo com os três critérios de restrição também.

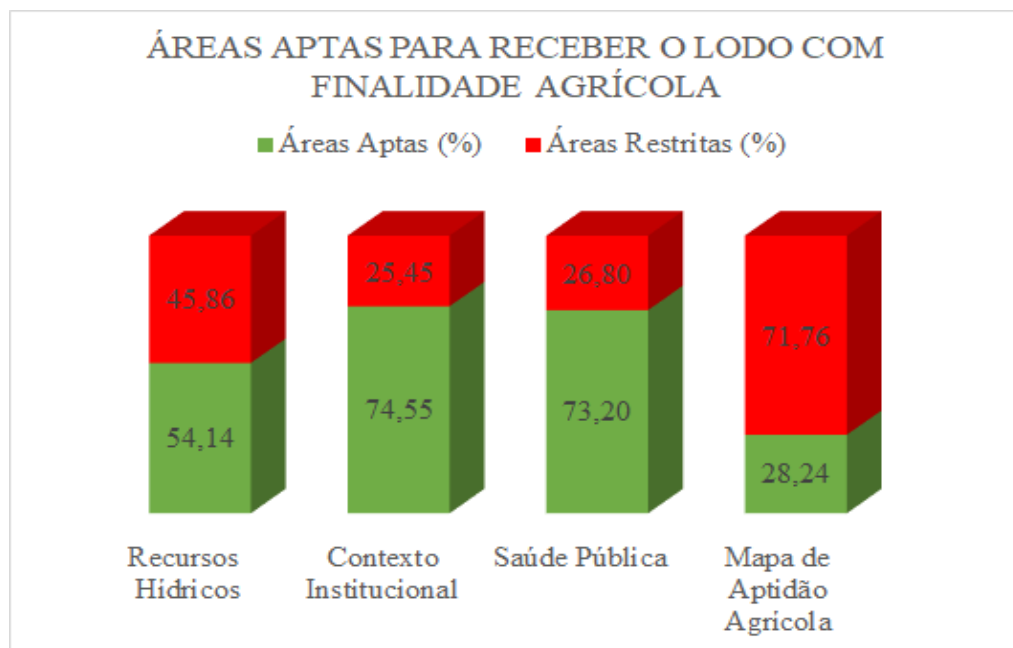
**Figura 31: Mapa de aptidão agrícola do município de Igaci**

## ÁREAS APTAS A RECEBEREM O LODO DE ESGOTO COM FINALIDADES AGRÍCOLAS



**Fonte:** Elaborado pelo autor.

**Gráfico 1: Porcentagem das áreas aptas e restritas para reciclagem agrícola no município de Igaci**



**Fonte:** Elaborado pelo autor.

## 7.4. CÁLCULO DE ADUBAÇÃO

### 7.4.1. Características do lodo

A reciclagem agrícola, possui um grande valor econômico, já que o LE é rico em matéria orgânica e nutrientes para as plantas, trazendo benefícios a agricultura de forma ambientalmente adequada, desde que sejam conhecidas a composição química e biológica do material (ABREU, 2014).

Foi coletado o Lodo de Esgoto seco no Leito de Secagem em dois momentos distintos. Um no verão, no dia 02/12/2020 (**Figura 32 à Figura 34**), e o outro no inverno, no dia 29/06/2021 (**Figura 35 à Figura 37**). O LE foi inserido em um balde para ser misturado, e por fim foi armazenado em sacos plásticos e transportado para um laboratório em Maceió (capital alagoana) que realizou as suas análises como pode ser visto no **Quadro 6**.

**Figura 32: Leito de Secagem**



**Figura 33: LE no Leito de Secagem**



**Figura 34: Primeira amostra do LE**





**Fonte:** Elaborado pelo autor.

#### **Quadro 6: Resultado das análises do LE**

PARÂMETROS	RESULTADO DAS AMOSTRAS	
	Dez. 2020	Jun. 2021
Nitrogênio Total (%)	2,49	2
Fósforo - P2O5 (%)	1,07	0,79
Potássio - K2O (%)	0,27	0,12
Umidade 100°C (%)	21,50	48,40
Matéria Orgânica Total (%)	26,80	33,20
Relação C/N	10,76	16,60
Cobre (mg/kg)	183	104
Ferro (mg/kg)	24.600	9.310
Manganês (mg/kg)	275	143
Zinco (mg/kg)	545	233
Cálcio (mg/kg)	1.815	328
Magnésio (mg/kg)	5.950	2.436

**Fonte:** Elaborado pelo autor.

O lodo de esgoto é um material rico em matéria orgânica, com alto teor de umidade e concentração representativa de nitrogênio e outros minerais como fósforo e potássio que despertam o interesse agrônomo. A fração orgânica do solo, embora ocorra em proporções relativamente pequenas (2 a 5% da fração sólida dos solos) na maioria dos solos, assume papel qualitativo. Importante nas propriedades físicas dos mesmos, agindo como condicionador do solo, exercendo forte influência na porosidade, retenção de água, densidade

e nas propriedades químicas, sendo também a principal fonte de energia para os micro-organismos do solo (LIMA, 2019). De maneira geral a matéria orgânica se destaca como boa fonte de fósforo (P) e enxofre (S) e, excelente fonte de nitrogênio (N) para os vegetais que não possuem a capacidade de fixação biológica do nitrogênio atmosférico.

De acordo com o **Quadro 6** o macronutriente encontrado em maior quantidade no lodo de esgoto pesquisado foi o nitrogênio, elemento o qual é o de maior valor econômico no lodo de esgoto uma vez que tem grande exigência pelas plantas. Outros macronutrientes como potássio, fósforo, cálcio e magnésio também foram encontrados em menor quantidade no lodo. As concentrações de micronutrientes são variáveis, mas se observa presença de cobre, zinco. A Resolução CONAMA 375 de 2006, assim como a Norma Técnica P4.230 (CETESB, 2021), estabelece valores máximos para as substâncias inorgânicas. Dos parâmetros analisados, apenas o Cobre e Zinco são listados, permitindo valores máximos de 1500 mg/kg e 2800 mg/kg respectivamente. Percebemos que os valores obtidos pelo LE, nas suas duas análises, permanecem inferiores ao exigido pela resolução.

Quando o lodo é aplicado como única fonte de nitrogênio, na maioria das vezes as doses de micronutrientes disponibilizadas são suficientes para suprir as necessidades das plantas. Como a concentração de alguns nutrientes no biossólido é baixa, há necessidade de complementação com outras fontes de fertilizantes, principalmente para o caso do fósforo (grande exigência pelas plantas e baixa concentração na maioria dos solos brasileiros), e do potássio (baixa concentração no biossólido). A dosagem a ser utilizada será em função do resultado da análise do solo e das exigências nutricionais da cultura a ser implantada.

#### 7.4.2. Cálculo de adubação

Para realizar o presente cálculo, inicialmente buscou as principais culturas utilizadas no município. De acordo com os dados do IBGE (2019) para a lavoura temporária, destacou-se as plantações de feijão, com uma área plantada de 160 ha e uma produção de 36 t; as plantações de fumo, com uma área plantada de 500 ha e uma produção de 725 t; e as plantações de milho, com uma área plantada de 2.100 ha e uma produção de 450 t.

Já quando foram analisadas a produção nas lavouras permanentes, destacaram as de castanha de caju, com uma área destinada à colheita de 100 ha e quantidade produzida de 63 t; e as de manga, com uma área destinada à colheita de 30 ha e quantidade produzida de 210 t (IBGE, 2019).

Também foi levado em consideração a produção de algodão, que teve uma área plantada de 1.000 ha e quantidade produzida de 120 t (IBGE, 2007).

O cálculo foi realizado através de acordo com Lima (2019), que menciona a dosagem de adubo em relação a % de N necessária para cada tipo de cultura:

$$\begin{array}{l} \text{Dosagem de adubo (kg)} \text{ ----- } \% \text{ N no adubo} \\ 100 \text{ kg de adubo} \text{ ----- } \% \text{ N recomendada na cultura} \end{array}$$

Os valores recomendados para cada cultura, foram retirados dos manuais de adubação IPA (2008) e SOCIEDADE BRASILEIRA DE CIÊNCIA DO SOLO (2004).

A partir da coleta desses dados, foi possível realizar o cálculo de adubação do lodo de esgoto, e feito um comparativo com a adubação de outros esterco de animais, em que o teor de Nitrogênio foi retirado da apostila de adubação orgânica da EMBRAPA. Através da análise do **Quadro 7**, pode ser observado que o LE precisou de uma dosagem maior apenas quando comparado com o esterco de aves.

**Quadro 7: Cálculo de adubação para as principais culturas de Igaci**

CULTURA	VALOR N % recomendad o	Quantidade de Lodo - Amostra 1 (kg/ha)	Quantidade de Lodo - Amostra 1 (kg/ha)	Quantidade de Esterco bovinos (kg/ha)	Quantidade de Esterco equínos (kg/ha)	Quantidade de Esterco suínos (kg/ha)	Quantidade de Esterco de Ovinos (kg/ha)	Quantidade de Esterco de Aves (kg/ha)	Quantidade de Composto Orgânico (kg/ha)
Feijão de Corda	20*	803,21	1000,00	1176,47	1428,57	1052,63	1428,57	666,67	1428,57
Milho Forrageiro	20*	803,21	1000,00	1176,47	1428,57	1052,63	1428,57	666,67	1428,57
Milho	30*	1204,82	1500,00	1764,71	2142,86	1578,95	2142,86	1000,00	2142,86
Milho Verde ou para Forragem	20*	803,21	1000,00	1176,47	1428,57	1052,63	1428,57	666,67	1428,57
Abóbora Irrigado	30*	1204,82	1500,00	1764,71	2142,86	1578,95	2142,86	1000,00	2142,86
Fumo	120	4819,28	6000,00	7058,82	8571,43	6315,79	8571,43	4000,00	8571,43
Feijão de Arranca	40**	1606,43	2000,00	2352,94	2857,14	2105,26	2857,14	1333,33	2857,14
Algodão	30**	1204,82	1500,00	1764,71	2142,86	1578,95	2142,86	1000,00	2142,86
Cajueiro Anão	60***	2409,64	3000,00	3529,41	4285,71	3157,89	4285,71	2000,00	4285,71
Manga	100***	4016,06	5000,00	5882,35	7142,86	5263,16	7142,86	3333,33	7142,86
Banana	90***	3614,46	4500,00	5294,12	6428,57	4736,84	6428,57	3000,00	6428,57

**Fonte:** Elaborado pelo autor.

\* No plantio

\*\* Na cobertura

\*\*\* No crescimento

### 7.4.3. Comparação com outros adubos orgânicos

O trabalho de Nobrega, Pontes e Santiago (2017) informa que a aplicação de resíduos na agricultura é uma prática comum, sendo eles geralmente esterco, bagaços de cana etc. As tabelas abaixo foram retiradas do site da EMBRAPA, e mostram teores de Matéria Orgânica, Nitrogênio, Fósforo, e Potássio, para os estercos de animais (**Quadro 8**), adubos verdes (**Quadro 9**) e de resíduos industriais (**Quadro 10**).

De acordo com o **Quadro 6**, levando em consideração o valor de nitrogênio encontrado no bio sólido, podemos observar que superou boa parte dos estercos de animais ficando abaixo apenas do esterco de ave.

#### Quadro 8: Caracterização dos estercos de animais

COMPOSIÇÃO DE ESTERCOS ANIMAIS ( BASE MATÉRIA SECA )					
ADUBO	Mat. Org. %	N %	P2O5 %	K2O %	RELAÇÃO C/N
Esterco de bovinos	57	1,7	0,9	1,4	32/1
Esterco de equinos	46	1,4	0,5	1,7	18/1
Esterco de suínos	53	1,9	0,7	0,4	16/1
Esterco de ovinos	65	1,4	1	2	32/1
Esterco de aves	50	3	3	0,8	11/1
Composto orgânico	31	1,4	1,4	1	-

**Fonte:** Adaptado de EMBRAPA.

O bio sólido também mostrou superioridade com relação ao %N em boa parte dos adubos verdes comparados ao **Quadro 9**.

#### Quadro 9: Caracterização de adubos verdes

COMPOSIÇÃO DE ALGUNS ADUBOS VERDES (BASE SECO)					
MATERIAL	Mat. Org. %	N %	P2O5 %	K2O %	RELAÇÃO C/N
Abacaxi: fibras	71,4	0,9	traços	0,5	44/1
Algodão: semente	95,6	4,6	1,4	2,4	12/1
Amoreira: folhas	86,1	3,8	1,1	-	13/1
Arroz: cascas	54,5	0,8	0,6	0,5	39/1
Arroz: palhas	54,3	0,8	0,6	0,4	39/1
Aveia: cascas	85	0,7	0,1	0,5	63/1
Aveia: palhas	85	0,7	0,3	1,9	72/1
Banana: talos de Cachos	85,3	0,8	0,1	7,4	61/1

Banana: folhas	89	2,6	0,2	-	16/1
Cacau: películas	91,1	3,2	1,4	3,7	16/1
Cacau: cascas do fruto	88,7	1,3	0,4	2,5	38/1
Café: cascas	82,2	0,9	0,2	2,1	53/1
Café: palhas	93,1	1,4	0,3	2	38/1
Café: semente	92,8	3,3	0,4	1,7	16/1
Capim gordura	92,4	0,6	0,2	-	81/1
Capim guiné	88,7	1,5	0,3	-	33/1
Capim jaraguá	90,5	0,8	0,3	-	64/1
Capim limão cidreira	91,5	0,8	0,3	-	62/1
Capim milhã roxo	91,6	1,4	0,3	-	36/1
Capim mimoso	93,7	0,7	0,3	-	79/1
Capim pé de galinha	87	1,2	0,3	-	41/1
Capim-de-Rhodes	89,5	1,4	0,6	-	37/1
Cassia alata: ramos	93,6	3,5	1,1	2,8	15/1
Cassia negra: cascas	96,2	1,4	0,1	traços	38/1
Centeio: cascas	85	0,7	0,7	0,6	69/1
Centeio: palhas	85	0,5	0,3	1	100/1
Cevada: cascas	85	0,6	0,3	1,1	84/1
Cevada: palhas	85	0,7	0,2	1,3	63/1
Crotalária jóncea	91,4	1,9	0,4	1,8	26/1
Eucalipto: resíduos	77,6	2,8	0,3	1,5	15/1
Feijão de porco	88,5	2,5	0,5	2,4	19/1
Feijão guandu	95,9	1,8	0,6	1,1	29/1
Feijão guandu: sementes	96,7	3,6	0,8	1,9	15/1
Feijoeiro: palhas	94,7	1,6	0,3	1,9	32/1
Gramma batatais	90,8	1,4	0,4	-	36/1
Gramma seda	90,5	1,6	0,7	-	31/1
Inga: folhas	90,7	2,1	0,2	0,3	24/1
Labe-labe	88,5	4,6	2,1	-	11/1
Lenheiro: resíduos	39,9	0,7	0,6	0,4	30/1
Mamona: cápsulas	94,6	1,2	0,3	1,8	53/1
Mandioca: cascas de raízes	58,9	0,3	0,3	0,4	96/1
Mandioca: folhas	91,6	4,3	0,7	-	12/1
Mandioca: ramos	95,3	1,3	0,3	-	40/1
Milho: palhas	96,7	0,5	0,4	1,6	112/1
Milho: sabugos	45,2	0,5	0,2	0,9	101/1
Mucuna preta	90,7	2,2	0,6	3	221
Mucuna preta: sementes	95,3	3,9	1	1,4	14/1
Samambaia	95,9	0,5	traços	0,2	109/1
Serrapilheira	30,7	1	0,1	0,2	17/1
Serragem de madeira	93,4	0,1	traços	traços	865/1

Trigo: cascas	85	0,8	0,5	1	56/1
Trigo: palhas	92,4	0,7	0,1	1,3	70/1
Tungue: cascas das sementes	85,2	0,7	0,2	7,4	64/1

**Fonte:** Adaptado de EMBRAPA.

Quanto aos resíduos industriais apresentados no **Quadro 10**, o biossólido analisado pode funcionar como uma complementação no momento que for utilizado como adubo de acordo com os valores necessários para o desenvolvimento de determinada cultura ou mesmo ser adicionado em combinação com estes resíduos no processo de compostagem orgânica potencializando assim seu uso.

#### **Quadro 10: Caracterização de resíduos industriais**

COMPOSIÇÃO DE RESÍDUOS INDUSTRIAIS (BASE SECO)					
MATERIAL	Mat. Org. %	N %	P2O5 %	K2O %	RELAÇÃO C/N
Algodão: resíduo de máquina	96,3	1,9	1	1,7	27/1
Algodão: resíduo "piolho"	81,8	2,2	0,9	2,1	21/1
Algodão: resíduo de sementes	96,1	1	0,2	0,8	50/1
Bicho-da-seda: crisálidas	91,1	9,4	1,4	0,7	5,1
Bicho-da-seda: dejeções	82,1	2,7	0,6	3,6	17/1
Café: bora de café solúvel	90,4	2,3	0,4	1,2	22/1
Cajú: cascas da castanha	98	0,7	0,2	0,9	37/1
Cana-de-açúcar: bagaço	71,4	1	0,2	0,9	37/1
Cana: bagacinho	87,1	1	0,1	0,1	44/1
Cana bagacinho embebido	89,9	1,7	0,3	1,7	29/1
Cana: borra de restilo	78,8	3	0,5	1	14/1
Cevada: bagaço	95	5,1	1,3	0,1	10/1
Couro: em pó	92	8,7	0,2	0,4	5/1
Fumo: resíduo	70,9	2,1	0,5	2,7	18/1
Laranja: bagaço	22,5	0,7	0,1	0,4	18/1
Lúpulo: bagaço	47,8	1,6	1,3	0,8	16/1
Mandioca: raspas	96	0,5	0,2	1,2	107/1
Penas de galinha	88,2	13,5	0,5	0,3	4/1
Rami: resíduo	60,6	3,2	3,6	4	11/1
Resíduo de cervejaria	95,8	4,4	0,5	0,1	12/1
Sangue seco	84,9	11,8	1,2	0,7	4/1
Tomate: semente (torta)	94,3	5,3	2	2,3	10/1
Torta de algodão	92,4	5,6	2,1	1,3	9/1
Torta de coco	94,5	4,3	2,4	3,1	11/1
Torta de mamona	92,2	5,4	1,9	1,5	10/1

Torta de soja	78,4	6,5	0,5	1,5	7/1
Torta de usina de cana	78,7	2,1	2,3	1,2	20/1
Turfa	38,8	0,3	-	0,3	57/1

**Fonte:** Adaptado de EMBRAPA.

## 8. CONCLUSÃO

A presente dissertação, é o primeiro estudo no estado de Alagoas e na região Nordeste que utiliza o georreferenciamento como ferramenta de análise para a reciclagem agrícola do Lodo de Esgoto. Permitindo utilizar esse bio sólido de forma mais segura, e incentivando a pesquisa científica neste campo de atuação.

Foi possível fazer o levantamento de dados espaciais de diferentes fontes, e assim criar mapas que apresentaram áreas aptas e restritas para receber o Lodo de Esgoto com finalidade agrícola. Após a aplicação dos critérios eliminatórios, foi descoberto que 94,4622 ha, o equivalente a 28,24 % da área total do município de Igaci, podem ser beneficiados com a aplicação do LE na agricultura. Gerenciando assim, de forma ambientalmente mais segura, um antigo rejeito gerado na Estação de Tratamento de Esgoto municipal.

Foi possível analisar a composição do LE, em dois momentos (inverno e verão), e os resultados foram satisfatórios, mostrando uma riqueza do bio sólido em Nitrogênio. Quando comparado com esterco de animais e adubos verdes, apresentou em sua grande maioria uma necessidade de menor dosagem para a adubação das principais culturas do município de Igaci, sendo elas: abóbora, algodão, banana, caju, feijão, fumo, manga e milho.

## 9. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os Produtos Técnicos e Tecnológicos (PTTs) criados pela presente dissertação do Mestrado Profissional em Tecnologias Ambientais (PPGTEC) do IFAL, dão a possibilidade do Município de Igaci realizar uma inovação no modelo de negócio da sua Estação de Tratamento de Esgoto, em que o lodo de esgoto, que é um rejeito destinado para aterro sanitário, poderá se tornar um produto (adubo) para utilização na agricultura. Facilitando a gestão do bio sólido na geração de alimentos mais saudáveis em razão do bio sólido ter uma natureza orgânica natural livre de pesticidas químicos (Rolim e Coêlho, 2016).

Entretanto, para assegurar uma boa qualidade no adubo e dos alimentos, do bem-estar socioeconômico e da saúde da população, e a preservação do meio ambiente, é necessário um acompanhamento de engenharia com mão de obra qualificada, podendo ela ser terceirizada pelo governo ou inserida na secretaria de meio ambiente do município. Esse acompanhamento seria responsável pela qualidade físico-química e bacteriológica do bio sólido, viabilidade das melhores técnicas e tecnologias de sua utilização, e boa gestão do lodo a favor da recuperação dos solos e otimização da agricultura.

Com os resultados da TLH, foi possível criar um banco de dados que permite que o agricultor saiba a dosagem de lodo a ser aplicada nas principais culturas de abóbora, algodão, banana, caju, feijão, fumo, manga e milho, que são as mais utilizadas no município de Igaci.

Além disso, os vetores das cartas geográficas criadas (arquivos shapfiles), podem ser doados para o município, e assim utilizados em Sistemas de Informações Geográficas (SIG), em softwares de livre acesso como o Google Earth e QGIS, permitindo que os funcionários da prefeitura de Igaci consigam identificar os locais mais seguros para aplicar o LE na agricultura.

## 10. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABREU, A. H. M. **Biossólido na produção de mudas florestais da Mata Atlântica**. Dissertação (mestrado em Ciências Ambientais e Florestais) - Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro. p. 79. 2014.

AL1. Sistema de Esgotamento Sanitário inaugurado é o maior investimento público da história em Igaci. Notícias. AL1, 24 de março de 2018. Disponível em: <[https://al1.com.br/informacao/noticias/16915/Portal\\_AL1](https://al1.com.br/informacao/noticias/16915/Portal_AL1)>. Acesso em: 07 de novembro de 2021.

ALAMINO, R. C. J. **A utilização de lodo de esgoto como alternativa sustentável na recuperação de solos degradados: Viabilidade, avaliação e biodisponibilidade de metais**. Universidade Federal do Rio de Janeiro – UFRJ. Rio de Janeiro, 2010. 221 pp.

ANDREOLI, C. V.; GARBOSSA, L. H. P.; LUPATINI, G.; PEGORINI, E. S. **Wastewater sludge management: a brazilian approach**. In: Le BLANC, R. J.; MATTHEWS, P.; RICHARD, R. P. (Eds.). **Global atlas of excreta, wastewater sludge, and biosolids management: moving forward the sustainable and welcome uses a global resource**. Nairobi: UN-HABITAT, 2008.

ANDREOLI, C. V.; PEGORINI, E. S.; CASTRO, L. A. R. **Diagnóstico do Potencial dos Solos da Região de Maringá para a Disposição Final do Lodo Gerado pelos Sistemas de Tratamento de Esgoto do Município**. Sanare – Revista Técnica da Sanepar, v. 13, nº 13, janeiro a junho 2000. Curitiba, PR. p. 40 a 50. (pg 10).

ANDREOLI, C. V.; VON SPERLING, M. FERNANDES, F. Fernandes (coord). **Princípios do tratamento biológico de águas residuárias. Vol. 6. Lodo de esgotos: tratamento e disposição final**. Belo Horizonte: Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental – UFMG; Companhia de Saneamento do Paraná – SANEPAR, 2001. 484p.

BEAUCHAMP, E. G.; REYNOLDS, W. D.; BRASCHE-VILLENEUVE, D.; KIRKBY, K. **Nitrogen mineralization kinetics with diferentes soil pretreatments and cropping histories**. *Soil Science Society American Journal*, v. 50, 1986. p. 1478-1483.

BRASIL. Lei nº 12.305 de 02 de Agosto de 2010. Institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos; altera a Lei no 9.605, de 12 de fevereiro de 1998; e dá outras providências. Diário Oficial da República Federativa do Brasil, Brasília, 2010.

\_\_\_\_\_. Ministério do Desenvolvimento Regional. Secretaria Nacional de Saneamento. **Sistema Nacional de Informação sobre Saneamento: Diagnóstico dos Serviços de Água e Esgotos - 2017**. Brasília, SNS/MDR, fevereiro de 2019. 226 p. : il.

\_\_\_\_\_. **Resolução CONAMA 375, de 29 de agosto de 2006**. Define critérios e procedimentos, para o uso agrícola de lodos de esgoto gerados em estações de tratamento de esgoto sanitário e seus produtos derivados, e dá outras providências. 2006.

\_\_\_\_\_. **Lei 11.445, de 5 de janeiro de 2007**. Estabelece diretrizes nacionais para o saneamento básico. Diário Oficial União, Brasília, 5 de janeiro de 2007; 186º da Independência e 119º da República. 2007.

\_\_\_\_\_. **Lei 12.651, de 25 de maio de 2012**. Dispõe sobre a proteção da vegetação nativa; altera as Leis nºs 6.938, de 31 de agosto de 1981, 9.393, de 19 de dezembro de 1996, e 11.428, de 22 de dezembro de 2006; revoga as Leis nºs 4.771, de 15 de setembro de 1965, e 7.754, de 14 de abril de 1989, e a Medida Provisória nº 2.166-67, de 24 de agosto de 2001; e dá outras providências. 2012.

CETESB - Companhia Ambiental do Estado de São Paulo. **Aplicação de lodos de sistema de tratamento biológico em áreas agrícolas – Critério para projeto e operação**. São Paulo, 1999. 32 p. (Manual Técnico – P4.230).

CHERNICHARO, C.A.L. de. Chernicharo. **Princípios do tratamento biológico de águas residuárias: reatores anaeróbios**. Belo Horizonte: Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental, Universidade Federal de Minas Gerais, 2007. v.5, 379 p. p 25.

CPRM - SERVIÇO GEOLÓGICO DO BRASIL. Projeto cadastro de fontes de abastecimento por água subterrânea. Diagnóstico do município de Igaci, estado de Alagoas. Organizado por João de Castro Mascarenhas, Breno Augusto Beltrão, Luiz Carlos de Souza Junior. Recife: CPRM/PRODEEM, 2005. 12 p. + anexos. Disponível em:

<[https://rigeo.cprm.gov.br/jspui/bitstream/doc/15264/1/rel\\_cadastrros\\_igaci.pdf](https://rigeo.cprm.gov.br/jspui/bitstream/doc/15264/1/rel_cadastrros_igaci.pdf)>. Acesso em 02 de novembro de 2021.

D'AVIGNON, A. et al. Manual de auditoria ambiental para estações de tratamento de esgoto doméstico. Emílio Lèbre La Rovere (Coordenador) - Rio de Janeiro: Qualitymark Ed., 2002. p.151. ISBN: 978-85-7303-784-5.

EMBRAPA - EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. Apostila de Adubação Orgânica 03. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Disponível em: <[http://www.agencia.cnptia.embrapa.br/Repositorio/Adubacao\\_organica\\_todos\\_os\\_residuosI D-zK5PfRf3wp.pdf](http://www.agencia.cnptia.embrapa.br/Repositorio/Adubacao_organica_todos_os_residuosI D-zK5PfRf3wp.pdf)>. Acesso em: 24 de outubro de 2021.

GONÇALVES, R. F. Desinfecção de efluentes sanitários, remoção de organismos patogênicos e substâncias nocivas: aplicações para fins produtivos como agricultura, aquicultura e hidroponia. Rio de Janeiro: ABES, Rima, 2003. 438p. ISBN: 85-86552-72-0.

IBGE - INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. Área territorial brasileira 2020. Rio de Janeiro: IBGE, 2021. Disponível em : <<https://www.ibge.gov.br/cidades-e-estados/al/igaci.html>>. Acesso em 07 de novembro de 2021.

\_\_\_\_\_. Censo Agropecuário de 2017. Lavoura Permanente e Lavoura Temporária. Igaci, AL: IBGE, 2021. Disponível em: <<https://cidades.ibge.gov.br/brasil/al/igaci/pesquisa/24/76693>>. Acesso em 24 de março de 2021.

\_\_\_\_\_. **Panorama. População.** Disponível em: <<https://cidades.ibge.gov.br/v4/brasil/al/igaci/panorama>>. Acesso em: 9 de jun. 2017.

\_\_\_\_\_. Produção Agrícola - Cereais, Leguminosas e Oleaginosas de 2007. Igaci, AL: IBGE, 2021. Disponível em: <<https://cidades.ibge.gov.br/brasil/al/igaci/pesquisa/31/29644>>. Acesso em 24 de março de 2021.

\_\_\_\_\_. Produção Agrícola - Lavoura Permanente de 2019. Igaci, AL: IBGE, 2021. Disponível em: <<https://cidades.ibge.gov.br/brasil/al/igaci/pesquisa/15/11863>>. Acesso em 24 de março de 2021.

\_\_\_\_\_. Produção Agrícola - Lavoura Temporária de 2019. Igaci, AL: IBGE, 2021. Disponível em: <<https://cidades.ibge.gov.br/brasil/al/igaci/pesquisa/14/10193>>. Acesso em 24 de março de 2021.

\_\_\_\_\_. **Produção Agrícola Municipal 2015**. Rio de Janeiro: IBGE, 2016.

IMA - Instituto do Meio Ambiente do Estado de Alagoas. Download de dados vetoriais. Disponível em: <<http://www.ima.al.gov.br/servicos/downloads/download-de-dados-vetoriais/>>. Acesso em 31 de outubro de 2021.

IPA - INSTITUTO AGRONÔMICO DE PERNAMBUCO. Recomendações de adubação para o estado de Pernambuco: 2ª aproximação. Comissão Estadual de Fertilidade do Solo. Recife, 2008. 199p.

LIMA, A. S. T. Apostila: Fundamentos da Ciência do Solo, Campus Maragogi, 2019.

LINO, I. C. **Seleção de áreas para implantação de aterros sanitários: comparativa de métodos**. Dissertação (mestrado) - Universidade Estadual Paulista, Instituto de Geociência e Ciência Exatas. Rio Claro, 2007. 85 p. Disponível em: <[https://repositorio.unesp.br/bitstream/handle/11449/92745/lino\\_ic\\_me\\_rcla.pdf?sequence=1](https://repositorio.unesp.br/bitstream/handle/11449/92745/lino_ic_me_rcla.pdf?sequence=1)>. Acesso em 07 de novembro de 2021.

LUDUVICE, M.; FERNANDES, F. Principais tipos de transformação e descarte do lodo. In: C. V. ANDREOLI; M. VON SPERLING & F. FERNANDES (Ed.). **Lodo de esgotos: Tratamento e disposição final**. Belo Horizonte: DESA/UFMG, v.6, 2001. p. 399-423.

MACEDO, M. A. A. **Desenvolvimento agrícola e reuso de águas residuais no semiárido brasileiro: proposta de um modelo de ações baseado na experiência israelense**. In: CONGRESSO BAIANO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL, 1., 2010, Salvador Anais. Salvador: COBESA, 2010.

MOREIRA, C. V. R.; NETO, A. G. P. Neto. **Clima e Relevô**. In: OLIVEIRA, A. M. S.; BRITO, S. N. A. **Geologia de Engenharia**. São Paulo: Associação Brasileira de Geologia de Engenharia (ABGE), 1998. p 69-85.

NBR 12209 – Projeto de estações de tratamento de esgoto sanitário. Rio de Janeiro: ABNT, 2011.

NOBREGA, M. A. S.; PONTES, M. S.; SANTIAGO, E. F. Incorporação do Lodo de Esgoto na composição de substrato para reprodução de mudas nativas. ACTA Biomedica Brasiliensia. Vol 8. nº 1. Julho de 2017. ISSN: 2236-0867. DOI: <https://doi.org/10.18571/acbm.121>

NUVOLARI, A.; MARTINELLI, A. *Esgoto Sanitário: Coleta, transporte, tratamento e reuso agrícola*. 2. ed. São Paulo: Edgar Blücher, 2011. 565 p. ISBN: 978-85-212-0568-5.

PAC. **7º Balanço do PAC 2015-2018**. Secretaria de Desenvolvimento da Infraestrutura (SDI). Disponível em: <http://www.pac.gov.br/pub/up/relatorio/37855886e9418dce3f9baf3128444233.pdf>. Acesso em 15 de setembro de 2019. 2001.

PEREIRA, J. A. R.; SILVA, J. M. S. Rede coletora de esgoto sanitário: projeto, construção e operação. 3. ed. revista e ampliada Belém-PA, 2018. 310 p. ISBN: 978-85-88998-63-6.

PROSAB. **Resíduos Sólidos do Saneamento: Processamento, Reciclagem e Disposição Final. Aproveitamento do Lodo Gerado em Estações de Tratamento de Água e Esgotos Sanitários, inclusive com a Utilização de Técnicas Consorciadas com Resíduos Sólidos Urbanos**. Curitiba-PR, 2001. 257 p.

ROCHA, C. L. **Outorga de direito de uso da água em Alagoas**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental) - Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental, Universidade Federal de Santa Catarina, Santa Catarina, 2002

ROLIM, S. M.; COELHO, L. M. **Sistemas sustentáveis de esgotos: orientações técnicas para projeto e dimensionamento de redes coletoras, emissários, canais, estações elevatórias, tratamento e reuso na agricultura**. São Paulo: Blucher, 2016. 348 p. ISBN: 978-85-212-0961-4.

SANT'ANNA JUNIOR, G. L. Tratamento biológico de efluentes: fundamentos e aplicações. Rio de Janeiro: Editora Interciência, 2010. 418p. ISBN: 978-85-7193-219-7.

SOCIEDADE BRASILEIRA DE CIÊNCIA DO SOLO. Manual de adubação e de calagem para os Estados do Rio Grande do Sul e de Santa Catarina. Comissão de Química e Fertilidade do Solo. - 10. ed. – Porto Alegre, 2004. 400pp.

SOUZA, M. L. P.; RIBEIRO, A. N.; ANDREOLI, C. V.; SOUZA, L. C. P. BITTENCOURT, S. **Aptidão das terras do estado do Paraná.** Revista DAE, 2014. p. 20-29.

TSUTIYA, M. T.; SOBRINHO, P. A. Coleta e transporte de esgoto sanitário. Rio de Janeiro: ABES - Associação Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental, 3ª ed., 2011. 548 p. ISBN: 85-7022-168-1.

URBAN, R. C.; ISAAC, R. L. **Mapa de aptidão do solo para a aplicação de lodo de esgoto: Bacia dos rios Piracicaba, Capivari e Jundiá.** Revista Ambiente e Água - Na Interdisciplinary Journal of Applied Science vol. 11 n. 1 Taubaté - Jan. / Mar. 2016.

VON SPERLING, M. Princípios básicos do tratamento de esgotos. vol. 2. 2ª ed. Belo Horizonte: Editora UFMG, 2016. 211p. ISBN: 978-85-423-0174-8.

\_\_\_\_\_. Princípios de tratamento de águas residuárias: Lodos Ativados. Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental – UFMG, 3ª Ed., Belo Horizonte, 2012.

\_\_\_\_\_. **Princípios do tratamento biológico de águas residuárias. Vol 4. Lodos ativados.** Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental – DESA. Universidade Federal de Minas Gerais, 1997. 428 p. p.22

\_\_\_\_\_. **Princípios do tratamento biológico de águas residuárias – Volume 1: Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos.** Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental – UFMG, 2005. 3ª Ed. 452p. p. 340-346.

## **ANEXO I - PRODUTO TÉCNICO TECNOLÓGICO (PPT)**

PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO  
EM TECNOLOGIAS AMBIENTAIS

**Manual para aplicação  
de lodo de esgoto  
como alternativa de  
fertilização agrícola:  
Mapeamento  
e dosagem utilizando  
geoprocessamento  
no município de Igaci - AL**

Thomás Correia Lins



**INSTITUTO  
FEDERAL**  
Alagoas



**TECNOLOGIAS**  
*Ambientais*



**INSTITUTO FEDERAL DE ALAGOAS**  
**PRÓ-REITORIA DE PESQUISA E INOVAÇÃO**  
**PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM TECNOLOGIAS AMBIENTAIS**  
**MESTRADO PROFISSIONAL EM TECNOLOGIAS AMBIENTAIS**

**PRODUTO:**

**MANUAL PARA APLICAÇÃO DE LODO DE ESGOTO COMO ALTERNATIVA DE  
FERTILIZAÇÃO AGRÍCOLA: MAPEAMENTO E DOSAGEM UTILIZANDO  
GEOPROCESSAMENTO NO MUNICÍPIO DE IGACI - AL**

**Thomás Correia Lins**  
**André Sueldo Tavares de Lima**  
**Michely Inêz P. de C. Libos**

Marechal Deodoro – AL

2021

**Thomás Correia Lins**

**Lodo gerado em Estação de Tratamento de Esgoto como alternativa de fertilização agrícola: mapeamento e dosagem utilizando geoprocessamento no município de Igaci - AL**

Produto técnico originado da dissertação de mestrado apresentado ao Programa de Pós-Graduação em Tecnologias Ambientais – PPGTEC / IFAL (Modalidade Mestrado Profissional).

Linha de Pesquisa: Manejo e Monitoramento Ambiental

Marechal Deodoro – AL

novembro de 2021



**Dados Internacionais de Catalogação na  
Publicação  
Instituto Federal de Alagoas  
Campus Marechal Deodoro  
Biblioteca Dorival Apratto**

---

L759m

Lins, Thomás Correia.

Manual para aplicação de lodo de esgoto como alternativa de fertilização agrícola : mapeamento e dosagem utilizando geoprocessamento no município de Igaci - AL / Thomás Correia Lins, André Suêlto Tavares de Lima, Michely Inês Prado de Camargo Libos. – 2021.

22 f. : il., col.

1 CD-ROM ; 4 ¾ pol. ; caixa acrílica (12,5 cm x 14 cm).

Inclui bibliografia e anexos.

Produto educacional (Mestrado Profissional em Tecnologias Ambientais) – Instituto Federal de Alagoas, *Campus* Marechal Deodoro, Marechal Deodoro, 2021.

1. Adubação. 2. Agricultura sustentável. 3. Biossólido. 4. Gerenciamento de lodo. 5. Reciclagem. 6. Resíduos de saneamento. I. Título. II. Lima, André Suêlto Tavares de. . III. Libos, Michely Inês Prado de Camargo .

CDD: 630

---

## RESUMO

No Brasil, o lodo de esgoto geralmente é encaminhado para o aterro sanitário, o que compromete o tempo de vida útil dos aterros, já que um volume de lodo está sendo inserido no local de outros resíduos sólidos domésticos. Tendo em vista a riqueza de nutrientes do lodo, e a sua reciclagem agrícola como alternativa técnica, econômica e ambientalmente segura, o presente trabalho desenvolveu uma técnica para a reciclagem agrícola do lodo de esgoto gerado pela estação de tratamento de esgoto do município de Igaci, escolhido por ter sua estação de tratamento de esgoto construída recentemente (agosto/2018). Os procedimentos metodológicos foram divididos em três etapas, em que, na primeira, através do Sistema de Informações Geográficas (SIG), foram construídos mapas que mostram as áreas do município que podem ser aplicadas o lodo de esgoto com fins agrícolas. A segunda etapa buscou calcular a dosagem de lodo necessária para as principais culturas do município. E por fim, na terceira etapa, será realizado um curso de capacitação dos colaboradores da prefeitura, para entender e conseguir desenvolver o produto tecnológico. Com isso, pretende-se realizar a reciclagem do lodo de esgoto do município de Igaci, analisando o tipo de procedimento que deverá ser utilizado para a aplicação do bio sólido no solo, os locais em que ele deve ser inserido, e a quantidade que deve ser aplicada nas principais culturas utilizadas nas áreas agrícolas do município. Esse estudo possibilitará uma boa gestão do lodo da estação de tratamento de esgoto do município de Igaci, favorecendo a recuperação dos solos e a otimização da agricultura.

**Palavras-chave:** Adubação; Agricultura Sustentável; Bio sólido; Gerenciamento de Lodo; Lodo de Esgoto; Reciclagem; Resíduos de Saneamento; SIG.

## 1. INTRODUÇÃO

Este trabalho foi produzido a partir da dissertação elaborada durante o Mestrado em Tecnologias Ambientais: lodo gerado em Estação de Tratamento de Esgoto como alternativa de fertilização agrícola: mapeamento e dosagem utilizando geoprocessamento no município de Igaci - AL.

Teve como objetivo servir como instrumento de apoio a prefeitura do município de Igaci, solucionando os problemas advindos do lodo de esgoto (LE) da Estação de Tratamento de Esgoto (ETE) do município, mediante a reciclagem agrícola deste rejeito. A partir disso, criou-se cartas geográficas mostrando áreas seguras para a aplicação do biossólido, o cálculo da dosagem de adubação para as principais culturas do município e a realização de um curso de capacitação para os colaboradores da prefeitura saberem gerir o software gratuito QGIS contendo as cartas geográficas.

O autor da dissertação, o mestrando Thomás Correia Lins, há quatro anos é Engenheiro Sanitarista e Ambiental, tendo o seu primeiro contato com a área de tratamento de esgotos no início do ano de 2012. Já trabalhou como operador, e como chefe operacional de estações de tratamento de esgoto; com projetos de licenciamento ambientais inclusive de sistemas de tratamento de efluentes e de um Plano Municipal de Saneamento Básico; com educação ambiental; como Responsável Técnico de uma ETE; e atualmente continua a exercer trabalhos na área do saneamento, em uma empresa privada de saneamento.

Thomás também trabalhou como auxiliar de engenharia durante parte da obra de execução da rede de esgotamento sanitário do Município de Igaci, e vendo os seguimentos da linha de pesquisa do Mestrado Profissional em Tecnologias Ambientais (PPGTEC) do IFAL (Campos Marechal Deodoro), se motivou a ter o seu primeiro contato com a área de resíduos sólidos, para solucionar um possível problema que o município viria a enfrentar: o destino adequado do LE, comumente um rejeito de ETES.

No Brasil ainda se discute a remoção de contaminantes básicos do efluente (DBO, cor, turbidez, sólidos suspensos e voláteis, etc.), tendo-se muito o que se otimizar nos processos de tratamento de esgoto, ou no que investir para a descontaminação de corpos hídricos com presença excessiva de nitrogênio, fármacos, metais pesados, dentre outras substâncias que não são removidas nas ETES mais simples.

Tratamentos específicos com o lodo de esgoto são ainda menos valorizados, entretanto, a compreensão do seu possível valor nutricional, pode gerar uma mudança cultural mais rápida, sendo esse um mercado promissor, desafiador e de grande impacto sócio ambiental e econômico.

## **2. O PRODUTO**

O produto proposto possibilitará o município de Igaci (Alagoas), que já possui a sua própria estação de tratamento de esgoto (ETE), realizar uma inovação no modelo de negócio, em que o lodo de esgoto, rejeito da ETE, que é comumente destinado para aterros sanitários no Brasil, tornara-se um produto (adubo), para utilização na agricultura ou recuperação de solos degradados do próprio município.

Essa reciclagem é possível graças à riqueza em matéria orgânica do lodo de esgoto, que aumenta a resistência dos solos à erosão, além de também ser uma excelente fonte de nutrientes, como nitrogênio e fósforo, trazendo benefícios às plantas, aumentando assim a produtividade, o valor nutricional do produto e a lucratividade na atividade agrícola (PROSAB, 2001).

A aplicação do lodo do esgoto no solo não isenta riscos ambientais. Para ser considerado um descarte ambientalmente adequado e agregar valor sócio econômico positivo, inicialmente foi utilizado o geoprocessamento como ferramenta de seleção das áreas do município que não devem receber o rejeito da ETE, através de uma série de variáveis baseada nos trabalhos de PROSAB (2001, p. 165-187), como: distância de recursos hídricos; áreas inundáveis; profundidade do lençol freático; distanciamento das áreas urbanas; declividade do terreno; e outros contextos institucionais (legislações).

Após finalizada esta primeira etapa, uma carta geográfica, georreferenciada, irá apontar todas as áreas do município que podem ou não receber esse rejeito da ETE municipal (**ANEXO I**). Os funcionários da prefeitura serão capacitados a utilizarem o software gratuito QGIS, que permitirá com que eles colem dados em campo (coordenadas geográficas ou shapfile da área agrícola a ser destinado o bio-sólido), e assim interpolar os dados no QGIS.

O trabalho também mostrará os resultados das análises do LE, mostrando o seu potencial para adubação a comparar com outros tipos de adubos orgânicos, como os esterco de animais, adubos verdes, e resíduos industriais.

Em seguida, foi realizado um levantamento através do IBGE (IBGE, 2007; IBGE, 2017; IBGE, 2019) selecionando as principais culturas da região, para serem calculadas as dosagens do biofóssido necessárias para elas, baseando-se em manuais de adubação IPA (2008) e SOCIEDADE BRASILEIRA DE CIÊNCIA DO SOLO (2004) (**ANEXO II**).

Dessa forma, Igaci poderá gerenciar de forma mais sustentável e dentro do seu próprio município, o lodo de esgoto gerado em sua estação de tratamento de esgoto, reciclando-o em biofóssido para ser utilizado como adubo na agricultura local.

### **3. RELEVÂNCIA SOCIAL E ECONÔMICA**

O lodo de esgoto (LE), geralmente, tem como destino os aterros sanitários. No caso de Igaci, a Central de Resíduos Sólidos (CTR) mais próxima é localizada em Craíbas, município vizinho. Mesmo assim, os custos com essa destinação são consideráveis, a CTR cobra um valor de R\$ 85,00 a tonelada, e a produção diária do LE em Igaci pode chegar a 3,7 toneladas, gerando um custo mensal de quase R\$ 9.435,00 desconsiderando os demais custos de logística de destinação, como desgaste das estradas e veículos, salários, gasolina e funcionários.

A tendência é que as prefeituras comecem a gerenciar melhor o LE, e o presente produto facilita essa boa gestão, reciclando-o e contribuindo na recuperação de solos e otimização da agricultura. Além disso, o geoprocessamento como ferramenta de mapeamento das áreas aptas para a reciclagem do LE, viabiliza uma aplicação mais controlada e segura desse rejeito no solo.

Pensando na participação e aderência contínua do IFAL, o presente produto poderá servir de incentivo para o crescimento de pesquisas científicas na região, em diversas temáticas: como a eficiência de determinadas culturas após a aplicação deste biofóssido (produção, crescimento, folhagem, caule); maior resistência das plantas a situações ambientais adversas e ataques de pragas e doenças, em consequência ao seu aumento nutricional; a melhoria das condições do solo; o monitoramento de passivos ambientais (efeito

platô<sup>1</sup>); aprimoramento do bio sólido agrícola através de tecnologias de tratamento, analisando as etapas de adensamento, estabilização, condicionamento, desidratação e higienização; e a otimização do presente produto, após experiências práticas.

#### **4. ADERÊNCIA**

O produto se enquadra na Linha de pesquisa 1 do Programa de Pós-Graduação em Tecnologias Ambientais (PPGTEC), que é o Manejo e Monitoramento Ambiental. Pois desenvolve, tecnologias apropriadas para o uso responsável dos recursos naturais, visando a recuperação e manejo de áreas de interesse agrícola.

São abordados no produto, o desenvolvimento de métodos voltados para o incremento da produção agropecuária, por meio da adoção de tecnologias apropriáveis ao pequeno produtor e à agricultura familiar.

O produto também atende um pouco a linha de pesquisa 2: Tecnologias e Inovações Ambientais, do Mestrado Profissional, pois viabiliza uma inovação que possa ser aplicada nos processos e serviços, representando soluções para problemas ambientais de interesse da sociedade. Compreende-se, de um estudo dos elementos relacionados à gestão da inovação tecnológica, por meio da aplicação de ferramentas de geotecnologia.

#### **5. IMPACTO**

No Brasil, o esgotamento sanitário nos municípios é pauta de discussões e debates por atingir índices de coleta e tratamento inferiores a 50% em vários municípios, principalmente das Regiões Norte e Nordeste. No entanto, uma constante expansão de obras e investimentos vem ocorrendo no país, como forma de universalizar o esgotamento sanitário e reduzir impactos na saúde da população e no meio ambiente.

A jusante das redes de esgoto, temos as estações de tratamento de esgoto (ETE), que funcionam como fábricas, possuindo como matéria prima todo o esgoto bruto coletado, e tendo como produto final o esgoto tratado. Assim como toda fábrica, são gerados rejeitos a

---

<sup>1</sup> Com excessivas aplicações do bio sólido, a acumulação pode fazer com que haja uma queda da matéria orgânica, e disposição dos metais pesados.

partir do seu sistema de produção (tratamento do esgoto), sendo um deles, o lodo de esgoto (LE).

Com o funcionamento das ETEs nos municípios, uma nova problemática ambiental é inserida: a gestão e disposição adequada dos resíduos sólidos gerados, o lodo de esgoto. No Brasil, o LE geralmente é encaminhado para o aterro sanitário, sendo esse processo chamado de codisposição. Essa prática acaba diminuindo o tempo de vida útil dos aterros, que misturam o LE com outros resíduos sólidos domésticos em suas células (Alamino, 2010).

Entretanto, esse LE não deve ser desperdiçado, pois existem diversas alternativas técnicas, econômicas e ambientalmente seguras para a sua reciclagem. Uma delas é a sua aplicação agrícola como foi explicado no tópico 2, “O PRODUTO”, introduzindo assim, nutrientes que as plantas necessitam para germinar e produzir folhas, grãos e frutos, melhorando a safra sem prejudicar o meio ambiente.

Olhando a necessidade da sociedade, o projeto capacita o município a ser mais sustentável, dialogando com dois setores: o primeiro, referente a reutilização de um rejeito (lodo de esgoto), que é produzido no mesmo município que terá o seu destino adequado. O segundo, contribuindo com a agricultura local, fornecendo um adubo de qualidade que auxilia na recuperação de solos e otimização das culturas do próprio município.

## 6. APLICABILIDADE

O investimento em saneamento é crescente no Brasil. O Programa de Aceleração do Crescimento (PAC) foi criado no ano de 2007 a fim de promover a retomada do planejamento e execução de grandes obras de infraestrutura.

O trabalho da dissertação, pode ser modelo para outros municípios de Alagoas que possuam a sua própria estação de tratamento de esgoto, o **Quadro 1 e 2**, adaptado da Cartilha Estadual de Alagoas, apresenta os dados do 7º balanço do PAC (2015-2018).

Assim como em Igaci, para realizar em outro município, inicialmente deve ser criado um inventário do local, constando o levantamento de dados espaciais temáticos de interesse ambiental (solo, água, vegetação nativa, relevo), uso atual do solo rural e urbano e contexto institucional (legislação). Como a própria metodologia do PROSAB (2001), informa, na

ausência de alguns dados, pode-se reajustar a metodologia para as características locais, e assim criar a carta de aptidão agrícola.

Quando levada em consideração a dosagem agrícola do lodo, a única variável será a porcentagem de nitrogênio na cultura, sendo assim necessário realizar as análises do LE. Também deverá ser analisada a Resolução CONAMA 375 de 2006, para garantir a qualidade do biossólido no que tange a contaminação do meio ambiente.

**Quadro 1: Cartilha Regional de Alagoas (Balanço PAC)**

MUNICÍPIO BENEFICIADO	PROPONENTE	EMPREENHIMENTO	DATA DA SELEÇÃO	INVESTIMENTO TOTAL (R\$ MILHARES)	ESTÁGIO
Maceió	Estado	Elaboração de projeto de esgotamento sanitário da bacia do Reginaldo visando a despoluição do riacho Salgadinho	nov/10	1.263,90	Em execução
Anadia	Município	Esgotamento sanitário	nov/07	3.680,62	Em obras
Anadia	Município	Esgotamento sanitário	dez/11	7.247,94	Em obras
Boca da Mata	Município	Esgotamento sanitário	nov/07	1.278,00	Em obras
Boca da Mata	Município	Esgotamento sanitário	de/11	16.960,14	Em obras
Delmiro Gouveia	Município	Esgotamento sanitário	nov/07	5.209,26	Em obras
IGACI	Município	Esgotamento sanitário	mai/14	11.334,18	Em obras
Jacuípe	Município	Esgotamento sanitário	nov/07	692,16	Concluído
Olho D'água das Flores	Município	Esgotamento sanitário	mai/14	21.976,60	Em obras
Ouro Branco	Município	Esgotamento sanitário	mai/14	13.055,83	Em obras
Pariconha	Município	Esgotamento sanitário	nov/07	1.816,20	Em obras
Pariconha	Município	Esgotamento sanitário	dez/11	3.949,85	Em obras
São José da Tapera	Município	Esgotamento sanitário	nov/07	3.884,24	Em obras
São José da Tapera	Município	Esgotamento sanitário	dez/11	10.902,60	Em obras

Fonte: Editado de ALAGOAS (2018).

**Quadro 2: Cartilha Regional de Alagoas (Balanço PAC)**

TIPO	SUBTIPO	EMPREENDIMENTO	INVESTIMENTO 2015 A 2018 (R\$ MILHÕES)	INVESTIMENTO PÓS 2018 (R\$ MILHÕES)	ESTÁGIO
Recursos Hídricos	Revitalização de Bacias	Esgotamento Sanitário - Apoio / Projetos (inclusive Craibas, Jacaré dos Homens, Major Isidoro, Olho D'água das Flores)	0,79	1,09	Em execução
Recursos Hídricos	Revitalização de Bacias	Esgotamento Sanitário em Belo Monte	1	2	Em obras
Recursos Hídricos	Revitalização de Bacias	Esgotamento Sanitário em Cacimbinhas	4,33	-	Concluído
Recursos Hídricos	Revitalização de Bacias	Esgotamento Sanitário em Canapi	0,28	8,01	Em obras
Recursos Hídricos	Revitalização de Bacias	Esgotamento Sanitário em Carneiros	3,56	-	Concluído
Recursos Hídricos	Revitalização de Bacias	Esgotamento Sanitário em Delmiro Gouveia	-	14,4	Em obras
Recursos Hídricos	Revitalização de Bacias	Esgotamento Sanitário em Olho D'água do Casado	3,59	3,29	Em obras
Recursos Hídricos	Revitalização de Bacias	Esgotamento Sanitário em Piaçabuçu	7,4	3,72	Em obras
Recursos Hídricos	Revitalização de Bacias	Esgotamento Sanitário em São Bráz	3,4	1,7	Em obras
Recursos Hídricos	Revitalização de Bacias	Esgotamento Sanitário em Jaramataia	0,49	0,1	Em obras

Fonte: Editado de ALAGOAS (2018).

## 7. INOVAÇÃO

O projeto proposto possibilita ao Município de Igaci realizar uma inovação no modelo de negócio da sua Estação de Tratamento de Esgoto, em que o lodo de esgoto, que é um rejeito destinado para aterro sanitário, poderá se tornar um produto (adubo) para utilização na agricultura, sendo responsável por uma geração de alimentos mais saudáveis em razão do biossólido ser um adubo de natureza orgânica natural livre de pesticidas químicos (Rolim e Coêlho, 2016).

Entretanto, para assegurar uma boa qualidade no adubo e dos alimentos, do bem-estar socioeconômico, a saúde da população e a preservação do meio ambiente é necessário um acompanhamento de engenharia com mão de obra qualificada, podendo ela ser terceirizada pela Prefeitura de Igaci ou inserida na sua Secretaria Municipal de Agricultura, Meio Ambiente e Pesca. Esse acompanhamento seria responsável pela interpolação de dados no QGIS; qualidade físico-química e bacteriológica do biossólido; escolha das melhores técnicas e tecnologias de sua utilização agrícola; e boa gestão do lodo a favor da recuperação dos solos e otimização da agricultura.

Já existem várias formas de aproveitar o lodo de esgoto (LE), uma delas é a sua reciclagem agrícola ou na recuperação do solo. A CONAMA 375 de 2006 foi criada para orientar melhor a disposição do lodo no solo, e o Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA) já enquadra o lodo como um produto agrícola.

Além desses reconhecimentos, algumas companhias de saneamento já aplicam essa reciclagem, é o caso da Sanepar (Paraná), Caesb (Brasília), Cedae (Rio de Janeiro), Cetesb (São Paulo), BRK Ambiental, etc. (BITTENCOURT, AISSE e SERRAT, 2017; CETESB, 1999; BRK AMBIENTAL, 2017; PORTAL DE TRATAMENTO DE ÁGUA, 2021; LEMAINSKI e SILVA, 2006; ABREU, 2014).

O produto de mestrado utiliza o georreferenciamento como ferramenta de mapeamento das áreas aptas para a reciclagem do LE, e as informações (vetores e shapes) podem ser disponibilizadas e utilizadas em softwares gratuitos para utilização dos funcionários da prefeitura (QGIS ou Google Earth). Apesar dessa metodologia já ser encontrada em alguns trabalhos que mapearam regiões em Minas Gerais, São Paulo, Rio Grande do Sul, Paraná, etc., ainda não existe nenhum município de Alagoas ou do Nordeste

com essa ferramenta de gestão (URBAN e ISAAC, 2016; CUNHA et al., 2019; SOUZA et al., 2014).

## **8. COMPLEXIBILIDADE**

A produção das cartas temáticas e quadros da dissertação necessitou de uma visão multidisciplinar, envolvendo as áreas de saneamento, meio ambiente, geoprocessamento, agronomia e direito. Além disso, a engenharia se faz necessária quando se obtém poucos dados especializados, sendo assim, necessário a adaptação da metodologia do PROSAB (2001) para restrição de áreas com potencial de contaminação dos parâmetros físicos, biológicos e/ou sociais.

## **9. JUSTIFICATIVA**

Foi escolhido o município de Igaci como área de estudo, por ter a execução do seu esgotamento sanitário concluída recentemente, no mês de agosto de 2018. A ETE de Igaci é do tipo lodo ativado. Esse sistema possui basicamente um tanque de aeração, em que ocorrem as reações bioquímicas de remoção da matéria orgânica, um decantador secundário, utilizado para sedimentar os sólidos e permitir a saída do líquido clarificado, e um sistema de recirculação, que retira os sólidos sedimentados do decantador e os encaminha novamente para o tanque de aeração.

Nos sistemas de lodos ativados, “sistema aeróbio”, a geração do volume de lodo é maior do que qualquer outro sistema comum de tratamento de esgoto doméstico (aeróbio ou anaeróbio), sendo esta característica considerada como uma desvantagem (CHERNICHARO, 2007, p 25; VON SPERLING, 1997, p. 22; VON SPERLING, 2005, p. 340-346).

De acordo com os dados do IBGE (2017), a população atual estimada do município de Igaci é de 25.188 habitantes. Essa quantidade de habitantes, de acordo com os cálculos mostrados em Andreoli *et al.* (2001, p. 37-39), pode fornecer uma massa total de lodo para disposição final de 3,7 toneladas por dia (ton/dia), resultando em aproximadamente 112,5 ton/mês e 1350,5 ton/ano.

Atualmente, o lodo gerado na ETE de Igaci, possui como destino adequado a Central de Resíduos Sólidos (CTR) de Craíbas, localizada no município de Arapiraca (fronteira com Igaci). Essa condução acaba gerando um custo constante para o município, sendo ele ocasionado pela logística de transporte do lodo produzido até a CTR de Craíbas, e pelo pagamento recorrente da entrega desse resíduo no aterro, em que no presente ano (2019), o valor cobrado por tonelada de resíduo é de R\$ 85,00 (oitenta e cinco reais).

Fora os custos financeiros para o município, essa ação acaba gerando alguns problemas ambientais, gases tóxicos emitidos pelos veículos de transporte do lodo à CTR e redução da área útil do aterro, que recebe um rejeito sanitário que poderia ser reutilizado para o melhoramento da eficiência na produção dos alimentos do município e da qualidade do solo na região.

Dessa forma, o presente produto aborda o desenvolvimento e aplicação de métodos utilizando Sistema de Informação Geográfica (SIG), voltados para a reciclagem agrícola do lodo de esgoto gerado pela Estação de Tratamento de Esgoto do município de Igaci, e calcula a dosagem necessária de lodo para as principais culturas da região.

## **10. ENQUADRAMENTO LEGAL:**

A aplicação do lodo de esgoto no solo de forma adequada pode ser considerado um aproveitamento de rejeito ambientalmente, por agregar valor econômico positivo para a população, recuperando a fertilidade dos solos degradados ou sendo utilizado como adubo pelos agricultores. Porém, deve-se aplicá-lo apenas quando a sua qualidade estiver boa, e mesmo assim, a disposição deve ser feita em áreas seguras e com a dosagem controlada.

O descuido com a correta aplicação e monitoramento do biossólido podem gerar diversos impactos negativos, como perdas da qualidade dos produtos, morte das culturas, contaminação dos solos ou das águas, presença de vetores causadores de doenças e prejuízos à saúde dos agricultores e/ou dos consumidores.

Além de saber as áreas aptas para a disposição do biossólido, também se faz necessário realizar um monitoramento da qualidade do lodo na operação da ETE, para assegurar que ele não contenha agressores ambientais.

Amostras do biossólido deverão ser encaminhadas para laboratórios, que realizarão análises físico-químicas e bacteriológicas. Análises de macro e micronutrientes do biossólido também deverão ser realizadas, e servirão de base para o cálculo de adubação da área agrícola, que irá variar de acordo com o tipo de cultura, como mostrado na dissertação.

Os resultados obtidos nas análises devem atender a resolução nº 375, de 20 de agosto de 2006, que 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.

No caso de divergência com a resolução, deve-se encaminhar o lodo de esgoto para a CTR, ou consultar profissionais qualificados para indicar um tratamento específico para que o LE possa atender os parâmetros estabelecidos nesta resolução.

## REFERÊNCIAS

ABREU, A. H. M. **Biossólido na produção de mudas florestais da Mata Atlântica**. Dissertação (mestrado em Ciências Ambientais e Florestais) - Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro. p. 79. 2014.

ALAGOAS. PAC-7º Balanço (2015-2018). Cartilha Regional - Alagoas. Disponível em: <<http://www.pac.gov.br/pub/up/relatorio/2016a7f1883d4c727bcd5d274881dab4.pdf>>. Acesso em: 26 de julho de 2018.

ALAMINO, R. C. J. **A utilização de lodo de esgoto como alternativa sustentável na recuperação de solos degradados: Viabilidade, avaliação e biodisponibilidade de metais**. Universidade Federal do Rio de Janeiro – UFRJ. Rio de Janeiro, 2010. 221 pp.

ANDREOLI, C. V.; PEGORINI, E. S.; CASTRO, L. A. R. **Diagnóstico do Potencial dos Solos da Região de Maringá para a Disposição Final do Lodo Gerado pelos Sistemas de Tratamento de Esgoto do Município**. Sanare – Revista Técnica da Sanepar, v. 13, nº 13, janeiro a junho 2000. Curitiba, PR. p. 40 a 50. (pg 10).

BITTENCOURT, S.; AISSE, M. M.; SERRAT, B. M. Gestão do uso agrícola do lodo de esgoto: estudo de caso do estado do Paraná, Brasil. Engenharia Sanitaria e Ambiental. Vol.22 nº6, Rio de Janeiro Nov./Dec. 2017.

BRASIL. Resolução CONAMA 375, de 29 de agosto de 2006. Define critérios e procedimentos, para o uso agrícola de lodos de esgoto gerados em estações de tratamento de esgoto sanitário e seus produtos derivados, e dá outras providências. 2006.

BRK Ambiental. SOLUÇÃO SUSTENTÁVEL - Lodo do esgoto de Rio Claro vira adubo orgânico. Disponível em: <<https://www.brkambiental.com.br/rio-claro/solucao-sustentavel-lodo-do-esgoto-de-rio-claro-vira-adubo-organico-2>>. Acesso em 23 de outubro de 2021.

CETESB - Companhia Ambiental do Estado de São Paulo. **Aplicação de lodos de sistema de tratamento biológico em áreas agrícolas – Critério para projeto e operação**. São Paulo, 1999. 32 p. (Manual Técnico – P4.230).

CHERNICHARO, C.A.L. de. Chernicharo. **Princípios do tratamento biológico de águas residuárias: reatores anaeróbios**. Belo Horizonte: Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental, Universidade Federal de Minas Gerais, 2007. v.5, 379 p. p 25.

IBGE - INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. Censo Agropecuário de 2017. Lavoura Permanente e Lavoura Temporária. Igaci, AL: IBGE, 2021. Disponível em: <<https://cidades.ibge.gov.br/brasil/al/igaci/pesquisa/24/76693>>. Acesso em 24 de março de 2021.

IBGE - INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. Produção Agrícola - Cereais, Leguminosas e Oleaginosas de 2007. Igaci, AL: IBGE, 2021. Disponível em: <<https://cidades.ibge.gov.br/brasil/al/igaci/pesquisa/31/29644>>. Acesso em 24 de março de 2021.

IBGE - INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. Produção Agrícola - Lavoura Permanente de 2019. Igaci, AL: IBGE, 2021. Disponível em: <<https://cidades.ibge.gov.br/brasil/al/igaci/pesquisa/15/11863>>. Acesso em 24 de março de 2021.

IBGE - INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. Produção Agrícola - Lavoura Temporária de 2019. Igaci, AL: IBGE, 2021. Disponível em: <<https://cidades.ibge.gov.br/brasil/al/igaci/pesquisa/14/10193>>. Acesso em 24 de março de 2021.

IPA - INSTITUTO AGRONÔMICO DE PERNAMBUCO. Recomendações de adubação para o estado de Pernambuco: 2ª aproximação. Comissão Estadual de Fertilidade do Solo. Recife, 2008. 199p.

LEMAINSKI, J.; SILVA, J. E. Utilização do biossólido da CAESB na produção de milho no Distrito Federal. Poluição do solo e qualidade ambiental. Rev. Bras. Ciênc. Solo 30 (4). 2006. Disponível em: <<https://doi.org/10.1590/S0100-06832006000400015>>. Acesso em 23 de outubro de 2021.

PROSAB. **Resíduos Sólidos do Saneamento: Processamento, Reciclagem e Disposição Final. Aproveitamento do Lodo Gerado em Estações de Tratamento de Água e Esgotos Sanitários, inclusive com a Utilização de Técnicas Consorciadas com Resíduos Sólidos Urbanos**. Curitiba-PR, 2001. 257 p.

ROLIM, S. M.; COELHO, L. M. **Sistemas sustentáveis de esgotos: orientações técnicas para projeto e dimensionamento de redes coletoras, emissários, canais, estações elevatórias, tratamento e reuso na agricultura**. São Paulo: Blucher, 2016. 348 p.

PORTAL TRATAMENTO DE ÁGUA. Lodo de esgoto sanitário é transformado em adubo orgânico para hortas e jardins. Resíduo do sistema de tratamento de esgoto de Atibaia (SP) se tornou matéria-prima para fertilizante destinado a pequenos produtores de hortaliças e plantas ornamentais. Publicado em 01 de abril de 2021. Disponível em: <<https://tratamentodeagua.com.br/lodo-esgoto-adubo-organico/>>. Acesso em: 23 de outubro de 2021.

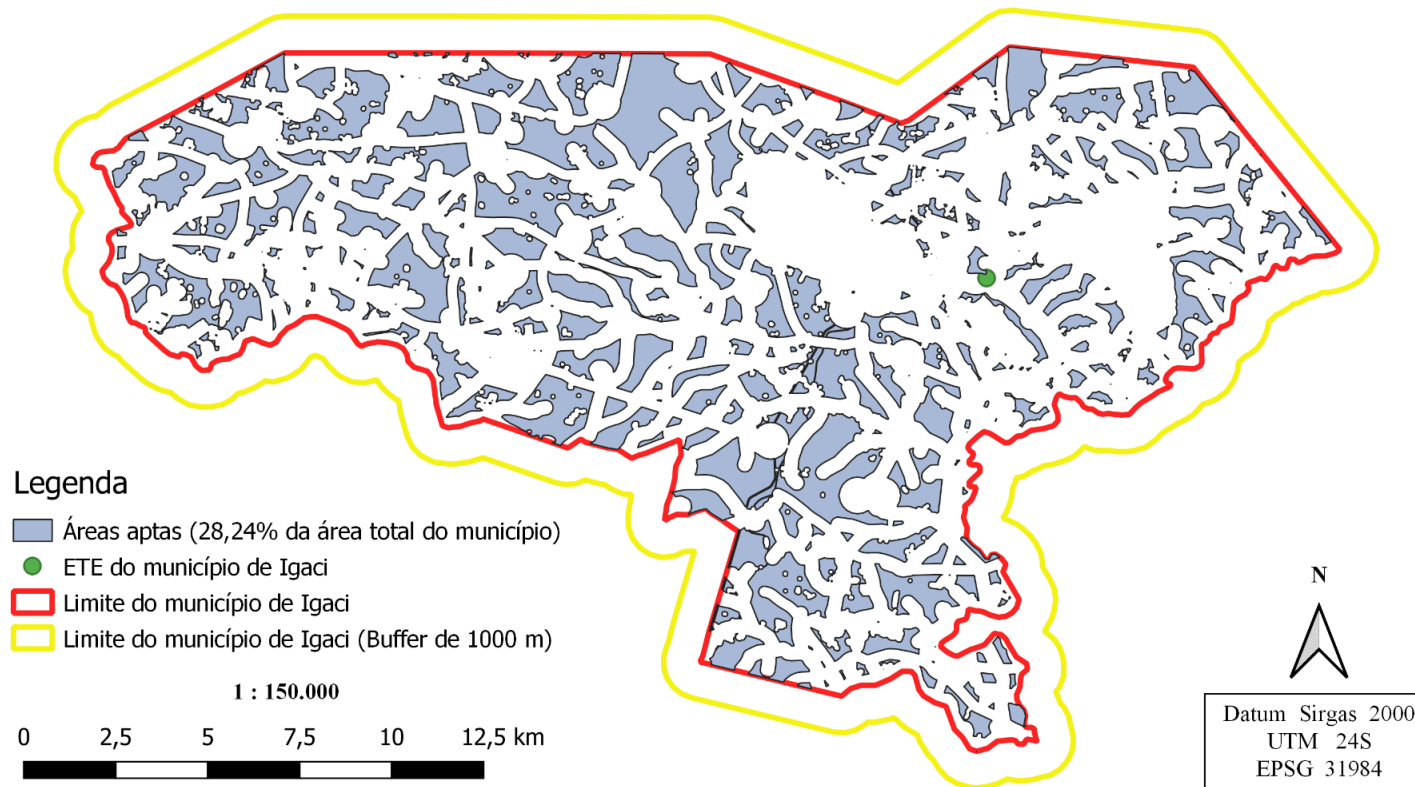
SOCIEDADE BRASILEIRA DE CIÊNCIA DO SOLO. Manual de adubação e de calagem para os Estados do Rio Grande do Sul e de Santa Catarina. Comissão de Química e Fertilidade do Solo. - 10. ed. – Porto Alegre, 2004. 400pp.

URBAN, R. C.; ISAAC, R. L. **Mapa de aptidão do solo para a aplicação de lodo de esgoto: Bacia dos rios Piracicaba, Capivari e Jundiá**. Revista Ambiente e Água - Na Interdisciplinary Journal of Applied Science vol. 11 n. 1 Taubaté - Jan. / Mar. 2016.

VON SPERLING, M. **Princípios do tratamento biológico de águas residuárias. Vol 4. Lodos ativados**. Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental – DESA. Universidade Federal de Minas Gerais, 1997. 428 p. p .22

VON SPERLING, M. **Princípios do tratamento biológico de águas residuárias – Volume 1: Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos**. Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental – UFMG, 2005. 3ª Ed. 452p. p. 340-346.

## ÁREAS APTAS A RECEBEREM O LODO DE ESGOTO COM FINALIDADES AGRÍCOLAS



## ANEXO II - CÁLCULO DE ADUBAÇÃO DO LODO PARA AS PRINCIPAIS CULTURAS DE IGACI

CULTURA	VALOR N % recomendado	Quantidade de Lodo - Amostra 1 (kg/ha)	Quantidade de Lodo - Amostra 1 (kg/ha)	Quantidade de Esterco bovinos (kg/ha)	Quantidade de Esterco equínos (kg/ha)	Quantidade de Esterco suínos (kg/ha)	Quantidade de Esterco de Ovinos (kg/ha)	Quantidade de Esterco de Aves (kg/ha)	Quantidade de Composto Orgânico (kg/ha)
Feijão de Corda	20*	803,21	1000,00	1176,47	1428,57	1052,63	1428,57	666,67	1428,57
Milho Forrageiro	20*	803,21	1000,00	1176,47	1428,57	1052,63	1428,57	666,67	1428,57
Milho	30*	1204,82	1500,00	1764,71	2142,86	1578,95	2142,86	1000,00	2142,86
Milho Verde ou para Forragem	20*	803,21	1000,00	1176,47	1428,57	1052,63	1428,57	666,67	1428,57
Abóbora Irrigado	30*	1204,82	1500,00	1764,71	2142,86	1578,95	2142,86	1000,00	2142,86
Fumo	120	4819,28	6000,00	7058,82	8571,43	6315,79	8571,43	4000,00	8571,43
Feijão de Arranca	40**	1606,43	2000,00	2352,94	2857,14	2105,26	2857,14	1333,33	2857,14
Algodão	30**	1204,82	1500,00	1764,71	2142,86	1578,95	2142,86	1000,00	2142,86
Cajueiro Anão	60***	2409,64	3000,00	3529,41	4285,71	3157,89	4285,71	2000,00	4285,71
Manga	100***	4016,06	5000,00	5882,35	7142,86	5263,16	7142,86	3333,33	7142,86
Banana	90***	3614,46	4500,00	5294,12	6428,57	4736,84	6428,57	3000,00	6428,57
VALOR Nitrogênio Total (%) ADUBO		2,49	2,00	1,7	1,4	1,9	1,4	3	1,4

**Fonte:** Elaborado pelo autor.

\* No plantio

\*\* Na cobertura

\*\*\* No crescimento