

UNIVERSIDADE FEDERAL DE GOIÁS
ESCOLA DE ENGENHARIA CIVIL
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO STRICTO SENSU EM ENGENHARIA DO MEIO
AMBIENTE – PPGEMA

ALYNE ALVES LESSA

**SELEÇÃO DE ÁREAS APTAS A DISPOSIÇÃO DE LODO DE ESTAÇÕES DE
TRATAMENTO DE ESGOTO COM FINS AGRÍCOLAS**

GOIÂNIA, GO
2010

ALYNE ALVES LESSA

**SELEÇÃO DE ÁREAS APTAS A DISPOSIÇÃO DE LODO DE ESTAÇÕES DE
TRATAMENTO DE ESGOTO COM FINS AGRÍCOLAS**

Dissertação apresentada ao curso de Pós-Graduação
Stricto Sensu em Engenharia do Meio Ambiente da
Escola de Engenharia Civil da Universidade Federal
de Goiás, para obtenção do título em Mestre em
Engenharia do Meio Ambiente.

Linha de Pesquisa: Gerenciamento de Resíduos
Sólidos

Orientador: Prof^a Dr^a. Simone Costa Pfeiffer
Co-orientador: Prof^o. José Vicente Granato de
Araújo, Ph.D. (UFG)

GOIÂNIA, GO

2010

**Dados Internacionais de Catalogação na Publicação na (CIP)
GPT/BC/UFG**

L638s Lessa, Alyne Alves.
 Seleção de áreas aptas a disposição de lodo de estações de
tratamento de esgoto com fins agrícolas [manuscrito] / Alyne
Alves Lessa. - 2010.
 105 f. : il., figs, tabs.

 Orientadora: Prof^a. Dr^a. Simone Costa Pfeiffer; Co-orientador:
Ph.D José Vicente Granato de Araújo.
 Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Goiás,
Escola de Engenharia Civil, 2010.
 Bibliografia.
 Inclui lista de figuras, tabelas e quadros.

 1. Lodo de esgoto. 2. Disposição final no solo. 3. Seleção de
áreas. 4. Restrições legais. 5. Fatores ambientais. I. Título.

CDU:628

ALYNE ALVES LESSA

**SELEÇÃO DE ÁREAS APTAS A DISPOSIÇÃO DE LODO DE ESTAÇÕES DE
TRATAMENTO DE ESGOTO COM FINS AGRÍCOLAS**

Dissertação defendida e aprovada no Programa de Pós-Graduação em Engenharia do Meio Ambiente (PPGEMA) da Escola de Engenharia Civil da Universidade Federal de Goiás, para a obtenção do título de Mestre, em 03 de setembro de 2010, pela Banca Examinadora constituída pelos seguintes professores:

Prof^a. Dr^a. Simone Costa Pfeiffer (UFG)

Orientadora

Prof.^o Dr. Eraldo Henriques de Carvalho (UFG)

Membro Titular

Prof.^o Dr. Bruno Coraucci Filho (UNICAMP)

Membro Titular

Dedico este trabalho aos meus queridos irmãos, Alex e Adílio, e ao meu pai e amigo, Lessa (painho), homens que formam o meu alicerce e que me dão muito apoio e carinho. Sempre presentes em todos os momentos de minha vida.

E em especial à minha amada mainha, Tereza (in memoriam), fonte de inspiração e força, a quem devo todas as conquistas, mas que, infelizmente, partiu antes de ver muitos de nossos sonhos e objetivos concretizados.

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus, força suprema que mantém o equilíbrio da existência e a “Quem” recorro em minhas derrotas, em busca de forças para superação, e em minhas vitórias, para agradecer as boas energias a mim direcionadas.

Agradeço à professora Dr.^a Simone, por sua coragem e dedicação em assumir um trabalho em tempo deficitário, pela orientação e esmero com o qual conduziu os problemas surgidos no decorrer da pesquisa e pela amizade expressada na compreensão para com os problemas pessoais que ora vieram a prejudicar o encaminhamento do trabalho.

Agradeço à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pelo apoio prestado com a concessão da bolsa de mestrado, que permitiu a concretização de minha formação.

Agradeço também aos professores, aos colegas e amigos do Programa de Mestrado em Engenharia Ambiental pelas contribuições e enriquecimento intelectual em minha formação profissional.

Agradeço ao Laboratório de Geografia Física e Geologia (LABOGEF-UFG), na pessoa da professora Dr.^a Selma Simões de Castro e ao Laboratório de Processamento de Imagens e Geoprocessamento (LAPIG – UFG), nas pessoas do professor Dr. Manuel Eduardo Ferreira e dos colegas Genival e Marlon pelo espaço concedido para desenvolver o trabalho e pelas valorosas contribuições.

Agradeço também às amigas Fernanda, Bárbara, Daniela, Valéria, Magda, Renata (ReDnatinha), Luiza (Looiza), Ana (Papaula), Karla Annyella, Anyella e Rosane que com palavras, gestos e atitudes ajudaram e apoiaram a continuidade e finalização desta etapa acadêmica, alegraram muitos dias tristes e iluminaram ainda mais os dias belos. Em especial à Clarisse e Karla Maria que, além de tudo isso, ajudaram efetivamente na construção deste trabalho; e à Ana Félix, vulgo Aninha Feliz, pessoa alegre, engraçada, doida e sorridente e

que sempre me ensina a ser paciente e perseverante.

Agradeço à família Guimarães, a qual me sinto parte, nas pessoas de Vitinha, Jussahyse (Juju), Isa, Amanda, Edi e Nilzan pela amizade, conselhos, conversas ou simplesmente pela agradável companhia; à Evelyn pelas doçuras, encantamentos e por me fazer voltar a ser criança em muitas de nossas brincadeiras e “doiduras” no tapete da bruxa (eu); e à Dona Carmelina, minha mais nova vizinha, sempre preocupada e carinhosa. Obrigada família Guimarães pela atenção, preocupação, carinho e consideração.

Agradeço, com muito amor, a meus familiares que compartilharam comigo vários dos momentos vividos durante o mestrado e fazem parte de minha formação não somente acadêmica, mas pessoal, em especial a Adílio (Dio, meu sempre irmãozinho), painho, tia Lúcia (Lú), tia Conceição (Ção), Telminha, meus avôs Nita e Antônio, minha dinda Maria José (Déu) e minhas primas e amigas Regiane (Reury), Lara, Poliana (Polis) e Micheline (Mitchel).

Agradecimento muito especial devo manifestar a João Bonfim e Maristela Coqueiro, duas pessoas iluminadas por Deus e que com um simples gesto de solidariedade mudou o destino de três garotos do interior da Bahia (meus irmãos e eu). Obrigada por terem confiado e enxergado a força de vontade, inteligência, persistência, maturidade (prematura) de um garoto sem perspectiva de um futuro planejado, idealizado e que hoje, além de honrar o voto de confiança e a oportunidade que lhe foi dada, propagou a outros, inclusive a mim, a oportunidade de crescer e vencer na vida. Declaro vocês os grandes responsáveis pelo nosso sucesso e enquanto existirmos seremos muito gratos.

Por fim, mas também muito especial agradecimento, à pessoa que mais tem me apoiado não somente no mestrado, mas na vida, e que se tornou um referencial de ética, justiça, compreensão, humildade, sucesso, sensatez e amor, meu irmão e grande amigo Alex a quem devo e ainda deverei muitas das vitórias de minha vida.

*Não importa onde você parou...
em que momento da vida você cansou...
o que importa é que sempre é possível e
necessário "Recomeçar".
Recomeçar é dar uma nova chance a si mesmo...
é renovar as esperanças na vida e o mais importante...
acreditar em você de novo.
Sofreu muito nesse período?
foi aprendizado...
Chorou muito?
foi limpeza da alma...
(...)
Acreditou que tudo estava perdido?
era o início da tua melhora...
Pois é... agora é hora de reiniciar... de pensar na luz...
de encontrar prazer nas coisas simples de novo.
(...)
Recomeçar... hoje é um bom dia para começar novos
desafios.
Onde você quer chegar? ir alto... sonhe alto... queira o
melhor do melhor... queira coisas boas para a vida... pensando
assim
trazemos prá nós aquilo que desejamos... se pensamos pequeno...
coisas pequenas teremos...
já se desejarmos fortemente o melhor e principalmente
lutarmos pelo melhor...
o melhor vai se instalar na nossa vida.
E é hoje o dia da faxina mental...
(...)
"Porque sou do tamanho daquilo que vejo, e não do
tamanho da minha altura."*

Carlos Drummond de Andrade

RESUMO

LESSA, ALYNE ALVES. **Seleção de terras aptas a disposição de lodo de estações de tratamento de esgoto com fins agrícolas**. 2010. 105 pág. Dissertação (Mestrado em Engenharia do Meio Ambiente) - Programa de Pós-Graduação *Stricto Sensu* em Engenharia do Meio Ambiente – PPGEMA, Universidade Federal de Goiás – UFG, Goiânia, 2010.

A aglomeração humana em centros urbanos tem gerado muitos impactos ao meio ambiente, destacando-se os resíduos produzidos por suas atividades. Para destinar corretamente estes resíduos, tecnologias são desenvolvidas como as envolvidas no tratamento dos esgotos. Entretanto, esta forma de tratamento também gera resíduos, os quais devem ser tratados e dispostos adequadamente. O lodo é um dos subprodutos do tratamento do esgoto doméstico e possui algumas alternativas de disposição, dentre as quais, a disposição agrícola com fins de condicionamento do solo ou mesmo recuperação de áreas degradadas. O solo, contudo, deve ter características favoráveis ao recebimento deste tipo de material, de modo a não criar condições para proliferação de bactérias não eliminadas no tratamento do lodo e evitar a contaminação das águas subterrâneas e superficiais. Deste modo, este trabalho teve como objetivo classificar áreas quanto à aptidão a aplicação do lodo da Estação de Tratamento de Esgoto de Goiânia, num raio de 46 km e 20 km a partir da referida Estação, utilizando o sistema de informações geográficas. Para atingir este objetivo, procedeu-se à identificação das áreas consideradas inaptas ao recebimento do lodo pela Resolução CONAMA 375/2006 do MMA. Em seguida, as áreas que não apresentaram restrições foram submetidas à análise da capacidade de uso do solo para aplicação do lodo a partir das características dos seguintes fatores ambientais: hidromorfismo, fertilidade, textura, profundidade, drenagem e pedregosidade do solo, além do relevo e da suscetibilidade dos solos à erosão. Os estudos para os raios de 46 e 20 km pelas restrições estabelecidas pela resolução demonstraram que da área total de estudo 25,5 e 43%, respectivamente, são inaptas à aplicação do lodo, atendendo muitas das fragilidades ambientais do terreno como o observado para os fatores hidromorfismo e drenagem do solo. Já os fatores ambientais textura, pedregosidade e profundidade apresentaram restrições que impedem o lançamento do lodo em algumas áreas, enquanto a fertilidade do solo mostrou-se ideal para esta finalidade. Considerando todos os fatores ambientais, a área apresenta inaptidão à aplicação do lodo na ordem de 14,5% das terras para o raio de 46 km e 8,3% para o raio de 20 km, que somadas à restrição normativas, exclui 40% e 51%, respectivamente, para este tipo de uso. As áreas aptas à disposição agrícola do lodo respondem por 51,3% da área total, estando 8,7% das terras com fortes restrições ambientais considerando o raio de 46 km, enquanto para o raio de 20 km esses valores são de 45 e 3,7%, respectivamente. As melhores áreas para aplicação do lodo, em ambas as áreas - 46 e 20 km - estão localizadas na região norte da área de estudo.

Palavras-chave: Lodo de esgoto. Disposição final no solo. Seleção de áreas. Restrições legais. Fatores ambientais.

ABSTRACT

LESSA, ALYNE ALVES. **Seleção de terras aptas a disposição de lodo de estações de tratamento de esgoto com fins agrícolas**. 2010. 105 pág. Dissertação (Mestrado em Engenharia do Meio Ambiente) - Programa de Pós-Graduação Stricto Sensu em Engenharia do Meio Ambiente – PPGEMA, Universidade Federal de Goiás – UFG, Goiânia, 2010.

Overcrowding in urban centers has spawned many impacts on the environment, highlighting the waste generated by their activities. To properly allocate these wastes, technologies are developed such as those involved in sewage treatment. However, this form of treatment also generates waste, which must be treated and disposed of properly. The sludge is a byproduct of sewage treatment and has few alternatives available, among which, the agricultural disposition for purposes of soil conditioning or recovery of degraded areas. The soil, however, must have received the favorable characteristics of this type of material so as not to create conditions for growth of bacteria is not eliminated in the sludge treatment and prevent contamination of groundwater and surface water. Thus, this study aimed to classify areas as to the suitability of the application of sludge sewage treatment station of Goiania, a radius of 46 km from that station, using the geographic information system. To achieve this goal, we proceeded to the identification of areas considered unsuitable to receive the sludge by CONAMA Resolution 375/2006 of MMA. Then, the areas that had no restrictions were analyzed for ability to use the land for sludge application from the characteristics of the following environmental factors: hydromorphism, fertility, texture, depth, drainage and stoniness of the soil, topography and beyond susceptibility to soil erosion. Studies for the radii of 46 and 20 km by the restrictions set by the resolution showed that the total area of study 25.5 and 43%, respectively, are unsuitable for sludge application, attending many of the weaknesses of the environmental field as observed for the hydromorphism factor and soil drainage. Since environmental factors texture, stoniness and depth restrictions were preventing the release of silt in some areas, while the fertility of the soil proved ideal for this purpose. Considering all the environmental factors, the area shows unfitness to sludge application on the order of 14.5% of the land to the radius of 46 km and 8.3% for the radius of 20 km, which added to the regulatory restriction excludes 40% and 51%, respectively, for this type of use. The areas suitable for agricultural sludge disposal account for 51.3% of total area, with 8.7% of the land with strong environmental restrictions on the radius of 46 km, while for the 20 km radius of these values are 45 and 3 7%, respectively. The best areas for sludge application in both areas - 20 km and 46 - are located in the northern study area.

Key word: Sewage sludge. Final disposition on the ground. Selection of areas. Legal restrictions. Environmental factors.

LISTA DE FIGURAS

<i>Figura 1- Fluxograma de um sistema de tratamento de esgoto por lodo ativado convencional.....</i>	<i>20</i>
<i>Figura 2 - Vista da área lavrada/degradada na Fazenda Quati</i>	<i>37</i>
<i>Figura 3 – Vista da aplicação do lodo na Fazenda Quati</i>	<i>38</i>
<i>Figura 4 – Solo após espalhamento do lodo na Fazenda Quati</i>	<i>38</i>
<i>Figura 5 - Vista de área da fazenda Quati após reconformação do terreno</i>	<i>39</i>
<i>Figura 6 – Vista de áreas plantadas com eucaliptos em 2007.....</i>	<i>39</i>
<i>Figura 7– Médias da temperatura máxima e da precipitação média mensal de Goiânia.....</i>	<i>42</i>
<i>Figura 8– Médias da temperatura máxima e da precipitação média mensal de Anápolis.....</i>	<i>43</i>
<i>Figura 9 – Mapa da estrutura geológica e respectivas rochas dominantes da área de estudo: Domínios geotectônicos Maciço Mediano de Goiás.</i>	<i>44</i>
<i>Figura 10 - Fluxograma dos domínios geotectônicos e Embasamento Cratônico presentes na área de estudo, com suas respectivas Unidades geológicas e Litologias dominantes.....</i>	<i>45</i>
<i>Figura 11– Mapa geomorfológico da área de estudo.....</i>	<i>47</i>
<i>Figura 12 – Detalhe das feições geomorfológicas HB-ED, PFm e FA</i>	<i>49</i>
<i>Figura 13– Mapa de solos da área de estudo</i>	<i>50</i>
<i>Figura 14- Fluxograma das etapas de realização da pesquisa.</i>	<i>53</i>
<i>Figura 15 – Mapa de localização dos municípios pertencentes à área de estudo e da ETE Goiânia</i>	<i>63</i>
<i>Figura 16– Mapa hipsométrico da área de estudo</i>	<i>65</i>
<i>Figura 17– Mapa de declividade da área de estudo.....</i>	<i>66</i>
<i>Figura 18– Representatividade espacial das diferentes classes de declividade da área de estudo.....</i>	<i>67</i>
<i>Figura 19 – Distribuição percentual dos diferentes usos do solo na área de estudo</i>	<i>68</i>
<i>Figura 20– Mapa de uso e ocupação do solo da área de estudo.....</i>	<i>69</i>
<i>Figura 21 – Áreas com restrições legal relacionadas às Áreas de Proteção Permanente (APP): a) Faixa de 200m ao longo dos rios e b) Massas de água.....</i>	<i>70</i>
<i>Figura 22 – Áreas com restrições legal referentes às Áreas de Proteção Permanentes (APP): topos de morros (declividade superior a 45%)</i>	<i>71</i>
<i>Figura 23 – Áreas com Restrições legal referentes a pouca profundidade dos solos</i>	<i>71</i>
<i>Figura 24 – Áreas com restrições legal: a) Unidades de conservação; b) Proteção do perímetro urbano.....</i>	<i>72</i>

<i>Figura 25- Áreas com restrições à aplicação do lodo na área de estudo delimitada com raio de 46 km.....</i>	<i>74</i>
<i>Figura 26 – Mapa das restrições à aplicação do lodo na área de estudo delimitada com raio de 20 km.....</i>	<i>75</i>
<i>Figura 27 – Mapa do grau de limitações da área de estudo à aplicação do lodo considerando o fator ambiental relevo</i>	<i>77</i>
<i>Figura 28 - Mapa do grau de limitações da área de estudo à aplicação do lodo considerando o fator ambiental textura</i>	<i>78</i>
<i>Figura 29 - Mapa do grau de limitações da área de estudo à aplicação do lodo considerando o fator pedregosidade.....</i>	<i>81</i>
<i>Figura 30 - Mapa do grau de limitações da área de estudo à aplicação do lodo considerando o fator profundidade.....</i>	<i>82</i>
<i>Figura 31 - Mapa do grau de limitações da área de estudo à aplicação do lodo considerando o fator drenagem</i>	<i>84</i>
<i>Figura 32- Mapa do grau de limitações da área de estudo à aplicação do lodo considerando o fator fertilidade.....</i>	<i>85</i>
<i>Figura 33- Mapa do grau de limitações da área de estudo à aplicação do lodo considerando o fator suscetibilidade à erosão.....</i>	<i>87</i>
<i>Figura 34 – Mapa final de aptidão das terras à aplicação do lodo de esgoto com fins agrícola.....</i>	<i>90</i>
<i>Figura 35 – Representações individualizadas das aptidões à aplicação do lodo na área de estudo, segundo os fatores ambientais: a) Aptidão inapta e b) Aptidão restrita</i>	<i>91</i>
<i>Figura 36 – Representações individualizadas das aptidões à aplicação do lodo na área de estudo, segundo os fatores ambientais: a) Aptidão boa e b) Aptidão regular</i>	<i>92</i>
<i>Figura 37 - Mapa final de aptidão das terras à aplicação do lodo de esgoto com fins agrícola para a área delimitada com raio de 20 km</i>	<i>94</i>
<i>Figura 38 – Limites municipais envolvidos na classificação das áreas para disposição do lodo com fins agrícolas para o raio de 20 km.....</i>	<i>95</i>

LISTA DE TABELAS

<i>Tabela 1 - Parâmetros do potencial agronômico a serem caracterizados no lodo segundo a resolução 375 (CONAMA, 2006)</i>	<i>30</i>
<i>Tabela 2- Substâncias inorgânicas exigidas na caracterização química do lodo e os respectivos limites máximos para uso agronômico segundo a resolução 375 (CONAMA, 2006)</i>	<i>30</i>
<i>Tabela 3- Classificação do lodo em função das características bacteriológicas e patogênicas de acordo a resolução 375 (CONAMA, 2006)</i>	<i>31</i>
<i>Tabela 4 - Aspectos ambientais e devidas características considerados na classificação das Terras para disposição agrícola do lodo e os respectivos graus de limitação.....</i>	<i>33</i>
<i>Tabela 5 – Teores médios de metais pesados encontrados no lodo da ETE Goiânia.....</i>	<i>36</i>
<i>Tabela 6- Valores médios dos atributos verificados no lodo da ETE Goiânia.....</i>	<i>36</i>
<i>Tabela 7 - Distribuição da classificação das terras para o fator relevo quanto à aptidão para disposição do lodo de esgoto.....</i>	<i>77</i>
<i>Tabela 8 – Tipos de solos com respectivas texturas e limitações à aplicação do lodo na região norte da área de estudo</i>	<i>79</i>
<i>Tabela 9 - Tipos de solos com respectivas texturas e limitações à aplicação do lodo na região sul da área de estudo</i>	<i>79</i>
<i>Tabela 10 - Distribuição da classificação das terras para o fator textura quanto à aptidão das terras à aplicação do lodo</i>	<i>80</i>
<i>Tabela 11 - Distribuição da classificação das terras para o fator pedregosidade quanto à aptidão das terras à aplicação do lodo</i>	<i>80</i>
<i>Tabela 12- Distribuição da classificação das terras para o fator profundidade quanto à aptidão para disposição do lodo</i>	<i>82</i>
<i>Tabela 13 - Distribuição da classificação das terras para o fator drenagem quanto à aptidão para disposição do lodo</i>	<i>85</i>
<i>Tabela 14 - Distribuição da classificação das terras para o fator suscetibilidade à erosão quanto à aptidão para disposição do lodo</i>	<i>87</i>
<i>Tabela 15 - Distribuição por área e percentual quanto à aptidão das terras para disposição do lodo na área de estudo</i>	<i>89</i>
<i>Tabela 16 – Representatividade dos fatores que contribuíram para vetar o uso do lodo na área de estudo.....</i>	<i>92</i>

<i>Tabela 17 - Distribuição por área e percentual quanto à aptidão das terras para disposição do lodo na área de estudo, considerando o raio de 20 km.....</i>	<i>93</i>
--	-----------

LISTA DE QUADROS

<i>Quadro 1- Relação dos municípios pertencentes à área de estudo com suas respectivas áreas (totais e situadas nos limites estudados) e o percentual do território envolvido na pesquisa.</i>	<i>61</i>
<i>Quadro 2 - Limitações legais quanto a aplicação do lodo e respectivas áreas e percentuais de representação na área de estudo.....</i>	<i>73</i>
<i>Quadro 3 -Relação entre as classes de relevo, declividade e o grau de limitação para aplicação do lodo.</i>	<i>76</i>

SUMÁRIO

1 - INTRODUÇÃO.....	16
2 - OBJETIVOS.....	18
2.1 - OBJETIVO GERAL.....	18
2.2 - OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	18
3 - REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	19
3.1 - PRODUÇÃO DO LODO EM SISTEMA DE LODO ATIVADO	19
3.2 - TRATAMENTO E QUALIDADE DO LODO DE ESGOTO DOMÉSTICO.....	21
3.3 - ALTERNATIVAS DE DISPOSIÇÃO FINAL PARA O LODO	24
3.4 - NORMAS LEGAIS SOBRE DISPOSIÇÃO FINAL DO LODO.....	28
3.5 - SISTEMA DE CLASSIFICAÇÃO DAS TERRAS PARA DISPOSIÇÃO DO LODO ...	32
3.6 - CARACTERÍSTICAS DO LODO DA ESTAÇÃO DE TRATAMENTO DE ESGOTO DR. HÉLIO DE SEIXO BRITO.....	35
3.7 - DISPOSIÇÕES AGRÍCOLAS EM ÁREAS DEGRADADAS REALIZADAS COM O LODO DA ETE GOIÂNIA.....	36
3.7.1 – Recuperação de área degradada na Fazenda Quati	36
3.7.2 – Recuperação de área degradada na Fazenda Porções dos Dourados.....	40
3.7.3 – Recuperação de área degradada na Fazenda Vereda.....	40
3.7.4 – Recuperação de área degradada na Fazenda Hospital.....	41
3.8- CARACTERÍSTICAS DO MEIO FÍSICO DA ÁREA DE ESTUDO	42
3.8.1 - Clima da área de estudo.....	42
3.8.2 - Geologia da área de estudo.....	43
3.8.3 - Geomorfologia da área de estudo.....	46
3.8.4 - Solos da área de estudo.....	49
4 - MATERIAIS E MÉTODOS	53
4.1- AQUISIÇÃO DOS DADOS	54
4.2- COMPILAÇÃO E ELABORAÇÃO DA CARTA BASE E DE MAPAS TEMÁTICOS NO FORMATO DIGITAL DA ÁREA DE ESTUDO	54

4.3-	EXCLUSÃO DAS ÁREAS DE RESTRIÇÃO POR RECOMENDAÇÕES TÉCNICA E LEGAL	57
4.4-	CLASSIFICAÇÃO DAS TERRAS PARA APLICAÇÃO DO LODO.....	58
4.5-	FINALIZAÇÃO DO TRABALHO.....	60
5 -	RESULTADOS E DISCUSSÕES	61
5.1-	LOCALIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO.....	61
5.2-	CARACTERÍSTICAS AMBIENTAIS DA ÁREA DE ESTUDO	64
5.3-	USO E OCUPAÇÃO DO SOLO DA ÁREA DE ESTUDO.....	67
5.4-	RESTRIÇÕES PARA O USO AGRÍCOLA DO LODO NA ÁREA DE ESTUDO PARA O RAIO DE 46 KM	70
5.5-	RESTRIÇÕES PARA O USO AGRÍCOLA DO LODO NA ÁREA DE ESTUDO PARA O RAIO DE 20 KM	74
5.6-	CLASSIFICAÇÃO DAS TERRAS QUANTO À APLICAÇÃO DE LODO	76
5.6.1-	Fatores Ambientais.....	76
5.6.1.1-	Relevo	76
5.6.1.2-	Textura.....	78
5.6.1.3-	Pedregosidade.....	80
5.6.1.4-	Profundidade.....	81
5.6.1.5-	Hidromorfismo e Drenagem	83
5.6.1.6-	Fertilidade.....	85
5.6.1.7-	Suscetibilidade à erosão	86
5.7-	APTIDÃO DAS TERRAS À DISPOSIÇÃO FINAL DO LODO PARA FINS AGRÍCOLA.....	88
5.7.1-	Aptidão das terras à aplicação do lodo com finalidade agrícola para a área delimitada com raio de 46 km a partir da ETE Goiânia.....	88
5.7.2-	Aptidão das terras à aplicação do lodo com finalidade agrícola para a área delimitada com raio de 20 km a partir da ETE Goiânia.....	93
6 -	CONCLUSÕES	97
	REFERÊNCIAS.....	99

1 - INTRODUÇÃO

A implantação da rede coletora de esgoto sanitário no município de Goiânia teve início na década de 1940¹ e atende, atualmente, 80% da população urbana do município (SANEAGO, 2009), o que corresponde a aproximadamente um milhão de habitantes. Da população atendida pela rede coletora, cerca de 700 mil habitantes têm seus efluentes conduzidos para as Estações de Tratamento de Esgoto (ETE's) existentes na capital, enquanto o restante coletado é lançado, sem qualquer tratamento, nos rios². Já a população não atendida pelo serviço de coleta de esgoto utiliza-se de fossa séptica, fossa negra ou mesmo lançamento direto do efluente em rios.

Do total de efluentes coletados e tratados, 3% são encaminhados para a ETE Aruanã, localizada na região leste de Goiânia, operando com vazão de 31 L/s; 6% são destinados para a ETE Parque Atheneu, situada também na região leste e operando com vazão de 70 L/s; e 91% vão para a ETE Dr. Hélio de Seixo Brito, ou ETE Goiânia, localizada na região norte do município e operando com vazão de 1.100 L/s.

Tendo em vista a necessidade de ampliação dos serviços de saneamento relativos à coleta e tratamento dos esgotos sanitários surge um novo desafio a ser resolvido: a correta destinação dos resíduos gerados no tratamento das águas residuárias sem comprometer, contudo, a qualidade das águas urbanas e peri-urbanas após sua utilização, prevenindo riscos à saúde e ao meio ambiente.

O Conselho Nacional de Meio ambiente (CONAMA) do Ministério do Meio Ambiente (MMA) editou, em 2006, a Resolução 375 que regulamenta o uso agrícola do lodo de esgoto proveniente de estações de tratamento de esgoto sanitário, definindo critérios e procedimentos a ser adotado para a correta utilização, o padrão de qualidade do lodo e das áreas que recebem o material com os devidos monitoramentos, bem como os tipos de aplicação as restrições locacionais entre outros.

Afora os aspectos legais, pesquisas são desenvolvidas no âmbito de melhorar e solucionar os problemas relacionados à disposição final do lodo de esgoto, muitos destes voltados à destinação do lodo no solo com fins agrícola, com objetivos que vão da adubação à recuperação de áreas degradadas.

¹ Até então o esgoto era encaminhado a fossas sépticas ou lançado diretamente nos rios urbanos.

² Informações prestadas pelo supervisor da ETE Goiânia Fausto Batista Alves dos Santos, em Goiânia, em 28 setembro de 2010.

Souza *et al.* (1994) desenvolveram, a partir do sistema de classificação das terras adaptado aos solos tropicais (LEPSH *et al.*, 1991), uma classificação própria para a seleção de áreas destinadas à disposição do lodo quando esta for feita com finalidade agrícola, empregando fatores ambientais definidos a partir da interação do lodo com o solo e com a paisagem, definindo as classes de uso (apta, não recomendada e inapta) em função do impacto gerado pelas interações.

O sistema de tratamento idealizado para a ETE Goiânia - processo de lodo ativado - ainda não se encontra em funcionamento; entretanto, a estação já opera desde 2004 com o processo de tratamento quimicamente assistido e gera diariamente cerca de 80 m³ de lodo.

Com a ampliação dos serviços de abastecimento de água e de coleta e tratamento de esgotos sanitários, necessidades básicas da população, e após a implantação das demais etapas para colocar em funcionamento o tratamento de lodo ativado da ETE Goiânia, o volume de lodo gerado na ETE tende a aumentar.

Com isto, torna-se necessário o planejamento físico territorial para a correta disposição dos resíduos sólidos gerados no tratamento do esgoto, em especial do lodo, tendo como perspectiva fatores socioeconômicos e naturais, levando em consideração as potencialidades e, sobretudo, as fragilidades do meio físico face às diferentes interferências das atividades humanas, atendendo às normas legais vigentes e promovendo resultados sanitários, ambientais e sociais positivos e esperados no âmbito da engenharia sanitária e ambiental.

2 - OBJETIVOS

2.1 - OBJETIVO GERAL

O objetivo deste trabalho é identificar áreas aptas, não recomendadas e inaptas à disposição do lodo de estações de tratamento de esgoto, com finalidade agrícola, nas proximidades da cidade de Goiânia, Goiás, tendo como referência a Estação de Tratamento de Esgoto Dr. Hélio de Seixo Brito.

2.2 - OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- ♦ Fazer levantamento dos componentes do meio físico em escala regional (1/250.000) relativos ao substrato rochoso, ao modelado do relevo e aos solos;
- ♦ Identificar as áreas consideradas inaptas à aplicação do lodo pelo critério legal;
- ♦ Identificar cada critério do meio físico quanto às suas limitações de uso: profundidade do solo, textura superficial do solo, suscetibilidade à erosão, drenagem, relevo, pedregosidade, hidromorfismo e fertilidade;
- ♦ Classificar a capacidade de uso das áreas para disposição final do lodo pelo critério do meio físico;
- ♦ Compatibilizar os resultados obtidos pela seleção da área considerando as restrições legais com os fatores ambientais;
- ♦ Elaborar mapa final com a indicação das classes de uso das áreas, com as devidas considerações sobre os aspectos ambientais e legais.

3 - REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

A revisão bibliográfica apresenta as bases teóricas para a compreensão e tomada de decisões concernente ao sistema de disposição final do lodo produzido em estação de tratamento de esgoto. Os temas abordados tratam das alternativas de disposição final de lodo, com destaque para a disposição agrícola; da qualidade do lodo e os tratamentos empregados para atingir tal qualidade; dos atos normativos e legais referentes ao emprego do lodo no solo; da caracterização do lodo da ETE Goiânia bem como de sua utilização na recuperar áreas degradadas; e dos aspectos ambientais observados quando da aplicação do lodo com fins agrícolas.

3.1 - PRODUÇÃO DO LODO EM SISTEMA DE LODO ATIVADO

O tratamento dos efluentes domésticos tem como objetivo alcançar a qualidade ambiental, preservando os cursos d'água e minimizando os impactos ambientais que este poluente pode causar. Para atingir a qualidade especificada em norma própria, o tratamento é realizado em etapas: preliminar, primária, secundária e terciária, cada uma com sua finalidade específica e empregada em diferentes tipos de tratamentos.

Cada etapa tem uma função e tecnologia específicas no tratamento do esgoto. Conforme Von Sperling (2005), a etapa preliminar é empregada na remoção de sólidos grosseiros por gradeamento; a etapa primária que é realizada em decantadores com auxílio de polímeros, tem como objetivo a remoção de sólidos sedimentáveis e, como consequência do processo empregado remove também parte da matéria orgânica, tendo como subproduto o lodo primário; a etapa secundária, que geralmente emprega processo biológicos, tem como objetivo a remoção de matéria orgânica e eventualmente de nutrientes como fósforo e nitrogênio, gerando o lodo secundário ou biológico; e a etapa terciária, responsável pela remoção de poluentes específicos, como organismos patogênicos, metais pesados, compostos não biodegradáveis, dentre outros, além dos resíduos não removidos nas etapas anteriores.

Das alternativas tecnológicas disponíveis para o tratamento de esgoto, o sistema de lodo ativado tem sido muito empregado por suprir a necessidade de elevada qualidade no tratamento dos efluentes gerados em grande volume nos grandes centros urbanos e pela restrição de áreas para a construção do sistema. Agregada a vantagem, Von

Sperling (2002) destaca que este sistema possui maior flexibilidade de operação em menor área ocupada. Contudo, devido ao índice de mecanização superior ao de outros sistemas, sua operação é delicada e demanda por controle de laboratório, conferindo maiores custos de operação, além de gerar maior volume de lodo quando comparada à filtração biológica.

O sistema lodo ativado consiste em um processo biológico onde o esgoto e o lodo ativado³ são misturados, agitados e aerados (em tanques de sedimentação), para posterior separação do lodo ativado por sedimentação em decantadores.

Segundo Sobrinho (2002), no reator biológico os microorganismos utilizam a matéria orgânica presente no esgoto, obtendo energia para suas atividades e como fonte de matéria prima para a sua reprodução. Tais microorganismos permanecem em flocos, que são também matéria orgânica, e por isso devem ser separados do efluente tratado, evitando comprometimento da qualidade do tratamento. Este sistema apresenta algumas variantes relacionadas à idade do lodo, ao fluxo e ao afluente à etapa biológica, e, em função destas, são classificadas em aeração modificada, lodos ativados convencional e aeração prolongada. Cada sistema de lodo ativado produz lodo com diferentes características.

O sistema de lodo ativado convencional, sistema de tratamento a ser empregado na estação objeto de estudo, não funciona com aeração, apresentando em sua estrutura, conforme Von Sperling (2002): decantador primário, onde é retirada parte da matéria orgânica sedimentável no intuito de reduzir o volume do reator biológico; reator biológico; e decantador secundário, conforme fluxograma apresentado na Figura 1.

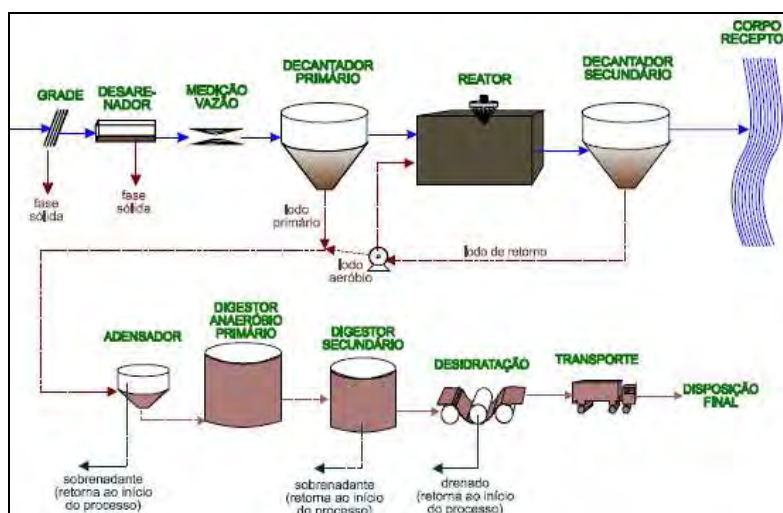


Figura 1- Fluxograma de um sistema de tratamento de esgoto por lodo ativado convencional
Fonte: Von Sperling (2002)

³ Floco produzido no esgoto bruto ou decantado pelo crescimento de bactérias zooléias ou outros organismos, na presença de oxigênio, e acumulado em concentração suficiente graças ao retorno de outros flocos previamente formados (JORDÃO; PESSÔA, 2005).

Conforme Von Sperling e Gonçalves (2001) e Sobrinho (2002), o tratamento primário precede o tratamento biológico e a eficiência de remoção de sólidos varia de 50 a 60%, enquanto a remoção de DBO fica em torno de 25 a 35%. Nesta etapa o lodo começa a ser produzido, de modo que os sólidos removidos por sedimentação do esgoto bruto formam o lodo primário, que nada mais é que o esgoto sanitário com os seus materiais orgânicos e inorgânicos em suspensão, porém, mais concentrados e mais agressivos que o próprio esgoto necessitando de tratamento para estabilização da matéria orgânica e diminuição do volume.

Segundo os mesmos autores, quando adicionados sais metálicos no decantador primário verifica-se melhor eficiência na remoção de sólidos em suspensão, que passa a ser superior a 75%, e na remoção de DBO, que atinge 65%. De acordo com Jordão e Pessoa (2005), ao empregar a adição de reagente químico para acelerar a sedimentação do processo primário, este passa a ser denominado como tratamento quimicamente assistido e tem como subproduto o lodo químico, que é aumentado de 15 a 30% de seu volume em relação ao tratamento primário convencional. Este tipo de tratamento tem sido utilizado como solução provisória em ETE's que tem construída apenas a etapa primária, a exemplo da ETE Goiânia.

Em todo o sistema de tratamento de esgoto, o lodo é o subproduto de maior destaque devido suas características e volume gerado. Embora se apresente com 98 % de água, o lodo é classificado como resíduo sólido pela NBR 10.004 (ABNT, 2004). De acordo com a citada norma, resíduo sólido é:

“[...] todo resíduo em estado sólido ou semi-sólido resultante de atividades da comunidade, seja de origem industrial, doméstica, de serviços de saúde, comercial, agrícola ou de varrição, além dos lodos provenientes das estações de tratamento de esgoto e água.” (ABNT, 2004, pág 01)

Andreoli (2001) destaca ainda que o lodo apresenta-se, geralmente, em forma líquida ou líquido semi-sólido, contendo normalmente entre 0,25 a 12% de sólidos, dependendo da operação e processo utilizado.

3.2 - TRATAMENTO E QUALIDADE DO LODO DE ESGOTO DOMÉSTICO

A tecnologia de tratamento empregada na fase líquida, bem como as unidades adotadas nesta, é determinante na composição do lodo (ROCHA; SHIROTA, 1999), assim como a fonte geradora da água residuária, a exemplo da presença de metais pesados, sais,

pesticidas, detergentes e tóxicos orgânicos oriundos de indústrias e da rede de drenagem urbana (SINGH; AGRAWAL, 2008) e da presença de patógenos indesejáveis como estreptococos, *Salmonella sp.*, *Shigella sp.*, larvas e ovos de helmintos, protozoários (cistos) e vírus (entovírus e rotavírus), que refletem as condições de saúde da população (FERREIRA; ANDREOLI, 1999).

Antes de dispor este subproduto, algumas operações são necessárias visando a estabilização, a redução do volume e dos riscos que alguns compostos podem causar ao meio ambiente e à saúde pública.

No processo de estabilização do lodo, Fernandes e Souza (2001) destacam que o resíduo tem duas características indesejáveis atenuadas: o odor e o conteúdo de patógenos. Isto ocorre em decorrência do lodo, em seu estado natural, ser rico em organismos patogênicos putrescíveis que desenvolvem odores ofensivos rapidamente (LUDUVICE, 2001).

Miki *et al.* (2002) acrescentam à estas duas características o potencial de putrefação devido e indica como meio para atingir a estabilização a redução biológica do conteúdo de sólidos voláteis, a oxidação química da matéria orgânica, a adição de produtos químicos no lodo de modo a impedir a sobrevivência dos microrganismos e aplicação de calor para desinfetar ou estabilizar o lodo.

Embora a digestão anaeróbia⁴ seja o processo mais comum em estações de médio e grande porte, conforme Miki *et al.* (2002), a estabilização por cal é a tecnologia adotada pela ETE Goiânia, além de ser considerada por Czechowski e Marcinkowski (2006) como mais eficazes na decomposição da matéria orgânica do que as outras formas de estabilização, resultando em lodo próprio à aplicação agrícola, preferencialmente em solos ácidos. Neste processo, a adição de cal eleva o pH do lodo acima ou igual a 12, criando um meio que não permite a sobrevivência dos microrganismos, impedindo a geração de odores, a putrefação do lodo e os riscos à saúde.

Já o processo de redução de volume é realizado pelo processo de desaguentamento que reduz o teor de umidade do lodo. Gonçalves *et al.* (2001) destacam, contudo, que a capacidade de remoção da água está diretamente relacionada ao tipo de sólido e à forma pela qual a água está ligada às partículas do lodo. Alguns dos processos empregados na

⁴ Os processos de estabilização são classificados em: biológica, que utiliza bactérias específicas para promover a estabilização da fração biodegradável da matéria orgânica, empregando os processos de digestão aeróbia ou anaeróbia; e química, que promove a estabilização mediante a oxidação química da matéria orgânica, por meio da adição de produtos químicos; e térmica, onde o calor atua na fração volátil (LUDUVICE, 2001).

desidratação são os leitos de secagem, as lagoas de lodo, as centrífugas, as prensas desaguadoras e os filtros prensas.

Para Malta (2001), as principais razões para se realizar desaguamento são: a redução do custo de transporte para o local de disposição final; a melhoria nas condições de manejo do lodo; o aumento do poder calorífico do lodo por meio da redução de umidade com vistas a preparação para incineração; e a redução de volume para disposição em aterro sanitário ou uso na agricultura.

Portanto, a seleção do processo de desaguamento depende do tipo de lodo e da área disponível. Conforme Gonçalves *et al.* (2001), este processo de separação sólido-líquido utilizando centrífugas, método empregado na ETE Goiânia, utiliza forças externas para separar o sólido da suspensão líquida, com força centrífuga de 500 a 3.000 vezes superior à da força da gravidade. Este método é, segundo Miki (2001), umas das principais opções de tratamento nos Estados Unidos da América do Norte e também no Brasil e sua eficiência de remoção de umidade está relacionada à concentração de sólidos voláteis no lodo e ao uso de polímeros.

Complementar a estes processos, o processo de higienização objetiva eliminar ou reduzir a densidade de microrganismos patogênicos e é, segundo Passamani e Gonçalves (1999), uma etapa de tratamento do lodo que assume grande importância quando a alternativa para disposição final do produto for a reciclagem agrícola ou, conforme Pinto (2001), em parques e jardins que têm maior exigência sanitária do que outras alternativas de disposição.

A calagem é um dos processos mais eficientes para a eliminação dos patógenos no lodo, além de atuar na estabilização e na desodorização do mesmo (PASSAMANI; GONÇALVES, 1999). Compreendendo um processo de estabilização e desinfecção química, a calagem resulta da adição e mistura ao lodo de cal, para alcalinização brusca do meio, elevando o pH em níveis ligeiramente superiores a 12, o que torna o meio impróprio à sobrevivência e desenvolvimento dos patógenos presentes no lodo.

Percebe-se que a cal, como outros processos empregados no tratamento do lodo desempenham, por vezes, mais de uma função, a exemplo da adição de cal empregada tanto no processo de estabilização como no de higienização do lodo.

Todas as tecnologias de tratamento do lodo servem para garantir e atender ao padrão de qualidade e proteção à saúde da população e do meio ambiente.

3.3 - ALTERNATIVAS DE DISPOSIÇÃO FINAL PARA O LODO

Segundo Fytli e Zabaniotou (2008), as últimas décadas têm presenciado uma grande mudança na forma de disposição final do lodo, sendo as últimas tendências em matéria de gestão de lodo, a combustão, oxidação, pirólise, gaseificação e combustão de co-produção de lodo de esgoto com outros materiais para posterior utilização como fonte de energia, têm gerado significativo interesse científico.

No entanto, as alternativas de disposição final de lodo de esgoto atualmente em uso são: o uso agrícola como bio sólido seja na aplicação direta do solo, como fertilizante ou ainda aplicação em plantações florestais; reuso na indústria como agregado leve na fabricação de tijolos e cerâmicas e produção de cimento; recuperação de solos seja na recuperação do solo em áreas degradadas ou em áreas de empréstimos; e disposição em aterros, que podem ser exclusivos ou por co-disposição com resíduos sólidos urbanos (TSUTIYA, 2001).

A disposição em aterro sanitário é uma alternativa para o lodo cujas características físico-químicas sejam inadequadas aos usos praticados, podendo ser viabilizada em duas modalidades, segundo Luduvic e Fernandes (2001):

- ♦ Aterros sanitários exclusivos – onde somente o lodo é disposto. Neste caso o lodo deve possuir alto teor de sólidos (>30%) ou ser seco termicamente;
- ♦ Co-disposição com resíduos sólidos urbanos – onde o lodo é disposto junto aos resíduos sólidos domiciliares, desde que o aterro seja construído com adaptações para o recebimento do mesmo.

O lodo de esgoto pode ser empregado na indústria numa mistura de 30% de lodo com argila para a fabricação de tijolos, e de 5 a 8% de lodo para fabricação de tijolos para acabamento (TSUTIYA, 2001). Esta experiência é realizada desde 1979 na África do Sul em escala industrial e apresenta como vantagem a economia de água, tijolos mais leves, menores custos com transporte e melhor rendimento operacional da fornalha devido ao poder calorífero do lodo.

Musse (2007) desenvolveu uma pesquisa voltada ao aproveitamento da cinza do lodo de esgoto da ETE Goiânia e constatou que é possível substituir de 5 a 10% do cimento portland por cinza de lodo de esgoto na argamassa de concreto aproveitando este resíduo na construção civil com ganho ecológico, técnico e econômico.

Tsutiya (2001) destaca, ainda, o uso na fabricação de cerâmica vermelha, que ainda demanda por estudos, e na produção de cimentos, além de servir como combustível auxiliar dos fornos, em virtude de seu poder calorífero.

Quanto a restauração de áreas degradadas, associada à busca de solução para o problema do grande volume de lodo gerado na China, Pengcheng *et al.* (2008) pesquisaram os efeitos da aplicação deste resíduo em taludes de rodovias recém construídas, bem como os efeitos sobre a espécie vegetal utilizada para recobrimento da área, o azevém (gramínea). O estudo demonstrou que a qualidade do solo foi alterada, aumentando a disponibilidade de nitrogênio, potássio e matéria orgânica, melhorando a capacidade de troca catiônica e do teor de água e diminuindo a densidade do solo. Verificou-se ainda a acumulação de cobre e zinco, e por estes estarem presentes em maior quantidade, retardaram a absorção de cádmio pela planta, favorecendo seu desenvolvimento.

Pengcheng *et al.* (2008) destacam também que mesmo se tratando de um talude novo, íngreme e com pouca vegetação, o transporte de sedimento e de metais pesados pelo escoamento superficial ocasionado pela água pluvial não representou uma preocupação, já que a pesquisa foi realizada em uma região semi-árida. De acordo os mesmos, após a aplicação do lodo o escoamento superficial diminuiu significativamente devido ao aumento da cobertura de azevém e a melhoria da estrutura do solo que acelerou a infiltração da água precipitada, diminuindo, assim, a enxurrada.

No Brasil muitas pesquisas foram e são desenvolvidos no âmbito do aproveitamento do lodo para disposição final no solo, seja para produção agrícola ou na recuperação de áreas degradadas, como as realizadas por:

- ♦ Nuvolari e Coraucci Filho. (2003) que pesquisaram os resultados na massa específica aparente pós-queima de tijolos cerâmicos maciços fabricados com lodo e cinzas de lodo de esgoto;
- ♦ Bezerra et al (2006) que verificaram a viabilidade da aplicação do lodo, produzido pela Estação de Tratamento de Esgoto do Aeroporto Internacional do Rio de Janeiro, à revegetação de uma área degradada do próprio aeroporto;
- ♦ Faria e Santos (2007) que avaliaram a utilização do lodo tratado (biossólido) como fertilizante e condicionador de solo em plantações florestais em áreas com o solo degradado por cascalheiras e extrações diversas, entre outros;

- ♦ Campos e Alves (2008) que estudaram a influência do lodo de esgoto na recuperação de propriedades físicas de um Latossolo Vermelho degradado, cultivado com eucalipto e braquiária no município de Selvíria, MS;

- ♦ Kitamura *et al.* (2008), que pesquisaram ações para acelerar a formação do horizonte A de um Latossolo Vermelho degradado, via uso de adubos verdes, lodo de esgoto e cultivo de uma espécie arbórea nativa de Cerrado; e

- ♦ Godoi *et al.* (2008a) que pesquisaram o potencial de uso do lodo de esgoto, produzido na Estação de Tratamento de Esgoto (ETE) de Goiânia, na recuperação de uma área degradada.

Em solos onde a fertilidade natural é impactada pelo manejo inadequado, o uso do lodo de esgoto mostrou-se favorável à reconstituição do solo e dos macroorganismos e macrofauna, conforme experimento realizado em latossolo vermelho por Kimamura *et al.* (2008).

Já o uso lodo associado ao replantio da vegetação em áreas degradadas com o intuito de restituí-las, ofereceu bons resultados como os apresentados por Campo e Alves (2008) que relatam a restauração das propriedades físicas do solo após a aplicação do lodo, proporcionando mais rendimentos de matérias verde e seca da braquiária (gramínea), promovendo maior crescimento das plantas de eucalipto e melhorando a porosidade total e a macroporosidade como indicadores da recuperação do solo.

Estes mesmos resultados positivos para a restauração das propriedades físicas e químicas do solo e para o crescimento das plantas após a adição de lodo de esgoto como restaurador de áreas degradadas foram constatados por Bezerra *et al.* (2006), Godoi *et al.* (2008a), De Maria (2007), Caldeira Júnior *et al.* (2007a) e Caldeira Júnior *et al.* (2007b).

Segundo Bittencourt *et al.* (2009), o uso do lodo de esgoto na agricultura é uma das principais alternativas de destino final em nível mundial e a agenda 21 em seu capítulo 21 trata da gestão dos resíduos do saneamento, apresentando como diretrizes principais: (I) a redução da produção, (II) a reciclagem, (III) a adoção de outras formas de disposição e (IV) a ampliação da oferta destes serviços.

Piveli *et al.* (2009) pontuam a importância da adição de matéria orgânica em solos tropicais que têm como característica a profundidade e baixa fertilidade.

Quando aplicado no solo com fins agrícolas, uma das preocupações está relacionada à dosagem ideal do lodo em função da carga de metais em sua composição.

Por esta razão as pesquisas desenvolvidas com o lodo em diversas culturas são feitas testando várias dosagens para se determinar a dosagem ideal.

A eficiência agronômica do lodo quando comparada ao fertilizante mineral atingiu uma superioridade de 21% em termos de produtividade de milho em latossolo vermelho distrófico em trabalho realizado por Lemainski e da Silva (2006) para o lodo produzido pela Companhia de Saneamento Ambiental (CAESB), de Brasília, DF.

Em pesquisa realizada por Chiba (2005) avaliando a eficiência do lodo aplicado à plantação de cana-de-açúcar constatou-se a necessidade de adicionar 75% da dose de fósforo recomendada para atingir rendimentos similares ao da adubação mineral.

O lodo produzido na ETE Goiânia também foi foco de pesquisa e, segundo Godoi *et al.* (2008a), os resultados demonstraram que o lodo aplicado ao solo promoveu efeito favorável ao desenvolvimento das plantas e à cobertura do solo quando comparado à adubação mineral, o que torna viável essa prática com o resíduo do tratamento do esgoto de Goiânia, GO.

Cabe ressaltar, todavia, que a escolha da alternativa de disposição do lodo requer o conhecimento de alguns aspectos ressaltados por Ferreira e Andreoli (1999) como a produção e caracterização do lodo gerado na estação de tratamento, que dependem diretamente da tecnologia de tratamento empregada, da presença de esgotos industriais no sistema de coleta e efluente de origem desconhecida levados pelos caminhões limpa fossa, da quantidade do lodo que é gerada na estação de tratamento e de características especiais que possam interferir no sistema de disposição final do lodo.

Além disso, devem-se considerar os custos/benefício. No caso da disposição agrícola, a distância entre a área de produção do lodo e da área/local onde será feito o aproveitamento do lodo.

Alguns autores como CONDER (2001), Crespo (2006), Lima e Guimarães (2001) e Silva e Pinheiro (2010) empregaram em estudos direcionados à escolha de áreas para construção de aterros sanitários para disposição de resíduos sólidos urbanos, a distância máxima de 20 km para o transporte a partir do ponto gerador do resíduo, de modo a não onerar os custos com transporte.

Quanto ao transporte do lodo de esgoto, também considerado resíduo sólido pela NBR 10.004 (ABNT, 2004), Ilhenfeld, Pegorini e Andreoli (1999) consideram a distância do transporte o maior fator limitante sob o aspecto econômico para a viabilidade de seu uso agrícola. Para solucionar este problema, procuraram encontrar a distância viável

a ser percorrida a partir do teor de umidade do lodo, estabelecendo uma relação teor de sólidos e a quantidade de nutrientes contidos no lodo, de modo que uma carga de 10 t de lodo, calado a 50%, com teor de umidade de 85% possui 8,5 t de água, 0,5 t de cal virgem e apenas 1 t de matéria seca.

Com base nos valores históricos dos nutrientes no lodo (N, K e P), Ilhenfeld, Pegorini e Andreoli (1999) estabeleceram uma relação entre o teor de umidade (quantidade de nutrientes) e a distância economicamente viável: para o lodo disponibilizado a 100% de sólidos, um raio de transporte de 200 km; a 50%, raio de 100 km; a 20%, raio de 40 km; e a 2%, raio de apenas 4 km. Assim, o que importa é a quantidade de matéria seca que se aplica ao solo, podendo-se traduzir a razão existente entre teor de sólidos e distância máxima do transporte segundo a equação:

$$D = 2 \times SL \quad \text{Eq. (1)}$$

onde:

D = distância máxima (km); e

SL = teor de sólidos no lodo (%)

Silva *et al.*(2002) também defendem que a distância máxima de transporte do lodo deve ser proporcional à sua capacidade fertilizadora, ou seja, para que haja vantagem no uso do lodo na agricultura o valor total de nutrientes contidos em uma massa definida de material deve ser igual ao custo do frete para o seu transporte.

A distância para o transporte do lodo pode ser calculado considerando outras variáveis que também podem alterar os custos com a aplicação agrícola do lodo, como o tipo de veículo utilizado, as condições das estradas, a distância e o tipo de produto (CANZIANE *et al.*, 1999).

Muitas pesquisas têm sido desenvolvidas no âmbito de avaliar as melhores alternativas, bem como os impactos derivados da utilização do lodo enquanto resíduo, evitando, assim, a sua disposição em aterros sanitários.

3.4 - NORMAS LEGAIS SOBRE DISPOSIÇÃO FINAL DO LODO

A Lei 11.445/2007 (BRASIL, 2009) estabelece diretrizes para o saneamento e amplia a concepção do que vem a ser saneamento básico, tendo como princípios a universalização do acesso; a integralidade dos serviços (atendimento conforme necessidade e maximização da eficácia das ações e resultados); abastecimento de água, esgotamento sanitário, limpeza urbana e manejo dos resíduos sólidos (do qual o lodo faz parte)

realizados de formas adequadas à saúde pública e à proteção do meio ambiente; eficiência e sustentabilidade econômica; utilização de tecnologias apropriadas; integração das infra-estruturas e serviços com a gestão eficiente dos recursos hídricos, dentre outros.

A Política Nacional de Resíduos Sólidos - Lei 12.305/2010 (BRASIL, 2010) - sancionada em agosto de 2010, estabelece os princípios, os objetivos, as diretrizes, os instrumentos, as responsabilidades, as metas e as ações a serem adotados pelo Governo Federal de forma isolada ou em cooperação com Estados, Distrito Federal, Municípios ou particulares, visando à gestão integrada e o gerenciamento ambientalmente adequado dos resíduos sólidos. Esta lei, contudo, aguarda por regulamentação.

Anterior a esta lei, o Estado de Goiás regulamentou a Política Estadual de Resíduos Sólidos com a Lei n.º 14.246/2002, e o Ministério do Meio Ambiente por meio do Conselho Nacional de Meio Ambiente regulamentou a disposição do lodo no solo pela Resolução 375/2006 do MMA, ambos respaldados pela Lei 6.938/1981 que dispõe sobre a Política Nacional de Meio Ambiente. Além destas, há outras normatizações instituídas pela Associação Brasileira de Normas Técnicas e que tem sido seguida pelos órgãos ambientais e pelo setor de saneamento.

Conforme visto em Goiás (2002) cabe aos municípios a responsabilidade pela gestão dos resíduos sólidos, contudo, esta deve ser feita preferencialmente integrada e com a cooperação do Estado. Esta lei estabelece ainda que os geradores devem elaborar seu próprio plano de gerenciamento dos resíduos e, embora a Política Estadual de Resíduos Sólidos especifique alguns dos resíduos gerados, não trata especificamente sobre o lodo.

Até o momento a gestão do lodo, quando este é destinado à agricultura ou em recuperação de áreas degradadas, a Resolução 375 (CONAMA, 2006) é o ato normativo que trata do assunto.

Segundo este ato o lodo oriundo de tratamento de efluentes de instalações hospitalares; portos e aeroportos; resíduos do gradeamento, desarenador; material lipídico sobrenadante de decantadores primários, caixas de gordura e reatores anaeróbios; de sistema de tratamento individual, coletados por veículos; lodo não estabilizado; e lodo classificado como perigosos pelas normas brasileiras vigentes ficam proibidos de serem dispostos com finalidade agrícola.

Quanto aos fatores e padrões de qualidade do lodo exige que seja feita a caracterização do lodo a ser disposto no solo, considerando os seguintes aspectos:

potencial agronômico (Tabela 1), substâncias inorgânicas (Tabela 2) e orgânicas potencialmente tóxicas, indicadores bacteriológicos e agentes patogênicos e estabilidade.

Tabela 1 - Parâmetros do potencial agronômico a serem caracterizados no lodo segundo a resolução 375 (CONAMA, 2006)

Potencial Agronômico
Carbono Orgânico
Fósforo Total
Nitrogênio Kjeldahl
Nitrogênio Amoniacal
Nitrogênio nitrato/nitrito
pH em água
Potássio Total
Sódio Total
Enxofre Total
Cálcio Total
Magnésio Total
Umidade
Sólidos Voláteis Totais

Fonte: Conama (2006)

Tabela 2- Substâncias inorgânicas exigidas na caracterização química do lodo e os respectivos limites máximos para uso agronômico segundo a resolução 375 (CONAMA, 2006)

Substâncias Inorgânicas	Concentração máxima em (mg/kg, base seca)
Arsênio	41
Bário	1300
Cádmio	39
Chumbo	300
Cobre	1500
Cromo	1000
Mercúrio	17
Molibdênio	50
Níquel	420
Selênio	100
Zinco	2800

Fonte: Conama (2006)

Quando da caracterização, a Resolução prevê o limite máximo de algumas substâncias, como apresentado na Tabela 2. Para a caracterização quanto à presença de agentes patogênicos e indicadores bacteriológicos deverão ser determinadas as concentrações de coliformes termotolerantes, ovos viáveis de helminto, *salmonella*, e vírus entéricos. O lodo é também classificado pela Resolução 375 (CONAMA, 2006) em função da quantidade de patógenos presentes (Tabela 3).

Tabela 3- Classificação do lodo em função das características bacteriológicas e patogênicas de acordo a resolução 375 (CONAMA, 2006)

Tipo de Lodo ou Produto Derivado	Concentração de Patógenos
CLASSE A	Coliformes Termotolerantes < 10 ³ NMP/g de ST Ovos Viáveis de Helmintos < 0,25 ovo/g de ST <i>Salmonella</i> ausência em 10g de ST Vírus < 0,25 UFP ou UFF/g de ST
CLASSE B	Coliformes Termotolerantes < 10 ⁶ NMP/g de ST Ovos Viáveis de Helminto < 10 ovos/g de ST

Fonte: Conama (2006)

OBS.: ST: Sólidos Totais;

UFF: Unidade Formadora de Foco;

NMP: Número Mais Provável;

UFP: Unidade Formadora de Placa

O lodo classe A pode ser aplicado em qualquer cultura, desde que respeitado as seguintes restrições: pastagem, após 24 meses da última aplicação; olerícolas, tubérculos, raízes e demais culturas cuja parte comestível entre em contato com o solo bem como cultivos inundáveis, respeitado um período de 48 meses após a última aplicação para início do cultivo.

O lodo classe B, possui maior restrição, podendo ser utilizado apenas no cultivo de café, silvicultura, culturas para produção de fibras e óleos. Além de ter seu uso restrito, o lodo classe B, segundo Conama (2006), somente poderá ser aplicado ao solo pelos 5 anos subsequentes à publicação da Resolução, ou seja, até 2011. Após este prazo, o lodo deverá atender às exigências do lodo classe A.

Além do padrão de qualidade do lodo, algumas restrições ambientais, expressas no art. 15, são feitas quanto às características físicas em relação à aplicação do lodo tais como:

- “I - em unidades de conservação, com exceção das Áreas de Proteção Ambiental-APA;
- II - em Área de Preservação Permanente-APP;
- III - em Áreas de Proteção aos Mananciais-APMs definidas por legislações estaduais e municipais e em outras áreas de captação de água para abastecimento público, a critério do órgão ambiental competente;
- IV - no interior da Zona de Transporte para fontes de águas minerais, balneários e estâncias de águas minerais e potáveis de mesa, definidos na Portaria DNPM nº 231, de 1998;
- V - num raio mínimo de 100 m de poços rasos e residências, podendo este limite ser ampliado para garantir que não ocorram incômodos à vizinhança;
- VI - numa distância mínima de 15 (quinze) metros de vias de domínio público e drenos interceptadores e divisores de águas superficiais de jusante e de trincheiras drenantes de águas subterrâneas e superficiais;
- VII - em área agrícola cuja declividade das parcelas ultrapasse:
 - a) 10% no caso de aplicação superficial sem incorporação;
 - b) 15% no caso de aplicação superficial com incorporação;

c) 18% no caso de aplicação subsuperficial e em sulcos, e no caso de aplicação superficial sem incorporação em áreas para produção florestal;

d) 25% no caso de aplicação em covas;

VIII - em parcelas com solos com menos de 50 cm de espessura até o horizonte C;

IX - em áreas onde a profundidade do nível do aquífero freático seja inferior a 1,5 m na cota mais baixa do terreno; e

X - em áreas agrícolas definidas como não adequadas por decisão motivada dos órgãos ambientais e de agricultura competentes.

§ 1º O lodo de esgoto ou produto derivado poderão ser utilizados na zona de amortecimento de unidades de conservação, desde que sejam respeitados as restrições e os cuidados de aplicação previstas nesta Resolução, bem como restrições previstas no Plano de Manejo, mediante prévia autorização do órgão responsável pela administração da unidade de conservação.

§ 2º No caso da identificação de qualquer efeito adverso decorrente da aplicação de lodos de esgoto ou produto derivado realizada em conformidade com esta Resolução, e com vistas a proteger a saúde humana e o ambiente, as autoridades competentes deverão estabelecer, imediatamente após a mencionada identificação, requisitos complementares aos padrões e critérios insertos nesta Resolução (CONAMA, 2006, p. 8).”

3.5 - SISTEMA DE CLASSIFICAÇÃO DAS TERRAS PARA DISPOSIÇÃO DO LODO

O sistema de classificação das terras objetiva fazer uso de cada parcela da terra de acordo com sua capacidade de sustentação produtiva e econômica, para que os recursos naturais sejam colocados à disposição do homem para seu melhor uso e benefício, procurando ao mesmo tempo preservar estes recursos para as gerações futuras (LEPSCH *et al.*, 1991).

Partindo deste princípio, Souza *et al.* (1994) adaptaram o sistema de classificação do solo para o aplicação do lodo, estabelecendo os fatores ambientais, dentre eles alguns parâmetros edáficos, geomorfológico resultado da interação entre eles (solo e relevo).

De acordo Souza *et al.* (2008), a aptidão do solo para o uso do lodo deve considerar:

- ♦ **Profundidade do solo** – por ser um meio filtrante, o solo influencia a lixiviação dos componentes do lodo e, conseqüentemente, a contaminação do lençol freático. Assim, solos profundos apresentam menos riscos de translocação e distribuição do lodo e de seus subprodutos pelo perfil do solo;

- ♦ **Textura do solo** – Está diretamente relacionada à capacidade de filtração e à facilidade de percolação do lodo pelo perfil do solo. Solos muito arenosos permitem a lixiviação de componentes com muita facilidade em razão da alta permeabilidade, enquanto os solos argilosos dificultam sobremaneira a drenagem;

♦ **Capacidade de infiltração e percolação, hidromorfismo e drenagem do solo** – Se o lençol freático for muito próximo à superfície do solo, as chances de contaminação aumentam. Da mesma forma, solos mal drenados ou hidromórficos tendem a criar condições de anaerobiose favoráveis à manutenção de alguns patógenos que são prejudiciais à biodegradação da matéria orgânica. Estes tipos de solos ocorrem nas cabeceiras e margens dos rios, e apresentam lençol freático muito próximo à superfície, eventualmente aflorando em determinadas épocas do ano, apresentando alto risco de contaminação dos corpos hídricos;

♦ **Estrutura do solo** – refere-se, segundo Lepsch (2002), ao tamanho, forma e aspecto do conjunto dos agregados do solo. Quando missivas, restringem o movimento da água, a penetração das raízes e a aeração do solo. A restrição à infiltração da água facilita o transporte do lodo por erosão, enquanto que a falta de aeração diminui a velocidade de biodegradação do lodo;

♦ **Declividade do terreno** – As características do relevo estão associadas à velocidade do escoamento superficial das águas da chuva. Assim, a aplicação do lodo nestas áreas favorece o transporte deste material para os cursos d'água ou sua acumulação em áreas mais baixas; e

♦ **Suscetibilidade à erosão** – Está associada ao risco de transporte dos componentes do lodo por escoamento superficial. A avaliação dos riscos à erosão é feita pela associação das características do relevo com as características do solo.

Na Tabela 4 encontra-se apresentado um resumo dos fatores ambientais, adaptados de Souza *et al.* (2008), e as respectivas características ambientais e grau de limitação de cada um.

Tabela 4 - Aspectos ambientais e devidas características considerados na classificação das Terras para disposição agrícola do lodo e os respectivos graus de limitação

SIGLA	ASPECTO	CARACTERÍSTICA	GRAU DE LIMITAÇÃO	CLASSE
PR	Profundidade	Latossolos, cambissolos ou argissolos profundos	0 – Nulo	I
		Cambissolos ou argissolos pouco profundos	2 – Moderado	II
		Cambissolos ou argissolos rasos	3 – Forte	III
		Neossolos litólicos ou outras unidades de solos rasos	4 – Muito Forte	V
TE	Textura Superficial	Textura argilosa, de 35 a 60% de argila	0 – Nulo	I
		Textura muito argilosa, superior a 60% de argila	1 – Ligeiro	II
		Textura média, de 15 a 35% de argila	2 – Moderado	III

SIGLA	ASPECTO	CARACTERÍSTICA	GRAU DE LIMITAÇÃO	CLASSE
		Textura siltosa, inferior a 35% de argila e inferior a 15% de areia	3 – Forte	IV
		Textura arenosa, inferior a 15% de argila. Solos com presença de cascalho	4 – Muito Forte	V
ER	Suscetibilidade à erosão	Solos em relevo plano ou latossolos argilosos em relevo ondulado	0 – Nulo	I
		Outros solos em relevo ondulado	1 – Ligeiro	II
		Solos textura média ou siltosa em relevo suave ondulado. Solos com textura argilosa em relevo ondulado. Solos de textura muito argilosa em relevo ondulado	2 – Moderado	III
		Solos de textura média ou arenosa e/ou caráter abrupto em relevo ondulado. Solos de textura muito argilosa em relevo forte ondulado. Solos de textura argilosa em relevo forte ondulado	3 – Forte	IV
		Solos de textura média em relevo forte ondulado. Relevo montanhoso ou escarpado independente da classe textural. Solos com presença de cascalho	4 – Muito Forte	V
DR	Drenagem	Solos excessiva a fortemente drenados	0 – Nulo	I
		Solos acentuadamente drenados	1 – Ligeiro	II
		Solos bem a moderadamente drenados	2 – Moderado	III
		Solos imperfeitamente drenados	3 – Forte	IV
		Solos mal a muito mal drenados	4 – Muito Forte	V
RE	Relevo	Relevo plano, declividade de 0 a 3%	c	I
		Relevo suave ondulado, declividade de 3 a 8%	1 – Ligeiro	II
		Relevo ondulado, declividade de 8 a 20%	2 – Moderado	III
		Relevo forte ondulado, declividade de 20 a 45%	3 – Forte	IV
		Relevo montanhoso ou escarpado, declividade superior a 45%	4 – Muito Forte	V
PD	Pedregosidade	Solos sem fase pedregosa	0 – Nulo	I
		Solos sem fase pedregosa com presença de cascalho	2 – Moderado	III
		Solos com citação de pedregosidade	4 – Muito Forte	V
HI	Hidromorfismo	Solos sem indicação de hidromorfismo	0 – Nulo	I
		Solos com caráter gleico	2 – Moderado	III
		Solos hidromórficos	4 – Muito Forte	V
FE	Fertilidade	Solos distróficos e álicos com horizonte A moderado ou fraco	0 – Nulo	I
		Solos com horizonte A proeminente e eutrófico com A moderado	1 – Ligeiro	II
		Solos com horizonte A chermozêmico ou antrópico	2 – Moderado	III
		Solos com horizonte A húmico	3 – Forte	IV
		Solos com horizonte turfoso ou solo orgânico	4 – Muito Forte	V

Fonte: Adaptado de Souza *et al* (2008)

3.6 - CARACTERÍSTICAS DO LODO DA ESTAÇÃO DE TRATAMENTO DE ESGOTO DR. HÉLIO DE SEIXO BRITO

A Estação de Tratamento de Esgoto (ETE) Dr. Hélio de Seixo Brito, localizada em Goiânia, foi idealizada para atender a dois objetivos distintos: integrar o Sistema de Esgotamento Sanitário de Goiânia, captando e afastando os esgotos sanitários domésticos; e contemplar a recuperação e melhoria do rio Meia Ponte.

A ETE Goiânia, como também é denominada, tem capacidade para tratar os esgotos de 75% da população de Goiânia, operando com uma vazão média de 1.100 L/s, de acordo Silva e Silva (2005). Idealizado para tratar o efluente pelo Sistema de Lodo Ativado, o esgoto recebido atualmente é tratado pelo processo denominado de Tratamento Primário Quimicamente Assistido.

Em decorrência do grande volume de esgoto tratado e, conseqüentemente, do volume de lodo produzido diariamente pelo processo de tratamento primário quimicamente assistido, surge uma demanda por áreas de grandes dimensões para sua disposição final.

Após o tratamento do esgoto, o lodo gerado como subproduto é bombeado até um tanque de armazenamento onde é recalcado para centrífugas para o processo de desaguamento. O lodo é acondicionado quimicamente por meio da adição de um polímero de modo a favorecer a separação dos materiais sólidos dos líquidos antes de ser encaminhado à centrifugação (GODOI, 2008b).

Após ser desaguado, o lodo, que passa a ter teor médio de sólido de 30%, é transportado em esteira até um misturador, onde recebe cal virgem para elevar seu pH para 12. Após estabilização química, segue para contêiner antes de ser transportado para o destino final.

Trabalhos publicados por Sant'Anna *et al.* (2007) e Silva e Carvalho (2007) indicam que o teor de sólidos desse lodo varia de 33% e 35%, respectivamente. No Relatório Mensal de Operação da ETE (SANEAGO, 2010), os testes de teor de sólidos chagaram a registrar 40,6% de teor de sólidos, dia 26 de julho de 2010, e 28,6% em 19 do mesmo mês e ano. A média do teor de sólidos, considerando as análises dos meses de julho e agosto de 2010 foi de 32,2%.

Ainda em pesquisa realizada por Godoi (2008b), os exames bacteriológicos demonstraram que o índice de coliformes fecais encontrado nas amostras do lodo de esgoto da ETE Goiânia é menor que 3,44 NPM g-1 (número mais provável por grama de matéria

seca) e as análises químicas apresentaram os seguintes teores médios de metais tóxicos são apresentadas na tabela 5.

Tabela 5 – Teores médios de metais pesados encontrados no lodo da ETE Goiânia

Metais pesados	Teores médios (mg dm⁻³)
Cd	0,47
Cr	3,97
Ni	30,35
Cu	5,25
Zn	3,17
Pb	não detectado

Fonte: Godoi (2008b).

Os demais atributos analisados e seus respectivos valores médios estão representados na tabela 6.

Tabela 6- Valores médios dos atributos verificados no lodo da ETE Goiânia

Atributos	Valores médios
MO	4,15%
P	14,05 mg dm ⁻³
Ca	31,65 cmol _c dm ⁻³
Al	0 cmol _c dm ⁻³
CTC	43,55 cmol _c dm ⁻³
V	73,2%
pH	11,95
K	57,75 mg dm ⁻³
Mg	0,1 cmol _c dm ⁻³
H + Al	11,7 cmol _c dm ⁻³
M	0%

Fonte: Godoi (2008b).

3.7 – DISPOSIÇÕES AGRÍCOLAS EM ÁREAS DEGRADADAS REALIZADAS COM O LODO DA ETE GOIÂNIA

3.7.1 – Recuperação de área degradada na Fazenda Quati

A primeira experiência de disposição no solo do lodo da ETE Goiânia foi realizada na Fazenda Quati, localizada no município de Abadia de Goiás, Goiás, à margem direita da BR 060, a 22 km de Goiânia (PCA, 2005). Esta fazenda encontra-se na parte

mais elevada do rio Dourados, na microbacia do ribeirão Quati, nas coordenadas geográfica 16°45'26" S e 49°26'15" W, a 898m de altitude.

A área, com 48 ha, apresentava-se degradada pela retirada de cascalho com a remoção do horizonte A do solo até uma profundidade de 2m (Figura 2). O solo estava desnudo e compactado, e apresentava alto risco de instalação de processos erosivos devido as condições topográficas do terreno (PCA, 2005).



Figura 2 - Vista da área lavrada/degradada na Fazenda Quati
Fonte: Faria & Santos (2007)

Conforme o Plano de Controle Ambiental (2005), os solos caracterizavam-se ainda pela presença de latossolo vermelho amarelo concrecionário, com presença de concreções ferruginosas, baixa fertilidade natural, baixos teores de carbono orgânico e de nitrogênio, associados a solos plintossolos de textura argilosa, localizados em áreas planas onde a vegetação natural dominante era o cerrado; solos mais rasos, geralmente de caráter eutrófico, com argissolos e cambissolos; e aluviões cujos solos são hidromórficos com depósitos explorados pela indústria de cerâmica da região.

Ainda segundo PCA (2005), a recomposição da área foi feita com aplicação do lodo à taxa de aplicação⁵ de 60 t.ha⁻¹.ano⁻¹, aplicado em faixas de 1m nas linhas de plantio, como fonte de matéria orgânica e nutrientes (Figuras 3 e 4), realizadas 30 dias antes do

⁵ Em todas as áreas onde foi aplicado o lodo de esgoto da ETE, a taxa de aplicação foi calculada em função da quantidade necessária de nutrientes e micro-nutrientes para a cultura e o valor máximo permitido pela legislação em relação ao teor de metais pesados e outros parâmetros. A aplicação máxima anual de lodo e produtos derivados em toneladas por hectare não deve exceder o quociente entre a quantidade de nutrientes recomendada para cultura (kg/ha), segundo a recomendação agrônômica oficial e o teor de nutrientes disponível no fertilizante orgânica (kg/t).

transplante de mudas para a área, e posteriormente incorporados ao solo por escarificação. As mudas plantadas para recobrir a área foram compostas por vegetal exótica, formada por extrato arbóreo (*Eucalyptus sp.*).



Figura 3 – Vista da aplicação do lodo na Fazenda Quati
Fonte: Faria & Santos (2007)

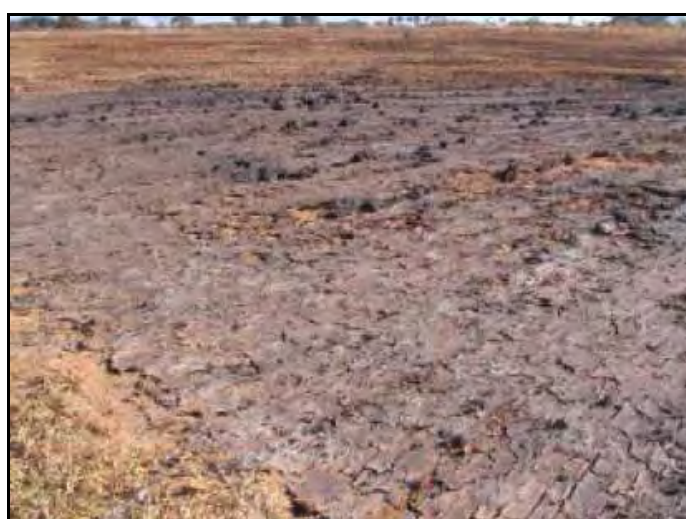


Figura 4 – Solo após espalhamento do lodo na Fazenda Quati
Fonte: Faria & Santos (2007)

Dentre as atividades associadas à recuperação da área degradada na fazenda Quati estavam:

- ♦ Terraceamento em locais com variação de declividade (Figura 5), visando a interceptação do escoamento superficial das águas pluviais, aumentando a capacidade de infiltração e armazenamento de água no solo;



Figura 5 - Vista de área da fazenda Quati após reconformação do terreno
Fonte: Faria & Santos (2007)

- ♦ Escarificação para gerar melhores condições de aeração e infiltração;
- ♦ Incorporação de matéria orgânica e nutrientes por meio da aplicação de lodo de esgoto no solo;
- ♦ Revegetação com plantio de *Eucalypto urophylla* (Figura 6).



Figura 6 – Vista de áreas plantadas com eucaliptos em 2007
Fonte: Faria e Santos (2007)

Em função da pouca área existente para aplicação do lodo quando considerada a quantidade de lodo gerado pela ETE Goiânia, a disposição nesta área foi por período de 3,5 meses.

3.7.2 – Recuperação de área degradada na Fazenda Porções dos Dourados

A Fazenda Porções dos Dourados também se localiza em Abadia de Goiás, Goiás, na rodovia BR 060, km 10, margem direita, zona rural. Pertence, assim como a Fazenda Quati, à bacia do rio Dourados, na microbacia do ribeirão Quati. Distante 31,5 km da ETE, localiza-se nas coordenadas planas X 669.274 e Y 8.148.527 UTM, situada a 885 m de altitude (RMA, 2005).

Com área de 42,35 ha, a aplicação do lodo na fazenda teve como objetivo recuperar área degradada pela retirada de cascalho em profundidade variável, não superior a 2m. Os solos compactados possuíam baixas concentrações de nutrientes, com vegetação composta por gramíneas, pastagem (*Brachiaria sp.*) e alguns trechos de solos desnudos.

A aplicação foi a uma taxa de 76,93 t/ha/ano e teve monitoramento antes e durante a aplicação do lodo, não apresentando qualquer interferência negativa sobre a qualidade das águas superficiais, subterrâneas ou no solo, promovendo um ganho agrônômico relevante para a recuperação desta área degradada, com re-introdução de gramíneas. A disposição do lodo não atraiu vetores e não foram observadas alterações negativas em relação ao meio biótico.

3.7.3 – Recuperação de área degradada na Fazenda Vereda

A fazenda Vereda localiza-se no município de Aragoiânia, Goiás, situada na GO 219, km 12 (sentido Guapó/Aragoiânia). A Fazenda possui uma área total de 291,78 ha, tendo sido disponibilizado para a aplicação do lodo uma área equivalente a 152,59 ha. Distante 45,66 km da ETE Goiânia, a fazenda situa-se na bacia do rio dos Bois, na microbacia Posse, entre as coordenadas geográficas 16°51'55,63" / 49°26'20,06" N; 16°53'26,50" / 49°26'29,20" S; 16°52'33,81" / 49°27'44,51" E; 16°52'13,26" / 49°26'04,25" W, numa altitude de 850m, (PGA, 2007).

Ainda conforme o Plano de Gestão Ambiental (2007), o solo era acentuadamente compactado, com grande escoamento superficial, reduzida concentração de nutrientes e alguns trechos tomados por cupins e cepas do cultivo de eucalipto. Tendo como solos dominantes os latossolos argiloso-arenosos, homogêneos, profundos e secos, localizados em superfícies planas. Sua cobertura vegetal era rala do tipo pastagem (*Brachiaria sp.*), com poucas árvores remanescente e com alguns trechos de solos desnudos.

O lodo foi aplicado a uma taxa de 92 t/ha (base seca), totalizando 14.038,28 t de lodo (base seca), numa área disponível para aplicação de 152,59 ha, que foi dividida em parcelas de aproximadamente 1 ha, totalizando 152 parcelas, por período de aplicação de 456 dias.

3.7.4 – Recuperação de área degradada na Fazenda Hospital

A Fazenda Hospital situa-se na zona rural do município de Abadia de Goiás, Goiás, com acesso pela margem direita da GO-040, km 19,5 (sentido Goiânia/Aragoiânia), na bacia do rio Dourados, coordenadas planas 668500/8141500 norte, 670000/81415000 sul; 669000/8142500 leste, 669000/8140000 oeste, numa altitude de 844m (PGA, 2008).

Localizada a aproximadamente 40,36 km da ETE Goiânia, a fazenda possui área total de 79,7501 ha, dos quais aproximadamente 48,08 ha foram utilizados para implantação do projeto.

De acordo com o Plano de Gestão Ambiental (2008), a atividade pecuarista é praticada na propriedade e os solos da área disponibilizada para aplicação do lodo estavam compactados e apresentavam grande escoamento superficial, reduzida concentração de nutrientes e alguns trechos tomados por capim, tendo como solos dominantes: latossolos argiloso-arenosos homogêneos, profundos, secos localizados sobre as superfícies planas; solos hidromórficos próximo aos cursos d'água, localmente orgânicos, constituindo áreas com lençol mais raso e vegetação ciliar típica. Segundo o mesmo, o solo se caracterizava ainda pela baixa fertilidade natural, baixos teores de carbono orgânico e de nitrogênio.

O lodo foi aplicado à taxa de 36,52 t/ha (base seca) e, assim como em todas as outras áreas degradadas onde foi aplicado o lodo de esgoto da ETE Goiânia, teve monitoramento antes, durante e após⁶ a aplicação do lodo, não sendo constatada nenhuma alteração de impacto negativo nos níveis de substâncias inorgânicas tanto no solo como na água superficial e subterrânea.

⁶ O monitoramento papos finalizada a aplicação do lodo foi efetivada pelo período de 1 ano, segundo informações verbais da servidora da ETE Goiânia, Shirely.

3.8- CARACTERÍSTICAS DO MEIO FÍSICO DA ÁREA DE ESTUDO

3.8.1 - Clima da área de estudo

O Estado de Goiás está inserido na área classificada pela proposta de Köppen como Tropical Quente Subúmido (AW), possuindo duas estações bem definidas:

- ♦ Estação seca, que inicia no mês de maio com índices pluviométricos médios de 32,1 mm, findando no mês de agosto com 1,4 mm; e
- ♦ Estação úmida, que inicia em outubro com índices pluviométricos médios de 143,8 mm, findando em março com 199,8 mm.

Existem entre estas duas estações períodos de transição, sendo um no mês de abril, do período chuvoso para o seco, quando os índices pluviométricos médios são de 104,4 mm, e outro no mês de setembro, do período seco para o chuvoso, com índices pluviométricos médios de 44,20 mm.

As Figuras 7 e 8 apresentam as médias de temperatura máxima e precipitação média mensal dos municípios de Goiânia e Anápolis, respectivamente, demonstrando as variações climáticas características em todos os municípios envolvidos na pesquisa.

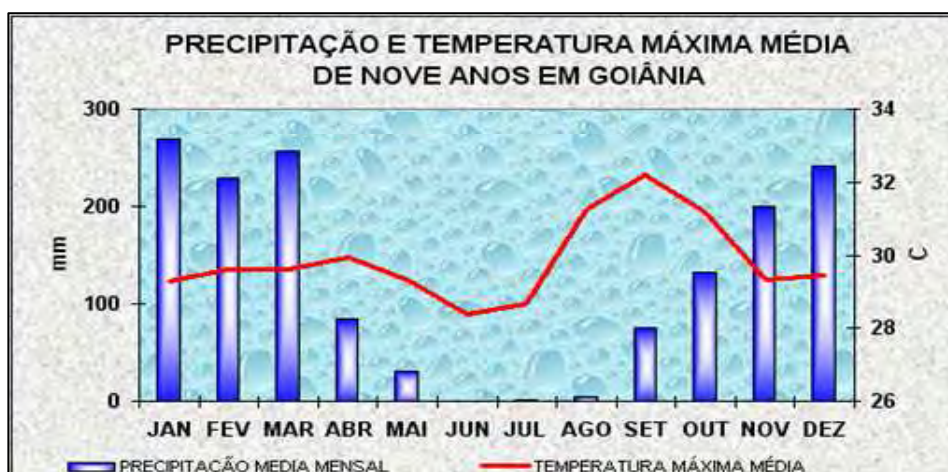


Figura 7– Médias da temperatura máxima e da precipitação média mensal de Goiânia
Fonte: Sistema de Meteorologia e Hidrologia do Estado de Goiás (2010)

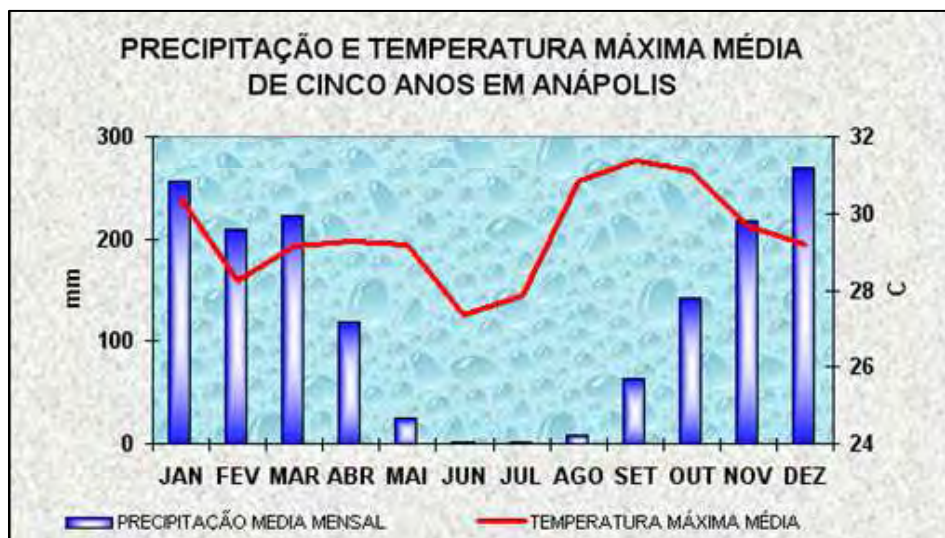


Figura 8– Médias da temperatura máxima e da precipitação média mensal de Anápolis
Fonte: Sistema de Meteorologia e Hidrologia do Estado de Goiás (2010)

O município de Anápolis possui maiores índices pluviométricos e menores temperaturas se comparadas às registradas em Goiânia, embora essas variáveis demonstrem semelhanças quanto ao comportamento nas diferentes estações do ano (úmida e seca). A temperatura tende a aumentar a partir do mês de agosto, com pico no mês de setembro, quando voltam a declinar, mantendo oscilações entre 28 e 30° C até os meses de abril ou maio. Já a precipitação inicia a partir do mês de setembro, tendo os maiores registros nos meses de dezembro e janeiro, voltando a declinar a partir abril, com períodos críticos nos meses de maio a agosto. Nos meses de junho e julho, quando são registradas baixas precipitações, ou mesmo ausente, e baixa umidade relativa do ar, são também os meses onde se registram as menores temperaturas.

3.8.2 - Geologia da área de estudo

A área estudada situa-se nos Domínios Geotectônicos do Maciço Mediano de Goiás, considerado o embasamento cratônico das faixas de dobramentos Brasileiros, e da Faixa de Dobramento Uruaçu (MORETON, 1994), que se diferenciam tanto no tempo (Arqueano e Mesoproterozóico, respectivamente) quanto na natureza litológica (Figura 9).

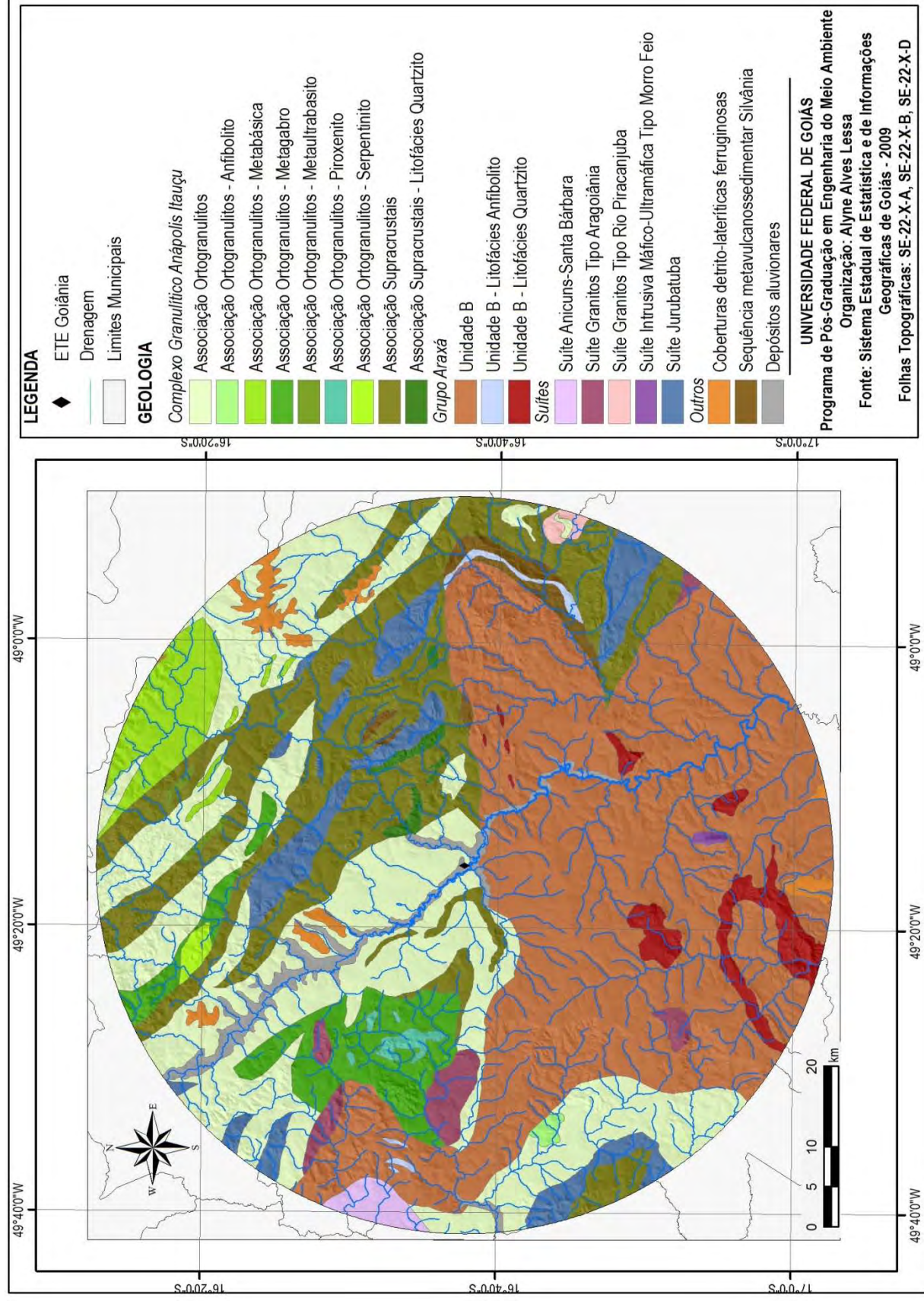


Figura 9 – Mapa da estrutura geológica e respectivas rochas dominantes da área de estudo: Domínios geotectônicos Maciço Mediano de Goiás. Fonte: Modificado do Sistema Estadual de Estatística e de Informação Geográfica de Goiás (2009)

Ao norte da área de estudo, no Maciço Mediano de Goiás (Figura 10), situa-se a unidade litoestratigráfica Complexo Granulítico Anápolis Itauçu que, segundo Moreton (1994), compreende uma faixa de rochas granulíticas de alto grau de metamorfismo com grande diversidade litológica como os hornblenda-piroxênio gnaisses, granulitos básicos bandados, gabro-piroxênios granulitizados, etc, inclusive metassedimentos como quartzitos impuros, rochas calcissilicáticas, mármore impuros, gonditos e gnaisses sílico-aluminosos. Apresenta diversas fases de deformação ostentando geometria e padrão estrutural diversos, caracterizados por alinhamentos estruturais de direções NE-SW e NW-SE subordinando, em grande parte, os cursos d'água.

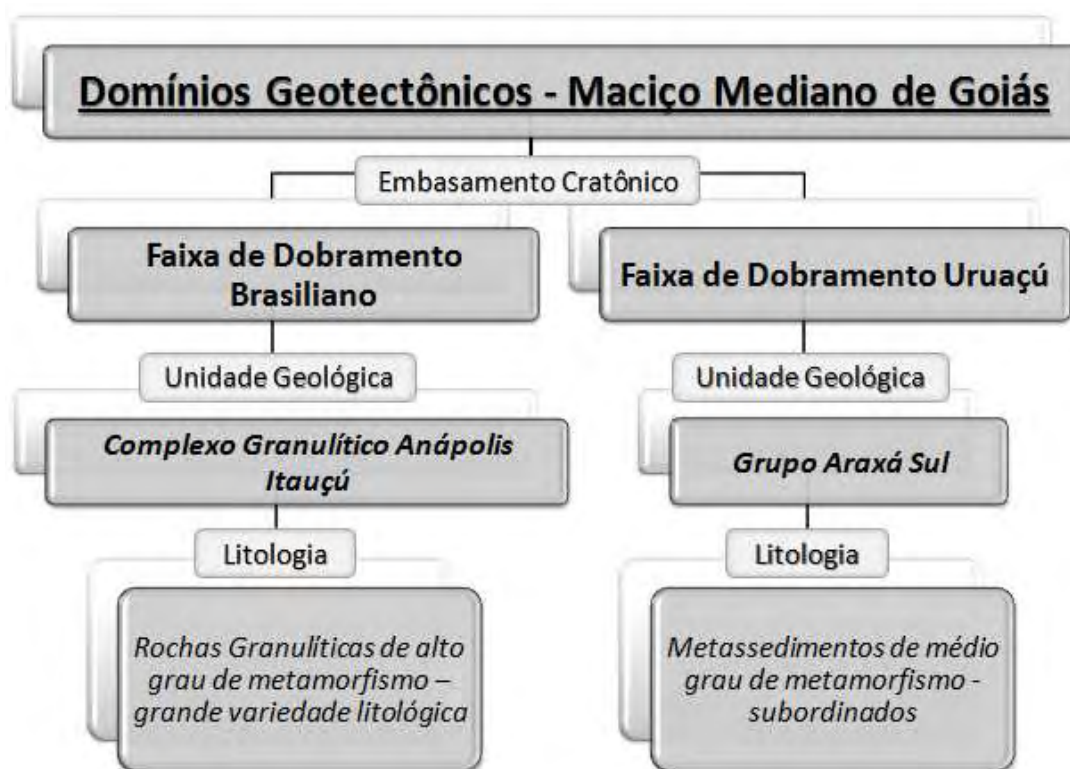


Figura 10 - Fluxograma dos domínios geotectônicos e Embasamento Cratônico presentes na área de estudo, com suas respectivas Unidades geológicas e Litologias dominantes.

O Grupo Araxá Sul, Unidade representativa do sul da área estudada, caracteriza-se por metassedimentos de médio grau de metamorfismo constituindo extensas áreas cobertas por micaxistos e, subordinadamente, quartzitos e rochas carbonáticas (Moreton, 1994). Este grupo foi classificado em quatro tipos de litoambientes dentro do domínio marinho-litorâneo: A, B, C e D, sendo que destas, apenas a Unidade B é representada na área de pesquisa.

A Unidade B é definida por uma seqüência pelítica marinha, constituída por calci-clorita-biotita xistos, calci-clorita-biotita xistos feldspáticos, calcigranada-biotita-quartzo xistos feldspáticos, granada-clorita xistos, hornblenda-granada xistos feldspáticos, grafita xistos, lentes de metacalcários, quartzitos micáceos e, subordinadamente, lentes de anfibolito.

3.8.3 - Geomorfologia da área de estudo

As Superfícies Regionais de Aplainamento (SRA), predominantes na área, são entrecortadas por Zonas de Erosão Recuante (ZER), a norte e oeste, e por Relevo de Morros e Colinas (MC), a oeste e sul, demonstrando a forte tendência aos processos denudacionais a que a área está submetida, como se pode observar na Figura 11.

Esta característica é pertinente ao Estado de Goiás que se configura como uma unidade denudacional (GOIÁS, 2005), gerada pelo arrasamento/aplainamento de uma superfície dentro de determinado intervalo de cotas onde o aplainamento ocorreu de forma relativamente independente dos controles geológicos regionais (litologias e estruturas), ou seja, a SRA não respeita, na sua distribuição espacial, os limites litológicos ou estilos estruturais, seccionando diversas unidades geológicas.

Destarte, as superfícies de aplainamento se distribuem pelas diferentes altitudes⁷ da seguinte maneira:

- ♦ Nas cotas até 600m, encontra-se a SRA-IVB, com relevo pouco dissecado, associados a relevo pertencente à Bacia do Paraná e, secundariamente, a rochas pré-cambrianas com sistemas lacustres associados;
- ♦ Nas cotas entre 700 e 800m encontra-se a SRA-IIIA cujo relevo apresenta média dissecção, desenvolvidas também sobre rochas pré-cambrianas;
- ♦ Nas cotas entre 800 e 1160m se desenvolvem SRA com diferentes graus de dissecção, todas em rochas pré-cambrianas. As dissecções variam entre forte, média e fraca, no sentido oeste-leste, respectivamente, sendo a de fraca dissecção pouco representada.

⁷ Os dados e mapa com as informações hipsométricas encontram-se nos resultados da presente pesquisa.

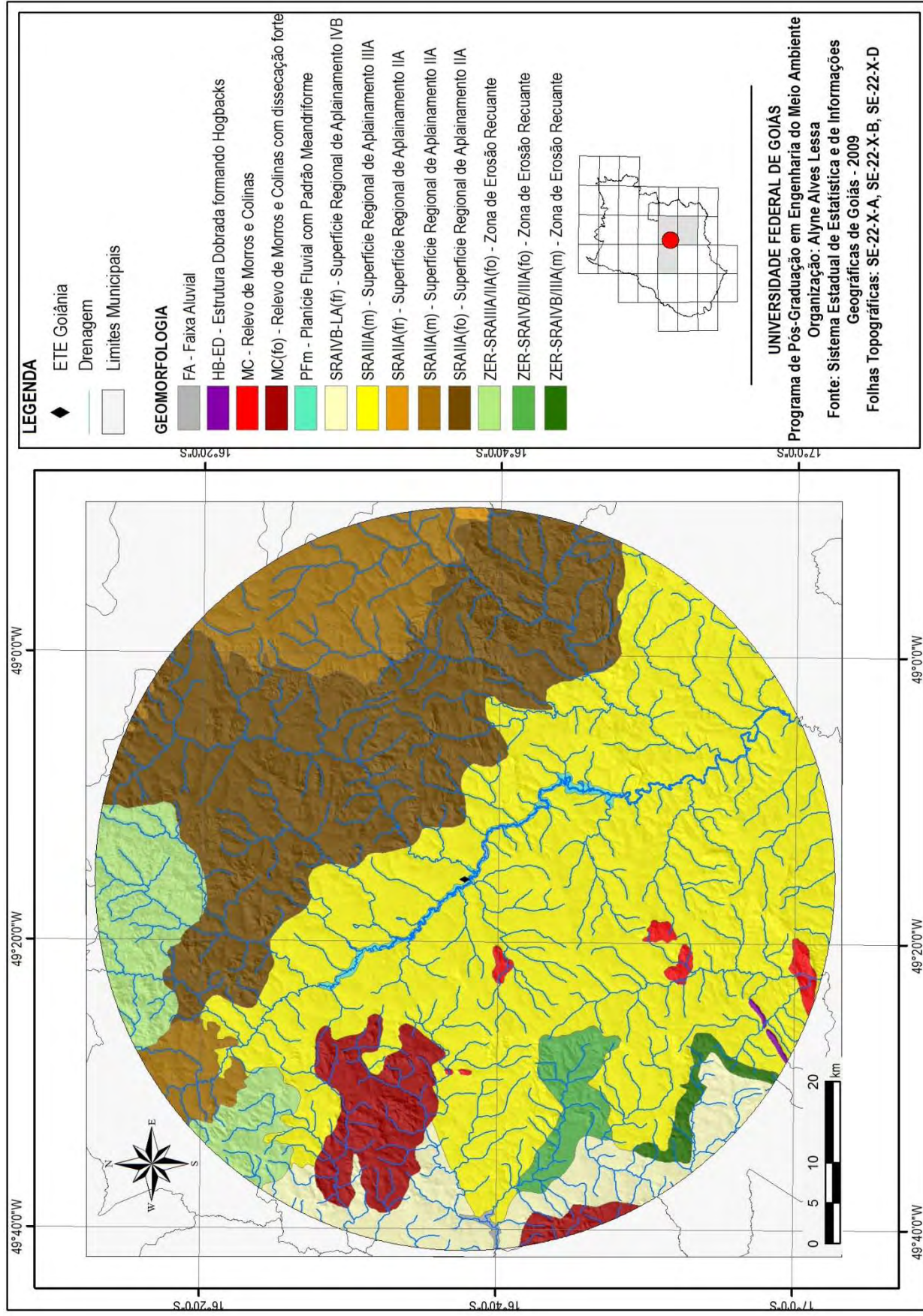


Figura 11– Mapa geomorfológico da área de estudo
 Fonte: Modificado do Sistema Estadual de Estatística e de Informação Geográfica de Goiás (2009)

Os escalonamentos em distintas cotas, freqüentes nas SRAs, fazem com que estas sejam geralmente delimitadas por escarpas de erosão. As erosões de unidades antigas, desde um nível de base inferior, podem estar associadas a redes de drenagem que evoluem por erosão recuante dissecando as superfícies de aplainamento e gerando outras SRAs (Goiás, 2005). Estas áreas são identificadas como Zonas de Erosão Recuante (ZER) e assim se distribuem na área estudada:

- ♦ A norte e noroeste é possível verificar ZER de forte grau de dissecação relacionadas à geração da SRA-IIIA e erosionando predominantemente a SRA-IIA;
- ♦ A leste encontra-se a ZER também de forte grau de dissecação, contudo, vinculada à geração da SRA-IVB e erosionando predominantemente a SRA-IIIa;
- ♦ E finalmente, a sudeste a ZER que diferencia da ZER anterior pelo grau de dissecação, que é médio.

Constata-se que a erosão recuante destas zonas atua nas SRA localizadas em maiores altitudes, contribuindo com o entulhamento das SRA de altitudes menores.

À medida que a ZER avança e o recuo das vertentes evolui, é possível identificar colinas e morros de forma mais desconexa da frente das escarpas. Goiás (2005) sustenta que essas colinas e morros configuram remanescentes de litologias resistentes à erosão que foram preservadas à medida que uma SRA evoluía com tendência recuante, muitas vezes com um forte controle estrutural (paisagens dobradas, rochas metamórficas com estruturas bem marcadas), apresentando-se como *inselbegs* que correspondem a feições menores de colinas e morros.

De tal modo, observa-se nos limites estudados, próximos às ZER, este tipo de feição que se apresenta em ambas escalas: morros e colinas com forte dissecação a noroeste e leste; e *inselbegs* com representações desde o centro-leste ao sul da limitação de estudo.

Menos representativas, mas não menos importantes, são outras três feições geomorfológicas apresentadas em detalhe na Figura 12: estrutura dobrada, formando Hogbacks⁸(HB-ED) que constitui a paisagem de pequena faixa ao sul, sendo resultado de forças tectônicas de dobramento; planície fluvial com padrão meandriforme (PFm) e faixa aluvial (FA) no curso do rio Meia Ponte, formadas pela deposição dos materiais transportados pelo rio, localizadas nas menores altitudes onde as declividades favorecem a deposição deste material.

⁸ Hogback: estrutura inclinada semelhante a uma *cuesta*, na qual o mergulho é superior a 30° (GOIÁS, 2005).

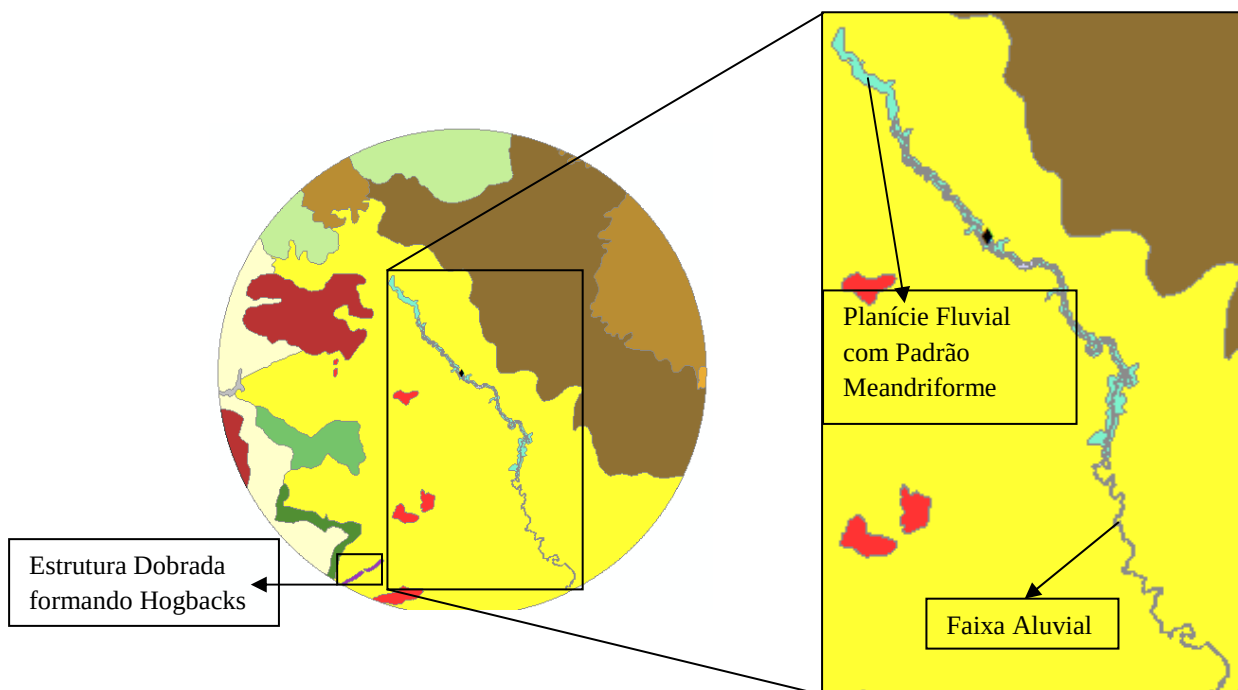


Figura 12 – Detalhe das feições geomorfológicas HB-ED, PFm e FA

Fonte: Modificado do Sistema Estadual de Estatística e de Informação Geográfica de Goiás (2009)

3.8.4 - Solos da área de estudo

Por se tratar de um terreno com relevo predominantemente plano a ondulado, de 0 a 20%, os latossolos, argissolos e cambissolos são dominantes na área, como apresentado na Figura 13.

Os latossolos são os solos de maior abrangência, ocorrendo em relevos planos e suavemente ondulados e se caracterizam pelo alto grau de desenvolvimento, atingindo profundidades raramente inferiores a 1 metro. São caracterizados por horizonte B latossólico imediatamente abaixo de qualquer um dos tipos de horizonte diagnóstico superficial, com exceção ao hístico (EMBRAPA SOLOS, 2006). Na área de estudo, estes solos são, em sua maioria, distróficos e álicos com horizonte A moderado ou fraco, sem indicação de hidromorfismo, com deficiência tanto de fertilidade como de água e apresentam textura média.

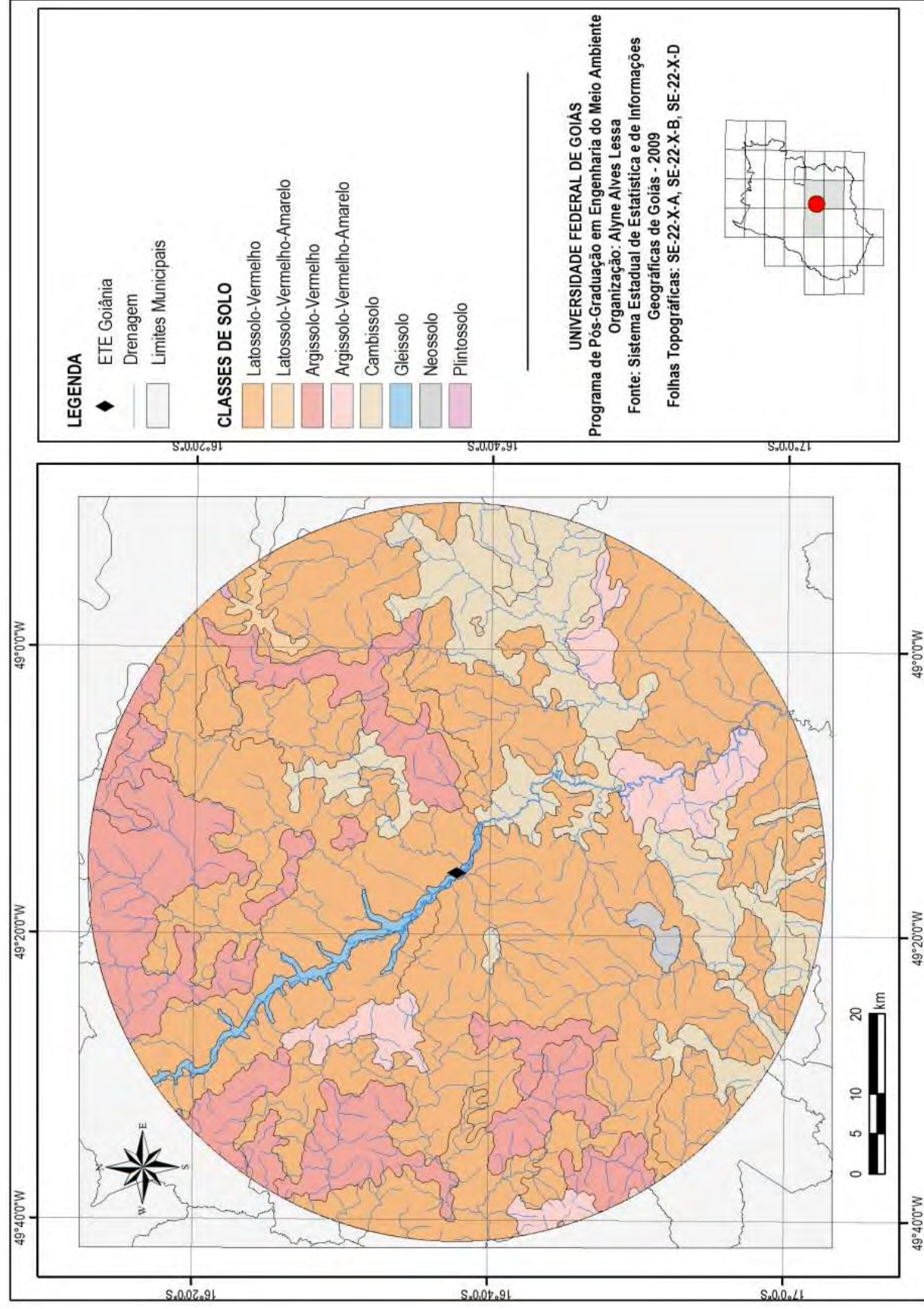


Figura 13– Mapa de solos da área de estudo
Fonte: Modificado do Sistema Estadual de Estatística e de Informação Geográfica de Goiás (2009)

Devido as suas características, tais como condições topográficas, grande espessura, elevada permeabilidade e ausência de impedimentos à mecanização, são considerados de excelente potencial ao uso intensivo, com exceção à fertilidade natural, que se configura em fator limitante ao uso agrícola (SIEG, 2010).

Os argissolos estão distribuídos em terrenos de maior declividade em relação ao latossolo, em relevo suavemente ondulado a ondulado, estando presentes tanto nas superfícies de aplainamento como em zonas de erosão recuante. Na região norte da área de estudo predomina o argissolo vermelho, e ao sul, o argissolo vermelho-amarelo.

São solos de profundidade variável, sendo que os argissolos vermelhos apresentam-se profundos e os argissolos vermelho-amarelos são profundos ou pouco profundos e bem drenados, ambos sem indicação de hidromorfismo, com texturas variando de argilosa a média, e, embora não apresente pedregosidade, verifica-se a presença de cascalho em algumas partes (SIEG, 2010).

Dependendo da textura podem ter boa ou má drenagem, e, segundo SIEG (2010), apesar de apresentarem condições para o desenvolvimento de grande variedade de vegetais climaticamente adaptados, a mecanização sofre certas restrições relacionadas, sobretudo, ao relevo e à susceptibilidade à erosão, que é intensificada à medida que o declive se torna mais acentuado. Ainda de acordo com SIEG (2010), quando distróficos apresentam também limitações quanto à fertilidade.

Devido as suas características, este solo, quando eutrófico, é utilizado para atividade pastoril, com menor ocorrência de cultivos diversos, como na região norte-noroeste de Goiânia, onde são bastante utilizados para cultura de banana, de cana-de-acúcar e alguma citricultura (IBGE, 2007).

Todos os argissolos presentes na área de estudo apresentam limitações à agricultura - suscetibilidade à erosão e impedimento à mecanização. Além dessas limitações, os argissolos localizados nas Superfícies Regionais de Aplainamento-IIA (forte dissecação) e Zona de Erosão Recuante-SRAIIA/IIA(forte dissecação), possuem também deficiência de fertilidade e, em pequena parte, de água.

Na região sul da área de trabalho, os cambissolos dominam uma faixa de sentido sudoeste-nordeste, em superfícies de aplainamento de altitudes que vão de 500 a 1160m, estando ainda presentes nas terras de hogback e em morro residual localizado no extremo sul da área. Devido a seu desenvolvimento ainda incipiente, as características desses solos estão em consonância com o material de origem. Por serem solos poucos desenvolvidos localizados em terrenos que vão desde suave ondulado a montanhoso, possuem pouca profundidade,

sendo rasos em algumas partes, com texturas que variam de argilosa a média e frequentemente cascalhentos.

As principais limitações agrícolas referem-se ao relevo - presença de fase cascalhenta, deficiência de fertilidade por serem álicos e distróficos, deficiência de água, susceptibilidade à erosão - principalmente nos terrenos mais íngremes, conferindo impedimento à mecanização.

Em menores proporções tem-se ainda a presença de plintossolos a nordeste, em relevo plano-suavemente ondulado, com citação de pedregosidade - abundante em superfície, com impedimento à agricultura devido á deficiência de fertilidade e de água por serem acentuadamente drenados; neossolo nos morros residuais e, portanto, terrenos montanhosos, são solos de textura média cascalhenta, fortemente drenados, com citação de pedregosidade; e gleissolos localizados na planície aluvial do rio Meia Ponte, são mal drenados, com lençol freático elevado na maior parte do ano, formados em superfícies deprimidas, e por isso, possuem caráter glei, apresentando como limitação agrícola a deficiência em oxigênio e impedimento à mecanização.

4 - MATERIAIS E MÉTODOS

Em função da necessidade de destinar corretamente o lodo resultante do processo de tratamento do esgoto doméstico da ETE Goiânia, esta pesquisa fundamentou-se no pressuposto metodológico de que a compreensão da fisionomia e funcionamento do meio físico, que estão marcados na formação, composição e características do solo e, por conseguinte, da paisagem, é importante fator a ser considerado enquanto critério na identificação e mapeamento de terras aptas à disposição final do lodo, com fins de uso agrícola, bem como a observância dos atos normativos e das leis existentes.

A pesquisa foi desenvolvida contemplando cinco etapas: a primeira etapa consistiu da aquisição de artigos e outros materiais textuais referentes ao tema e aos fatores empregados na pesquisa; na segunda etapa foram compilados e elaborados as bases cartográficas e mapas temáticos necessários ao desenvolvimento das etapas seguintes do trabalho; na terceira e quarta etapas foram eliminadas as áreas que apresentam restrições legais quanto à aplicação do lodo e os elaborados os mapas de aptidão para cada critério ambiental. Os produtos resultantes foram cruzados, resultando no mapa final de aptidão do solo à aplicação do lodo. A quinta e última etapa consistiu da interpretação das informações obtidas pelos mapas de aptidão dos fatores legais, dos fatores ambientais e do produto final, e da finalização da Dissertação. A Figura 14 apresenta o fluxograma que sintetiza as etapas de realização da pesquisa.



Figura 14- Fluxograma das etapas de realização da pesquisa.

4.1- AQUISIÇÃO DOS DADOS

Na primeira etapa do trabalho foi realizada revisão bibliográfica dos temas relacionados às características do lodo, alternativas de disposição final do lodo, legislação pertinente ao uso agrícola do lodo e à conservação e sustentabilidade dos recursos naturais, bem como sobre a classificação das terras no sistema de capacidade de uso, visando à análise dos problemas e à tomada de decisões quanto à fundamentação teórico-metodológica e operacional da pesquisa.

Procedeu-se ao levantamento e aquisição dos dados do meio físico em formato compatível com programas de geoprocessamento (shape file), de modo a avaliar as escalas das informações e os temas disponíveis.

Os procedimentos adotados na pesquisa bibliográfica e cartográfica consistiram no levantamento de títulos e autores, leitura e fichamentos e elaboração dos textos.

4.2- COMPILAÇÃO E ELABORAÇÃO DA CARTA BASE E DE MAPAS TEMÁTICOS NO FORMATO DIGITAL DA ÁREA DE ESTUDO

Para a realização da segunda etapa foram adotados os seguintes procedimentos:

a) Compilação dos dados digitais: esses dados, em formato shapefile, foram compilados do Sistema Estadual de Estatística e de Informações Geográficas de Goiás (SIEG, 2009) das folhas SE.22-X-A, SE.22-X-B, SE.22-X-C e SE.22-X-D, todas elaboradas pelo sistema de coordenadas geográficas Lat/Long, datum Horizontal SAD69 – Brasil, dos seguintes temas:

- ♦ Drenagens e solos – base cartográfica em escala de 1:250.000; e
- ♦ Geologia, geomorfologia e Estações de captação de água – escala 1:500.000.

b) Transformação de toda a base cartográfica: todos os dados foram transformados para o sistema de coordenadas projetadas Universal Transversal de Mercator (UTM), datum South American 1969, fuso 22 S;

c) Delimitação da área de estudo: nesta pesquisa foi utilizada a proposta de Ilhenfeld, Pegorini e Andreoli (1999), fundamentada na relação direta entre a distância máxima para transporte e teor de sólidos do lodo, de modo a não onerar os custos com transporte.

Como o teor de sólidos do lodo produzido na ETE Goiânia situa-se em torno dos 30%, o raio de estudo seria de 60 km. Contudo, em função da inexistência de dados digitais

(shapefile) do solo em escalas compatível com a adotada para o estudo (1:250.000), foi necessário reduzir o raio empregado nesta pesquisa para 46 km.

Como a distância aceitável para o transporte de resíduos sólidos urbanos é usualmente até 20 km da fonte geradora do resíduo, esta pesquisa também considerou este raio e analisou as áreas aptas a receberem o lodo de esgoto para fins agrícolas.

d) Extração das curvas de nível: foi realizada a partir do Modelo Digital de Elevação (MDE) originário da missão de mapeamento do relevo terrestre Shuttle Radar Topography Mission (SRTM) desenvolvida pela National Aeronautics and Space Administration (NASA) em parceria com a National Geospatial-Intelligence Agency (NGA) dos Estados Unidos da América do Norte no ano 2000. O MDE foi baixado do site do projeto Consortium for Spatial Information (CSI) do Consultative Group on International Agricultural Research (CGIAR), no formato GEOTIFF (16 bits), versão 4, ponto central em 17,5 S e 47,5 W, Resolução espacial de 90 metros, sistema de coordenadas geográficas e datum WGS-84;

e) Elaboração do mapa de declividade: realizado a partir dos dados altimétricos (curvas de nível). O fatiamento da grade empregado respeitou o intervalo de classes sugeridas pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE, 2007) e por Souza *et al.* (2008). Em virtude da proibição da disposição do lodo em declives superiores a 45% (CONAMA, 2006), estes foram agrupados como superior a 45%. As classes de declividade resultantes ficaram assim delimitadas:

- ♦ 0 a 3% - Relevo plano;
- ♦ 3 a 8% - Relevo suave ondulado;
- ♦ 8 a 20% - Relevo ondulado;
- ♦ 20 a 45% - Relevo forte ondulado; e
- ♦ > 45% - Relevo montanhoso a escarpado.

f) Elaboração do mapa hipsométrico: feito também a partir dos dados altimétricos gerados do MDE, tendo seus intervalos de classes gerados automaticamente pelo programa Arc Gis por quebras naturais, que resultaram em 6 intervalos:

- ♦ 583-713;
- ♦ 713-778;
- ♦ 778-838;
- ♦ 838-906;
- ♦ 906-991; e
- ♦ 991-1159.

g) Interpretação da imagem de satélite: feita a partir da imagem Landsat - 5, sensor TM, Resolução espectral de 30 metros, na elaboração do mapa de uso das terras. A área de estudo é composta pelas cenas 221/71, 221/72, 222/71 e 222/72, do mês de setembro de 2008, adquiridas gratuitamente junto ao Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE, 2009) e foram georreferenciadas no software ENVI, utilizando como referência a imagem GEOCOVER S-22-15-2000, adquirida, também gratuitamente, junto a Applied Science & Technology Project Office (NASA, 2009).

No *software SPRING10* foi criado um banco de dado, adotando a segmentação como primeiro passo para classificação das imagens. Este processo consiste na ação de agrupar pixels com características similares em termos totais e textuais, formando regiões homogêneas (Sano *et al.*, 2008). Adotou-se o valor 10 como índice de área e de similiaridade, tendo em vista a área total de estudo. O índice de área refere-se ao valor abaixo do qual duas classes serão realizadas e agrupadas numa região, enquanto o índice de similiaridade refere-se ao número de pixels necessários para que a área seja individualizada (Miranda, 2005).

Após a segmentação e extração das regiões foi realizada a classificação dos polígonos adotando-se o classificador Battacharya e posterior a classificação manual dos polígonos. Este classificador utiliza áreas de treinamento para estimar a função da densidade de probabilidade das classes identificadas no treinamento. A imagem classificada foi exportada, em formato Tiff/GeoTiff, para o *software Arc Gis*, onde foram realizadas as edições das classes, através da tipificação dos usos com classes: Área Urbana, Pastagem, Agricultura para a classe antrópica; e Cerrado, Mata, para classe de vegetação. Foi possível identificar ainda a classe água, que corresponde a áreas de pequenos reservatórios, lagos e canais de drenagem.

A fim de auxiliar a interpretação das composições coloridas foi construída uma chave de interpretação (como proposto por Assad & Sano 1993), que inclui as características tonais, texturais, geométricas das classes de uso da terra e vegetação.

Todos os mapas temáticos (solos, geomorfologia, geologia, localização) foram tratados e gerados no *software Arc Gis*, versão 9.3. As duas primeiras etapas serviram como base para o entendimento e o desenvolvimento das etapas seguintes.

4.3- EXCLUSÃO DAS ÁREAS DE RESTRIÇÃO POR RECOMENDAÇÕES TÉCNICA E LEGAL

Antes de iniciar a confecção do mapa de aptidão segundo as potencialidades do meio físico (fatores ambientais), procedeu-se à checagem das áreas consideradas inaptas pela Resolução 375/06 (CONAMA, 2006), que preserva da disposição do lodo:

a) As Unidades de Conservação, conforme definido pelo Sistema Nacional de Conservação da Natureza (BRASIL, 2000), inseridas na área e cadastradas pela Secretaria Estadual de Meio Ambiente e Recursos Hídricos (SEMARH) e Instituto de Meio Ambiente e Recursos Hídricos (IBAMA), exceto as Áreas de Proteção Ambiental (APA). Tais informações foram adquiridas pelo SIEG (2009);

b) As Áreas de Preservação Permanente (APP) assim delimitada pelo Código Florestal (BRASIL, 1965) e empregadas na pesquisa:

- ♦ As massas de água identificadas no mapeamento de uso do solo, de modo a englobar outros atributos do código como: os lagos, as lagoas, os reservatórios naturais e artificiais e as nascentes. Para estes foram atribuídos o valor de 100m de restrição;

- ♦ Os topos de morros, montes, montanhas, serras e encostas, ou partes delas, com declive superior a 45°, também foram preservadas da aplicação do lodo.

As faixas ao longo dos rios e cursos d'água, que embora devam ter relação direta com a largura do rio segundo o código florestal (lei 4.771/1965), foram feitas de maneira padronizada: 200m para todos os cursos d'água, atendendo à portaria MINTER n. 124/80 (Brasil, 2008) que estabelece essa distância como mínima às atividades que possuam substâncias capazes de causar poluição hídrica.

c) Os solos gelissolos, neossolos e plintossolos foram preservados da disposição por possuírem espessura menor que 50 cm até o horizonte C, como rege o inciso VIII do art. 15;

d) Raio de 100m das áreas urbanas;

Para maior segurança das populações envolvidas, foi adotado ainda um raio de 2.000m das áreas de captação de água para abastecimento público, conforme recomendação de Andreoli *et al.* (2001).

Algumas das restrições do Art. 15 (CONAMA, 2006) não foram contempladas em virtude de incompatibilidade com a escala adotada para o trabalho, como as dispostas nos incisos:

- ♦ IV - no interior da Zona de Transporte para fontes de águas minerais, balneários e estâncias de águas minerais e potáveis de mesa, definidos na Portaria DNPM nº 231, de 1998;

- ♦ V - num raio mínimo de 100 m de poços rasos e residências, podendo este limite ser ampliado para garantir que não ocorram incômodos à vizinhança;

- ♦ VI - numa distância mínima de 15 (quinze) metros de vias de domínio público e drenos interceptadores e divisores de águas superficiais de jusante e de trincheiras drenantes de águas subterrâneas e superficiais; e

- ♦ IX - em áreas onde a profundidade do nível do aquífero freático seja inferior a 1,5 m na cota mais baixa do terreno.

Por indisponibilidade de dados e informações sobre as áreas de recarga do lençol freático profundo (artesianos), estas áreas não foram aqui consideradas, sendo necessários os devidos cuidados após a escolha da área para disposição do lodo pelo órgão contratado/responsável por esta atividade. Esta observação é cabível também para os incisos da Resolução 375/06 (CONAMA, 2006) que não foram contemplados no trabalho, bem como de outro que se julgar indispensável à conservação do meio ambiente e da saúde da população envolvida.

Quanto às restrições relacionadas ao tipo de aplicação segundo a declividade do terreno, serão contempladas no estudo de classificação das terras.

4.4- CLASSIFICAÇÃO DAS TERRAS PARA APLICAÇÃO DO LODO

A elaboração do mapa de classificação das terras baseou-se no sistema de capacidade de uso (LEPSCH, 1991), empregando as adaptações realizadas por Souza *et al.* (2008) na classificação de terras destinadas à aplicação agrícola do lodo e respeitando a influência das características do lodo para cada critério ambiental.

As categorias de uso das terras foram agrupadas em três grandes grupos de capacidade, estabelecidos em função da aptidão das terras à disposição do lodo: (A) Apto, (B) Não Recomendado e (C) Inapto, os quais se subdividiram em cinco classes de aptidão baseadas no grau de limitação do uso: (I) limitação nula; (II) limitação ligeira, (III) limitação moderada, (IV) limitação forte e (V) limitação muito forte.

Para a elaboração da carta de capacidade de uso das terras, algumas adaptações foram realizadas em relação ao trabalho desenvolvido por Souza *et al.* (2008) devido às

particularidades dos fatores ambientais da área de estudo e adoção dos fatores empregados pelo IBGE (2007). As adaptações e respectivos fatores são descritas a seguir:

a) **Profundidade:** acrescentou-se aos solos rasos os solos gleissolos e plintossolo, cuja limitação indicada foi muito forte. E para os solos argissolos e cambissolos em declividades superior a 20% foi criado o grau de limitação forte, correspondendo aos Cambissolo e Argissolo rasos.

b) **Textura superficial:** devido à constituição macrosclástica presente em alguns solos da área, os solos com presença de cascalho foram classificados juntamente com os solos de textura arenosa, cuja limitação é muito forte;

c) **Drenagem:** as classes de drenagem adotadas respeitaram a ordem utilizada pelo IBGE (2007):

- ♦ Solos excessiva a fortemente drenados – limitação nula;
- ♦ Solos acentuadamente drenados – limitação ligeira;
- ♦ Solos bem a moderadamente drenados – limitação moderada;
- ♦ Solos imperfeitamente drenados – limitação forte; e
- ♦ Solos mal a muito mal drenados – limitação muito forte;

d) **Suscetibilidade à erosão:** uma das alterações ocorreu em virtude da presença de cascalho. Portanto, os solos com presença de cascalho foram englobados na classe de limitação muito forte, junto aos solos de “textura média em relevo forte ondulado e relevo montanhoso ou escarpado independente da classe textural”.

Devido à ausência de classificação para os solos de textura argilosa em relevo forte ondulado, estes foram incluídos na classe de limitação forte característicos dos solos de “textura média ou arenosa e/ou caráter abrupto em relevo ondulado e solos de textura muito argilosa em relevo forte ondulado”.

Os solos de textura muito argilosa em relevo ondulado foram considerados de limitação moderada, classe dos solos de “textura média ou siltosa em relevo suave ondulado e textura argilosa em relevo ondulado”.

e) **Pedregosidade:** em função da generalização da escala adotada, as informações obtidas a respeito do solo apresentam em um único polígono mais de uma classe de solo, sendo uma delas a dominante. Para sanar este problema quanto a pedregosidade, respeitando ao máximo as fragilidades do meio físico, optou-se por considerar esta característica para qualquer associação de solo com citação de pedregosidade e não apenas a do solo dominante.

Para os demais fatores (hidromorfismo, pedregosidade e fertilidade) não houve alteração, sendo obedecida a proposta original de Souza *et al.* (2008).

Depois de realizada a classificação das terras a partir dos elementos físicos para cada critério ambiental, foi acrescentada aos resultados obtidos as áreas eliminadas devido impedimento legal, as quais foram classificadas como de limitação muito forte, portanto, vetado ao uso agrícola do lodo.

Para gerar o mapa final da classificação das terras contendo as informações das terras aptas, restritas e inaptas à disposição do lodo os dados e informações a cerca dos fatores ambientais (profundidade, textura superficial, Suscetibilidade à erosão, drenagem, relevo, pedregosidade, hidromorfismo e fertilidade) foram cruzados

4.5- FINALIZAÇÃO DO TRABALHO

A etapa final consistiu da interpretação final dos grupos de capacidade de uso das terras e suas respectivas classes, associando-as aos aspectos ambientais que lhes conferem tal característica/aptidão, seguidas das considerações finais que abrangem recomendações e observações que não foram contempladas neste trabalho.

5 - RESULTADOS E DISCUSSÕES

A aplicação do lodo tem na Resolução 375/2006 do MMA algumas restrições com o objetivo de mitigar danos ambientais. A metodologia para exclusão das áreas consideradas inaptas pela Resolução necessita de complemento de modo a indicar as fragilidades e potencialidades do meio físico. Para isto, foi empregado o estudo dos fatores ambientais para indicar as áreas aptas, não recomendadas e inaptas à aplicação do lodo.

Neste capítulo a localização da área de estudo é apresentada e são discutidas as características relativas ao relevo, contemplando a hipsometria e a declividade; a classificação das áreas à aplicação do lodo para cada fator ambiental; e, a classificação final da área à aplicação do lodo, apresentando as áreas aptas, não recomendadas e inaptas.

5.1- LOCALIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

A área delimitada para o estudo localiza-se entre as coordenadas geográficas 16°12'35" - 17°02'54" S e 48°50'04" - 49°41'21" W. Possui aproximadamente 6.648 km² e engloba 31 municípios do Estado de Goiás. Desses municípios, quatro são representados por menos de 3% de seu território (Silvânia, Gameleira de Goiás, Varjão e Petrolina de Goiás) e treze têm 100% de seus territórios inseridos na área de estudo (Aparecida de Goiânia, Abadia de Goiás, Caldazinha, Senador Canedo, Bonfinópolis, Goiânia, Goianópolis, Goianira, Santo Antônio de Goiás, Terezópolis de Goiás, Nerópolis, Brazantes e Nova Veneza) (Quadro 1).

Quadro 1- Relação dos municípios pertencentes à área de estudo com suas respectivas áreas (totais e situadas nos limites estudados) e o percentual do território envolvido na pesquisa

MUNICÍPIOS	ÁREA TOTAL DO MUNICÍPIO (KM ²)	ÁREA MUNICIPAL SITUADA NOS LIMITES ESTUDADO (KM ²)	% DA ÁREA DO MUNICÍPIO SITUADO NA ÁREA DE ESTUDO
Abadia de Goiás	147,28	147,28	100,0
Anápolis	916,84	247,16	27,0
Aparecida de Goiânia	291,12	291,12	100,0
Aragoiânia	217,36	185,51	85,3
Bela vista de Goiás	1253,58	426,47	34,0
Bonfinópolis	121,38	121,38	100,0
Brazabrantes	124,53	124,53	100,0
Caldazinha	252,31	252,31	100,0
Campestre de Goiás	273,99	43,57	15,9
Campo Limpo de Goiás	157,35	141,25	89,8

MUNICÍPIOS	ÁREA TOTAL DO MUNICÍPIO (KM²)	ÁREA MUNICIPAL SITUADA NOS LIMITES ESTUDADO (KM²)	% DA ÁREA DO MUNICÍPIO SITUADO NA ÁREA DE ESTUDO
Caturai	206,52	170,77	82,7
Damolândia	84,17	74,41	88,4
Gameleira de Goiás	596,55	1,74	0,3
Goianápolis	161,12	161,12	100,0
Goiânia	737,57	737,57	100,0
Goianira	201,99	201,99	100,0
Guapo	515,61	253,94	49,3
Hidrolândia	942,71	530,01	56,2
Inhumas	612,95	301,77	49,2
Leopoldo de Bulhões	496,82	393,60	79,2
Nerópolis	204,27	204,27	100,0
Nova Veneza	122,77	122,77	100,0
Ouro verde de Goiás	210,47	161,92	76,9
Petrolina de Goiás	541,49	5,22	1,0
Santa Bárbara de Goiás	140,65	82,28	58,5
Santo Antônio de Goiás	134,65	134,65	100,0
Senador Canedo	245,39	245,39	100,0
Silvânia	2346,46	68,19	2,9
Terezópolis de Goiás	108,12	108,12	100,0
Trindade	711,74	705,76	99,2
Varjão	519,11	1,54	0,3

A Figura 15 apresenta a localização da área de estudo no Estado de Goiás, bem como de cada município em relação à área de estudo e da ETE Goiânia.

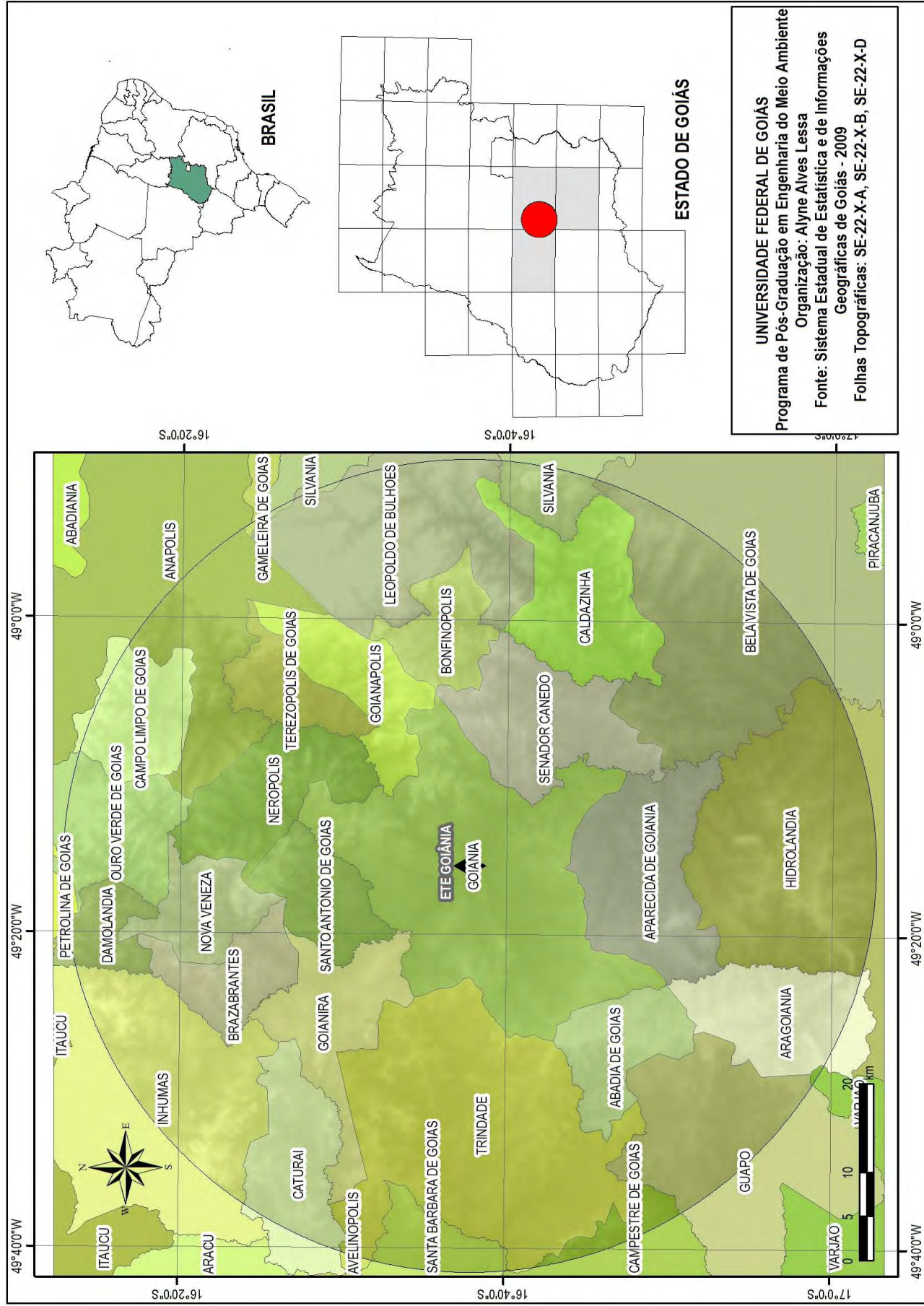


Figura 15 – Mapa de localização dos municípios pertencentes à área de estudo e da ETE Goiânia

5.2- CARACTERÍSTICAS AMBIENTAIS DA ÁREA DE ESTUDO

Ao analisar as feições geomorfológicas e a hipsométrica da área de estudo, constata-se que as menores cotas encontram-se a oeste e as maiores a leste, ou seja, ocorre um aumento da altitude direcionada de oeste para leste. Grande parte do terreno é dominada por superfícies de aplainamento. Nas maiores altitudes (800 a 1.159 m), localizadas a nordeste e extremo leste, estão as superfícies de aplainamento de maiores altitudes, e nas menores altitudes (583 a 713 m), localizadas nas proximidades do rio Meia Ponte e a oeste da área de estudo, dominam as superfícies de aplainamento de média e baixa altitudes, respectivamente. A área possui uma amplitude altimétrica de aproximadamente 600 m (Figura 16).

Já a declividade do terreno possui correlação com os diferentes graus de dissecação das feições geomorfológicas, de modo que os declives superiores a 20%, que correspondem ao relevo forte ondulado (20 – 45%) e ao montanhoso/escarpado (>45%), são predominantes nas feições de dissecação forte, ou seja, na Superfície Regional de Aplainamento – IIA (forte), na Zona de Erosão Recuante - SRA-IIA/IIA (forte), na Zona de Erosão Recuante - SRA-IVB/IIIA (forte) e nos Morros e Colinas (forte). Estas duas classes de declividade, forte ondulado e montanhoso/escarpado, correspondem a 4,3% da área total.

As declividades no intervalo de 8 a 20% (Figura 17), relevo ondulado, mesmo estando bem distribuídas pela área de estudo, predominam nas áreas de dissecação forte, com boa representação nas áreas de dissecação média: Superfície Regional de Aplainamento - IIIA (média), Superfície Regional de Aplainamento – IIA (média) e Zona de Erosão Recuante - SRA-IVB/IIIA (média).

As menores declividades, relevo plano (de 0 a 3%) e suavemente ondulado (de 3 a 8%), estão presentes em todas as feições geomorfológicas, predominando na Superfície Regional de Aplainamento – IIIA (média) e Superfície Regional de Aplainamento – IVB (fraca).

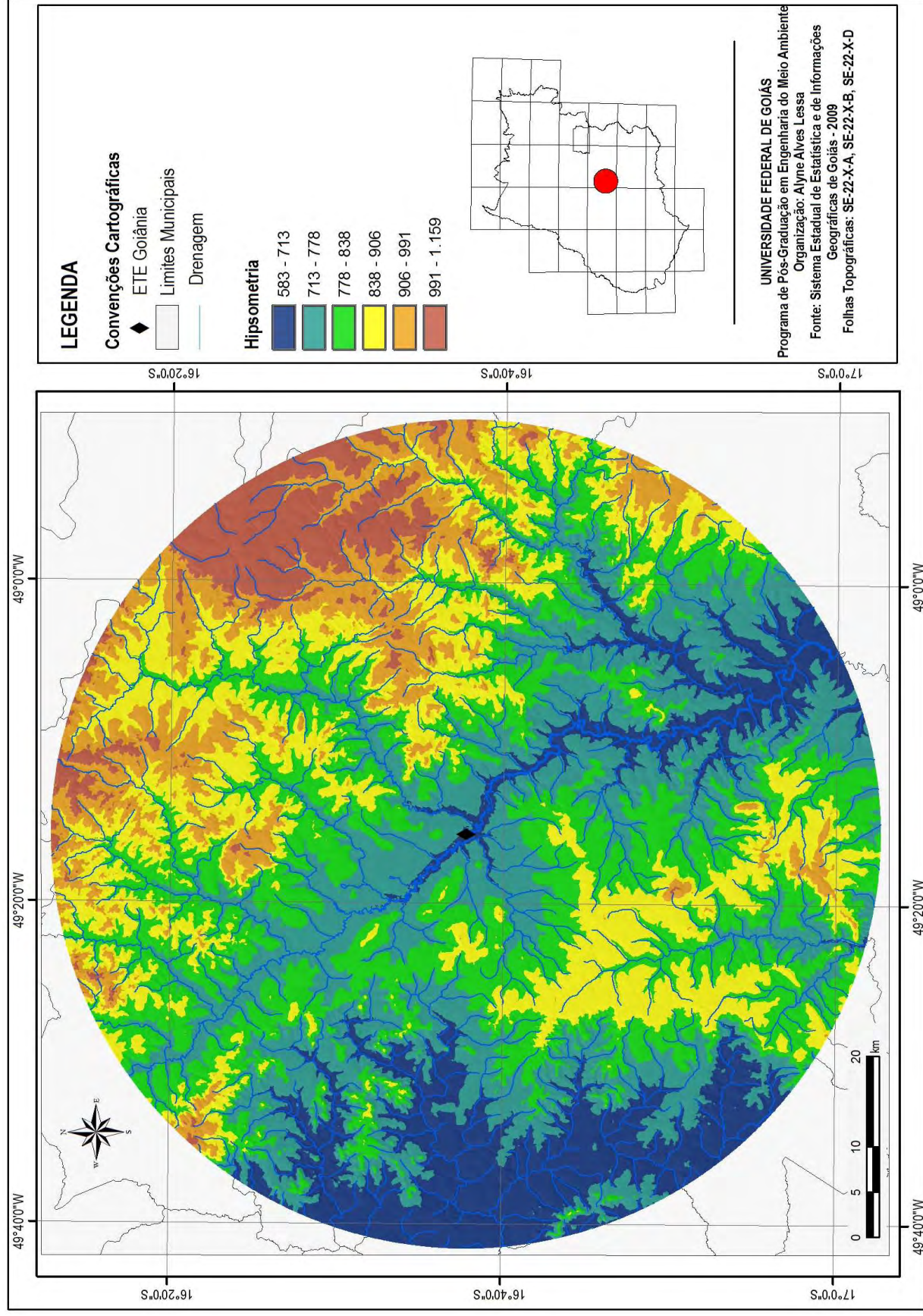


Figura 16– Mapa hipsométrico da área de estudo

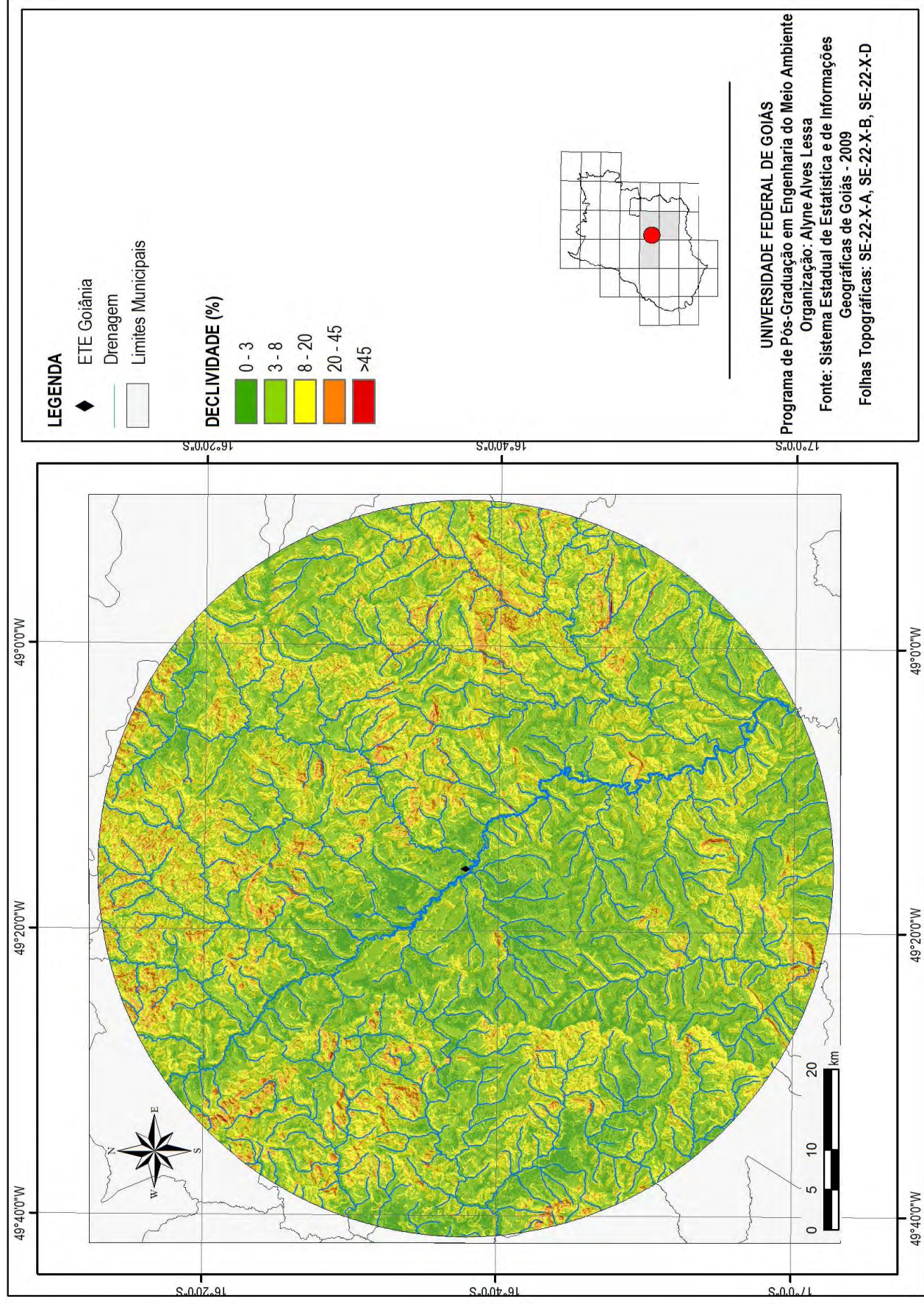


Figura 17– Mapa de declividade da área de estudo

Pela análise da declividade do terreno, a área de estudo possui relevo mais suavizado, com 59,26% de suas terras caracterizadas por relevos planos ou suavemente ondulados, 36,4% com relevo ondulado, e 4,34% das terras apresentam relevo com declives mais acentuados, ou seja, relevo forte ondulado e montanhoso/escarpados (Figura 18).

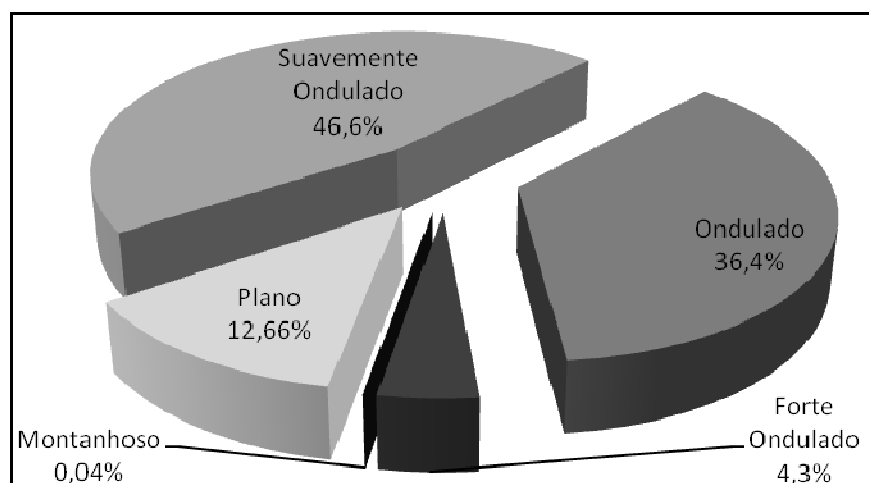


Figura 18– Representatividade espacial das diferentes classes de declividade da área de estudo

Devido às particularidades do relevo, os solos possuem boa característica, sendo os latossolos o solo dominante na área de estudo, representando aproximadamente 61% da área total, seguido dos argissolos (23,3%) e cambissolos (14,5%). Nas áreas de maiores declividades encontram-se os solos menos desenvolvidos como os neossolos (0,4%) e os plintossolos (0,03%) e nas áreas de planícies os solos gleissolos (1,1%).

Dos fatores ambientais empregados, grande parte está relacionada com o relevo e o solo, tais como: o próprio relevo; a profundidade, drenagem, textura, pedregosidade, hidromorfismo e fertilidade dos solos; e da suscetibilidade destes à erosão.

5.3- USO E OCUPAÇÃO DO SOLO DA ÁREA DE ESTUDO

Por ser um Estado de economia predominantemente agropecuarista, grande parte da área de estudo está ocupada por pastagens, totalizando 63% do total. Esta ocupação é visivelmente mais acentuada na região sul. A agricultura é mais significativa ao norte, onde há também maior número de manchas de ocupação urbana.

A mancha urbana ao centro representa a área de metropolização e expansão urbana em torno da capital do Estado, Goiânia, que se apresenta conurbada aos municípios de Aparecida de Goiânia, Senador Canedo, Goianira e Trindade.

As massas de água mapeadas representam os represamentos naturais e artificiais como lagos, represas e barragens, apresentando pouca representatividade em termos de área ocupada (0,4%), mas estando bem distribuídos em todo o território estudado.

Ao norte, as maiores faixas são ocupadas pelas matas e cerrado, que representam 23 e 3% da área, respectivamente, como apresentado na Figura 19. A classe matas representa o cerradão, mata ciliar e floresta estacional semi-decidual, por isso a mancha de cerrado é tão inferior à de matas.

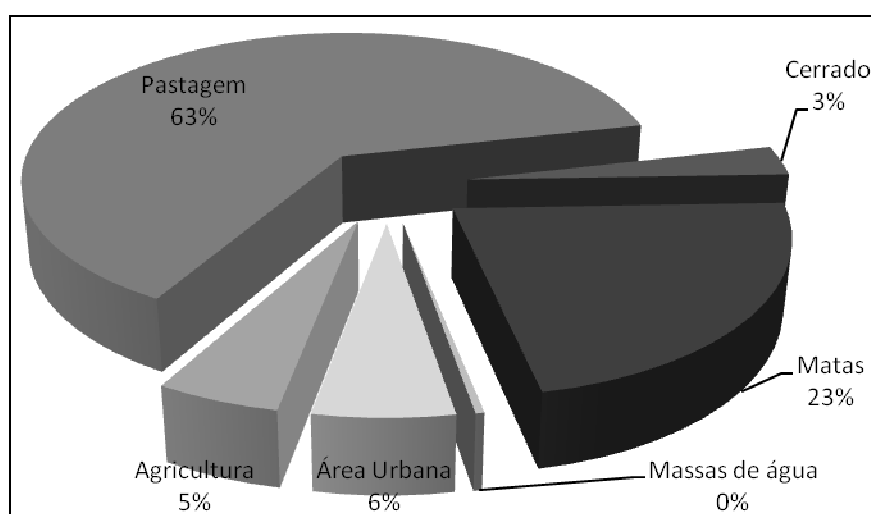


Figura 19 – Distribuição percentual dos diferentes usos do solo na área de estudo

A vegetação natural tem sido substituída por atividades antrópicas como agricultura, pastagem e áreas urbanas. A Figura 20 apresenta a distribuição espacial dos diferentes usos e ocupação do solo identificados na área de estudo.

Em razão de a atividade econômica agropastoril ser dominante na área estudada, o fator uso e ocupação do solo é, de certa forma, favorável ao emprego do lodo na agricultura. Por outro lado, esta área também tem forte tendência à urbanização, o que exige maior cuidado por parte dos técnicos e gestores ao escolher a área para tal finalidade. Deve-se observar, portanto, as medidas mitigadoras necessárias para preservar o lençol freático e águas superficiais que possam vir a ser utilizadas para o abastecimento da população de qualquer risco de contaminação pela aplicação do lodo.

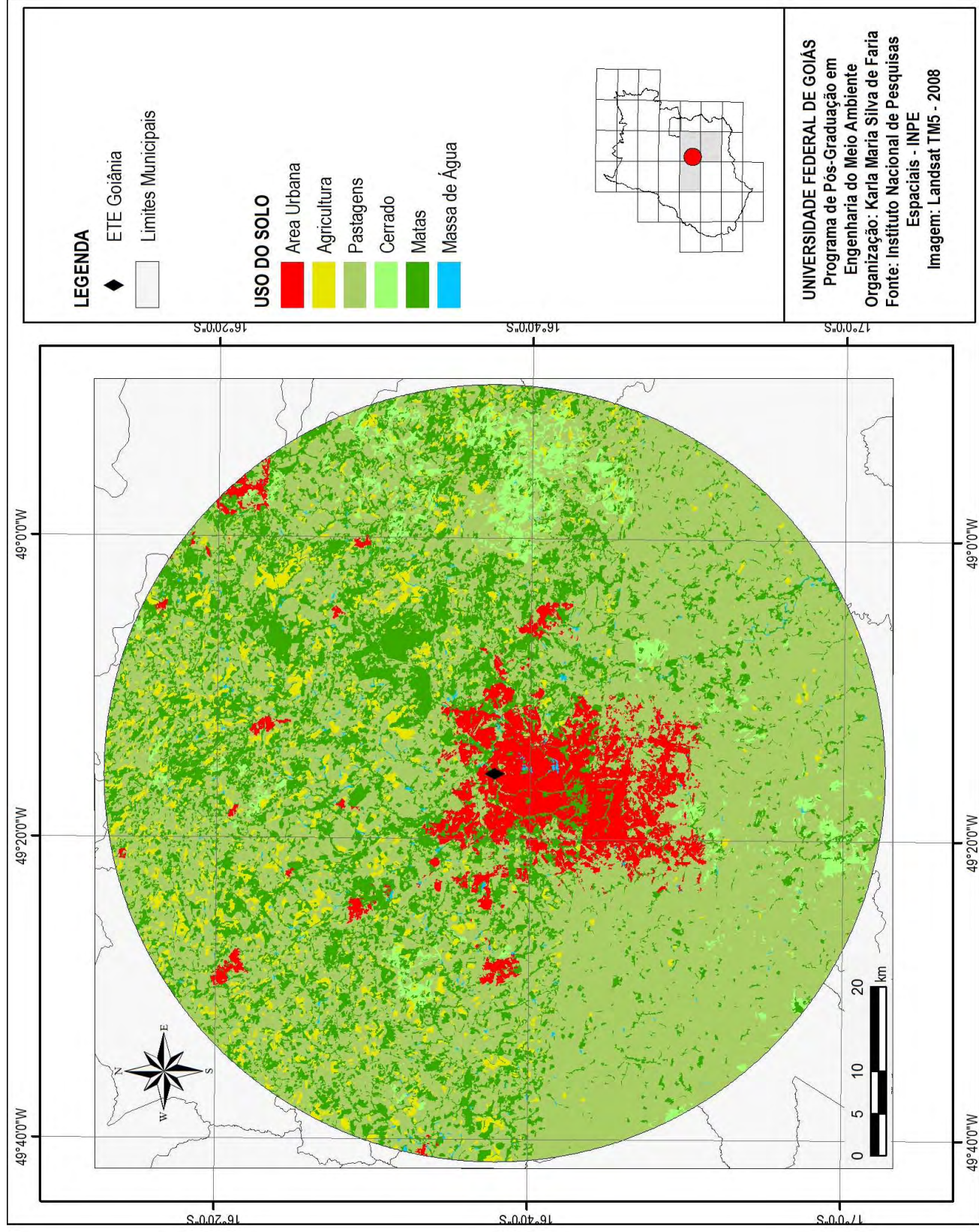


Figura 20– Mapa de uso e ocupação do solo da área de estudo

5.4- RESTRIÇÕES PARA O USO AGRÍCOLA DO LODO NA ÁREA DE ESTUDO PARA O RAIO DE 46 KM

O Estado de Goiás é favorecido pelas características ambientais como relevos mais aplainados que resultaram em solos com tendências a serem profundos e pela riqueza em recursos hídricos. Em razão disto, as principais restrições identificadas na área de estudo referem-se à preservação e manutenção dos cursos d'água e nascentes, 62% das restrições, representadas nas Figuras 21 a e b, que resultou na exclusão de 17,7% da área total.

Esta limitação se deve não somente pela densidade dos rios na área de estudo, mas também pela padronização em 200m para a faixa de preservação às margens de todos os cursos (Figura 21 a), somadas a esta a identificação e preservação das massas de água que representam lagos, represamentos naturais e artificiais (Figura 21 b).

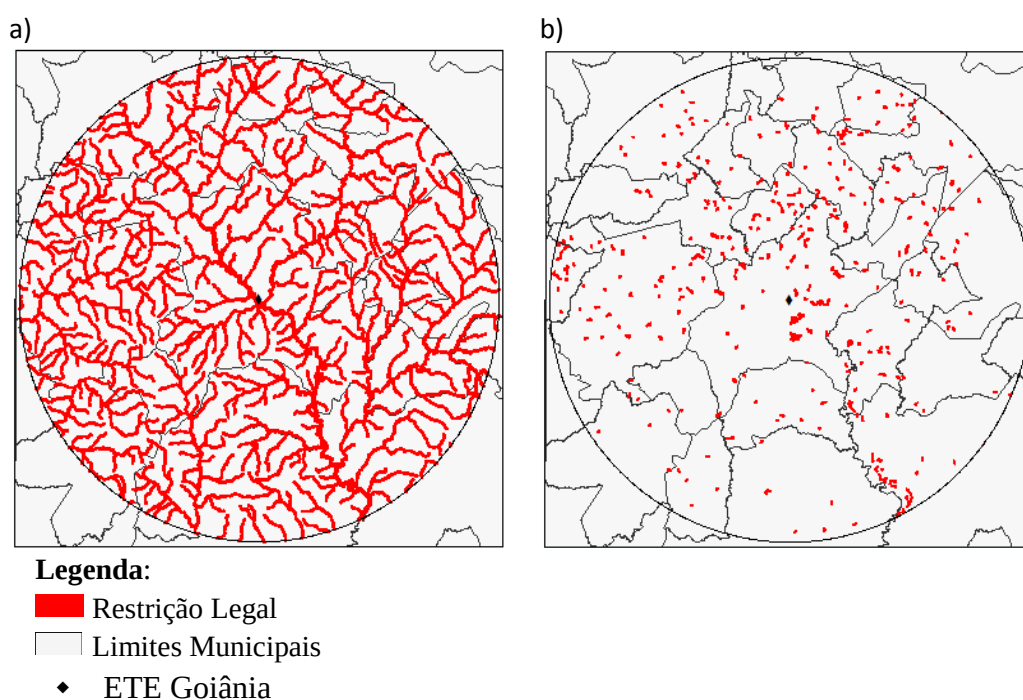
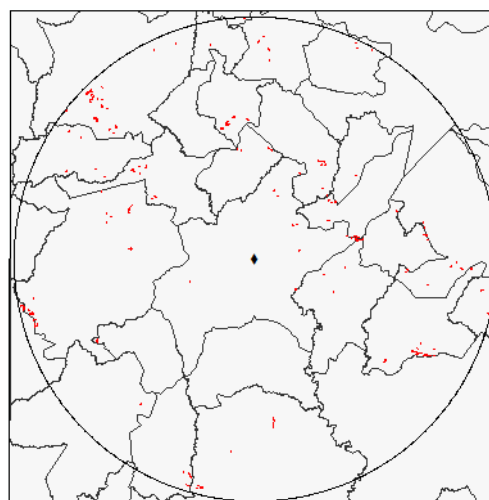


Figura 21 – Áreas com restrições legal relacionadas às Áreas de Proteção Permanente (APP): a) Faixa de 200m ao longo dos rios e b) Massas de água

O relevo não se apresenta como um fator limitante visto que apenas 0,04% da área total de estudo correspondem a áreas montanhosas e escarpadas (Figura 22). Essas áreas, que representam 0,15% da área de restrição legal, são consideradas inaptas à aplicação do lodo, bem como para o desenvolvimento de qualquer atividade agropastoril.

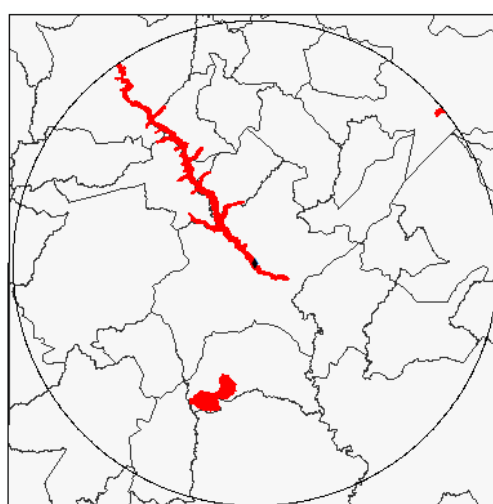


Legenda:

- Restrição Legal
- Limites Municipais
- ◆ ETE Goiânia

Figura 22 – Áreas com restrições legal referentes às Áreas de Proteção Permanentes (APP): topos de morros (declividade superior a 45%)

Semelhante ao relevo, os solos menos desenvolvidos e, portanto, menos profundos, com presença de cascalho e por vezes pedregosos, assim como os solos localizados nas proximidades de cursos d'água, caracterizados como hidromórficos e glei (Figura 23), devem ser preservados da aplicação do lodo por serem inaptos para tal finalidade. Estes solos representam uma parcela de restrição superior às áreas escarpadas e montanhosas, mas também pequena, excluindo 1,6% da área total e respondendo por 5,5% da área de restrição legal.



Legenda:

- Restrição Legal
- Limites Municipais
- ◆ ETE Goiânia

Figura 23 – Áreas com Restrições legal referentes a pouca profundidade dos solos

Já ao que concerne às interferências antrópicas, entendidas aqui como resultado de ações políticas, de gestão e de planejamento ou mesmo de ocupação e alteração do espaço pela população, tais como as Unidades de Conservação⁹ e o perímetro urbanizado acrescido de uma faixa de segurança de 100m¹⁰ ocupam a segunda posição quanto ao impedimento à disposição do lodo, respondendo por 7% de restrição à aplicação do lodo na área total e 24,3% se considerada apenas a área de restrição.

Analisando-as individualmente, as Unidades de Conservação (Figura 24 a) respondem por 1,14% de área total com restrição à aplicação do lodo, o que corresponde a 4% quando considerada a área de restrição legal, enquanto a mancha urbanizada ocupa posição de destaque em relação às restrições decorrentes de ações antrópicas, como apresentado no Quadro 2, estando visivelmente concentrada na região conurbada de Goiânia, que inclui os municípios de Trindade, Aparecida de Goiânia, Senador Canedo e Goianira (Figura 24 b).

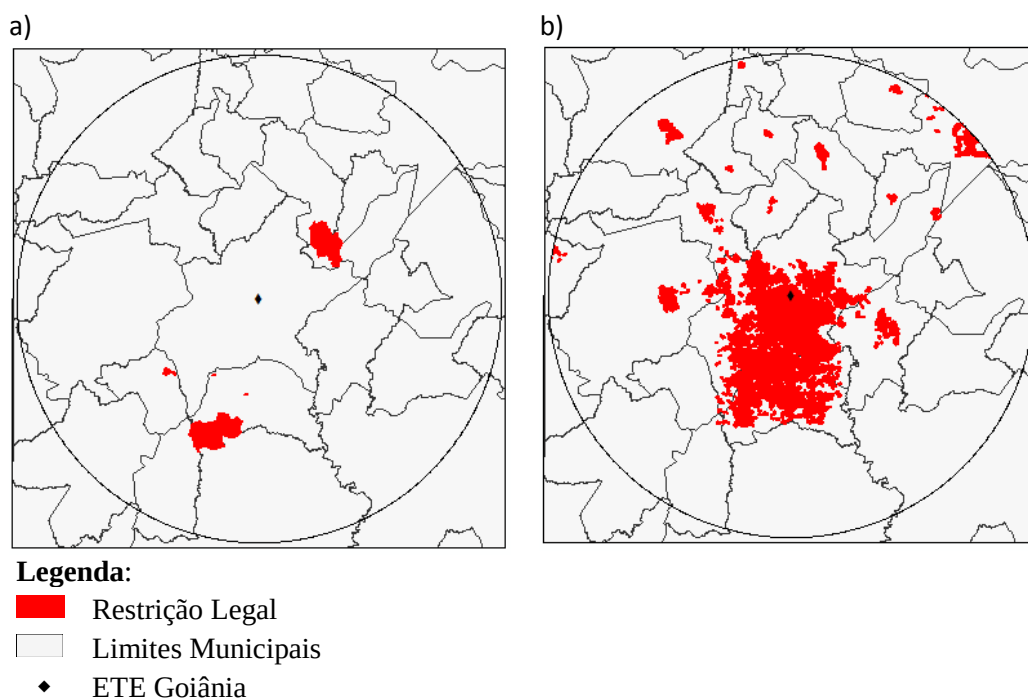


Figura 24 – Áreas com restrições legal: a) Unidades de conservação; b) Proteção do perímetro urbano

⁹ As Unidades de Conservação inseridas na área de estudo são: Parque Ecológico Serra da Areia, localizado ao sul de Aparecida de Goiânia; Parque Ecológico Altamiro de Moura Pacheco, entre os municípios de Goiânia, Goianápolis, Teresópolis e Nerópolis; e, Parque Estadual Telma Ortega, no município de Abadia de Goiás.

¹⁰ Conforme determinação da Resolução 375/2006.

Quadro 2 - Limitações legais quanto a aplicação do lodo e respectivas áreas e percentuais de representação na área de estudo

UNIDADE DE MEDIDA LIMITAÇÃO LEGAL	ÁREA KM²	% DA ÁREA TOTAL	% DA ÁREA DE RESTRIÇÃO
Drenagem	1177,87	17,73	61,98
Perímetro Urbano	385,41	5,80	20,28
Solos Pouco Profundo	103,57	1,56	5,45
Massas de Água	88,58	1,33	4,66
Unidades de Conservação	76,00	1,14	4,00
Captação de água	65,96	0,99	3,47
Relevo	2,86	0,04	0,15
Total	1900	28,6	100,00

Para garantir a segurança do abastecimento de água e o não comprometimento da saúde pública, foram excluídas do processo de seleção as áreas situadas a 2 km a montante do ponto de captação de água para abastecimento, conforme recomendação de Santos (2001). Tal procedimento resultou na exclusão de menos de 1% da área total, o que corresponde a 3,4% da área de restrição.

O Quadro 2 apresenta todas as restrições empregadas e suas respectivas áreas e percentuais preservados da aplicação do lodo, considerando a área total de 6.645 km² e área total de restrição de 1.900 km², resultado da soma de todas as restrições.

A drenagem apresenta a maior restrição seguida pelo perímetro urbano, que confirma o alto índice de urbanização da área de estudo. Somente estas duas restrições respondem por 82,3% da área total de restrição, preservando 23,5% da área total de estudo. As outras cinco restrições, que respondem pelos 17,7% restantes, preservam da aplicação do lodo 5% da área total de estudo.

O produto final da intersecção de todos os aspectos limitantes à disposição do lodo está sintetizado na Figura 25.

Embora a somatória das áreas de todas as restrições legais tenha resultado em uma área de 1.900 km², cabe ressaltar que devido ao fato de muitas dessas áreas se sobreporem, a intersecção das mesmas resultou em uma área menor, equivalente a 1.693 km². Assim, ao considerar todos os aspectos restritivos envolvidos, 4.958 km² (74,5%) da área total foi avaliada quanto a classificação das terras à aplicação do lodo.

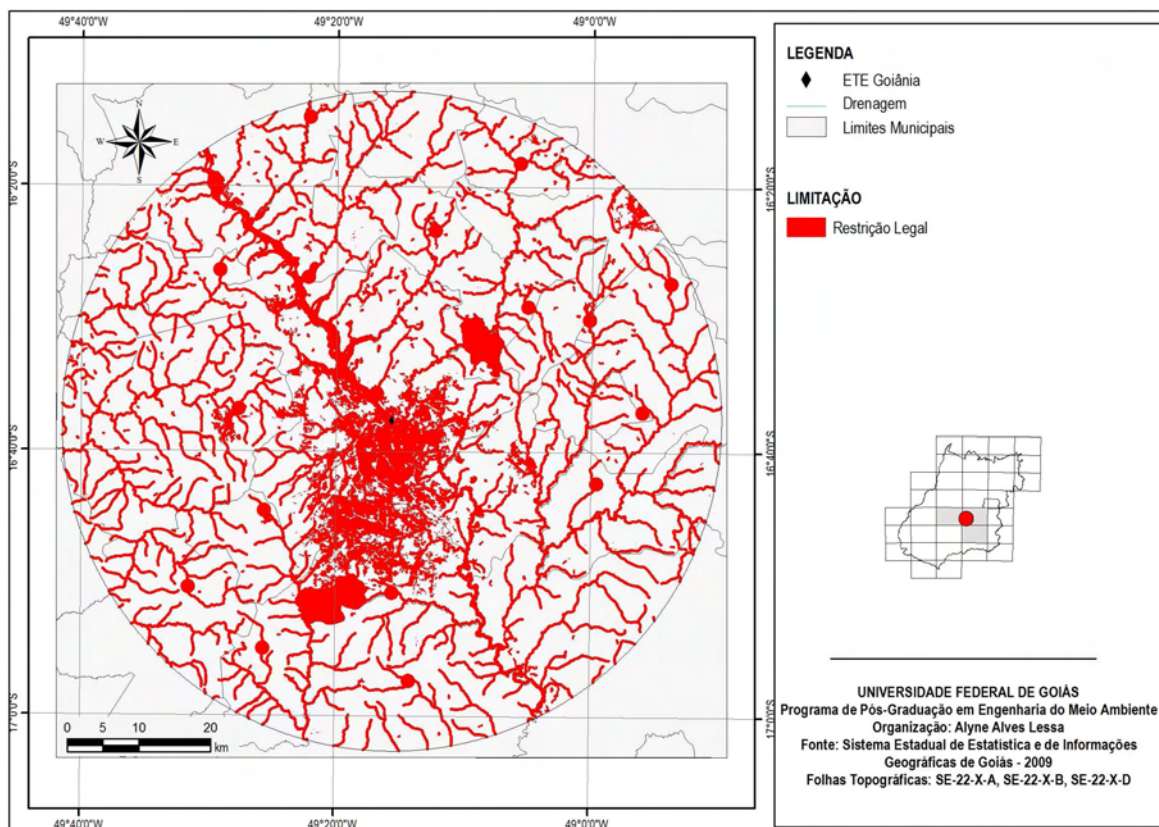


Figura 25- Áreas com restrições à aplicação do lodo na área de estudo delimitada com raio de 46 km.

5.5- RESTRIÇÕES PARA O USO AGRÍCOLA DO LODO NA ÁREA DE ESTUDO PARA O RAIOS DE 20 KM

Quando considerado o raio de 20 km a partir da ETE Goiânia, a área de estudo é correspondente a 1.256,6 km², 81% menor quando comparada à área traçada pelo raio de 46 km.

Os municípios envolvidos na pesquisa também são reduzidos, totalizando 10: Aparecida de Goiânia, Bonfinópolis, Goianópolis, , Goianira, Nerópolis, Santo Antônio de Goiás, Senador Canedo, Terezópolis de Goiás e Trindade, todas elas com território limitando com a capital Goiânia, que responde por 56% da área total de estudo.

A Figura 26 apresenta o mapa com as restrições no raio de 20 km. No total, aproximadamente 43% da área foi identificada como imprópria à aplicação do lodo ao considerar as restrições legais e sugestões técnicas.

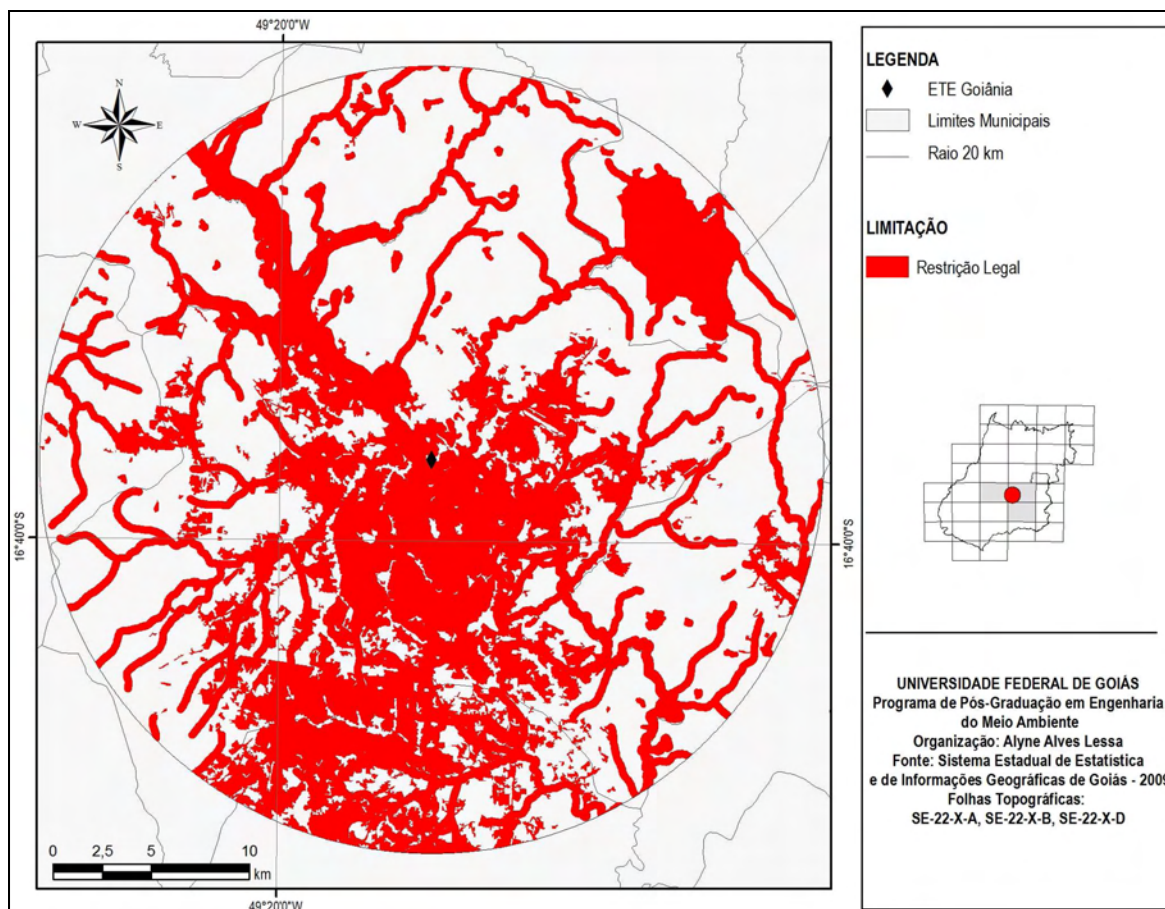


Figura 26 – Mapa das restrições à aplicação do lodo na área de estudo delimitada com raio de 20 km.

Dos 651 km² impedidas de terem o lodo de esgoto disposto, sem considerar as áreas cuja restrição se sobrepõe, 24% foram decorrentes da concentração de área urbanizada e aproximadamente 21% relacionados à preservação dos cursos d'água, incluindo as redes de drenagem e massas de água identificadas no mapeamento de uso do solo.

O relevo não se apresenta restrição e, junto as demais limitações (captação de água, massa de água, solo pouco profundo e Unidade de Conservação) preservam 9% da área total de estudo.

Considerando as sobreposições ocorridas para algumas das restrições, 540 km² da área de estudo são preservados da aplicação do lodo pelas limitações determinadas pelas recomendações técnicas e legais, enquanto os 716,7 km² restantes foram avaliados quanto à aptidão a aplicação do lodo segundo os critérios ambientais.

5.6- CLASSIFICAÇÃO DAS TERRAS QUANTO À APLICAÇÃO DE LODO

Algumas das áreas consideradas inaptas à aplicação do lodo pelos fatores ambientais avaliados - profundidade, textura, relevo, hidromorfismo, pedregosidade, drenagem, fertilidade e suscetibilidade à erosão - foram identificadas e excluídas, em todo ou em parte, pelo ato normativo do CONAMA. A área restante foi classificada de acordo com suas potencialidades e fragilidades ambientais à aplicação do lodo.

5.6.1- Fatores Ambientais

5.6.1.1- Relevo

O fator relevo, que teve suas classes elaboradas a partir das classes de declividade, apresenta-se hierarquizado de modo que os menores declives são considerados aptos e à medida que aumentam, amplia a limitação quanto à aplicação do lodo, como apresentado no Quadro 3.

Quadro 3 -Relação entre as classes de relevo, declividade e o grau de limitação para aplicação do lodo.

Classes de Relevo	Declividade (%)	Grau de limitação
Relevo plano	0 - 3	Nulo
Relevo suave ondulado	3 - 8	Ligeiro
Relevo ondulado	8 - 20	Moderado
Relevo forte ondulado	20 - 45	Forte
Relevo montanhoso a escarpado	> 45	Muito forte

Entre as áreas onde o uso do lodo de esgoto é permitido, os terrenos de relevo plano e suavemente ondulados representam as faixas de terras aptas à disposição deste material, cujas aptidões variam de muito boa (14% da área) a boa (51%), respectivamente, conforme ilustrado na Figura 27 e Tabela 7. Mesmo considerando a concentração das áreas muito boas e boas ao longo do canal principal do rio Meia Ponte, há a presença de áreas de restrições moderada e, em menor escala, forte.

Tabela 7 - Distribuição da classificação das terras para o fator relevo quanto à aptidão para disposição do lodo de esgoto

Grupo	Uso de Lodo de Esgoto	Limitação	Classe	Área Km	% da Área total
A	APTO	Nula	I	678,0	13,7
		Ligeira	II	2514,5	50,7
		Moderada	III	1637,0	33,0
B	NÃO RECOMENDADO	Forte	IV	129,8	2,6
C	INAPTO	Muito Forte	V	0	0

A classe de limitação moderada, distribuída por toda extensão da área de estudo (Figura 27), representa 33% da área em avaliação. Nestes terrenos deve-se observar o correto manejo do solo de modo a não potencializar os riscos que podem oferecer se mal utilizados, como a possibilidade de ocorrência de erosão, por exemplo.

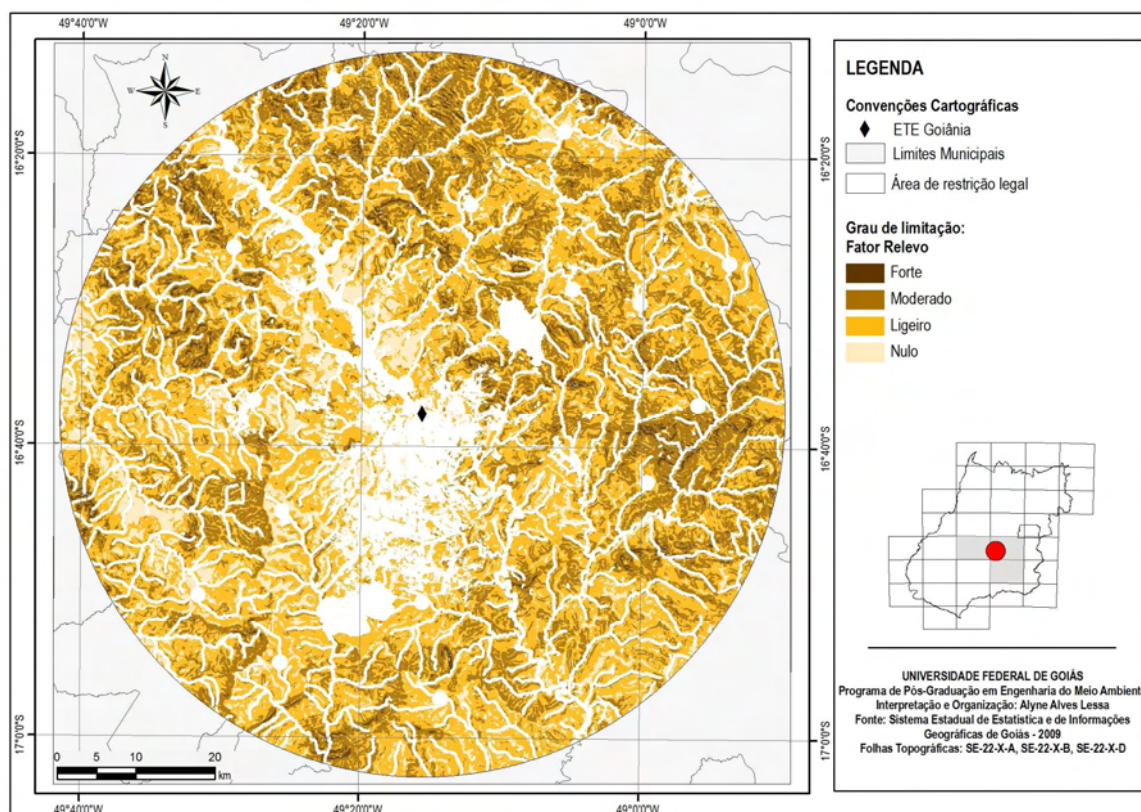


Figura 27 – Mapa do grau de limitações da área de estudo à aplicação do lodo considerando o fator ambiental relevo

Pode-se inferir que o fator relevo não se apresenta como um fator limitante à aplicação do lodo, haja vista que sua restrição de maior grau (limitação muito forte) foi amplamente contemplada pela Resolução CONAMA 375/2006 e pelo fato de a área de

estudo se caracterizar, predominantemente, como uma superfície de aplainamento, com relevos mais suavizados, restando apenas 2,6% de terras com limitação forte. Assim, 97,4% das terras são consideradas aptas à disposição do lodo pelo fator ambiental relevo, desde que sejam observados os cuidados pertinentes a cada classe (II e III) do Grupo A.

5.6.1.2- Textura

O fator textura não foi contemplado pela Resolução CONAMA 375/2006. Isto se deve a inobservância da Resolução em relação à capacidade de infiltração e percolação dos componentes do lodo, potenciais contaminantes do lençol freático, através de solos muito permeáveis como os arenosos e cascalhentos, ou contaminação da camada superficial do solo pela dificuldade de drenagem do solo, no caso de solos muito argilosos.

As maiores restrições à aplicação do lodo pelo fator textura ocorrem na região sul da área de estudo. Observa-se que na região norte os solos de textura argilosa predominam, sendo dominantes os latossolos e argissolos, considerados muito bons à aplicação do lodo devido à textura argilosa dos mesmos (Figura 28 e Tabela 8).

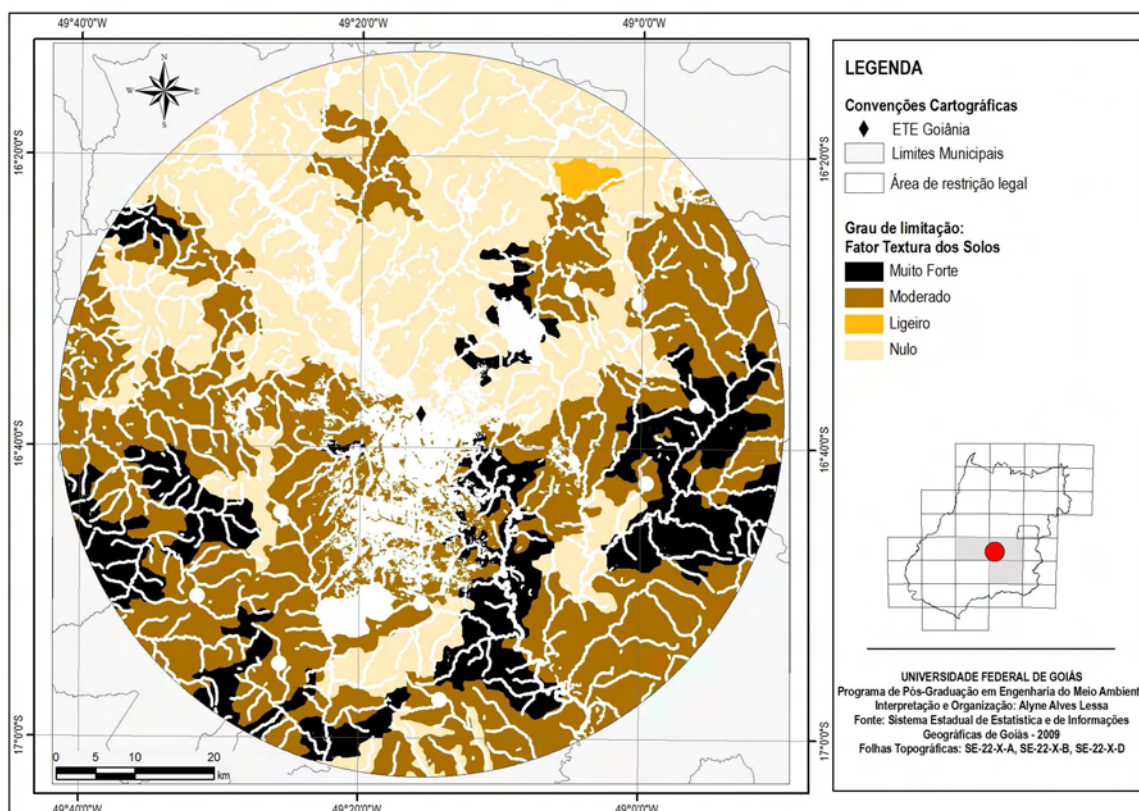


Figura 28 - Mapa do grau de limitações da área de estudo à aplicação do lodo considerando o fator ambiental textura

Há alguns fragmentos de solos na região norte, cujas limitações ao uso do lodo ocorrem em decorrência da presença de (a) latossolo vermelho, com textura muito argilosa - limitação ligeira; (b) latossolo vermelho com textura média, oferecendo limitação moderada; e (c) argissolo vermelho e cambissolo com textura arenosa/cascalhenta, impondo limitação muito forte a estas terras, conforme se observa na Tabela 8.

Tabela 8 – Tipos de solos com respectivas texturas e limitações à aplicação do lodo na região norte da área de estudo

Textura	Solo			Grau de limitação
	Latossolo	Argissolo	Cambissolo	
Argilosa	x	x		Nulo
Muito Argilosa	x			Ligeiro
Média	x			Moderado
Arenosa/Cascalhenta		x	x	Muito Forte

Já a região sul apresenta como grau de limitação dominante a classe moderada, onde o latossolo de textura média é entrecortado em grandes manchas de solos que conferem à região outras limitações como: (a) nula, pela presença de cambissolo com textura argilosa, ideal para aplicação do lodo e, em menor escala, de argissolo vermelho, com textura também argilosa; e (b) muito forte, associada à presença de solos argissolo vermelho, argissolo vermelho amarelo e cambissolo, todos com textura arenosa/cascalhenta (Tabela 9).

Tabela 9 - Tipos de solos com respectivas texturas e limitações à aplicação do lodo na região sul da área de estudo

Textura	Solo			Grau de limitação
	Latossolo	Argissolo	Cambissolo	
Argilosa		x	x	Nulo
Média	x			Moderado
Arenosa Cascalhenta		x	x	Muito Forte

Em termos gerais, o fator textura apresenta maiores limitações quando comparado ao fator relevo, porém, também predominam as terras aptas à disposição (83,2%), sendo que 37,3% das terras analisadas não possuem qualquer restrição, ou seja,

nenhuma limitação à aplicação do lodo, enquanto 0,6% da área apresentam limitação ligeira e 45,3% limitação moderada (Tabela 10).

Das terras avaliadas, 16,8% foram classificadas como inaptas, ou seja, vetadas a aplicação do lodo. Este alto percentual se deve à presença de solos com textura arenosa/cascalhenta que podem comprometer a qualidade das águas do lençol freático por facilitar o processo de infiltração.

Tabela 10 - Distribuição da classificação das terras para o fator textura quanto à aptidão das terras à aplicação do lodo

Grupo	Uso de Lodo de Esgoto	Limitação	Classe	Área Km ²	% da Área total
A	APTO	Nula	I	1850,2	37,3
		Ligeira	II	27,6	0,6
		Moderada	III	2246,8	45,3
B	NÃO RECOMENDADO	Forte	IV	0,0	0,0
C	INAPTO	Muito Forte	V	834,1	16,8

5.6.1.3- Pedregosidade

A área de estudo possui poucos solos com citação de pedregosidade. Por isso este fator representa pouca limitação ao uso e aplicação do lodo, com 98,1% das terras consideradas aptas para esta finalidade, estando 61,2% da área sem nenhuma limitação e 36,9% com limitação moderada (Tabela 11).

Tabela 11 - Distribuição da classificação das terras para o fator pedregosidade quanto à aptidão das terras à aplicação do lodo

Grupo	Uso de Lodo de Esgoto	Limitação	Classe	Área Km ²	% da Área total
A	APTO	Nula	I	3035,6	61,2
		Ligeira	II	0,0	0,0
		Moderada	III	1831,8	36,9
B	NÃO RECOMENDADO	Forte	IV	0,0	0,0
C	INAPTO	Muito Forte	V	91,9	1,9

Na Figura 29 é possível verificar as duas classes de maior domínio da área: limitação nula, onde os solos não possuem pedregosidade alguma; e limitação moderada que correspondem aos solos que mesmo não possuindo fase pedregosa, possuem cascalho.

Dois dos solos que apresentam pedregosidade, neossolo e plintossolo, foram excluídos pela seleção legal. Contudo, há ainda presença de solos com esta característica limitante, compreendidos por faixas de solos latossolo e cambissolo a leste da área de estudo, que representam 1,9% de toda a área estudada.

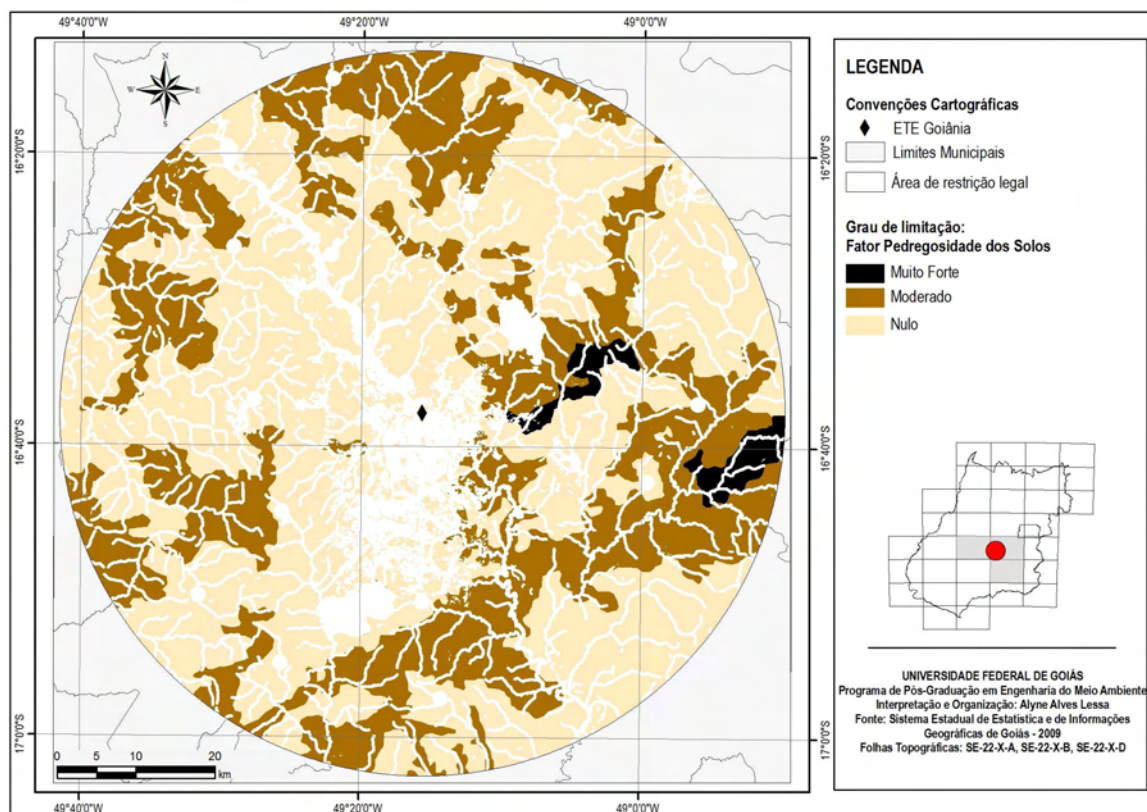


Figura 29 - Mapa do grau de limitações da área de estudo à aplicação do lodo considerando o fator pedregosidade

Cabe ressaltar que a ausência das limitações ligeiro e forte se justifica pelo fato de não serem consideradas para este fator na metodologia adotada.

5.6.1.4- Profundidade

O fator profundidade é resultado da interação solo/relevo. Por esta razão os solos latossolos, argissolo e cambissolos profundos, localizados em declividades de 0 a 8%, foram considerados de limitação nula e são predominantes em toda a área (Figura 30).

Os solos cambissolos e argissolos em declividades compreendidas entre 8 e 20%, sendo portanto menos profundos que os anteriores, simbolizam a segunda classe de maior destaque na área, a limitação moderada.

Já a limitação forte, incluída nas classes de profundidade em função das características locais do solo, engloba os cambissolos e argissolos em declividades superiores a 20%, portanto, solos rasos.

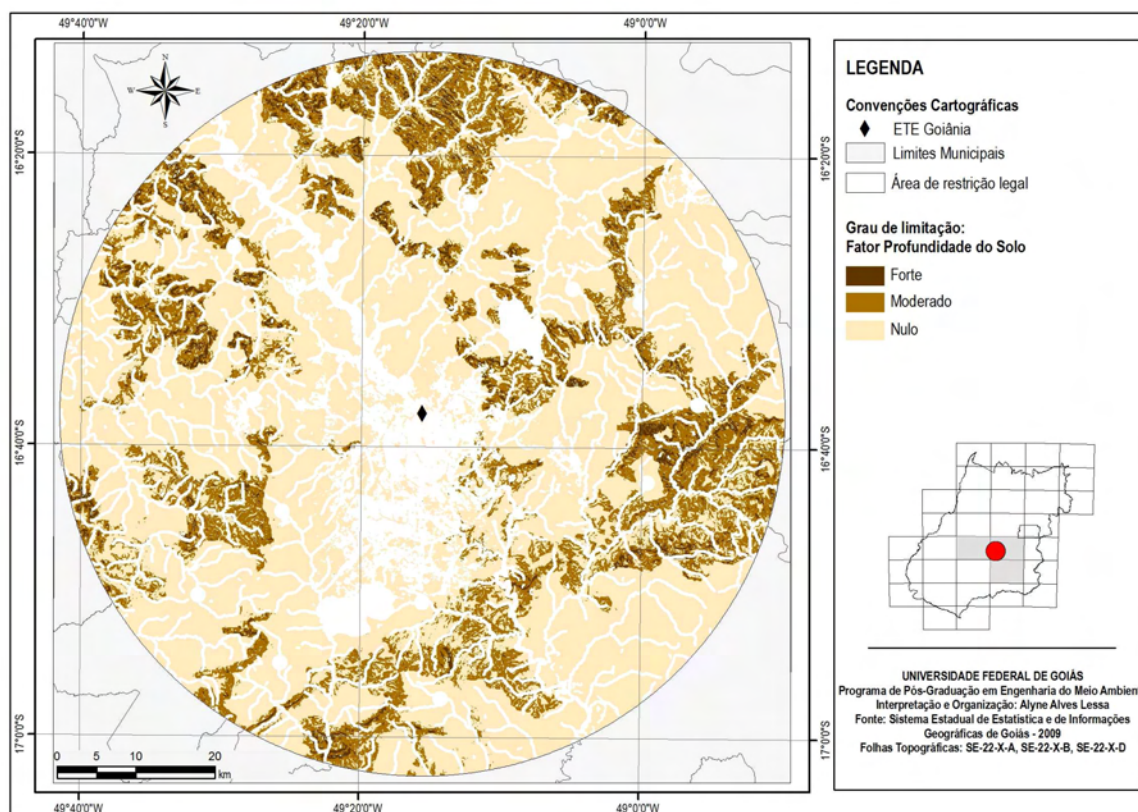


Figura 30 - Mapa do grau de limitações da área de estudo à aplicação do lodo considerando o fator profundidade

As classes moderada e forte se distribuem em manchas por toda a área de estudo e em termos percentuais representam 21,8% e 4%, respectivamente, como mostrado na Tabela 12.

Tabela 12- Distribuição da classificação das terras para o fator profundidade quanto à aptidão para disposição do lodo

Grupo	Uso de Lodo de Esgoto	Limitação	Classe	Área Km ²	% da Área total
A	APTO	Nula	I	3691,0	74,4
		Ligeira	II	0,0	0,0
		Moderada	III	1080,5	21,8
B	NÃO RECOMENDADO	Forte	IV	186,9	3,8
C	INAPTO	Muito Forte	V	0,0	0,0

O fator profundidade não se apresenta como um aspecto ambiental restritivo, pois 96,2% da área apresentam-se apta à aplicação do lodo por este critério. Isso se deve à associação de solos bem desenvolvidos e profundos como o latossolo, que ocupam aproximadamente 61% da área e solos menos desenvolvidos que o latossolo, mas que, por se localizarem em relevo menos acentuados conseguem atingir maiores profundidades, a exemplo dos argissolos e dos cambissolos, que respondem por aproximadamente 23 e 15%, respectivamente, como já abordado anteriormente.

Mais uma vez, o critério legal contempla a fragilidade de um dos fatores físicos. E, embora aptos à disposição, deve-se ter cautela e manusear corretamente os solos nas áreas que apresentam restrição moderada, além de atentar para existência de aquíferos.

5.6.1.5- Hidromorfismo e Drenagem

Estes dois fatores conferem ao solo características próprias, pois tratam da permanência da água no solo em função de sua drenagem, ou seja, de sua permeabilidade, que está relacionada a outros fatores como textura, declividade e profundidade do solo.

Embora boa parte da área possua solos com drenagem excessiva a fortemente drenados, os argissolos, localizados em terrenos suave ondulados ou ondulados, com texturas que variam de média a argilosa, são considerados bem a moderadamente drenados, conferindo a estas áreas o grau moderado de limitação. Mas por serem mais profundos e terem lençol freático baixo, não apresentam limitação quanto ao fator hidromorfismo.

A área de estudo possui poucas restrições, principalmente no fator hidromorfismo, que, devido às exclusões fundamentadas nas restrições legais, possuem 100% da área favorável à aplicação do lodo sem qualquer limitação. Esta característica favorável em relação ao hidromorfismo se deve ao fato de os solos serem bem desenvolvidos e possuírem textura que facilitam o escoamento da água.

Para o fator drenagem, as áreas de limitação nula são predominantes e são caracterizadas pela presença de latossolos vermelhos, latossolos vermelho-amarelos e cambissolos com drenagem que varia entre excessiva a fortemente drenada.

Para Souza *et al.* (2008) somente os solos de melhor drenagem são considerados aptos sem restrição, uma vez que não criam condições de anaerobiose e umidade, condições favoráveis à manutenção de alguns patógenos e prejudicial à atividade de degradação biológica da matéria orgânica. Assim, uma faixa de latossolos vermelhos

que apresenta acentuada drenagem é identificada com ligeira limitação, como se observa na Figura 31.

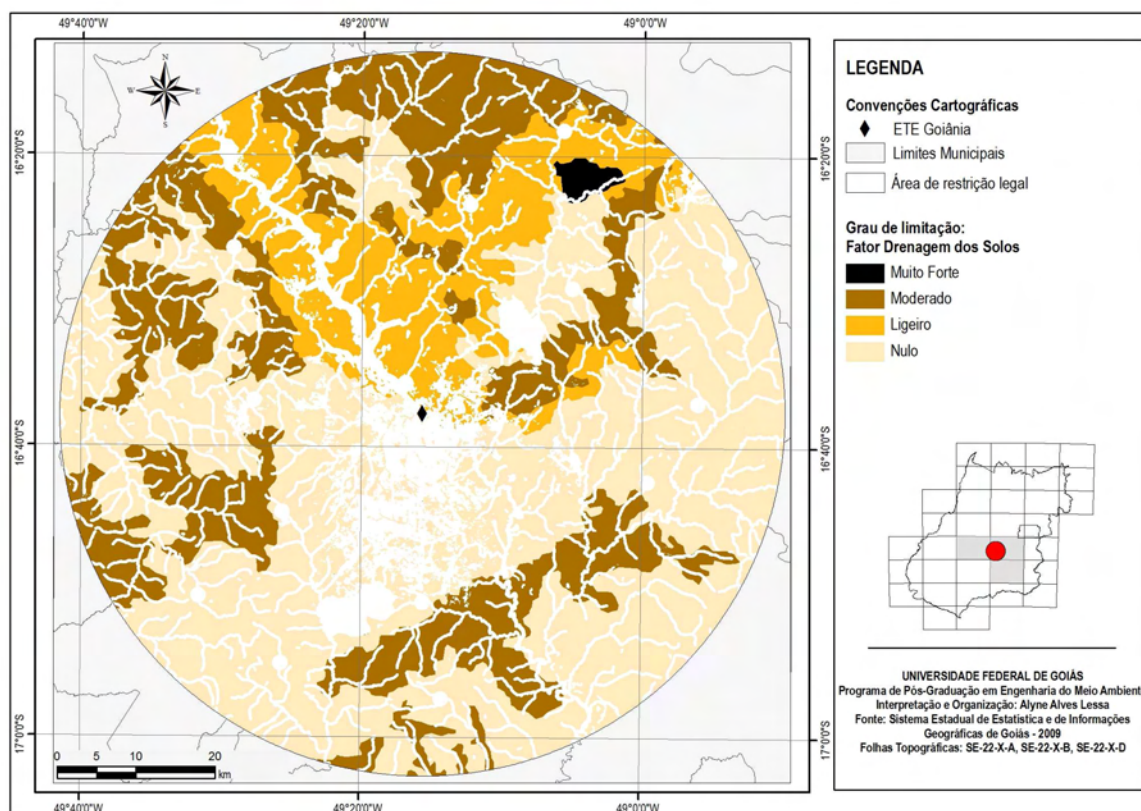


Figura 31 - Mapa do grau de limitações da área de estudo à aplicação do lodo considerando o fator drenagem

É possível observar ainda no fator drenagem que uma faixa de latossolo vermelho apresenta limitação muito forte à aplicação do lodo. Esta limitação ocorre em função da textura muito argilosa que o solo possui, o que dificulta o escoamento da água, retendo-a por mais tempo.

Em termos percentuais, apenas 0,6% das terras estudadas apresentam limitação muito forte, sendo, portanto, consideradas inaptas à aplicação do lodo pelo fator drenagem. Os 99,4% restantes (Tabela 13) são aptos, contudo, deve-se observar que 44,2% apresentam alguma limitação (ligeira ou moderada).

Tabela 13 - Distribuição da classificação das terras para o fator drenagem quanto à aptidão para disposição do lodo

Grupo	Uso de Lodo de Esgoto	Limitação	Classe	Área Km ²	% da Área total
A	APTO	Nula	I	2738,0	55,2
		Ligeira	II	743,8	15,0
		Moderada	III	1448,5	29,2
B	NÃO RECOMENDADO	Forte	IV	0,0	0,0
C	INAPTO	Muito Forte	V	28,4	0,6

5.6.1.6- Fertilidade

Boa parte das terras compreendidas na área de estudo apresenta-se com deficiência de fertilidade (Figura 32), não oferecendo limitação à aplicação do lodo em razão da necessidade de nutrientes que podem ser supridas pelo mesmo. Estas áreas são compostas por solos latossolos (vermelho e vermelho amarelo), cambissolos e, em pequena área, por argissolo vermelho (a norte) e vermelho amarelo (a oeste), respondendo por 75% da área avaliada.

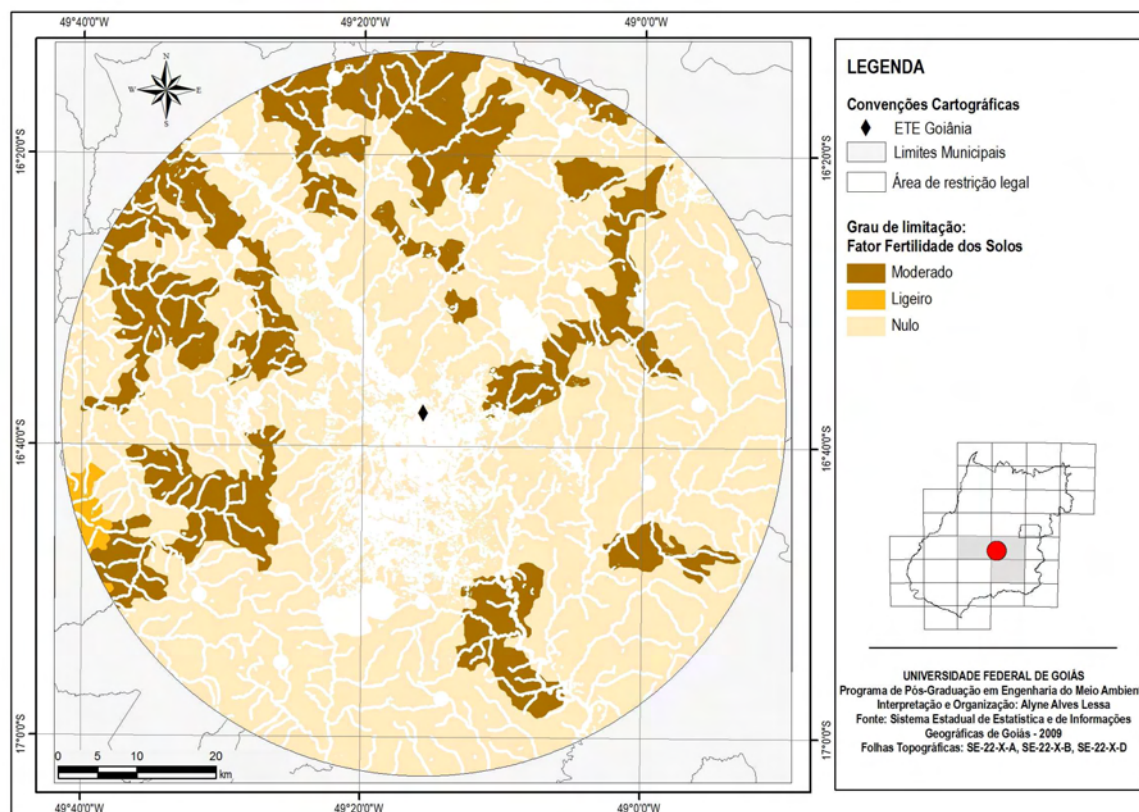


Figura 32- Mapa do grau de limitações da área de estudo à aplicação do lodo considerando o fator fertilidade

A pequena porção a leste com ligeira limitação à aplicação do lodo se deve ao fato dos solos serem argissolo vermelho amarelo eutrófico com horizonte A moderado, correspondendo a menos de 1% da área.

As terras de limitação moderada possuem solos argissolos vermelho ou vermelho amarelo, ambos eutróficos e com horizonte A chernozêmico ou antrópico, correspondem a 24% das terras.

Destaca-se neste fator ambiental a ausência de qualquer atributo do solo que confira às terras algum tipo de impedimento ao uso, sendo todas aptas à disposição do lodo de esgoto como um complemento orgânico objetivando a melhoria da fertilidade e produtividade dos solos.

5.6.1.7- Suscetibilidade à erosão

A área de estudo possui boa distribuição espacial de quatro dos cinco graus de limitação relacionado à suscetibilidade à erosão, como ilustrado na Figura 33. As terras de limitação nula localizam-se em terrenos onde o relevo é plano, sendo indiferente o tipo de solo, e em terrenos de relevo ondulado formado pelos solos latossolo vermelho ou vermelho amarelo, ambos com textura argilosa. Em termos de distribuição, estão mais bem representados a norte da área de estudo, nas proximidades do rio Meia Ponte e de seus tributários ribeirão Capivara e córrego Monjolo, que cortam os municípios de Brazantes, Inhumas, Goianira, norte de Goiânia, Nerópolis e Santo Antônio de Goiás.

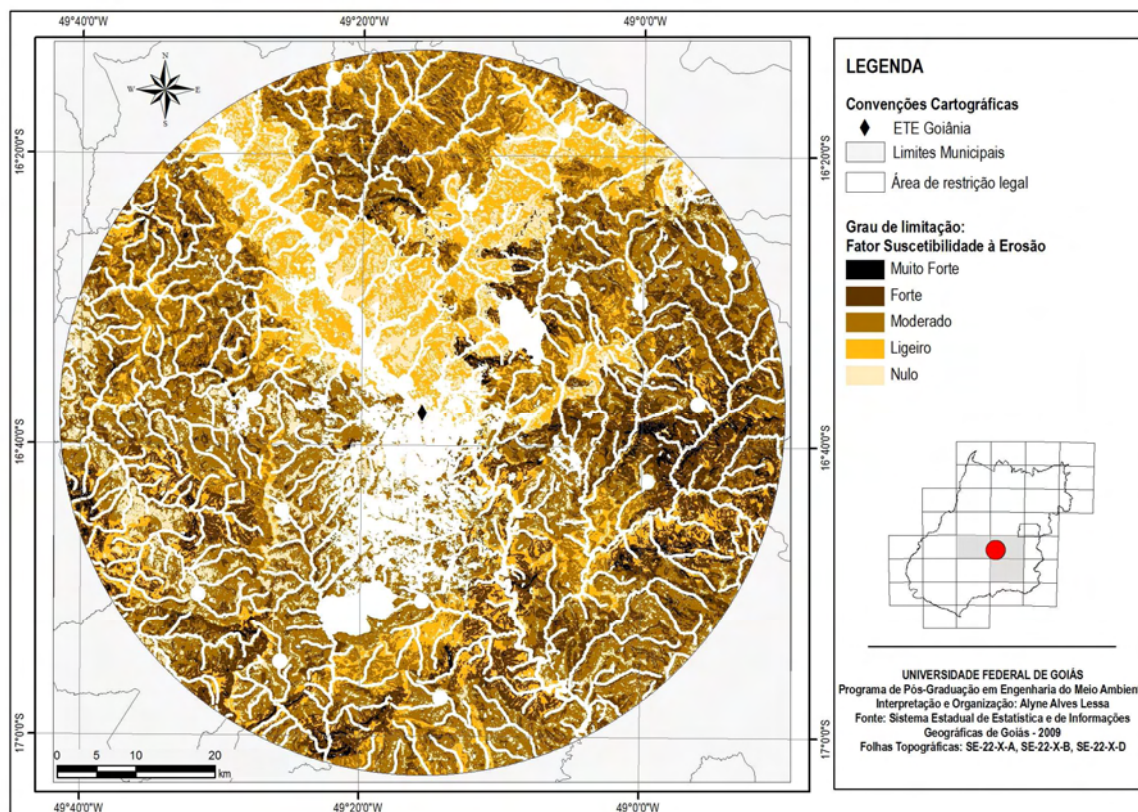


Figura 33- Mapa do grau de limitações da área de estudo à aplicação do lodo considerando o fator suscetibilidade à erosão

As classes de solo localizadas em terrenos de relevo suave ondulado não contemplada por nenhuma das outras classes de limitação correspondem às terras de limitação ligeira e estão localizadas, predominantemente, na região norte da área de estudo, representando 20% do total analisado nesta etapa (Tabela 14).

Tabela 14 - Distribuição da classificação das terras para o fator suscetibilidade à erosão quanto à aptidão para disposição do lodo

Grupo	Uso de Lodo de Esgoto	Limitação	Classe	Área Km ²	% da Área total
A	APTO	Nula	I	764,6	15,4
		Ligeira	II	1013,3	20,4
		Moderada	III	1948,1	39,3
B	NÃO RECOMENDADO	Forte	IV	1142,2	23,0
C	INAPTO	Muito Forte	V	90,0	1,8

As terras de limitação moderada, classe de maior representatividade (39%), conforme apresentado na Tabela 14, correspondem às terras de relevo suave ondulado cujo solo possui textura média, e de relevo ondulado com solos de textura argilosa e muito

argilosa. Sua distribuição pela área de estudo é mais homogênea, estando mais concentrada na região leste.

Já os terrenos com solo de textura média ou arenosa em relevo ondulado e solos com textura muito argilosa em relevo forte ondulado representam as terras cuja limitação à aplicação do lodo é forte, e, portanto, não são áreas recomendadas para esta finalidade. Os 23% das terras que representam esta classe estão bem distribuídos pela área de estudo.

Em razão dos terrenos de relevo montanhoso ou escarpado terem sido excluídos durante a aplicação das restrições legais, as terras de limitação muito forte são representadas apenas pelos solos de textura média em relevo forte ondulado, representando 1,8% da área avaliada, e encontram-se bem distribuídas em toda a área de estudo, sendo melhor representadas a leste.

Observa-se, em relação a este fator ambiental, que mesmo tendo boa distribuição entre as classes limitantes, 75% das terras são consideradas aptas à disposição do lodo e as maiores restrições estão localizadas a leste da área de estudo, a qual deve ser tratada com o devido cuidado em relação ao manejo do solo.

5.7- APTIDÃO DAS TERRAS À DISPOSIÇÃO FINAL DO LODO PARA FINS AGRÍCOLA

5.7.1- *Aptidão das terras à aplicação do lodo com finalidade agrícola para a área delimitada com raio de 46 km a partir da ETE Goiânia*

A classificação das terras em relação à aplicação do lodo na área de estudo resultou do cruzamento das aptidões de todos os fatores ambientais. Observa-se na Figura 34 que, mesmo com toda restrição contida na Resolução que trata sobre o uso do lodo para fins agrícola (CONAMA 375/2006) e as recomendações empregadas para preservar as áreas de captações de água para abastecimento, o estudo do meio físico inviabiliza o uso deste material em alguns locais devido aos riscos oferecidos pela fragilidade de um ou mais fatores ambientais.

As áreas de limitação nula não são perceptíveis no mapa ilustrado na Figura 34 em razão da pouca representatividade das áreas, onde todos os fatores se apresentam sem nenhuma limitação ambiental, conferindo ao solo aptidão muito boa à aplicação do lodo, sem quaisquer restrições. Enquanto as terras consideradas inaptas ao uso do lodo (pelos

fatores ambientais) correspondem a 972 km² da área, as terras com aptidão muito boa ocupam 0,2 km² (Tabela 15).

Tabela 15 - Distribuição por área e percentual quanto à aptidão das terras para disposição do lodo na área de estudo

Grupo	Uso de Lodo de Esgoto	Aptidão das terras	Classe	Área Km²	% da Área total	% Total
A	APTO	Muito boa	I	0,2	0,002	51,3
		Boa	II	1227,0	18,5	
		Regular	III	2180,3	32,8	
B	NÃO RECOMENDADO	Restrita	IV	575,6	8,7	8,7
C	INAPTO	Inapta	V	972,0	14,5	40,0
		Inapta - Restrição Legal		1693	25,5	

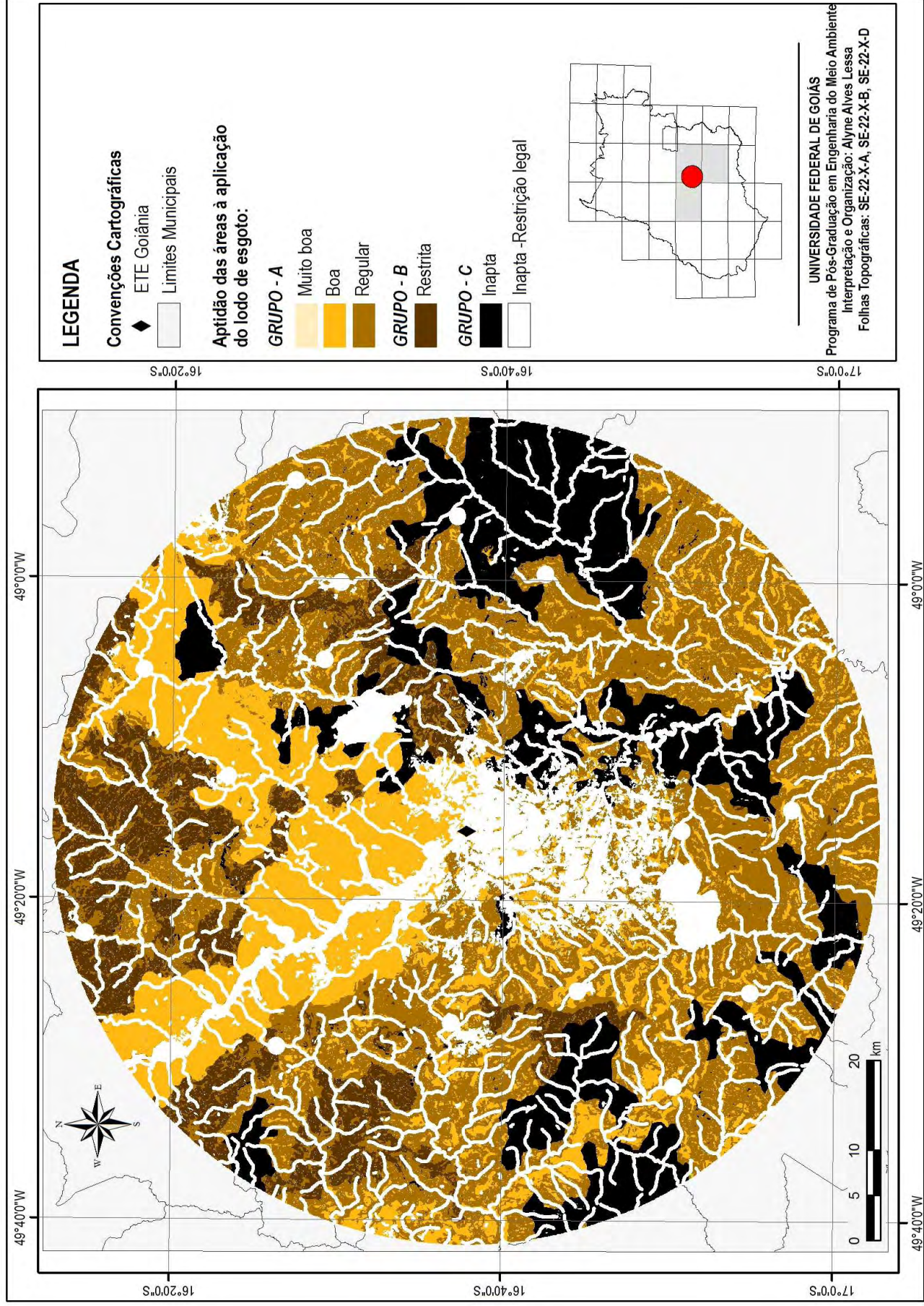


Figura 34 – Mapa final de aptidão das terras à aplicação do lodo de esgoto com fins agrícola

As maiores áreas com uso vetado à aplicação do lodo localizam-se na parte sul (Figura 35 a) e, em menor proporção, a norte da área de estudo, onde estão as melhores terras à aplicação do lodo, como apresentado na Figura 34. Suas restrições estão relacionadas à pedregosidade, à drenagem, à suscetibilidade das terras à erosão e, em maior parte, à textura do solo.

As áreas de limitação forte, de uso restrito à aplicação do lodo (Figura 35 b), estão localizadas predominantemente ao norte da área de estudo, sendo que, de todos os fatores, os únicos que se apresentam sem restrição alguma são hidromorfismo e textura. Os demais indicam que as terras devem ser utilizadas com as medidas mitigadoras necessárias.

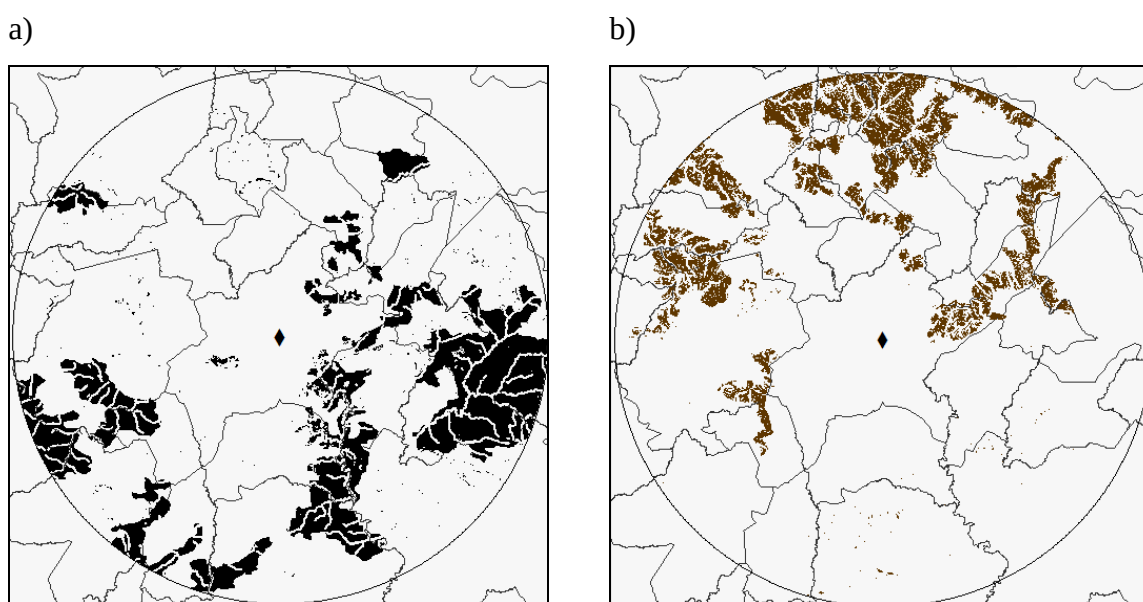


Figura 35 – Representações individualizadas das aptidões à aplicação do lodo na área de estudo, segundo os fatores ambientais: a) Aptidão inapta e b) Aptidão restrita

As melhores áreas para aplicação do lodo - aptidão boa - estão localizadas na região norte da área de estudo (Figura 36 a), tendo como fatores mais restritivos a textura e a suscetibilidade à erosão para as manchas mais espaçadas e a drenagem, o relevo e a suscetibilidade à erosão para as manchas mais concentradas ao norte.

As áreas de aptidão regular, mesmo estando mais bem distribuídas, têm suas maiores manchas representadas ao sul da área de estudo, como apresentado na Figura 36 b, não sendo possível determinar os fatores limitantes mais significativos, já que são muito variáveis de local para local.

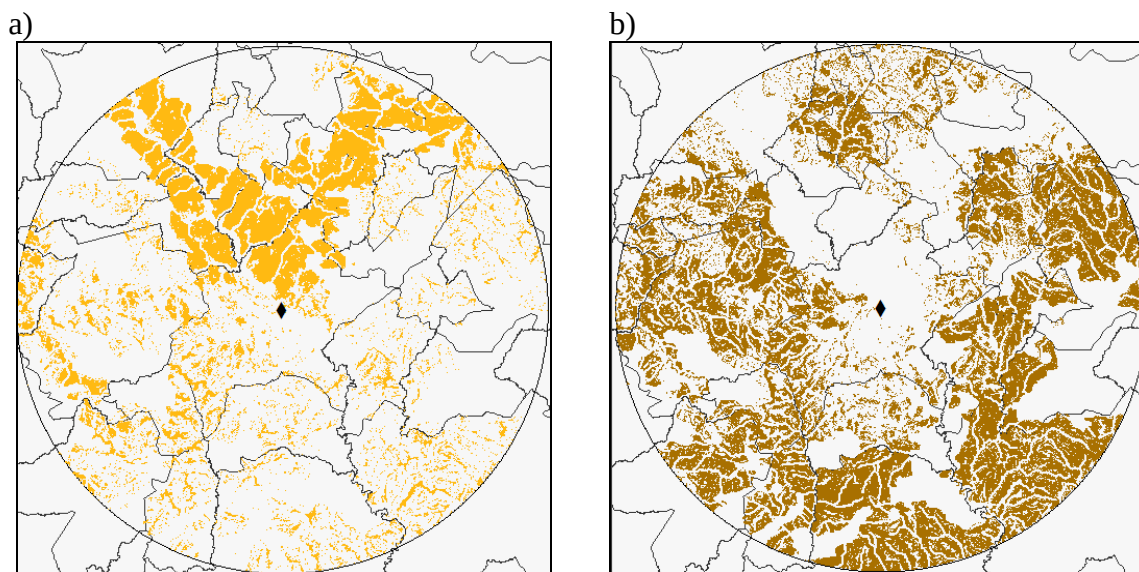


Figura 36 – Representações individualizadas das aptidões à aplicação do lodo na área de estudo, segundo os fatores ambientais: a) Aptidão boa e b) Aptidão regular

Os terrenos com maior declividade, solos menos profundos e mais suscetíveis à erosão caracterizam as terras classificadas com aptidão restrita localizadas ao norte da área de estudo.

Em termos proporcionais as terras onde o uso do lodo é permitido correspondem a mais de 50% de toda a área de estudo, englobando as terras de aptidão muito boa, boa e regular. Em seguida vem as terras onde de uso vetado, ou seja, inaptas à aplicação do lodo, que respondem por 40% da área total, incluídas nestas as terras com restrições legais e ambientais (ver Tabela 15).

Nas áreas onde o uso do lodo é inapto pelas restrições ambientais, o fator textura do solo foi o que mais contribuiu para inviabilizar o uso do lodo, portanto, respondendo por 86% da área total desta classe (972 km²). Quanto aos demais fatores, a drenagem, pedregosidade e suscetibilidade à erosão contribuíram para vetar algumas das áreas ao uso do lodo, representados 3%, 9% e 9% da área total da classe, respectivamente, como apresenta Tabela 16.

Tabela 16 – Representatividade dos fatores que contribuíram para vetar o uso do lodo na área de estudo

	Textura do solo	Suscetibilidade à Erosão	Pedregosidade do solo	Drenagem do solo
Área - km ²	833,4	89,9	91,8	27,6
% - Limitação Muito Forte	86	9	9	3

5.7.2- Aptidão das terras à aplicação do lodo com finalidade agrícola para a área delimitada com raio de 20 km a partir da ETE Goiânia

Da área total, correspondente a 1.256,6 km², foram avaliadas 716,7 km² quanto à aptidão agrícola para disposição do lodo. Ao considerar a área delimitada com o raio de 20 km, observa-se que as restrições contidas na Resolução Conama 375/2006 e as considerações para preservar as áreas de captações de água para abastecimento preservam 43% da área total da aplicação do lodo, conforme apresentado na Tabela 17.

Tabela 17 - Distribuição por área e percentual quanto à aptidão das terras para disposição do lodo na área de estudo, considerando o raio de 20 km

Grupo	Uso de Lodo de Esgoto	Aptidão das terras	Classe	Área Km ²	% da Área total
A	APTO	Muito boa	I	0,03	0,003
		Boa	II	333,0	26,5
		Regular	III	233,3	18,6
B	NÃO RECOMENDADO	Restrita	IV	46,2	3,7
C	INAPTO	Inapta	V	104,1	8,3
		Inapta -		540,0	43,0
		Restrição Legal			

Estas áreas estão localizadas com maior destaque na região sul, tendo algumas manchas ao norte (acompanhando, principalmente, o leito do rio Meia Ponte) e a leste, destacando-se a Unidade de Conservação Parque Estadual Altamiro de Moura Pacheco.

Quanto às restrições derivadas da análise dos fatores ambientais, as maiores limitações concentram-se a leste da área de estudo, com 3,7% do total apresentando-se com restrição à aplicação do lodo, sendo, portanto, de uso não recomendado, e 8,3% das áreas consideradas inaptas para esta finalidade.

As áreas onde as limitações dos fatores ambientais são nulas são pouco representativas, respondendo por 0,003% do total. Já as áreas de boa aptidão ao uso do lodo, representam 26,5% da área total, estando mais bem representadas na parte norte da área de estudo. Enquanto as terras com aptidão regular, mas também aptas à aplicação do lodo encontram-se melhor distribuídas na parte sul da área de estudo. No total as áreas aptas respondem por 45%.

A Figura 37 apresenta o mapa final da distribuição das classes de aptidão das terras à aplicação do lodo para a área delimitada com raio de 20 km a partir da ETE Goiânia.

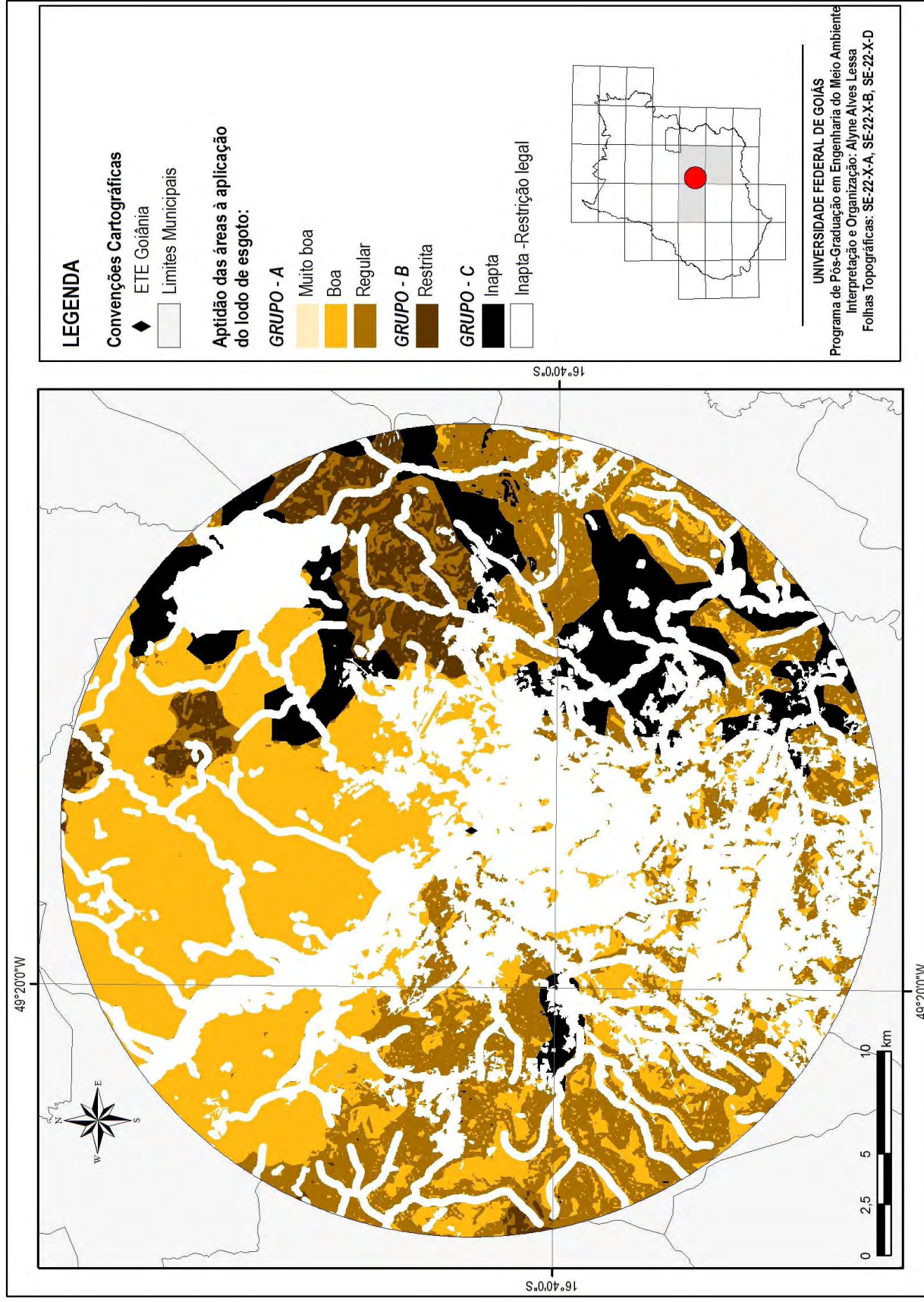


Figura 37 - Mapa final de aptidão das terras à aplicação do lodo de esgoto com fins agrícola para a área delimitada com raio de 20 km

Para melhor visualização dos municípios envolvidos na pesquisa quando o raio de estudo é reduzido a 20 km, na Figura 38 é demonstrada a classificação das terras para disposição final do lodo com fins agrícolas e os limites municipais envolvidos. Observa-se que o município de Goiânia, onde se localiza a ETE Goiânia, representa a maior parte do território considerado na avaliação, com 95,7% de seu território, o que representa 56% da área total de estudo para este raio.

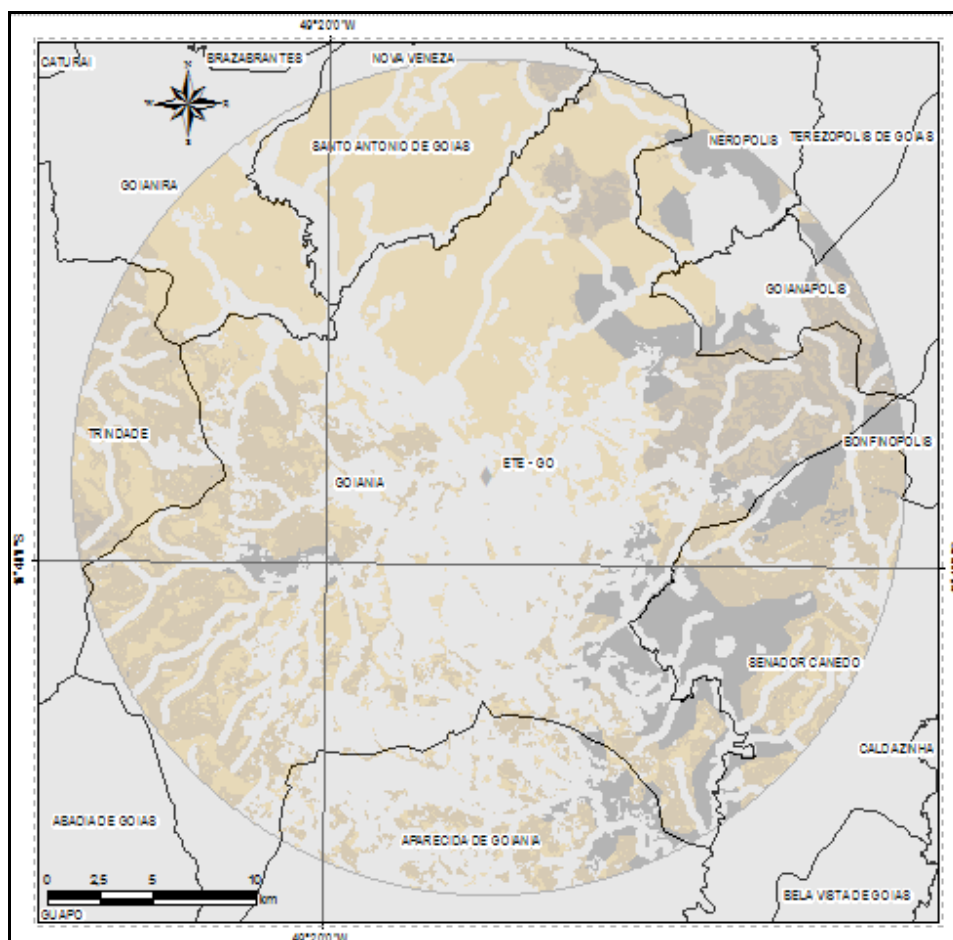


Figura 38 – Limites municipais envolvidos na classificação das áreas para disposição do lodo com fins agrícolas para o raio de 20 km.

A partir da Figura 38 observa-se também que o município onde a ETE Goiânia tem realizado a aplicação do lodo, Abadia de Goiás, foi excluído do perímetro estudado.

Ao analisar a classificação das áreas quanto a aptidão agrícola para o uso do lodo tanto para a área delimitada com de 46km como a delimitada com raio de 20km, constata-se que o estudo das características ambientais é uma importante ferramenta para a seleção das áreas para aplicação do lodo com fins agrícolas, complementando as normas impostas pela Resolução CONAMA 375/2006 e as contribuições feitas em estudos

realizados sobre o tema até o momento, já que indica as áreas com potencialidades para receber o lodo sem causar impactos negativos ao meio ambiente, além de apresentar áreas com fragilidades ambientais para esta finalidade.

6 - CONCLUSÕES

A partir do estudo realizado foi possível obter as seguintes conclusões:

- ♦ A área escolhida para o estudo sobre aptidão à aplicação do lodo da ETE Goiânia para fins agrícolas está localizada em terreno de relevo aplainado se configurando, em boa parte, como superfícies de aplainamento, onde os solos, em sua maioria, são profundos, bem drenados, apresentando deficiências quanto à fertilidade natural e alguns impedimentos à mecanização devido à textura e/ou à presença de cascalho/pedregosidade;
- ♦ Quanto ao uso e ocupação, a área de estudo apresenta-se bem urbanizada, com algumas cidades conurbadas ao município de Goiânia, como Aparecida de Goiânia e Trindade, estando as maiores manchas localizadas ao centro. O uso que ocupa maior área é o de pastagem, seguida pelas matas, que representam o cerrado denso e as matas ciliares;
- ♦ O estudo foi realizado numa área delimitada pelo raio de 46 km, contudo, também foram analisados os resultados para o raio de 20 km em razão de este valor ser o empregado para estudos de resíduos sólidos;
- ♦ Das restrições estabelecidas pela Resolução CONAMA 375/2006, a que se refere à proteção dos cursos d'água é a mais representativa para a área delimitada com raio de 46 km, caracterizando como inapta à aplicação do lodo 17,7% da área de estudo, e para o raio de 20 km destacou-se a área urbanizada que preservou da aplicação do lodo 24% da total de estudo; enquanto a limitação referente ao relevo foi a menos restritiva para ambos os raios em decorrência das pequenas declividades dominantes na área de estudo;
- ♦ Todas as restrições somadas preservaram da aplicação do lodo 1.693 km², ou seja, 25,5% da área total delimitada com raio 46 km e 540 km² (43% da área total) para a área delimitada com raio de 20 km;
- ♦ Com a exclusão das áreas com limitações determinadas pela Resolução CONAMA, a análise ambiental quanto à capacidade do meio físico à aplicação do lodo para as demais áreas demonstrou que a Resolução atende muitas das fragilidades ambientais quando aplicadas na área de estudo (raio de 46 km), principalmente para os fatores ambientais hidromorfismo e drenagem dos solos;
- ♦ O fator ambiental textura do solo, pontuou 17% da área como inapta à aplicação do lodo, enquanto o fator pedregosidade do solo registrou 1,9% e o fator profundidade do solo, menos restritivo que os dois anteriores, apresentaram 0,02% de

inaptidão à aplicação do lodo e 3,7% com restrições (limitação forte), todos para o raio de 46 km;

- ♦ Ainda para o raio de 46 km, o fator ambiental relevo, embora contemplado parcialmente pela resolução, apresentou restrição ao uso (limitação forte) em 2% da área de estudo e o fator ambiental suscetibilidade à erosão, 23% com restrição ao uso do lodo e 2% da área como inapta e o fator ambiental fertilidade aplicado demonstrou-se favorável ao uso do lodo por se tratar de terras cujo solo é infértil e necessitando de correção;

- ♦ Ao sobrepor o resultado de todos os fatores ambientais verificou-se que pouco mais da metade das terras delimitadas com raio de 46 km, 3.407 km², encontram-se aptas à aplicação do lodo e que as terras consideradas inaptas (fatores ambientais somadas às restrições técnicas e legais) corresponde a 2.664,9 km², vetando 40% da área total de estudo à aplicação do lodo de esgoto, enquanto as áreas consideradas muito boas à aplicação, sem qualquer restrição, corresponde a 0,2 km² ou 0,002% da área total de estudo;

- ♦ Os resultados para a área delimitada com raio de 20 km são: mais da metade da área (644,1 km²) caracteriza-se como inapta à aplicação do lodo; 46,6 km² da área têm o uso do lodo não recomendado e 566,3 km² (45% da área de estudo) encontram-se apta à disposição do lodo com finalidade agrícola;

- ♦ Para ambos os raios, de 20 e 46 km, a região norte possui as maiores manchas de terras aptas à aplicação do lodo, enquanto a região sul apresenta as maiores restrições.

REFERÊNCIAS

- ANDREOLI, C. V. *et al.* **Disposição do lodo no solo.** In: Andreoli, C. V. *et al.* Lodo de esgotos: Tratamento e disposição final. Belo horizonte, MG: Departamento de Engenharia Ambiental – UFMG e Companhia de saneamento do Paraná, 2001.
- ASSAD, E. D. & SANO, E.E. (ed.) **Sistema de Informações Geográficas: Aplicações na Agricultura.** Planaltina: EMBRAPA/CPAC,1993.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 10.004.** Apresentação de projetos de aterros de resíduos. Rio de Janeiro, 2004.
- BEZERRA, F. B. *et al.* **Lodo de esgoto em revegetação de área degradada.** Pesquisa agropecuária brasileira, Brasília, v.41, n.3, p.469-476, mar. 2006.
- BITTENCOURT, S. *et al.* **Uso agrícola de lodo de esgoto, estudo de caso da região metropolitana de Curitiba.** Revista AIDIS, Vol. 2, No. 1, 2009.
- BRASIL. **Lei 4.771, de 15 de setembro de 1965.** Institui o novo Código florestal. Disponível em < http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/Leis/L4771.htm>. Acesso em 20 ago 2008.
- BRASIL. **Lei Nº 11.445, de 5 de janeiro de 2007.** Estabelece diretrizes nacionais para o saneamento básico; altera as Leis nos 6.766, de 19 de dezembro de 1979, 8.036, de 11 de maio de 1990, 8.666, de 21 de junho de 1993, 8.987, de 13 de fevereiro de 1995; revoga a Lei no 6.528, de 11 de maio de 1978; e dá outras providências. Disponível em < http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2007-2010/2007/lei/11445.htm>. Acesso em 10 mai 2009
- BRASIL. **Portaria MINTER N. 124, de 20 de agosto de 1980.** Estabelece normas para a localização de indústrias potencialmente poluidoras junto à coleções hídricas. Disponível em < <http://www.ima.al.gov.br/legislacao/portarias-ministeriais/Portaria%20nb0%20124.80.pdf> >. Acesso em: 23 mar 2010.
- CALDEIRA JÚNIOR, C. F. *et al.* **Capacidade de Recuperação de Área Degradada pelo *Gonçalo-alves* (*Astronium fraxinifolium* Schott) sob Adubação com Lodo de Esgoto e Silicato.** Nota Científica: Revista Brasileira de Biociências, Porto Alegre, v. 5, supl. 1, p. 480-482, jul. 2007b.
- CALDEIRA JÚNIOR, C. F. *et al.* **Crescimento de Aroeira sob Adubação com Lodo de Esgoto e Silicato visando a Revegetação de Área Degradada.** Nota Científica: Revista Brasileira de Biociências, Porto Alegre, v. 5, supl. 1, p. 261-263, jul. 2007a.
- CAMPOS, F. DA S. DE & ALVES, M. C. **Uso de lodo de esgoto na reestruturação de solo degradado.** Revista Brasileira de Ciência do Solo, n. 32, p.1389-1397, 2008.

CANZIANI, J. R. F.; OSAKI, M.; MASSARDO, M.; PEGORINI, E.S. **Análise Econômica para a reciclagem agrícola do lodo de esgoto da ETE-Belém.** SANARE, Curitiba, janeiro a junho de 1999, v. 11, p. 51-58

CASTRO, S. S. & SALOMÃO, X. F. **Compartimentação Morfopedológica e sua Aplicação: Considerações Metodológicas.** Campinas, SP: Revista GEOUSP n.º. 7, 2000.

CHIBA, M. K. **Uso do lodo de esgoto na cana-de-açúcar como fonte de nitrogênio e fósforo: parâmetros de fertilidade do solo, nutrição da planta e rendimentos da cultura.** 2005. Tese (Doutorado em Agronomia). Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo – USP, São Paulo, 143 pág. 2005.

CONAMA. **Resolução CONAMA (Conselho Nacional de Meio Ambiente) n.º 375, de 29 de agosto de 2006.** Dispõe sobre fatores 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. Disponível em: <
<http://www.mma.gov.br/port/conama/>> Acesso em: 20 ago. 2008.

CONAMA. **Resolução CONAMA (Conselho Nacional de Meio Ambiente) n.º 357, de 17 de março de 2005.** Dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes, e dá outras providências. Disponível em: <
<http://www.mma.gov.br/port/conama/>> Acesso em: 20 ago. 2008.

CONDER (Companhia de Desenvolvimento Urbano do Estado da Bahia). **Lixo: coloque o no lugar certo - Informativo para prefeituras.** Salvador, Bahia, 2001. Disponível em <
http://www.conder.ba.gov.br/cartilha_lixo_lugar_certo.pdf>. Acessado em 05 nov 2010.

Crespo, Daniel Pizarro. **Estudo de Viabilidade Ambiental para Implantação do Aterro Sanitário de Canaã dos Carajás.** – Belo Horizonte, 2006. Monografia (Especialização) - Universidade Federal de Minas Gerais. Instituto de Geociências. Departamento de Cartografia, 2006.

CZECHOWSKI, F. & MARCINKOWSKI, T. **Primary sludge stabilisation with calcium hydroxide.** Environ Chem Lett, n. 4, p. 11–14, 2006.

DE BIASI, M. A. **Carta Clinográfica: Os Métodos de Representação e sua Confecção.** São Paulo: Revista do Departamento de Geografia – USP, n. 5, 1992.

DE MARIA, I. C. **Agregação do solo em área que recebeu lodo de esgoto.** Bragantia, Campinas, v.66, n.2, p.291-298, 2007.

FARIA, P.H DE S. & SANTOS, H. I DOS. **Uso do lodo primário de esgoto urbano de ETE's na recuperação de áreas degradadas.** Artigo apresentado como requisito parcial à obtenção de graduação no curso de Engenharia Ambiental da Universidade Católica de Goiás. Goiânia: UCG, 2007.

FERNANDES, F. & SOUZA, S. G. DE. **Estabilização de lodo de esgoto**. In: Resíduos Sólidos do Saneamento: Processamento, Reciclagem e Disposição Final. Curitiba, PR: PROSAB, 2001.

FERREIRA, A. C. & ANDREOLI, C. V. **Destino final do lodo**. In: Uso e manejo de lodo de esgoto na agricultura. Curitiba, PR: PROSAB, 1999.

FYTILI, D e ZABANIOTOU, A. **Utilization of sewage sludge in EU application of old and new methods—A review**. Renewable and Sustainable Energy Reviews n. 12, p. 116-140, 2008.

GEOCOVER: imagem de satélite georreferenciada (NASA, 2009). Disponível em <<https://zulu.ssc.nasa.gov/mrsid/mrsid.pl>>. Acesso em 12 nov 2009.

GODOI, E. L. DE, BORGES, J. D & LEANDRO, W. M. **Índices de cobertura vegetal e fitomassa de *stylosanthes guianensis* cv. Mineirão em área degradada, fertilizada com adubo mineral e bio sólido**. Pesquisa Agropecuária Tropical, v. 38, n. 1, p. 21-26, mar. 2008a.

GODOI, E. L. DE. **Uso agrônomo de lodo de esgoto na recuperação de área degradado: efeito residual**. 2008. 98 f. Tese (Doutorado em Agronomia: Produção Vegetal) – Escola de agronomia e Engenharia de Alimentos, Universidade Federal de Goiás, Goiânia, 2008b.

GOIÁS (Estado). **Lei nº 14.248, de 29 de julho de 2002**. Dispõe sobre a Política Estadual de Resíduos Sólidos e dá outras providências. Diário Oficial, Goiânia, 05 ago. 2002. Disponível em: <http://www.gabinetecivil.goias.gov.br/leis_ordinarias/2002/lei_14248.htm>. Acesso em: 23 mar 2009.

GOIÁS (Estado). Secretaria de Indústria e Comércio. Superintendência de Geologia e Mineração. **Mapa Geomorfológico do Estado de Goiás: Relatório Final**. Goiânia, 81 p, 2005.

ILHENFELD, R. G. K. PEGORINI, E, S & ANDREOLI, C. V. **Fatores Limitantes**. In: SANEPAR; PROSAB. Uso e Manejo do lodo de esgoto na agricultura. Curitiba: PROSAB, 1999.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. IBGE. **Manual técnico de pedologia**. 2ª Ed. IN: IBGE. Manuais técnicos em geociências. Rio de Janeiro: IBGE, v. 4, 316p., 2007.

KIMATURA, A. E. **Recuperação de um solo degradado com a aplicação de adubos verdes e lodo de esgoto**. Revista Brasileira de Ciência do Solo, n. 32, p.405-416, 2008.

LANSAT TM 5: imagem de satélite. São José dos Campos: Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), 2008. Canais 3, 4 e 5 e composição colorida 3, 4 e 5. Disponível em <<http://www.inpe.br>>. Acesso em 18 mar 2009.

LEMAINSKI, J. & DA SILVA, J. E. **Utilização do biossólido da CAESB na produção de milho no distrito federal.** Revista Brasileira de Ciência do Solo, n. 30, p.741-750, 2006.

LEPSCH, I F. *et al.* **Formação e conservação dos solos.** São Paulo: Oficina de textos, 2002.

LEPSCH, I. **Manual para o Levantamento do Meio Físico de Classificação das Terras no Sistema de Capacidade de Uso.** Campinas: Soc. Bras. de Ciência do Solo. 1991.

LIMA, G. S. De & GUIMARÃES, L. T. **Metodologia para seleção de áreas para implantação de aterro sanitário municipal.** In: 21º Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental, 2001, João Pessoa, PB. Disponível em <<http://www.bvsde.paho.org/bvsaidis/resisoli/brasil/iii-097.pdf>>. Acessado em 20 out de 2010.

LUDUVICE, M. & FERNANDES, F. **Principais tipos de transformação e descarte do lodo.** In: Andreoli, C. V. *et al.* Lodo de esgotos: Tratamento e disposição final. Belo horizonte, MG: Departamento de Engenharia Ambiental – UFMG e Companhia de saneamento do Paraná, 2001.

LUDUVICE, M. **Processos de estabilização de lodos.** In: Andreoli, C. V. *et al.* Lodo de esgotos: Tratamento e disposição final. Belo horizonte, MG: Departamento de Engenharia Ambiental – UFMG e Companhia de saneamento do Paraná, 2001.

MALTA, TATIANA SIQUEIRA. **Aplicação de lodos de estações de tratamento de esgotos na agricultura: estudo do caso do município de Rio das Ostras - RJ.** [Mestrado] Fundação Oswaldo Cruz, Escola Nacional de Saúde Pública; 2001. 68 p.

MIKI, M. K. *et al.* **Tratamento da fase sólida em estações de tratamento de esgoto.** In: TSUTIYA, M. T. *et al.* (editores) Biossólidos na agricultura. São Paulo, SP: Ed. ABES, 2002.

MIRANDA, E. E. DE; (Coord.). **Brasil em Relevo.** Campinas: Embrapa Monitoramento por Satélite, 2005. Disponível em: <<http://www.relevobr.cnpm.embrapa.br/>>. Acesso em: 01 ago. 2005.

MORENTON, L. C. Geologia Regional. In: MORETON, L. C. (Org.) Programa de Levantamento Geológico Básico do Brasil: Goiânia – Folha SE-22-X-B-IV. Estado de Goiás. Escala 1:100.000. Brasília: DNPM/CPRM, 1993.

MUSSE, C. L. B. **Avaliação das potencialidades da cinza de lodo de esgoto da ETE Goiânia como adição mineral na produção de argamassa de cimento portland.** Dissertação (Mestrado), Programa de Pós-Graduação em Engenharia do Meio Ambiente, Universidade Federal de Goiás, Goiânia, 131 p., 2007.

NUVOLARI, A & CORAUCCI FILHO, B. **Utilização de lodos de esgoto sanitário e suas cinzas em tijolos cerâmicos maciços: resultados dos ensaios para determinação da massa específica aparente pós-queima.** In: 22º Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental, 2003, Joinville - Santa Catarina. Disponível em <> Acessado em 15 out 2010.

PASSAMANI, f. R. F. & GONÇALVES, R. F. **Higienização de Lodo de Esgoto.** In: PROSAB. Gerenciamento do lodo de lagoas de estabilização não mecanizadas. Espírito Santo: Departamento de Hidráulica e Saneamento, Centro Tecnológico, Universidade Federal do Espírito Santo, 1999.

PCA-**Plano de controle ambiental de área degradada por extração de cascalho eluvionar (Fazenda Quati, Abadia de Goiás, GO.** Neotrópica Ambiental – Tecnologia Ambiental LTDA, Goiânia, Goiás, 2005.

PGA - **Plano de Gestão Ambiental para aplicação de lodo da ETE Goiânia – SANEAGO em área de pastagem degradada na Fazenda Vereda, Goiânia – GO.** Consórcio Rio Vermelho, Goiânia, 2007.

PGA - **Plano de Gestão Ambiental para aplicação de lodo da ETE Goiânia – SANEAGO e lodo da ETE da Unilever Brasil LTDA. em área de pastagem na fazenda hospital, Goiânia – GO.** Consórcio Rio Vermelho, Goiânia, 2008.

PINTO, M. T. **Higienização do lodo.** In: Andreoli, C. V. *et al.* Lodo de esgotos: Tratamento e disposição final. Belo horizonte, MG: Departamento de Engenharia Ambiental – UFMG e Companhia de saneamento do Paraná, 2001.

PIVELI, R. P. *et al.* **Utilização de Esgoto Tratado na Agricultura: Aporte de Água e Nutrientes.** In: MOTA, F. S. B. M & VON SPERLING, M (Coordenadores). Nutrientes de esgoto sanitário: utilização e remoção. Rio de Janeiro: ABES, 2009.

Reações de complexação. In Infopédia [Em linha]. Porto: Porto Editora, 2003-2010. Disponível na www: <URL: [http://www.infopedia.pt/\\$reaccoes-de-complexacao](http://www.infopedia.pt/$reaccoes-de-complexacao)>. Acesso em 08 abr 2010.

RMA - **Relatório de Monitoramento Ambiental.** In: **Reciclagem do lodo primário da ETE Goiânia na recuperação de área de pastagem degradada preteritamente por extração de cascalho eluvionar Fazenda Porções dos Dourados, Abadia de Goiás – GO.** Neotrópica – Tecnologia ambiental, Goiânia, Go, 2006.

ROCHA, M. T.& SHIROTA, R. **Disposição Final de lodo de esgoto.** *Revista de Estudos Ambientais.* Vol. 1, n.º 3, set-dez, 1999.

SALOMÃO, X. F. **Processos erosivos lineares em Bauru (SP): regionalização Cartográfica Aplicada ao Controle Preventivo Urbano e Rural.** São Paulo: Tese de Doutorado. Universidade de São Paulo, 1994.

SANEAGO – Saneamento de Goiás S/A. **Relatório de Processo da Estação de Tratamento de Esgotos de Goiânia**. Projeto Executivo, volume 2 - INTERPLAN. Goiânia – GO. Junho, 2005a.

SANEAGO. **O esgoto em Goiânia**. In: Esgoto. Disponível em: <http://www.saneago.com.br/>. Acesso em: 23 de mar. 2009.

SANO, E.; ROSA, R.; BRITO, J.L.S.; FERREIRA, L.G. **Mapeamento Semidetalhado do uso da terra do Bioma Cerrado**. Pesquisa Agropecuária Brasileira. v. 43, n.1,p.153-156, 2008.

SANT'ANNA, M. P. DE, SILVA, M. O. S. Á. DA & SILVA, M. F. DA. **Desidratação e estabilização alcalina do lodo primário da ETE Goiânia**. In: 24º Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental, 2007, Belo Horizonte, MG. Disponível em < <http://www.saneamento.polis.ufrrj.br/documentos/24CBES/II-353.pdf>>. Acesso em 20 ago 2008.

SANTOS, H. F. DO. **Normatização para o uso agrícola dos biossólidos no exterior e no Brasil**. In: Andreoli, C. V. *et al.* Lodo de esgotos: Tratamento e disposição final. Belo horizonte, MG: Departamento de Engenharia Ambiental – UFMG e Companhia de saneamento do Paraná, 2001.

SANTOS, H. G. DOS *et al.* **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. 2 ed. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2006.

SIEG – Sistema Estadual de Estatística e de Informações Geográficas de Goiás. **Relatório do Mapa de Solos do Plano Diretor da Bacia do Paranaíba**. Disponível em < <http://www.sieg.go.gov.br/>>. Acesso em 12 de jan. de 2010.

SILVA, A. D. DA, PINHEIRO, E. DA S. **A problemática dos resíduos sólidos urbanos em Tefé, Amazonas**. Sociedade & Natureza, Uberlândia, 22 (2): 297-312, ago. 2010.

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

SILVA, M. F. & KELLYA DE MORAIS E. **Avaliação de coagulantes para tratamento primário quimicamente assistido – ETE Goiânia**. In: 23º Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental, 2005, Campo Grande, MS. Disponível em <<http://www.bvsde.paho.org/bvsacd/abes23/II-117.pdf>>. Acesso em 20 ago 2008.

SILVA, M. F. DA & CARVALHO E. H. DE. **Otimização do tratamento preliminar da ETE - Goiânia**. In: 24º Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental, 2007, Belo Horizonte, MG. Disponível em < <http://www.ctec.ufal.br/professor/elca/Tratamento%20Preliminar%20de%20Esgotos%20II-451%20ABES.pdf>>. Acesso em 20 ago 2008.

SILVA, M. F. DA & SILVA, K. DE M. E. **Avaliação de coagulantes para tratamento primário quimicamente assistido – ete goiânia**. 23º Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental, 2005. Disponível em < <http://bases.bireme.br/cgi-bin/wxislind.exe/iah/online/?IsisScript=iah/iah.xis&src=google&base=REPIDISCA&lang=p&nextAction=lnk&exprSearch=37990&indexSearch=ID>>. Acesso em 12 mar 2009.

SINGH, R. P. & AGRAWAL, M. **Potential benefits and risks of land application of sewage sludge**. Waste Management, n.º 28, p. 347-35, 2008.

SOBRINHO, P. A. **Tratamento e geração do lodo**. In: TSUTIYA, M. T. *et al.* (editores) Biossólidos na agricultura. São Paulo, SP: Ed. ABES, 2002.

SOUZA, M. L. P. *et al.* **Aptidão das terras do estado do Paraná para disposição final do lodo de esgoto**. Revista DAE, São Paulo: Cia de Saneamento do Estado de São Paulo, n. 177, ano LXXI, p. 20 - 29, maio 2008.

SOUZA, M. L. P. *et al.* **Desenvolvimento de um sistema de classificação de terras para disposição final do lodo de esgoto**. In.: Simpósio Luso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental. Anais... Florianópolis: ABES/APRH, v. 1, p. 403-419, 1994.

TEMPERATURAS MÉDIAS. Sistema de Meteorologia e Hidrologia do Estado de Goiás (2010). Disponível em < <http://www.simego.sectec.go.gov.br/> >. Acesso em 07 abr 2010.

VAN HAANDEL, A. & CAVALCANTI, P.F.F. **Geração e Composição de Lodo em Sistemas de Tratamento de Esgotos Sanitários**. In: Resíduos Sólidos do Saneamento: Processamento, Reciclagem e Disposição Final. Curitiba, PR: PROSAB, 2001.

VAN HAANDEL, A. & SOBRINHO, P. A. **Produção, composição e constituição de lodo de esgoto**. In: Usos alternativos de lodos de estações de tratamento de água e estações de tratamento de esgoto: Alternativas de uso de resíduos do saneamento. Curitiba, PR: PROSAB, 2006.

VON SPERLING, M. & GONÇALVES, R. F. **Lodo de esgoto: características e produção**. In: Andreoli, C. V. *et al.* Lodo de esgotos: Tratamento e disposição final. Belo horizonte, MG: Departamento de Engenharia Ambiental – UFMG e Companhia de saneamento do Paraná, 2001.

VON SPERLING, M. **Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos**. 3 ed. Belo Horizonte: Departamento de engenharia sanitária e ambiental, Universidade Federal de Minas Gerais, 2005.

VON SPERLING, Marcos Von. **Princípios do Tratamento Biológico de Águas Residuárias – Lodos Ativados**. 2ª Ed., Volume 4. Belo Horizonte: Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG), 2002.