Universidade Federal de Ouro Preto
Escola de Minas
Departamento de Engenharia Ambiental
Disciplina: AMB 108 - Trabalho de Graduação II

Lucas Machado Rodrigues

DEFINIÇÃO PRELIMINAR DE ÁREAS POTENCIAIS PARA ATERRO SANITÁRIO EM OURO PRETO - MG

Ouro Preto, 2016

Lucas Machado Rodrigues

DEFINIÇÃO PRELIMINAR DE ÁREAS POTENCIAIS PARA ATERRO SANITÁRIO EM OURO PRETO – MG

Monografia apresentada ao Departamento de Engenharia Ambiental da Universidade Federal de Ouro Preto como parte dos requisitos para a obtenção de Grau em Engenharia Ambiental.

Orientador: Prof. Dr. Frederico Garcia Sobreira

Ouro Preto, março de 2016

R696d Rodrigues, Lucas Machado.
Definição preliminar de áreas potenciais para aterro sanitário em Ouro Preto – MG. [manuscrito] / Lucas Machado Rodrigues. – 2016.
xiii,79f. : il., color., tab. e mapas.

Orientador: Prof. Dr. Frederico Garcia Sobreira.

Monografia (Graduação) – Universidade Federal de Ouro Preto. Escola de Minas. Departamento de Engenharia Ambiental.
Área de concentração: Engenharia Ambiental

1. Engenharia ambiental. 2. Resíduos Sólidos. 3. Aterro Sanitário. 4. Geoprocessamento. I. Universidade Federal de Ouro Preto. II. Título.

Fonte de catalogação: bibem@sisbin.ufop.br

Lucas Machado Rodrigues

DEFINIÇÃO PRELIMINAR DE ÁREAS POTENCIAIS PARA ATERRO SANITÁRIO EM OURO PRETO – MG

Monografia defendida e aprovada em 04 de março de 2016 pela comissão avaliadora constituída pelos professores e engenheiro:

Prof. Dr. Frederico Garcia Sobreira
Universidade Federal de Ouro Preto
Departamento de Engenharia Ambiental

Profª. Drª. Lia de Mendonça Porto
Universidade Federal de Ouro Preto
Departamento de Engenharia Ambiental

Gilmar dos Santos Dias
Engenheiro Ambiental
Gestão de Resíduos – Vale S.A.

"Você, pensando pequeno, de nada serve ao mundo"

- *Marianne Williamson*

Dedico esse trabalho aos meus pais,
pelo amor incondicional e por
sempre acreditarem em
minhas decisões

FUNDAÇÃO UNIVERSIDADE FEDERAL DE OURO PRETO

Reitor

Prof. Dr. Marcone Jamilson Freitas Souza

Vice-Reitor

Profª. Drª. Célia Maria Fernandes Nunes

Pró-Reitor de Graduação

Prof. Dr. Marcílio Sousa da Rocha Freitas

ESCOLA DE MINAS

Diretor

Prof. Dr. Issamu Endo

Vice-Diretor

Prof. Dr. José Geraldo Arantes de Azevedo Brito

DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA AMBIENTAL

Chefe

Prof. Dr. Frederico Garcia Sobreira

AGRADECIMENTOS

O presente estudo não teria sido passível de conclusão não fosse o apoio, a consideração e a orientação do professor Frederico Garcia Sobreira, a quem devo muita gratidão. Agradeço também à Professora Lia Porto, pelos valiosos encontros e conversas dos quais me serviram de inspiração não somente para esse trabalho, mas também para a vida. Ao professor Aníbal Santiago, agradeço pela ajuda com a metodologia de seleção de áreas e principalmente pela preocupação genuína para com o desenvolvimento e qualidade do projeto, em seus primeiros momentos. Ao engenheiro geólogo Diógenes Pampolini, agradeço pelo material fornecido que foi de grande importância para as comparações realizadas no estudo.

Ao engenheiro ambiental e colega Gilmar Dias, minha sincera gratidão pela amizade e pelos ensinamentos práticos, sediados na melhor das salas de aula: A Central de Materiais Descartáveis. Ao colega e amigo Juvenil Fonseca, agradeço pelas oportunidades que me foram dadas de participar de momentos decisivos ao meu aprendizado e pela confiança que sempre foi prontamente depositada em mim, me permitindo desenvolver sem medo de errar.

Ao Programa de Educação Tutorial (PET) - DEGEO e seus membros, agradeço pela infraestrutura e apoio para a realização desse trabalho. Agradeço também à minha tutora, professora Adivane Costa, pelo material emprestado e ensinamentos em geologia, meio ambiente e espiritualidade. À professora Mariângela Leite, pela excelente orientação ao longo de minha primeira iniciação científica; as dificuldades encontradas naquela época tornaram o processo de elaboração do presente estudo muito menos trabalhoso. Meus sinceros agradecimentos também a todo o Departamento de Engenharia Ambiental, seus mestres e meus colegas, em especial Tatiane Borges pela enorme ajuda na logística de correção desse trabalho.

Aos irmãos da República Cêkisabi, agradeço pela confraria. À Fernanda Medina, pela cumplicidade e apoio remoto (Lá de Taquari). À Virgínia, pelas conversas, cafés e risadas nas tardes em Guarulhos, onde nasceram as primeiras páginas desse projeto. À Nicoli, por estar ao meu lado e me apoiar nas horas em que mais precisei ao longo da elaboração do trabalho. Às avós Geralda, Sônia e Zélia pelo carinho. E finalmente aos meus pais Antônio Henrique e Doris, e a minha irmã Ana Clara, pelo amor e confiança incondicional que me ajuda a ser melhor e mais feliz todos os dias.

RESUMO

A taxa de crescimento populacional do Brasil foi superada pela da geração de resíduos sólidos urbanos em 2014. Esse fato comprova que apesar de todos os esforços para reduzir ou não gerar esses materiais, ainda permanece uma grande parcela que precisa ser disposta em aterros. O problema da disposição no país é que a maioria dos municípios ainda não dispõe de aterros sanitários projetados e executados segundo as boas práticas de engenharia, como é o caso de Ouro Preto, que em 2015 ainda aterra seus resíduos em aterro com características muito mais semelhantes às de um "Lixão". Ouro Preto, assim como todos os municípios que ainda utilizam depósitos de lixo a céu aberto, precisa instalar um novo empreendimento de modo a se ajustar com as legislações federais e estaduais que já estão impondo prazos para regularizações nas coletas e disposições de resíduos urbanos. O presente projeto nasce na expectativa de prover ao município inteligência suficiente para facilitar a tomada de decisão de onde será sediado o futuro aterro sanitário da cidade. A correta escolha do local para receber o aterro é fundamental para reduzir custos de execução e manutenção, bem como garantir que os resíduos ali dispostos não entrarão em contato com o meio adjacente causando poluição e prejudicando a qualidade de vida. Para realizar a definição preliminar de áreas potenciais para Aterro Sanitário no município foram inicialmente comparadas as metodologias praticadas anteriormente em outros locais para que por fim fosse utilizada uma combinação adaptada de duas metodologias, que envolvem análise multicritério facilitada por técnicas de geoprocessamento com base em dados cartográficos digitalizados e sistema de informações geográficas. Foram utilizados três agrupamentos de critérios: "Técnico-ambientais", "Econômico-financeiros" e "Político-sociais" com diferentes ponderações de modo a encontrar áreas potenciais, pouco favoráveis ou desfavoráveis para receber o empreendimento. Os critérios avaliam as distâncias em relação a: cursos d'água, maior fonte geradora, núcleos populacionais de baixa renda, áreas de grande interesse de conservação, estradas e acessos, bem como a declividade do terreno e a permeabilidade do solo. Ao final da análise duas áreas foram definidas como as mais aptas a sediarem o novo aterro. As duas áreas finalistas localizam-se próximas umas das outras, na porção sul dos limites da sede do município, logo na fronteira com o distrito de Lavras Novas. Apesar de estarem em localizações previamente avaliadas e classificadas como restritas, em estudo anterior, o fato do presente projeto não ter utilizado critérios exclusivos em sua classificação permite que áreas que por ventura foram classificadas como inaptas por eventuais imprecisões nas bases cartográficas possam ser incluídas em análises mais específicas e conclusivas. Por fim, a definição preliminar aqui realizada apresenta argumentos suficientes para justificar a necessidade e o investimento necessário para uma futura campanha de campo e análises *in loco* de modo a verificar o seu real potencial para se receber um aterro.

ABSTRACT

The population growth rate in Brazil was exceeded by the urban solid waste generation growth rate in 2014. This fact proves that besides all efforts in order to reduce or eliminate waste generation, there is still a considerable amount of material in need for proper disposal. The problem concerning waste disposal today is that most municipalities are not provided with proper sanitary landfills, designed according to good engineering practices. Ouro Preto, which landfills its waste in open dumpsites, is no different. Like all municipalities that still don't have proper sanitary landfills, Ouro Preto needs to provide its citizens with a new place for disposing solid waste in order to comply with federal and state regulations. This project expects to provide sufficient information to assist the municipality in the decision making process of site selection for a new sanitary landfill. The correct placement is crucial in order to reduce construction, maintenance and operational costs and ensure that all waste there disposed is not to get in contact with the environment avoiding further contamination that could endanger quality of life. In order to define potential areas, four site selection methods were studied and compared before a combination of two adapted methods, based in multi-criteria decision and geoprocessing tools was decided to be used. Three criteria groups were applied in a weighted combination of values in order to result in three different categories of areas: Potential, least favorable and unfavorable. The criteria considered the distance between the landfill to surrounding water courses, roads, low income neighborhoods, protected areas, biggest waste generation spots as well as soil permeability and slope. At the end of the analysis two final candidates were defined based in further consideration using satellite images. The final spots are located near each other in the southern portion of the municipality at the border of the Lavras Novas district. Although previous studies classified these locations as "restricted" for landfill use, it is believed that since this study did not use any exclusive criteria there is a chance that it identified proper areas that could have been previously discarded by imprecisions in the geographical database. At last, enough arguments were produced to justify the necessity and investment for field campaigns on those two sites in order to conduct further *in loco* analysis and validate their real potential to host a sanitary landfill.

Índice de Abreviações

ABRELPE – Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos industriais

ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas

APA – Área de Proteção Ambiental

ASCE – *American Society of Civil* Engineers

AV – Análise de Valor

CBH – Conselho de Bacia Hidrográfica

CETEC – Fundação Centro de Tecnologia de Minas Gerais

CETESB – Companhia Ambiental do Estado de São Paulo

COPAM - Conselho Estadual de Política Ambiental – MG

CODEMIG - Companhia de desenvolvimento econômico de Minas Gerais

CONAMA – Conselho Nacional do Meio Ambiente

CPRM – Companhia de pesquisa de recursos minerais

DN – Deliberação Normativa

DNPM – Departamento nacional de pesquisa mineral

DEAMB – Departamento de Engenharia Ambiental

DECIV – Departamento de Engenharia Civil

DEGEO – Departamento de Geologia

FEAM - Fundação Estadual do Meio Ambiente – MG

LF – Lógica Fuzzy

PET – Programa de Educação Tutorial

PMOP - Prefeitura Municipal de Ouro Preto

QF – Quadrilátero Ferrífero

RPPN – Reserva Particular do Patrimônio Natural

RSU – Resíduos Sólidos Urbanos

SiBCS – Sistema Brasileiro de Classificação de Solos

SNUC – Sistema Nacional de Unidades de Conservação

SIG – Sistema de Informações Geográficas (*GIS – Geographycal information system)*

UC – Unidade de Conservação

UFLA – Universidade Federal de Lavras

UFOP – Universidade Federal de Ouro Preto

UFV – Universidade Federal de Viçosa

USP – Universidade de São Paulo

USGS – *United States Geological Survey* (Serviço Geológico dos Estados Unidos)

ZA – Zona de Amortecimento

Índice de Figuras

Figura 1 – Imagem do Aterro Municipal de Ouro Preto.....18
Figura 2 – Estrutura de um aterro sanitário.....20
Figura 3 – Fluxograma lógico e evolutivo do trabalho de PAMPOLINI (2015).....34
Figura 4 – Modelo de avaliação multicritério.....35
Figura 5 – Localização e acessos ao Município de Ouro Preto 37
Figura 6 – Mapa Geológico de Ouro Preto.....39
Figura 7 – Mapa de Solos do Município de Ouro Preto 41
Figura 8 – Mapa Hidrológico de Ouro Preto.....43
Figura 9 – Fluxograma de desenvolvimento do trabalho.....45
Figura 10 – Fluxograma da metodologia de definição de áreas.....52
Figura 11 - Proximidade de cursos d'água.....56
Figura 12 - Proximidade de áreas de preservação.....58
Figura 13 - Permeabilidade do solo.....60
Figura 14 – Declividade.....62
Figura 15 - Proximidade a principal fonte geradora.....64
Figura 16 - Proximidade a principais vias de acesso.....66
Figura 17 - Proximidade a núcleos populacionais de baixa renda.....68
Figura 18 – Áreas potenciais para Aterro Sanitário em Ouro Preto – MG.....70
Figura 19 – Área finalista 1 71
Figura 20 – Área finalista 2.....72

Índice de Tabelas

Tabela 1 – Função e aspecto técnico relacionado.....30
Tabela 2 – Critérios Restritivos.....33
Tabela 3 – Critérios Escalonados.....33
Tabela 4 – Vantagens e Desvantagens de estratégias de seleção de áreas 36
Tabela 5 – Critérios Técnico-ambientais.....49
Tabela 6 – Critérios Econômico-fianceiros.....50
Tabela 7 – Prioridade de critérios.....51
Tabela 8 – Resumo da metodologia de ponderação dos critérios.....52

SUMÁRIO

Índice de Abreviações viii

Índice de Figuras ix

Índice de Tabelas x

SUMÁRIO xi

1 INTRODUÇÃO 14

1.1 Objetivo 16

1.2 Justificativa 17

2 REVISÃO DA LITERATURA 19

2.1 Aterro Sanitário 19

2.1.1 Definição 19

2.1.2 Estrutura 20

2.2 Aspectos técnicos e ambientais para a implantação de um aterro 21

2.3 Histórico do aterro municipal de Ouro Preto 23

2.4 Principais métodos para definição de áreas 26

2.5 Métodos para avaliação e definição de área na literatura recente 27

2.5.1 CANSONI *et al.*, 1995 27

2.5.2 LIMA, 1999 28

2.5.3 PAMPOLINI, 2015 32

2.5.4 CALIJURI *et al.*, 2007 & MELO, 2001 34

2.6 Quadro comparativo das metodologias analisadas 36

3 CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO 37

3.1 Localização e acesso 37

3.2 Clima 38
3.3 Geologia local 38
3.4 Geomorfologia 40
3.5 Pedologia 40
3.6 Hidrografia 42
4 MATERIAIS E MÉTODOS 44
4.1 Organização do Trabalho 44
4.2 Material Utilizado 45
4.2.1 Hardware e Software 45
4.2.2 Dados cartográficos digitalizados 46
4.3 Descrição da Metodologia 46
4.4 Critérios 47
4.4.1 Área espacial total mínima do Aterro 47
4.4.2 Técnico-ambientais 48
4.4.3 Econômico-financeiros 49
4.4.4 Político-social 50
4.5 Hierarquização de critérios 51
5 RESULTADOS 53
5.1 Cálculo da área espacial necessária 53
5.2 Aplicação dos critérios de seleção 54
5.2.1 Critérios Técnico-ambientais 55
5.2.1.1 Proximidade a recursos hídricos 55
5.2.1.2 Proximidade a áreas com interesse de preservação 57
5.2.1.3 Permeabilidade do solo 59
5.2.1.4 Declividade 61
5.2.2 Critérios Econômico-financeiros 63
5.2.2.1 Proximidade a principal fonte geradora 63

5.2.2.2 Proximidade às principais vias de acesso 65
5.2.3 Critério Político-social 67
5.2.3.1 Proximidade a núcleos populacionais pouco desenvolvidos 67
5.3 Discussão e definição das áreas potenciais 69
5.3.1 Área 1 71
5.3.2 Área 2 72
6 CONCLUSÃO 73
7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS 76

1 INTRODUÇÃO

O modelo de desenvolvimento humano traz como uma de suas várias consequências a geração de resíduos sólidos de maneira excessiva a fim de atender os padrões de qualidade impostos pela sociedade (ABRELPE, 2014). De acordo com o Panorama dos Resíduos Sólidos do Brasil (Ano base: 2014), entre os anos de 2013 e 2014, a geração de resíduos sólidos urbanos (RSU) registrou um crescimento de 2,9% e superou a taxa de 0,9% do crescimento populacional referente ao mesmo período para alcançar um recorde de 78,6 milhões de toneladas (ABRELPE, 2014).

Caso não coletados e dispostos corretamente, os RSU causam problemas urbanos, ambientais e à saúde pública (AZEVEDO *et al.,* 2001) que podem acarretar em consequências graves para o núcleo urbano. Em 2014 foram coletados 90,6% de todos os RSU gerados no país, o que implica que pouco mais de sete milhões de toneladas é necessariamente disposta de maneira imprópria antes mesmo de passar por qualquer tentativa de tratamento ou disposição adequada (ABRELPE, 2014). Do montante total coletado, por sua vez, ainda não se pode afirmar que sua totalidade é destinada de maneira ambientalmente adequada devido aos sérios problemas nos programas de reciclagem, reaproveitamento e também nas condições indevidas em que se encontram muitos dos locais utilizados para sua disposição final.

Os chamados "Lixões": depósitos de RSU a céu aberto e deficientes de qualquer tipo de impermeabilização de solo, tratamento de chorume e demais controles ambientais, ainda representam 17,4% do destino dos RSU no Brasil. Valor esse que se manteve estagnado de 2013 para 2014. Os aterros controlados, por sua vez, recebem 24,2% e tiveram uma redução de 0,1% em relação a 2013. Juntos, essas duas formas inadequadas de disposição de resíduos representam mais de 40% dos RSU dispostos no país e são um retrato do quão falho é o gerenciamento de resíduos nacional. Grande parte dessa parcela refere-se às regiões Norte, Nordeste e Centro-Oeste ao passo que a parcela destinada a aterros sanitários (58,4%) é predominante nas regiões Sul e Sudeste (ABRELPE, 2014).

Diante do quadro irregular em que o país se encontra, o governo em suas esferas Federal, Estadual e Municipal tem articulado novas ferramentas e instrumentos legais nas

últimas duas décadas de maneira a fortalecer a fiscalização no setor e fomentar avanços. A de maior expressividade no momento, devido ã sua abrangência nacional, é a Política Nacional dos Resíduos Sólidos (Lei 12.305/10) discutida no Congresso Nacional por quase 20 anos e aprovada em 2010. Dentre as pautas mais sensíveis dessa legislação, encontra-se a proibição dos "Lixões" que originalmente era datada para agosto de 2014. Após manobras políticas, entretanto, o Senado Federal conseguiu aprovar medidas que adiam essa proibição para o período entre 2018 a 2021 (a depender de características do município) e postergou esse problema que, como visto anteriormente, ainda representa parte considerável de nossas disposições.

No âmbito Estadual, Minas Gerais foi um dos estados pioneiros na regulamentação da gestão de seus resíduos e aprovou sua política Estadual de Resíduos Sólidos em 2009 (Lei 18.031/09) que apresenta grande foco na gestão integrada dos resíduos do estado e atenta também para a importância da disposição final em locais adequados além de instituir prazos para a extinção de "Lixões" por meio da Deliberação Normativa (DN) do Conselho Estadual de Política Ambiental – MG (COPAM) N^{o} 119/2008. De modo geral, ao analisar esses instrumentos e suas aplicações práticas vigentes, encontram-se vários esforços destinados a programas de redução da geração, assim como da instituição de coletas seletivas e políticas de reciclagem, mas poucas são estratégias vigentes para a regularização dos locais de disposição final, provavelmente devido ao alto custo que essas iniciativas implicariam.

Um dos poucos exemplos de programas de incentivo à regularização desses locais é o programa "Minas sem Lixões" da Fundação Estadual do Meio Ambiente (FEAM-MG) que desde 2011 publica periodicamente dados referentes ao avanço dos municípios mineiros quanto ao seu modo de disposição final. De acordo com o relatório de progresso do "Panorama da destinação dos Resíduos Sólidos Urbanos em Minas Gerais: Ano Base 2014" (FEAM, 2015), cerca de 31% dos municípios de Minas Gerais utilizam "Lixões". Dentre esses 264 municípios ainda irregulares, destaca-se Ouro Preto - local do objeto de estudo do presente trabalho - que tem seu "Aterro Municipal" enquadrado na tipologia de "Lixão" de acordo com a FEAM.

Ouro Preto destina os seus RSU em seu "Aterro Municipal", que teve local planejado e selecionado inicialmente por um trabalho pioneiro da Geoconsultoria Jr, empresa júnior do Departamento de Geologia da Universidade Federal de Ouro Preto (UFOP), sob a supervisão dos professores Fernando Alckmin e Paulo Scudino e direção do aluno de graduação Elton Destro. Posteriormente, em 1998 os professores Romero Gomes, Luís Ribeiro e Marilene

Lopes publicaram em congresso uma proposta de concepção, projeto e implantação do aterro (GOMES *et al.*, 1998).

Entretanto, apesar de possuir local de disposição final definido e instrumentos legais como: Política Municipal de Saneamento Básico (Lei 934/2014), Plano Municipal de Saneamento Básico (2013) e um Plano Municipal de Gerenciamento Integrado de Resíduos Sólidos (PMGIRS-OP, 2003), Ouro Preto possui extrema dificuldade de implantar as boas práticas previstas para um manejo e disposição correta (IBAM, 2001), bem como adequada manutenção de seu aterro, o resultado é um estabelecimento categorizado como inadequado para a atividade, conforme foi historicamente comprovado. (PRADO FILHO *et al.,* 2003).

O período entre 2016 e 2019 será decisivo para garantir uma renovação do sistema de disposição final dos RSU em Ouro Preto, portanto é pertinente e necessária uma nova análise para que outro local adequado seja planejado de maneira a substituir o antigo. O presente trabalho inicia-se, portanto, a partir da análise das estratégias históricas e atuais de seleção de áreas para definir a melhor e sugerir o local apropriado para um aterro, com enfoque especialmente no campo socioambiental. Espera-se que este assunto seja alvo de vários estudos com diferentes enfoques a fim de proporcionar maior embasamento para uma futura tomada de decisão.

1.1 Objetivo

Os objetivos gerais do presente trabalho foram levantar e comparar metodologias diferentes de avaliação e definição de áreas para implantação de aterros sanitários, realizar uma análise crítica de seus critérios, levando em consideração as peculiaridades do munícipio de Ouro Preto, e propor uma metodologia adaptada que melhor atende a realidade da área de estudo. A fim de validar a metodologia proposta esperou-se comparar os resultados obtidos com outras análises realizadas anteriormente, de objetivos semelhantes, mas metodologias diferentes. Por fim, ao final do estudo esperou-se definir, de maneira preliminar, uma área com alto potencial para receber um aterro sanitário que atenda Ouro Preto nos próximos 20 anos.

Em outro plano, o objetivo secundário do trabalho foi fomentar uma linha de pesquisa na área de gerenciamento de resíduos aplicada ao município de Ouro Preto. De modo que outros estudantes de graduação tenham o interesse de continuar a contribuir e perpetuem o projeto por meio da realização de outros trabalhos de conclusão de curso, dessa vez com foco no projeto, na execução da obra e na operação do futuro aterro sanitário de Ouro Preto.

Espera-se que no futuro a UFOP possa entregar ao município de Ouro Preto um portfólio completo de trabalhos científicos aplicados que viabilizem toda a concepção, projeto, construção, operação, manutenção e fechamento de um novo aterro, assim como foi feito historicamente, e consolide novamente o papel da academia na colaboração com a comunidade na qual está inserida.

1.2 Justificativa

O momento para um estudo de definição de área para a futura implantação de um novo aterro que atenda o município de Ouro Preto não poderia ser mais pertinente e adequado. Sua elaboração é necessária para, primeiramente, garantir o cumprimento das legislações vigentes; tanto o Estado de Minas Gerais quanto a União propuseram prazos para a extinção dos "lixões" por meio das Políticas Nacional (Lei 12.305/10) e Estadual (Lei 18.031/09) de Resíduos Sólidos (Brasil, 2010 e Minas Gerais, 2010).

Uma vez que o local utilizado para a disposição de seus resíduos foi categorizado pela FEAM como "Lixão" em 2014 (FEAM, 2015), Ouro Preto se encontra em descumprimento com o Estado e teria, segundo medida aprovada pelo Senado e ainda em trâmite, até 2021 para se regularizar perante a União. Em consistência com a caracterização dada pela FEAM, ao menos outro estudo também apresenta dados de que o aterro opera em condições inadequadas desde o ano de 2003 (PRADO FILHO *et al*., 2003).

Em segundo lugar, de acordo com o trabalho publicado (GOMES *et al.,* 1998), o aterro que teve operações iniciadas em 1996, teria sido projetado para uma vida útil de 15 anos. Posteriormente em 2013, o Plano Municipal de Saneamento Básico do município apontou que a vida útil do aterro municipal se encerra em 2016 e prevê uma destinação de verba para a implantação de um substituto.

Por fim, ao longo dos últimos anos várias denúncias foram feitas quanto à operação irregular do aterro atual, dentre elas destaca-se uma notificação formal realizada em janeiro de 2013, pelo então vereador da câmara, Francisco de Assis (o "Chiquinho de Assis") que expôs a precariedade das condições encontradas por ele em visita pessoal ao local. Sua visita, gravada em vídeo e veiculada a toda a população ouro-pretana por meio da internet, mostra a predominância de resíduos descobertos, presença de animais e vetores e a ausência de qualquer fiscalização ou atividade controlada, conforme pode ser visto na Figura 1:

Figura 1 – Imagem do Aterro Municipal do Marzagão, na Fazenda Rancharia em Ouro Preto – MG. Foto extraída do vídeo gravado e disponibilizado ao público na internet pelo então vereador Francisco de Assis como parte de denúncia formal realizada em janeiro de 2013 (ASSIS, 2013).

Ao agrupar os fatores: descumprimento legal, vida útil esgotada e condições inadequadas de operação o presente estudo não é só justificado, mas também é exposto o seu caráter de urgência a fim de evitar maiores prejuízos e garantir o avanço na qualidade do saneamento urbano de Ouro Preto.

2 REVISÃO DA LITERATURA

2.1 Aterro Sanitário

2.1.1 Definição

O aterro sanitário é uma maneira muito ocorrente de disposição final ambientalmente adequada de rejeitos (CANSONI *et al.*, 1995) – termo que para esse estudo significa resíduos sólidos urbanos que não são aptos ou economicamente viáveis a passar por outro processo de tratamento, reutilização ou reciclagem. O que garante o confinamento seguro dos rejeitos e torna o aterro sanitário uma saída ideal para a disposição final é o fato de ele ser construído e executado como uma obra de engenharia, que segue critérios rígidos a partir de normas operacionais específicas a fim de reduzir os riscos de contaminação do solo e água a um nível consideravelmente seguro (IBAM, 2001). Dentre as principais características que tornam essa obra de engenharia segura destacam-se o recobrimento com diferentes tipos de materiais, desde argilas selecionadas e compactadas até geomembranas, a canalização do líquido percolado de fundo (chorume) e seu consequente tratamento, a implantação de um sistema de afastamento das águas superficiais e, por último, a canalização seguida de reaproveitamento ou queima dos gases resultantes do processo de decomposição da matéria orgânica (MELO, 2001).

Internacionalmente, a Sociedade Americana de Engenheiros Civis (ASCE) define aterros sanitários como uma maneira que não prejudica ou ameaça a saúde e segurança devido aos princípios de engenharia aplicados. Por meio deles o lixo é confinado de maneira a ocupar o menor volume possível além de ser constantemente recoberto com material específico, ao fim do dia de trabalho ou em maior número dependendo da demanda. (MELO, 2001)

A Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT), por sua vez, define aterro sanitário na NBR 8.419/92:

> "*Técnica de disposição de resíduos sólidos urbanos no solo, sem causar danos á saúde pública e á sua segurança, minimizando os impactos ambientais, método este que utiliza princípios de engenharia para confinar os resíduos sólidos à menor área*

possível e reduzi-los ao menor volume permissível, conbrindo-os com uma camada de terra na conclusão de cada jornada de trabalho, ou a intervalos menores, se necessário." (ABNT, 1992, pg. 1)

2.1.2 Estrutura

O aterro mais aceito hoje dentre engenheiros e especialistas é o confinado. Se projetado corretamente, **e construído em local adequado**, ele é apto a reter os resíduos e seus lixiviados por tempo indefinido (McBEAN *et al.,*1995). Conseguir esse tipo de isolamento é praticamente impossível devido à inexistência de um material com permeabilidade zero facilmente disponível. Entretanto, técnicas avançadas de engenharia permitem diagnosticar rapidamente eventuais quebras de confinamento e tratar de imediato qualquer eventualidade.

A Figura 2 demonstra um desenho esquemático da estrutura básica de um aterro sanitário confinado:

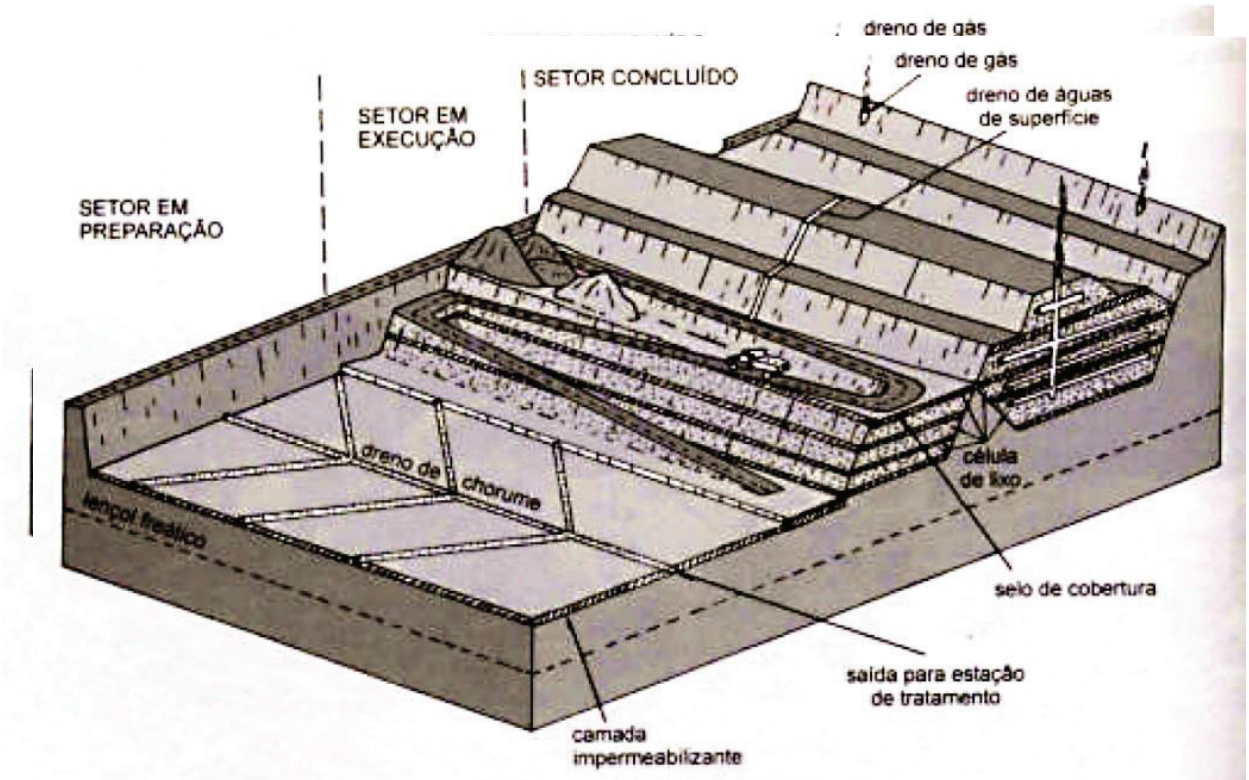


Figura 2 – Estrutura de um aterro sanitário. Fonte: (IPT, 2000)

Segundo o "Manual de Gerenciamento Integrado de Resíduos Sólidos", publicado pelo Instituto Brasileiro de Administração Municipal (IBAM, 2001), um aterro sanitário necessita de duas unidades, operacional e apoio, respectivamente. Elas podem ser divididas em subsistemas e processos:

+ Unidade Operacional:
    - Células receptoras de resíduos sólidos (diferenciadas entre as classes dos resíduos);
    - Impermeabilização de fundo (obrigatória) e superior (opcional);
    - Sistema de coleta e tratamento dos líquidos percolados (chorume);
    - Sistema de coleta e queima (ou beneficiamento) do biogás;
    - Sistema de drenagem e afastamento das águas pluviais;
    - Sistemas de monitoramento ambiental, topográfico e geotécnico;
    - Pátio de estocagem de materiais.
+ Unidade de apoio:
    - Cerca e barreira vegetal;
    - Estradas de acesso e de serviço;
    - Balança rodoviária e sistema de controle de resíduos;
    - Guarita de entrada e prédio administrativo;
    - Oficina e borracharia

A partir da década de 90, muitos aterros também contam com pátios de triagem de resíduos, de compostagem de orgânicos além de usinas de reciclagem. Essas instalações além de gerar empregos auxiliam a aumentar a vida útil do aterro uma vez que os processos de compostagem e reciclagem diminuem o volume destinado à disposição final. (IBAM, 2001)

2.2 Aspectos técnicos e ambientais para a implantação de um aterro

O aterro sanitário é uma obra complexa de engenharia cuja implantação deve obrigatoriamente ser precedida de estudos demográficos, ambientais, topográficos, geotécnicos, sociais a fim de determinar a sua viabilidade com segurança. A ausência dessas análises preliminares pode acarretar em consequências sérias como contaminações ambientais e risco à saúde pública (IPT, 2000).

É fundamental que as características do meio físico no qual o projeto será inserido sejam levadas em consideração ao longo de toda a sua concepção e execução (MELO, 2001). A determinação de um ambiente adequado resulta em custos reduzidos de preparo, operação, manutenção e fechamento, assim como o aumento da vida útil e redução de riscos (IPT, 1995).

Um resumo dos principais dados a serem levantados e fatores a serem considerados foi feito com base em trabalhos publicados anteriormente (BAGCHI, 1994; CANSONI *et al.,* 1995b; MELO, 2001; PRESA *apud* LIMA, 1999; FERREIRA *apud* LIMA, 1999) e também em norma específica NBR 13.896 (ABNT, 1997):

- Dados a serem levantados: topográficos, pedológicos, geológicos, geomorfológicos, geotécnicos, hidrológicos, hidrogeológicos, climáticos e ambientais;

- Fatores a serem considerados: Vegetação, presença de jazidas de materiais de empréstimo, uso e ocupação do solo, distância em relação a núcleos populacionais e centros geradores de lixo, acessos disponíveis, área total a disposição, valor venal da propriedade;

- Estudos obrigatórios:
    - Anteprojeto: Levantamento de parâmetros básicos onde obrigatoriamente deve incluir o EIA/RIMA ou RCA/PCA.
    - Projeto Básico: Detalhamento de todos os desenhos e plantas, especificações técnicas, análise orçamentária, cronogramas e memoriais descritivos e de cálculo.
    - Projeto Executivo: Síntese do projeto básico. Definição das etapas e prazos de execução.
    - Projeto de encerramento: Concepção de um plano de encerramento do aterro, planejando a recuperação do local.

Um dos maiores desafios encontrados ao longo do projeto de implantação de um aterro sanitário é certamente a seleção de um local que contemple condições técnicas, econômicas e ambientais adequadas (MASSUNARI *et al.,* 2000). Este processo é feito, na maioria das vezes, por meio de uma análise detalhada de áreas favoráveis, seguido da sua hierarquização de modo a orientar a seleção final (MELO, 2001).

O processo deve ser conduzido por etapas sequenciais e complementares, que têm como início estudos gerais que individualizam as áreas homogêneas e priorizam as que têm maior potencial (MASSUNARI *et al.*, 2000). Por fim, um estudo mais detalhado é feito a partir do momento que se seleciona uma pequena quantidade de locais, previamente seletos e aptos segundo o crivo preliminar, para avaliações e validações *in loco.* Dessa forma os custos conseguem ser reduzidos, uma vez que uma vasta extensão territorial pode ser varrida em um pequeno espaço de tempo, eliminando as áreas inaptas e deixando as melhores áreas para análises mais detalhadas e caras (CALIJURI *et al.*, 2007).

2.3 Histórico do aterro municipal de Ouro Preto

Apesar de ser caracterizado como um "Lixão" em 2014 (FEAM, 2015), o local onde se destinam os RSU em Ouro Preto foi selecionado, planejado e implantando de maneira a operar como um aterro sanitário. Antes de seu planejamento, os resíduos eram dispostos às margens da Rodovia do Contorno (rodovia que liga Ouro Preto-Mariana) e nas imediações do Ribeirão do Carmo (GOMES *et al.,* 1998). Foi na administração municipal entre os anos de 1993 e 1996 que os primeiros esforços para seleção de área e elaboração do aterro foram realizados. Na época, o primeiro responsável para coordenar uma seleção de área para a implantação do aterro municipal foi a Geo Consultoria Júnior (Geo Jr.) – empresa júnior do curso de Engenharia Geológica da UFOP. Sob a direção do discente Elton Destro e supervisão dos docentes Fernando Alckmin e Paulo Scudino foi elaborado e apresentado à Prefeitura de Ouro Preto o relatório "Escolha do Local para o Aterro Sanitário de Ouro Preto" (GEO JR, 1996). O breve documento síntese, de apenas nove páginas, apresentava um mapa com 31 áreas estudadas, e, entre elas, duas finalistas: Fazenda da Rancharia e Bocaina de Cima. Ao final, o estudo defende a instalação do aterro na antiga Fazenda Rancharia, decisão que foi acatada pela administração e onde atualmente está situado o aterro (GEO JR, 1996).

Na conclusão do estudo, a Fazenda da Rancharia foi defendida por ter sido o local de melhor adequação aos critérios escolhidos e validados nas análises *in loco* e ao mesmo tempo a menor distância com relação à sede do município (9km) quando comparada à distância de 19km para Bocaina de Cima . Segue abaixo texto extraído do estudo:

> "*Comparando-se as duas áreas, sem levar em consideração as facilidades de aquisição ou desapropriação, devido a proximidade de Ouro Preto, a facilidade e a qualidade do acesso vigente, a área número 2 – Rancharia se apresenta como a mais adequada. A área da Bocaina de Cima, além de mais distante da cidade (19km), possui um acesso que necessariamente terá que ser melhorado. Poderia, entretanto, servir aos distritos de Rodrigo Silva e Cachoeira do Campo, o que em tese, compensaria os investimentos a serem realizados e, talvez, os custos de transporte."* (GEO JR, 1996, pg. 6)

O trabalho da Geo Jr. foi agrupado a outros estudos realizados dentro da UFOP em parceria com a Prefeitura Municipal de Ouro Preto (PMOP) como parte dos "Relatórios técnicos internos sobre o Aterro Sanitário de Ouro Preto" (UFOP, 1995 & 1996). Que inclui, além da escolha do local, a caracterização do lixo de Ouro Preto, estudos de investigação geotécnica, projeto, execução e operação do estabelecimento. Posteriormente, os discentes Romero Gomes, Luís Fernando Ribeiro e Marilene Lopes publicaram em congresso (GOMES *et al.,*1998) um resumo da concepção, projeto e implantação do aterro, onde foi defendido que o local de disposição de RSU, deveria funcionar também como um centro de referência e conscientização ambiental para alunos da rede pública, conciliando no mesmo ambiente os dois propósitos.

Apesar da concepção e planejamento do projeto ter sido feita por meio de metodologias científicas e adequadas, o aterro sanitário uma vez implantado não passou pela correta operação e manutenção e logo foi deteriorado de maneira que não fosse possível mais a sua categorização como "Aterro Sanitário". Sete anos depois do início de sua operação, foi concluído, por meio do cálculo do índice de qualidade dos aterros (IQR) da (CETESB, 1998), que o local operava em condições inadequadas o que ocasionava impactos ambientais similares aos encontrados em "lixões" e destacava o tamanho do descaso por parte de sua administração. (PRADO FILHO *et al.,* 2003)

Em janeiro de 2012, o então vereador da Câmara Municipal de Ouro Preto, "Chiquinho" de Assis gravou uma visita ao local do aterro onde expôs os problemas ambientais prontamente observados como a predominância de resíduos dispostos a céu aberto, presença de animais e vetores nas redondezas e ausência de qualquer controle ou presença de profissionais no local. O vídeo da visita foi disponibilizado na internet a toda a população ouro-pretana (ASSIS, 2013). Posteriormente uma denúncia formal foi feita pelo então vereador, notificando a prefeitura municipal.

Depois da denúncia, a administração municipal abriu uma licitação para diagnóstico ambiental do aterro controlado, que foi vencida pela empresa Aluvial Engenharia e Meio Ambiente LTDA, conforme divulgado no Diário Oficial do Município (DOM-OP) no dia 19 de junho de 2013 (OURO PRETO, 2013). Os resultados, entretanto, não foram divulgados.

Apesar de ambos: Plano Municipal de Saneamento Básico (PMSB/OP, 2013) e Política Municipal de Saneamento Básico (OURO PRETO, 2014) ter em sua literatura cobranças para a implantação e manutenção de um aterro sanitário em cumprimento à legislação vigente, em nenhum dos instrumentos impõe-se um prazo para tal prática.

Com relação a qualquer divulgação oficial por parte do município sobre o tema, a única menção à necessidade de um novo aterro é um comentário registrado em ata da 6ª Reunião Extraordinária do ano de 2014 do Conselho Municipal de Desenvolvimento Ambiental, extraído e replicado abaixo, conforme publicação DOM-OP em 15 de abril de 2015 (OURO PRETO, 2015):

> *"[...] Também concluiu-se que há a necessidade de investimento em um novo aterro sanitário, pois o atual já está muito degradado e que as rubricas contidas no orçamento não atendem."*

Após essa recomendação até hoje, ainda não foi divulgado, por parte do município, algum estudo ou ação efetiva para a melhoria, regularização ou implantação de novo local para disposição final dos RSU do município.

2.4 Principais métodos para definição de áreas

Antes do estabelecimento de uma preocupação socioambiental generalizada, a solução utilizada para a disposição dos RSU era simplesmente retirá-los das proximidades das aglomerações urbanas, de maneira que eles não fossem vistos e sua presença não pudesse ser notada pela sociedade. Dessa maneira, foram criados depósitos a céu aberto ao redor de todo o país, sem preocupação alguma com as consequências que eles poderiam trazer para a qualidade do meio ao redor (IPT, 2000).

Com o passar dos anos, as consequências desses depósitos irregulares começaram a ser notadas e ações foram sendo implementadas visando a sua resolução. Dentre elas, a proibição da queima de RSU, a adoção da prática de cobrir com solo os resíduos dispostos diariamente, e a adoção de práticas de impermeabilização de fundo, canalização e subsequente tratamento do chorume (McBEAN *et al*., 1995).

Essas mudanças foram ocorrendo de maneira descentralizada, entretanto elas resultaram em uma evolução notável nas estratégias de disposição final que estabeleceram o enfoque adotado hoje. A partir dessa diretriz, especialistas chegaram à conclusão de que o solo mais adequado para um aterro deveria possuir baixa permeabilidade, alta capacidade de adsorção, boa capacidade de suporte e estar localizado em uma área cujo lençol freático estivesse o mais afastado possível da superfície (IBAM, 2001).

Além das características do meio físico, uma correta metodologia de seleção de áreas deve envolver também critérios sociais, que muitas vezes, acabam por se tornar os mais complicados de avaliar e quantificar. Historicamente, poucas são as aglomerações populacionais que aceitam sem protesto a instalação de um aterro próximo às suas residências, uma vez que a proximidade com aterros causa desvalorização imobiliária da propriedade, além do alto risco de contaminação ambiental caso o estabelecimento não seja operado de maneira adequada. Por causa disso, a fim de evitar processos judiciais e outras formas de manifestação, muitas vezes os aterros acabam instalados próximos a comunidades carentes, desarticuladas, e longe de propriedades de alto valor, o que fomenta um grande problema social que é a invasão do aterro por parte de "catadores" que tentam encontrar e retirar do lixo alguma forma de sustento (MELO, 2001).

A melhor maneira de se encontrar um ponto de equilíbrio entre o meio físico mais apropriado, a viabilidade econômica, e a conformidade socioambiental é, sem dúvida, uma sólida metodologia que resulte na escolha da melhor área, baseada em fatos e dados

conclusivos (MASSUNARI *et al.*, 2000). Para tanto, a seguir neste capítulo serão analisadas várias metodologias previamente implantadas em estudos semelhantes, no Brasil e no exterior, de modo que após cuidadoso estudo a mais apropriada para este trabalho possa ser selecionada e aplicada.

2.5 Métodos para avaliação e definição de área na literatura recente

2.5.1 CANSONI *et al.*, 1995

CANSONI sugere que o balanceamento entre os aspectos ambientais, sociais e os custos inerentes à implantação e operação do estabelecimento deve ser atingido por meio da compatibilização de fatores. Inicia-se a partir de estudos gerais, onde os locais em potencial são identificados para que posteriormente os mais promissores sejam priorizados. O autor aponta para a necessidade de três etapas distintas: aquisição de dados gerais, pré-seleção de áreas em escala regional e, por último, análise da viabilidade das áreas promissoras em escala local.

Na primeira etapa, procura-se reunir os dados secundários existentes e disponíveis nos vários órgãos públicos e centros de pesquisa espalhados pelo país. Por meio dessas entidades é possível recolher informações demográficas e dados relativos à produção, coleta e transporte do lixo na região objeto de estudo. Por meio desse estudo é possível calcular a dimensão final do aterro e sua área territorial potencialmente ocupada por meio do cálculo das dimensões unitárias da célula diária de lixo.

Durante a "*pré-seleção de áreas*" é realizado um estudo generalizado que leva em conta os fatores do meio físico e socioeconômico previamente levantados. O objetivo desse estudo é separar uma quantidade de áreas que teriam potencial de receber esse tipo de estabelecimento, por meio de análises que utilizam ao máximo os dados secundários obtidos de modo a evitar campanhas de campo e tornar o processo menos oneroso. Toda a segunda etapa deve considerar os aspectos legislativos e socioeconômicos, bem como os topográficos, geotécnicos, geológicos e hidrológicos.

O autor indica também que caso o município já tenha apontado áreas como de interesse para a instalação de um futuro aterro, estas deverão ter prioridade de análise e

deverão ser tratadas como promissoras a não ser que posteriormente sejam descobertas novas informações que justifiquem a sua incapacidade.

Ainda em sua segunda etapa, (CANSONI *et al.,* 1995) defende uma vistoria de campo até às áreas selecionadas como "*mais favoráveis"* para que finalmente elas sejam classificadas em três categorias: "*recomendado",* quando o presente estado no qual a área e encontrada além de atender às condições mínimas, também exija baixo investimento para a instalação e operação do aterro; *"recomendado com restrições"*, quando as condições atendem mas um investimento maior é necessário (*e.g.* a área é situada em local mais distante da sede do município); *e "não recomendado"*, quando suas condições apresentadas não atendem normas vigentes e/ou os custos necessários para viabilizá-la tornam a obra economicamente insustentável.

Ao final da classificação das áreas pré-selecionadas, a última etapa é iniciada por meio de extensos trabalhos de campo nos locais mais promissores. Esses trabalhos viabilizam o levantamento de dados primários, coletados *in-situ* de modo a atingir um retrato mais fiel e fidedigno da área selecionada e permitir que um veredito final seja melhor embasado ao descartar o erro proveniente dos dados secundários coletados.

Somente depois dos "*estudos para a viabilização das áreas pré-selecionadas"* que uma análise decisiva poderá ser feita para determinar o local mais propício para a implantação do aterro (CANSONI *et al.*, 1995).

2.5.2 LIMA, 1999

Em seu trabalho (LIMA, 1999) defende uma estratégia que avalia e cria uma hierarquia a partir de um conjunto previamente definido de objetos. O seu método tem aplicação universal e é baseado primeiramente na "*análise do valor - AV"* e, posteriormente, na "*lógica fuzzy – LF".* Por meio da AV é possível que o método menos oneroso para definição de áreas seja identificado e aplicado. Pode-se afirmar que o processo de (LIMA, 1999) é constituído por cinco passos, conforme também explanadas por (MELO, 2001):

- Definir e analisar o problema e em seguida o seu objetivo e escopo;
- Propor alternativas;
- Por meio de uma abordagem funcional, ponderar as consequências de cada alternativa;
- Definir qual a melhor alternativa;

- Implementar a alternativa de escolha;

Assim como (CANSONI *et al.,*1995), (LIMA, 1999) também propõe que seu produto final atenda simultaneamente de maneira satisfatória uma série de critérios. Sua metodologia, de modo geral, contém três fases:

- "*preparatória"*: Onde o objeto de estudo é identificado e questionado, o objetivo é esclarecido e os grupos de interesse no cumprimento do objetivo são definidos.
- "*informativa"*: Nesta fase, o autor utiliza-se da *AV* para encontrar o grau de satisfação adequado para as necessidades estabelecidas. Essa análise é realizada por meio da determinação de funções a serem realizadas e fazendo uso dos recursos necessários para ofertá-las ao menor custo possível sem detrimento à qualidade e segurança. Logo, como explanado por LIMA (1999), para uma necessidade do tipo "*assegurar salubridade"*, são elaboradas funções e seus respectivos aspectos técnicos, - *e.g.* para *"garantir a segurança da população local"* (função) é necessário *"assegurar que o local selecionado esteja afastado de aglomerações urbanas a uma distância de 2 quilômetros"* (Aspecto técnico).

Em seu trabalho, MELO (2001) sintetizou as principais funções e seus respectivos aspectos técnicos selecionados por LIMA (1999) e os adaptou na Tabela 1:

Tabela 1 – Função e aspecto técnico relacionado

Função	Aspecto técnico
Garantir a segurança da população vizinha	Distância em relação à área: o local mais apropriado deve estar afastado da aglomeração urbana a uma distância mínima de 2 quilômetros.
Minimizar o preço	Valor da área: o uso do solo na região deve comportar a presença do aterro e sua aquisição ser economicamente viável.
Dispor de infra-estrutura	Infra-estrutura: o local escolhido deve oferecer infra-estrutura (água, luz, esgoto e telefone).
Dispor de boas condições de acesso	Acesso: deve haver a integração da malha viária e prover vias de acesso em boas condições de tráfego, mesmo em épocas de chuva.
Distar centro produtores	Distância dos centros produtores de lixo: a área deve estar situada distante de residências, porém o mais próximo possível do centro de geração do lixo. Sendo considerado 30 km a distância ideal em viagem de ida e volta.
Oferecer topografia compatível com o projeto	Dados topográficos: a área deve ter conformação geomorfológica e topográfica compatíveis com o projeto de instalação de um aterro sanitário.
Oferecer climatologia favorável	Clima: estudos sobre o regime das chuvas, evapotranspiração, direção predominante dos ventos, etc.
Promover durabilidade	Capacidade volumétrica: a área escolhida para implantar o aterro deve ter vida útil estimada em mais de 10 anos.
Dispor de material para recobrimento diário	Jazidas de material de cobertura: avaliação da disponibilidade de material de cobertura, quantidade, qualidade e distância.
Dispor de solo adequado	Dados pedológicos: são informações sobre as características e propriedades do solo da região.
Proteger os cursos de água superficiais	Dados hidrológicos: conjunto de informações sobre os principais corpos de água de interesse ao abastecimento público. Recomenda-se distâncias superiores a 200 metros.
Ser favorecido por legislação	Legislação: referem-se às informações sobre as leis ambientais e de zoneamento urbano de âmbito federal, estadual ou municipal. Assim, a área escolhida deve estar dentro das considerações exigidas por lei.

Fonte: (MELO, 2001), adaptado de (LIMA, 1999)

A avaliação das funções definidas é realizada por meio da *"Matriz de Avaliação Funcional- MAF",* utilizada pela primeira vez por MUDGE (CISILLAG, *apud* LIMA, 1999). A *MAF* possibilita uma comparação de todas as funções esperadas que um determinado objeto desempenhe e estabeleça valores a serem alocados a essas funções de modo a diferenciar os mais necessários ou importantes. As funções muito mais importantes que as outras, por exemplo, recebem *3 pontos;* As funções menos importantes ou necessárias que as demais, *2 pontos;* por fim, as de importância questionável são acreditadas com *1 ponto* e as desimportantes recebem *0 ponto.*

Com os resultados da *MAF* e os valores relativos derivados da *AV,* é possível montar a "*Matriz de Custeio de Funções - MCF"* onde cada função tem seu custo para realização atribuído e a porcentagem do custo integral atribuído a cada função é determinada. Por fim, ao final desta fase é obtida uma relação *"desempenho/custo"* que indica quais as funções essenciais a um aterro. Utilizasse a *MAF* para caracterizar o desempenho funcional e a *MCF* para caracterizar o custo funcional. Os valores oriundos dessas relações que apresentem magnitude inferior a 1 (um) são os que precisam de mais estudo pois a redução dos custos dessas funções são mais críticas (LIMA, 1999).

- "*Conclusiva"*: Finalmente, ao embasar-se dos dados obtidos na fase anterior, a etapa conclusiva consiste em selecionar a área mais apta e acompanhar a implantação do projeto.

Em sua metodologia, (LIMA, 1999) também defende a aplicação da decisão tomada por meio de modelos "*fuzzy"* para a definição de áreas. Por ser uma extensão da lógica *boolean* tradicional, a "*Lógica fuzzy"* permite o esclarecimento de incertezas por meio da congregação de opiniões separadas e pertinentes para a elaboração de uma média comparativa das importâncias relativas de cada função, (MELO, 2001). Essa média ponderada deriva um consenso e cria uma hierarquia final de importância, onde cada área pré-selecionada é avaliada e tem suas características enquadradas em níveis distintos de aceitação:

- *Nível 1: não aceito;*
- *Nível 2: aceito com restrições;*
- *Nível 3: recomendado;*

2.5.3 PAMPOLINI, 2015

Em seu trabalho final de graduação, (PAMPOLINI, 2015) utilizou-se da confecção de cartas separadas por meio do *software* ArcMap® 10.1 para que um mapa de favorabilidade para construção de aterro sanitário fosse obtido por meio do cruzamento desses dados de SIG. Como o seu local de estudo também foi o Município de Ouro Preto - MG, um dos objetivos finais do presente trabalho é conferir se as áreas selecionadas aqui serão as mesmas de (PAMPOLINI, 2015), para que assim, a escolha de uma área correta seja ainda mais embasada e pertinente.

O autor inicia sua análise por meio da separação de dois tipos de critérios, baseados em normas vigentes e literaturas recentes:

> - "*Critérios Ambientais":* Declividade, Espessura e Permeabilidade do Solo, Recursos Hídricos superficiais e subterrâneos e vegetação.
> - "*Critérios de Uso e Ocupação do Solo":* Titulação da área, distância de núcleos populacionais, distância de vias, zoneamento ambiental, vias de acesso, tamanho disponível e vida útil

Diferentemente de (LIMA, 1999), (PAMPOLINI, 2015) não utilizou o ambiente "*fuzzy"* para a tomada de decisão, e sua metodologia se baseia na aglomeração dos critérios em duas classes distintas: "critérios *restritivos"* e "critérios *escalonados".* Ao passo que os critérios "*restritivos"* utilizam um sistema de classificação binária – 0 (*zero) e 1 (um)* – para inaptidão e aptidão, respectivamente, os critérios escalonados possuem notas que variam de 0 (zero) a 10 (dez). Estes, por sua vez, foram adaptados a partir de estudos realizados previamente por (FREIRE, 2009) e (OLIVEIRA NETO, 2011). As Tabelas 2 e 3 apresentam a distribuição dos critérios:

Tabela 2 – Critérios Restritivos

Critérios Restritivos	Classe	Nota
Declividade	Menor que 3%	0
	Entre 3% a 30%	1
	Maior que 30%	0
Unidades de Conservação	Dentro do perímetro de UC´s	0
	Fora do perímetro de UC´s	1
Distância de Vias	Até 100 metros	0
	Mais que 100 metros	1
Distância de Núcleos Populacionais	Até 500 metros	0
	Mais que 500 metros	1
Distância de Cursos D'água	Até 200 metros	0
	Mais que 200 metros	1

Fonte: (PAMPOLINI, 2015), Adaptado de (OLIVEIRA NETO, 2011).

Tabela 3 – Critérios Escalonados

Critério	Classe	Nota
Distância da Fonte Geradora	Menor que 500 metros	0
	Entre 500 a 3.000 metros	2
	Entre 3.000 a 5.000 metros	5
	Entre 5.000 a 15.000 metros	10
	Entre 15.000 a 20.000 metros	5
	Entre 20.000 a 25.000 metros	2
	Acima de 25.000 metros	0
Tipologia do Solo	**Permeabilidade**	**Nota**
Afloramento Rochoso	Alta	0
Latossolo, Neossolo Litólico	Média a Alta	3
Cambissolo	Média	5
Argissolo	Média a Baixa	7

Fonte: (PAMPOLINI, 2015), Adaptado de (OLIVEIRA NETO, 2011).

A partir dos cinco *"critérios restritivos"* e dois "*critérios escalonados"* foram elaborados sete mapas temáticos explanatórios de cada critério. Estes, por sua vez, foram finalmente combinados e seus respectivos valores foram multiplicados de maneira a obter

uma pontuação final, onde baseado em (SILVA, 2011) as áreas foram subdivididas em quatro classes: "*Inapta", "Restrita", "Moderada"* e *"Favorável".* Finalmente, as áreas classificadas como favoráveis foram refinadas por meio do cálculo da área necessária para oferecer uma vida útil de ao menos 20 anos para o projeto. O estudo encerra com uma visita à campo das áreas finalistas após o refino, com uma inspeção visual que embasa o produto final do estudo: um mapa de favorabilidade para construção de aterro sanitário no município de Ouro Preto.

A Figura 3, resume a metodologia utilizada por (PAMPOLINI, 2015):

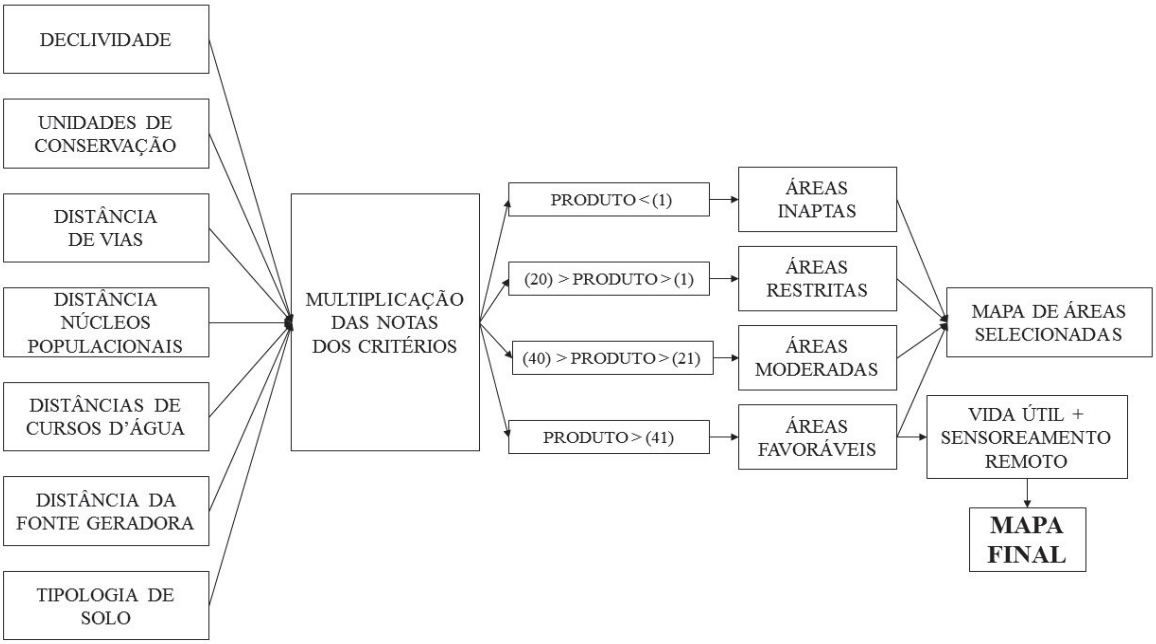


Figura 3 – Fluxograma lógico e evolutivo. Fonte: (PAMPOLINI, 2015)

2.5.4 CALIJURI *et al.*, 2007 & MELO, 2001

A metodologia utilizada pelos autores considera especialmente o conceito dos riscos inerentes ao associar fatores a fim de embasar uma decisão. Esses riscos devem ser tratados com muito cuidado uma vez que se podem utilizar critérios pertinentes, mas combiná-los de maneira inadequada o que levaria a um embasamento incorreto para o objetivo proposto. Principalmente quando há uma limitação de dados, deve-se trabalhar de maneira que os critérios não invalidem a si próprios no modo como um compensa o outro. É por esse motivo que essa metodologia propõe a normalização de todos os critérios a partir da lógica *fuzzy*.

Ao normalizar os seus critérios por meio da lógica *fuzzy*, um conjunto antes ordinário se torna generalizado e permite que a escolha seja menos subjetiva a partir de um maior

raciocínio na decisão (MELO, 2001). De acordo com resultados publicados (CHARNPRATHEEP & GANER, 1996), um processo de definição de áreas realizado a partir do método convencional no formato *boolean* apresenta falhas de até 35% quando se comparado com um método que segue a lógica *fuzzy*. A teoria do conjunto *fuzzy* é, portanto, uma aproximação mais factível entre a precisão da matemática clássica e as imperfeições do mundo real (ZADEH, 1965).

Após a normalização dos critérios, o passo seguinte no trabalho de ambos os autores é a quantificação da importância de cada um deles, a partir de uma escala hierárquica. O conceito de importância e da ponderação de critérios também pode ser visto como uma compensação que recai sobre os fatores mais críticos (CALIJURI, 2000). Apesar dos autores indicarem a existência de diversos métodos para a ponderação de fatores, o trabalho de (MELO, 2001) opta por acompanhar a metodologia aplicada no algoritmo no software de SIG utilizado por ele (IDRISI 32), que consiste em uma técnica que compara pares para criar um grupo de pesos com soma igual à unidade.

Com o desenvolvimento de uma estratégia de ponderação concluído, uma combinação linear ponderada e uma média ponderada ordenada foram realizadas por intermédio do software, que respondeu com a geração de uma imagem de adequabilidade. Essa imagem nada mais é do que um retrato fiel do conjunto de fatores estudados, bem como da estratégia de ponderação e de combinação. O seu procedimento de geração é apresentado na Figura 4:

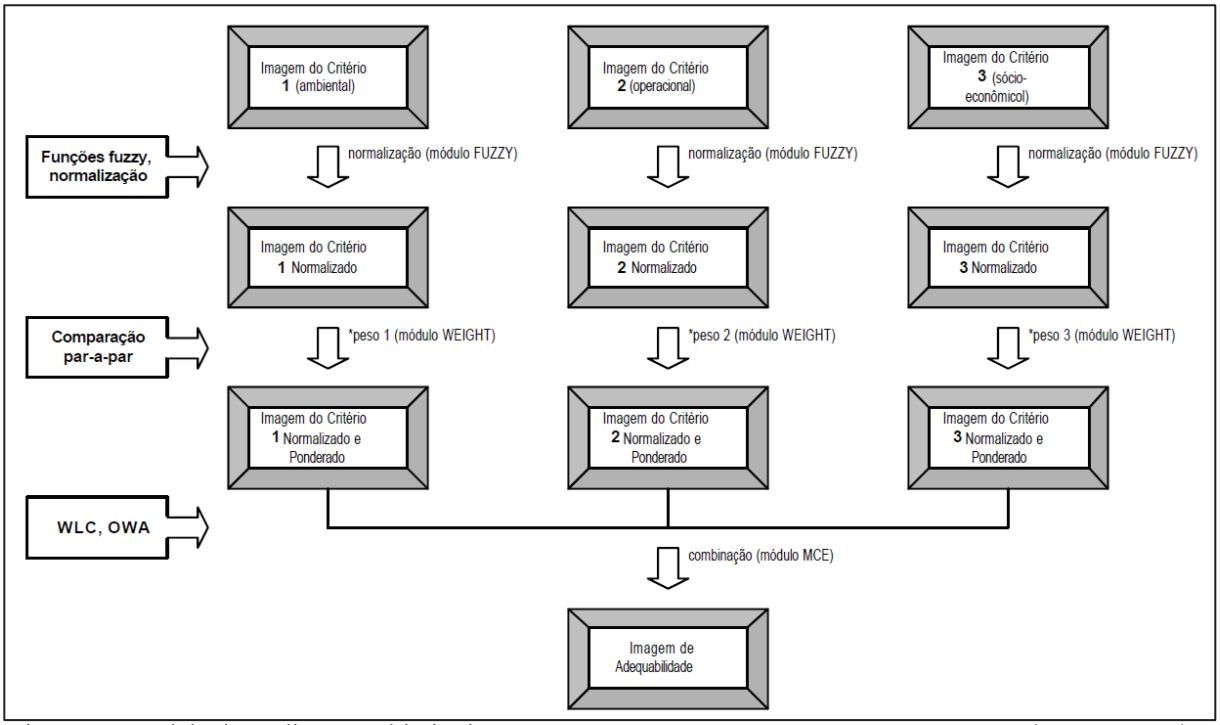


Figura 4 – Modelo de avaliação multicritério. Fonte: (MELO, 2001)

2.6 Quadro comparativo das metodologias analisadas

Tabela 4 – Vantagens e Desvantagens de estratégias de seleção de áreas

Método	Vantagens	Desvantagens	Comentários
CANSONI *et al., 1995*	Envolve fatores técnicos, ambientais e sociais em etapas sequenciais com reconhecimentos técnicos detalhados *in loco*	A pouca clareza no processo de pré-seleção torna as etapas seguintes muito trabalhosas e onerosas em tempo	Com o advento de melhores práticas na informática e alta definição em imagens aéreas esse processo ficou ultrapassado
LIMA, 1999	Utilização de processo lógico não restritivo a fim de reduzir falhas e não descartar áreas potenciais por acidente. A abordagem é orientada ao custo e por isso se torna muito pertinente em cenários com valores imobiliários altos	Estratégia dependente de cálculos e análises excessivas que não fornecem a agilidade necessária para cumprir os prazos normalmente estabelecidos para esse tipo de projeto	Implementar essa técnica aliada a software SIG de alta performance resultada em um método similar ao utilizado por CALIJURI *et. al., 2007* e MELO, 2001
PAMPOLINI, 2015	Agilidade e facilidade de compreensão dos resultados facilitam a sua interpretação e permite que mudanças e dados extras sejam inseridos sem quebrar a lógica do processo	É restritivo e exige uma base de dados detalhada e precisa de modo a evitar que áreas em potencial sejam acidentalmente descartadas na lógica da tomada de decisão	Método condizente com os prazos e resultados esperados em projetos de definição preliminar. Entretanto em regiões geograficamente complexas como Ouro Preto o excesso de restrições pode reduzir desnecessariamente a amostragem de áreas aptas.
CALIJURI *et al., 2007* & MELO, 2001	A combinação da lógica *fuzzy* com geoprocessamento permitiu que uma análise mais detalhada fosse feita sem detrimento com a eficiência, eliminando as possibilidades de falhas em até 35%.	A normalização dos critérios exige um trabalho matemático mais rigoroso e necessita de software específico. Mesmo que por um lado o conjunto *fuzzy* elimine o risco de que áreas propícias sejam descartadas ele aumenta a quantidade de dados a serem analisados após o estudo preliminar.	Os cálculos utilizados exigem uma equipe multidisciplinar treinada em software específico, o que o torna difícil para ser replicado em projetos menores.

As próprias características físicas e geológicas impõem uma restrição considerável para a busca de áreas adequadas para aterro na região de Ouro Preto. Logo, um método ideal não pode exercer restrições tão severas quanto as aplicadas por (PAMPOLINI, 2015) porém não deve ter o rigor aplicado por (CALIJURI *et al.*, 2007 & MELO, 2001) pois implicaria numa variedade de opções que dificultariam a análise final. Dados os recursos escassos disponíveis para o presente estudo, a melhor opção seria uma combinação das duas estratégias para se atingir um ponto ideal que respeite as características de Ouro Preto e ao mesmo tempo retorne uma quantidade reduzida de áreas preliminares a fim de facilitar a escolha final.

3 CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

3.1 Localização e acesso

O município de Ouro Preto, conforme descrito na Figura 5, está localizado na porção centro sul do estado de Minas Gerais em microrregião homônima. Pertence à Mesorregião de Belo Horizonte e a sua população segundo o último censo é de 73 mil habitantes, inseridos na sede e em mais doze outros distritos: Amarantina, Antônio Pereira, Cachoeira do Campo, Engenheiro Correia, Glaura, Lavras Novas, Miguel Burnier, Santa Rita de Ouro Preto, Santo Antônio do Leite, Santo Antônio do Salto, São Bartolomeu e Rodrigo Silva. Juntos eles compõem uma área territorial de 1.245 Km^2, quase quatro vezes superior à extensão da capital do estado, Belo Horizonte, localizada a 93 Km ao norte do município.

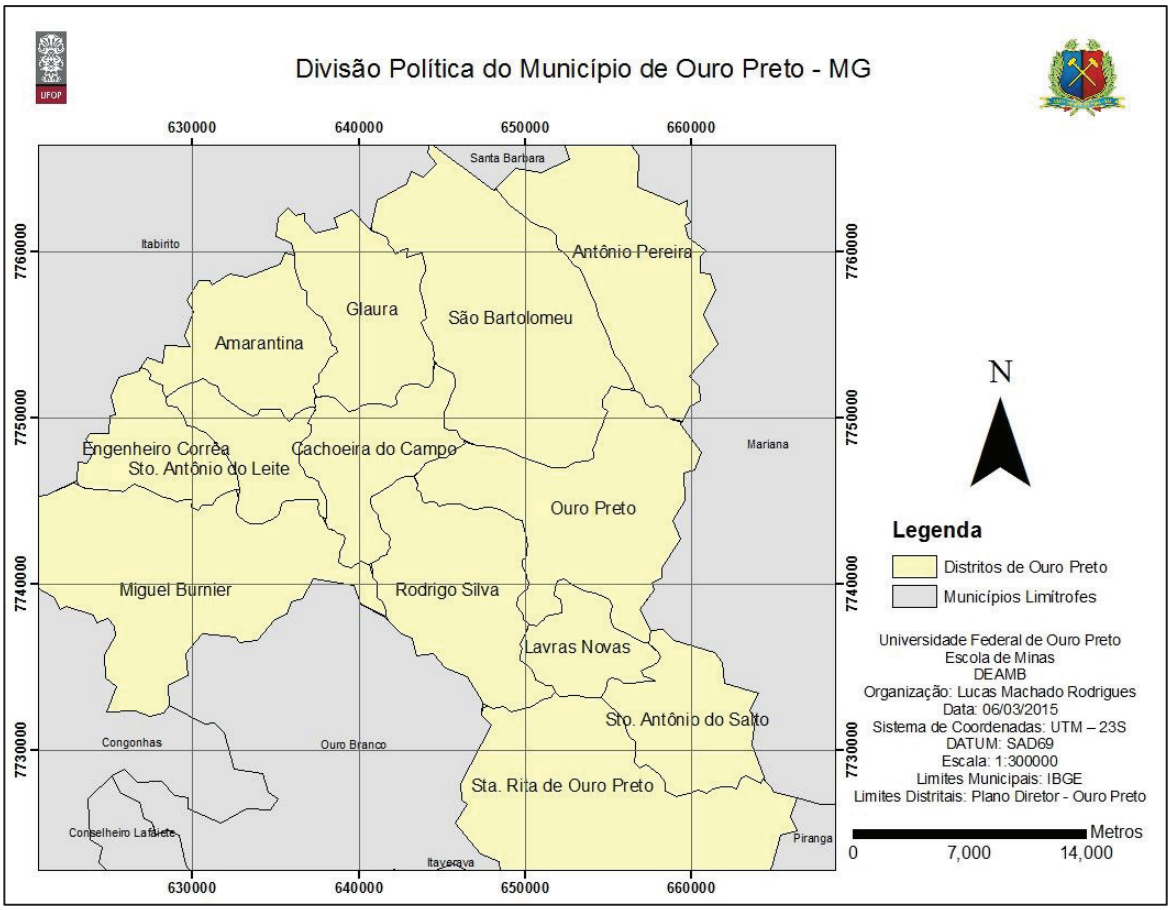


Figura 5 – Divisão política do Município de Ouro preto.

A sede do município está compreendida entre as coordenadas 20° 23' 08'' S e 43° 30' 29'' O e o seu acesso pode ser feito via BR 040 e em seguida BR 356 vindo da Capital. Importante centro cultural brasileiro, Ouro Preto possui o maior acervo arquitetônico Barroco do país e foi elevada a patrimônio histórico e cultural da humanidade em 1980 pela ONU (Organização das Nações Unidas).

3.2 Clima

Ao classificar a região segundo (Köppen, 1931), Ouro Preto está compreendido entre dois tipos climáticos: Cwa – tropical de altitude com verões quentes e úmidos e Cwb – tropical de altitude com verões amenos. A geomorfologia local propiciou à cidade um clima característico, com precipitações intensas de dezembro a março. Apresenta temperaturas amenas ao longo da maior parte do ano, tendo mínima média de 14,5°C no ano e máxima média de 26,8°C. Segundo CASTRO (2006), a precipitação média anual é de 1404,5 mm.

A alta pluviosidade recorrente na região exige um cuidado a mais a ser tomado quando na escolha para áreas para aterro. Deve-se respeitar declividades inferiores aos limites legais de modo a evitar que a erosão pluvial e infiltração propicie movimentos de massa nos taludes do aterro ou nas encostas adjacentes (PAMPOLINI, 2015).

3.3 Geologia local

Ouro Preto está situado em uma das mais importantes províncias minerais do Brasil, o Quadrilátero Ferrífero (QF), que estende por uma área de aproximadamente 7.200 km². O QF pode ser facilmente identificado uma vez que possui limites físicos bem demarcados: ao norte, a Serra do Curral, limite sul da capital mineira; a oeste, a Serra da Moeda, paralela a rodovia BR-040; ao sul, a Serra de Ouro Branco e a leste a Serra do Caraça (ALKMIN & MARSHAK 1998, DORR, 1969). Com uma história geológica repleta por diversos eventos tectônicos-vulcânicos, o QF corresponde a uma grande porção de estruturas do período pré-cambriano, que originou sua conformação atual resultante da conjunção de diversas variáveis

como: estrutura, litologia, epirogênese, mudanças climáticas e erosão diferencial (VARAJÃO *et al.* 2009).

Com relação ao contexto estratigráfico, de acordo com (ALKMIN & MARSHAK, 1998), são reconhecidas principalmente cinco unidades geológicas principais: o embasamento cristalino arqueano, distribuído em domos circundados pelas unidades supracrustais; o Supergrupo Rio das Velhas, uma sequência arqueana do tipo "greenstone belt"; o Supergrupo Minas, formado por sequências metassedimentares de idade paleo e mesoproterozóicas; as intrusões pós Minas e o Grupo Itacolomi. A complexidade do QF atrai pesquisadores do mundo inteiro, interessados em estudar a geologia local e principalmente mapear possíveis reservas minerais com interesse econômico (quando na área de mineração) além de investigar os endemismos característicos da região, oriundos de ecossistemas únicos e muito valorizados, como as Cangas (quando na área biológica).

A Figura 6 mostra o mapa geológico do município:

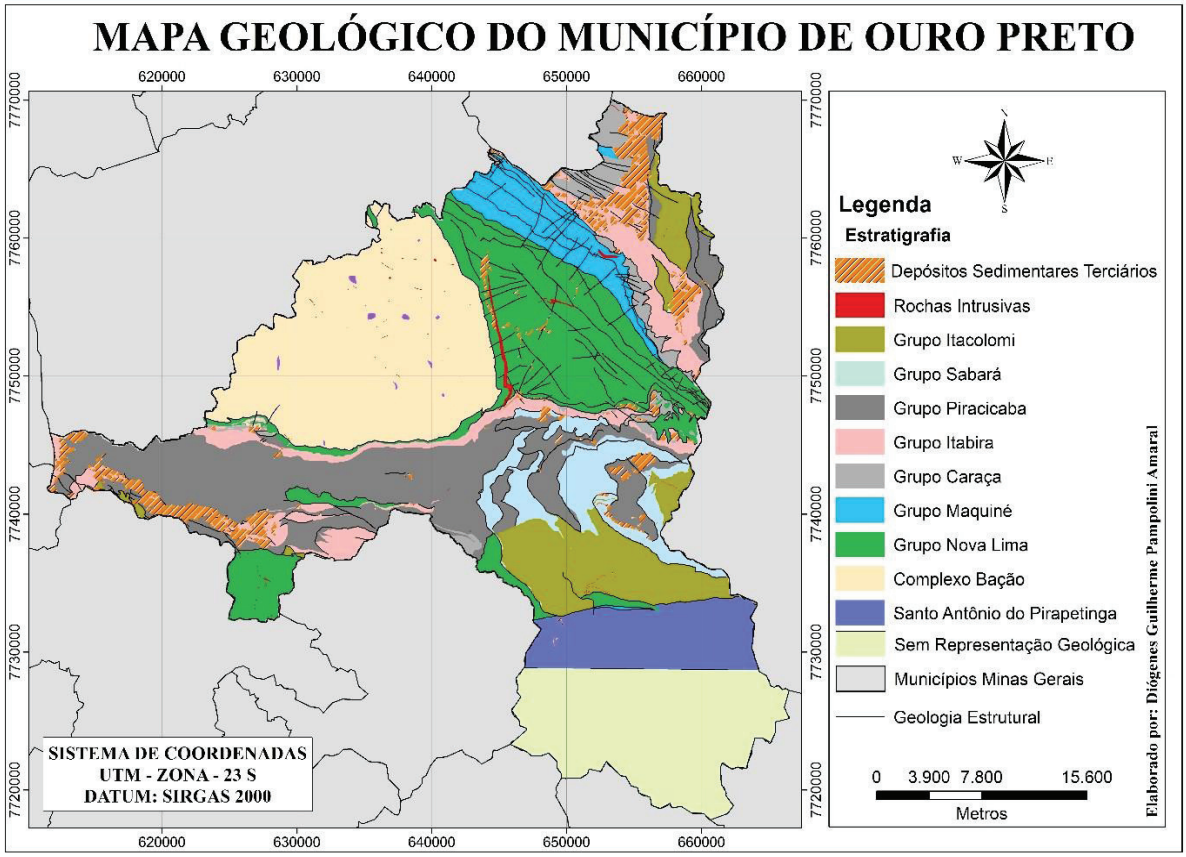


Figura 6 – Mapa Geológico de Ouro Preto - Fonte: (PAMPOLINI, 2015), Adaptado de (CODEMIG, 2015).

Recentemente a CODEMIG (Companhia de desenvolvimento econômico de Minas Gerais) realizou um trabalho de integração e correção cartográfica em SIG das cartas

produzidas no passado pelo convênio do *United States Geological Survey* (USGS) com o Departamento Nacional de Pesquisa Mineral (DNPM) entre os anos de 1952-1969 juntamente com o mapeamento geológico do convênio DNPM/ Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais – CPRM (1992 – 1996). O mapa de Ouro Preto acima foi adaptado do produto final do estudo da CODEMIG e demonstra como as cinco principais unidades geológicas descritas por (ALKMIN & MARSHAK, 1998) ocorrem no município.

3.4 Geomorfologia

Com relação à geomorfologia do QF, predomina a sua aparência notável e característica, onde raízes proterozóicas de estruturas metassedimentares, com feição de relevo jovem, encontram-se em destaque sobre uma vasta porção de colinas de rochas cristalinas do período Arqueano (BARBOSA, 1980).

A geomorfologia observada nos limites do município de Ouro Preto é um retrato do modelo exposto. Como fruto da erosão diferencial, prevalecem os quartzitos e itabiritos no substrato das terras altas, enquanto os xistos e filitos ficam compreendidos no substrato das terras de altitude mediana e as terras baixas, por sua vez, apresentam-se moldadas sobre granito-gnaisses. O QF encontra-se nas bordas da Serra e Planalto Moeda e Depressão do Vale do rio das Velhas, duas grandes unidades geomorfológicas (VARAJÃO *et al.* 2009).

3.5 Pedologia

Em 2010, convênios entre as Universidades Federais de Lavras (UFLA), Viçosa UFV, FEAM e Fundação Centro Tecnológico de Minas Gerais (CETEC) produziram o levantamento dos solos em Minas Gerais em escala de 1:500.000. Antes dessa parceria somente existiam mapas de solos que compreendiam a região do estado em cartas de escalas superiores ao milionésimo (FEAM, 2010).

Foi extraída do mapa de solos a porção referente ao nosso município de estudo, e, como pode ser observado pela Figura 7, são quatro os principais tipos de solos que ocorrem em Ouro Preto (caracterizados segundo o sistema brasileiro de solos SiBCS): Latossolos vermelhos (LVd) e vermelho-amarelos (LVAd), Neossolos Litólicos (RLd) e Cambissolos

Háplicos (CXbd). Em menor escala são encontrados também argissolo e afloramentos de rocha.

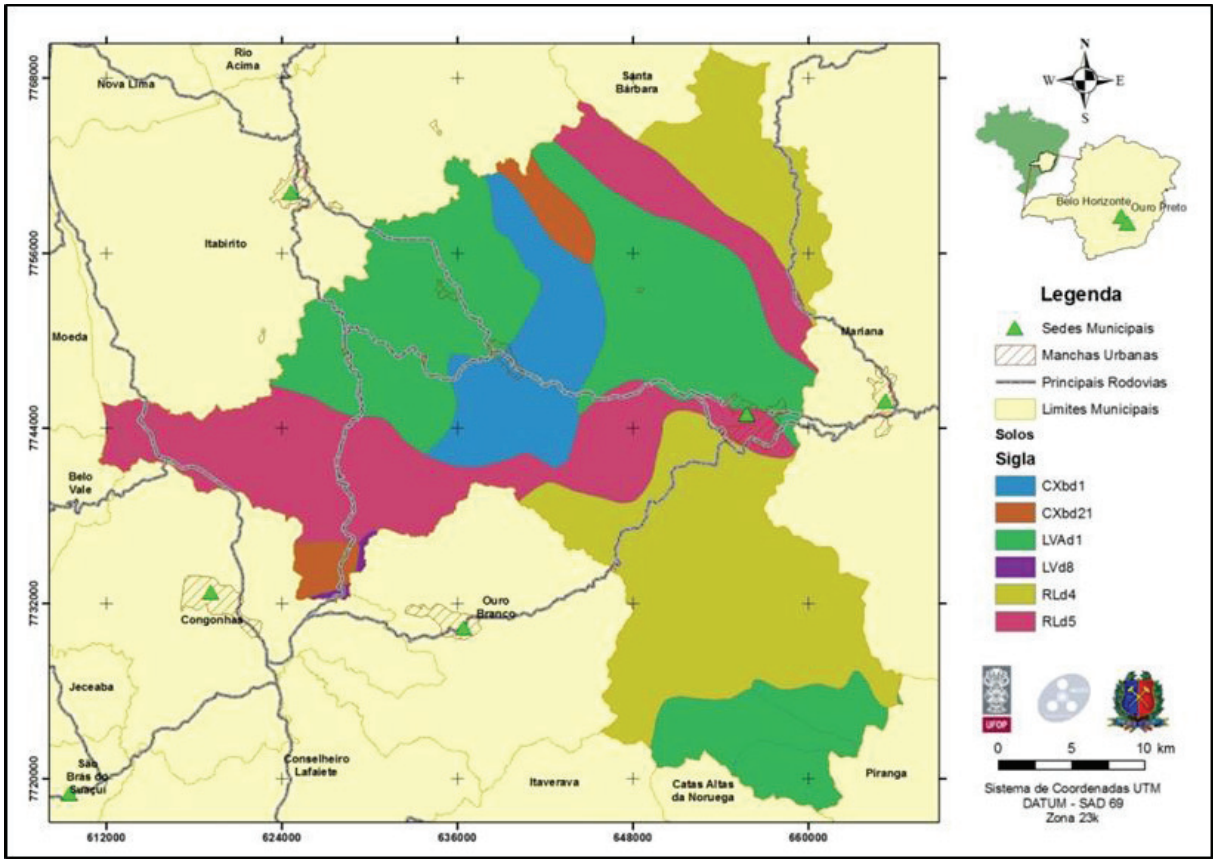


Figura 7 – Mapa de Solos de Ouro Preto. Fonte: (Nugeo, 2010) Adaptado de (FEAM, 2010)

As principais características de cada unidade pedológica presente no município, conforme (FEAM, 2010) e (LEPCSH, 2010):

- CXbd1 e CXbd21 – Cambissolos Háplicos: Característico por seu horizonte A moderado, escuro, e rico em húmus. Horizonte B incipiente e textura média a argilosa. Ocorrem em maior parte na porção central do município em relevo montanhoso.

- **LVd8 e LVAd1- Latossolos Vermelho e Vermelho-Amarelo**: Apresentam horizonte B latossólico (bem intemperisado e com acúmulo de óxidos) imediatamente abaixo de qualquer tipo de horizonte A. As argilas são predominantemente do tipo Caulinita e conferem uma textura argilosa ao solo. Ocorrem em porções ao longo de todo o município, preferencialmente em relevos ondulados.

- RLd4 e RLd5 – Neossolos litólicos: Com horizonte A pouco desenvolvido e sem nenhum horizonte B, é um solo jovem muito recorrente em relevos montanhosos e ondulados fortes.

Em menor quantidade, mas também descritos na legenda expandida:

- Afloramento rochoso: Ocorrem em maior parte nos campos rupestres de altitude, principalmente na forma de quartzitos em relevos montanhosos como os observados no Parque Estadual do Itacolomi. Para serem considerados como afloramentos essas estruturas devem conter em sua composição ao menos 40% de rocha.

- Argissolo: Ocorrem principalmente na porção sul do município, em relevos fortes e ondulados. Sua característica principal é um horizonte A moderado com textura argilosa.

Observação: Ao longo das altas altitudes do município também existem grandes formações de lateritas (*e.g.* cangas ferruginosas) bem como porções que sofreram processos de bauxitização. A própria sede da UFOP está situada sobre essas estruturas, que são caracterizadas como coberturas recentes ou superficiais. Esses perfis lateríticos não são considerados afloramentos, uma vez que sofreram excessivas lixiviações, porém guardam características significativas da rocha formadora (elementos não móveis). Apesar de não estarem presentes no mapeamento realizado pelos convênios acima a importância desses perfis não pode ser descartada uma vez que eles carregam um contexto importante por abrigarem uma quantidade de espécies endêmicas da região.

3.6 Hidrografia

O pesquisador Paulo Lemos organizou a elaboração do livro: "Água e Cultura: inventário das fontes de água da região de Ouro Preto" (LEMOS, 2015), com ajuda de docentes da UFOP e bolsistas do Programa de Educação Tutorial (PET) dos departamentos de Geologia e Engenharia Ambiental. A obra conta com um capítulo do prof. Antenor Barbosa onde ele explana a importância do município de Ouro Preto no cenário hidrológico nacional

uma vez que é dentro de seus limites que nasce o rio das Velhas, maior afluente em extensão da bacia do São Francisco (LEMOS, 2015).

É dentro do Parque Municipal das Andorinhas que o Velhas começa seu percurso de 801 km até desaguar no rio São Francisco, no município de Várzea da Palma – MG. Dentre os principais afluentes do Velhas, podem ser destacados os ribeirões Jaboticatubas e Curimataí além dos rios Cipó e Paraúna, todos localizados na borda direita. Na borda esquerda, por sua vez, destacam-se os ribeirões Jequitibá, Picão, Bicudo, Cotovelo, Arrudas e Onça – os dois últimos sendo responsáveis pela drenagem da capital do estado (LEMOS, 2015).

A hidrografia completa do município é representada na Figura 8:

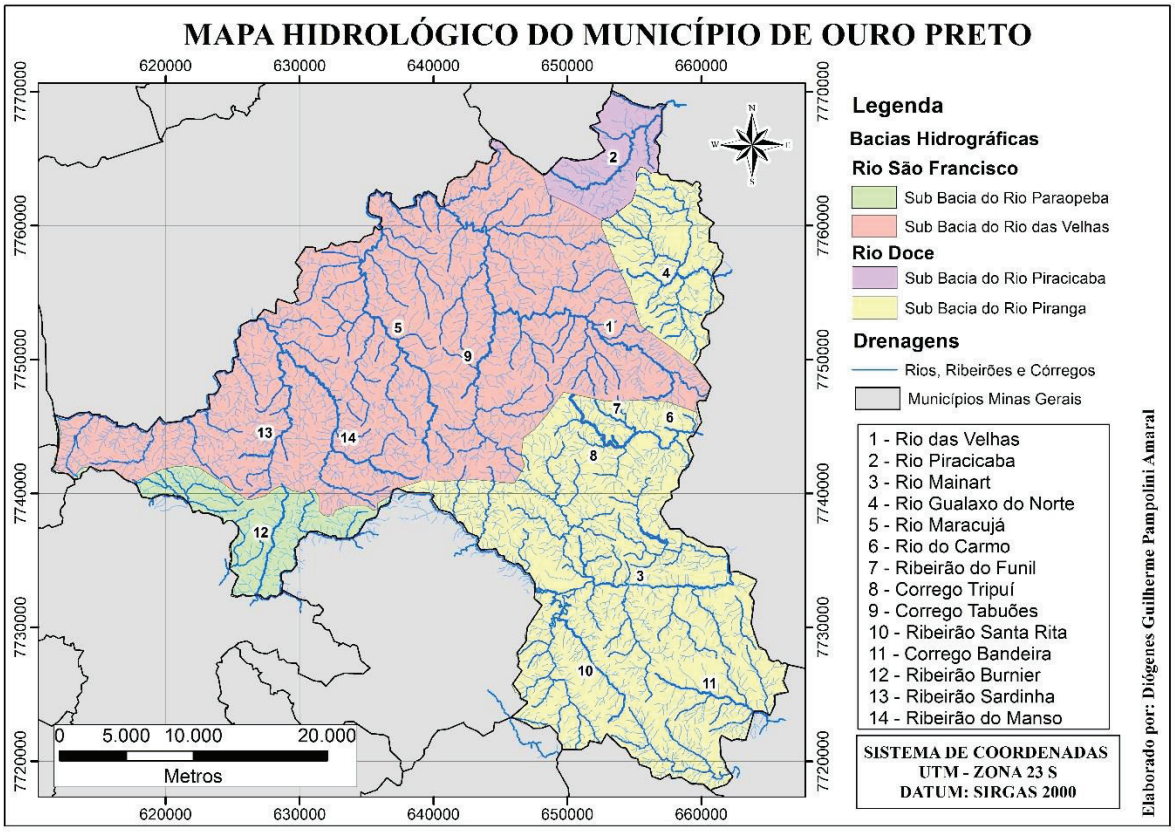


Figura 8 – Mapa Hidrológico de Ouro Preto. Fonte: (PAMPOLINI, 2015) Adaptado de (CODEMIG, 2015)

4 MATERIAIS E MÉTODOS

4.1 Organização do Trabalho

Para que todos os objetivos propostos fossem atingidos de forma satisfatória, o trabalho foi organizado em quatro partes distintas:

Parte 1: Revisão das bases conceituais e levantamento de principais metodologias acerca da avaliação e seleção de áreas para a implantação de aterros sanitários.

Parte 2: Comparação e análise crítica das metodologias levantadas a fim de levar em consideração características próprias da área de estudo para que ao final seja definida a melhor metodologia a ser usada e ainda propostas algumas adaptações de maneira a melhorar a qualidade dos resultados.

Parte 3: Elaboração de base cartográfica georreferenciada e aplicação das ferramentas de geoprocessamento, lógica *fuzzy* e análise multicritério para isolar as áreas que melhor atendem aos critérios expostos na metodologia selecionada.

Parte 4: Comparar os resultados da análise com áreas previamente selecionadas em estudos anteriores, de maneira a validar os dados e verificar se existe alguma coesão nos resultados alcançados por metodologias diferentes. Por fim, definir a área mais adequada de acordo com o método utilizado e propor estudos posteriores.

Na Figura 9, pode-se observar um fluxograma elaborado com as etapas do trabalho:

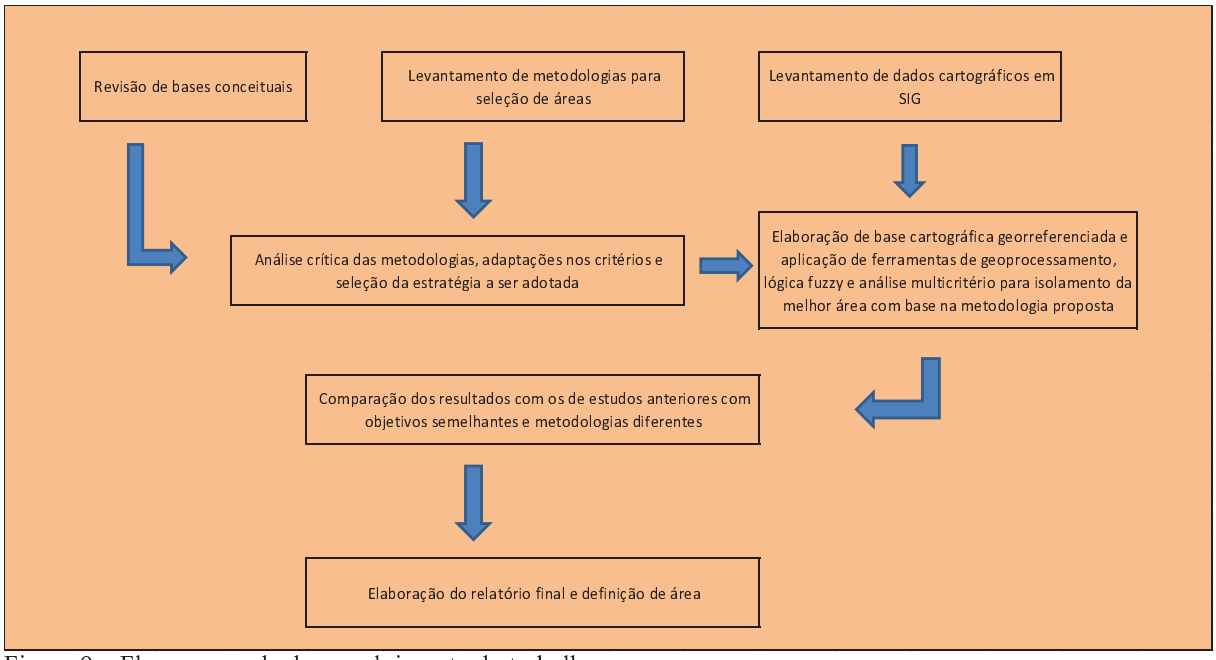


Figura 9 – Fluxograma de desenvolvimento do trabalho

4.2 Material Utilizado

O desenvolvimento desse trabalho foi realizado com o uso de computador, software específico, dados cartográficos, demográficos e demais dados secundários.

4.2.1 Hardware e Software

- *Notebook* SONY VAIO com processador intel CORE i5, 8gb de memória RAM
- Microsoft Word™ 2010 para processamento de texto
- Microsoft Excel™ 2010 para desenvolvimento de tabelas, fluxogramas e planilhas
- ESRI ArcGIS™ 9.3 para elaboração das cartas temáticas e geoprocessamento
- ERSI ArcGIS EARTH para obtenção de imagens aéreas de domínio público
- Google EARTH PRO para obtenção de imagens aéreas de domínio público

4.2.2 Dados cartográficos digitalizados

- Cartas plani-altimétricas em escala 1:5000 do município de Ouro Preto, obtidas por meio do projeto "Carta Geotécnica de Aptidão À Urbanização" da Universidade Federal de Ouro Preto (UFOP, 2013)
- Cartas Geológicas e Hidrológicas disponibilizadas pela CODEMIG por meio do projeto Geologia do Quadrilátero Ferrífero em parceria com os projetos USGS/DNPM e DNPM/CPRM (CODEMIG, 2015)
- Mapa de Solos de Minas Gerais, confeccionados pelo projeto FEAM/CETEC em parceria com UFLA e UFV (FEAM, 2010)
- Bases cartográficas georreferenciadas de acessos, rodovias e limites municipais disponibilizadas pelo convênio GeoMINAS/IBGE (IBGE, 2010b)
- Bases cartográficas georreferenciadas de unidades de conservação disponibilizadas pelo projeto QFe2050 (Estudos avançados – Quadrilátero Ferrífero)
- Plano Diretor do município de Ouro Preto (OURO PRETO, 2006)
- Lei de Uso de Ocupação do Solo do município de Ouro Preto (OURO PRETO, 2011)

4.3 Descrição da Metodologia

O processo de escolha de uma área para sediar um aterro sanitário deve seguir critérios bem definidos, principalmente quando se trata de municípios de natureza geograficamente complicada como o de Ouro Preto. Sua topografia aumenta o grau de dificuldade de qualquer obra civil e ainda por cima há uma quantidade muito representativa de áreas que devam ser evitadas, seja pelo seu interesse minerário ou seja pela presença de unidades de conservação.

Como o presente estudo se trata de uma definição preliminar, que exigirá um posterior refino em projeto futuro, escolheu-se uma metodologia menos rigorosa, de modo a evitar que áreas potencialmente aptas sejam descartadas por filtros indevidos.

A metodologia escolhida para esse trabalho foi, portanto, uma combinação entre a adaptação de duas metodologias; Inicialmente, utilizou-se dos critérios abordados por (PAMPOLINI, 2015), uma vez que por terem sido trabalhados na mesma localização geográfica é de grande interessante verificar se os resultados finais serão semelhantes. Entretanto, a metodologia de (PAMPOLINI, 2015) apresenta critérios restritivos (valores

zero) que podem acabar por desconsiderar áreas potencialmente aptas, mas que possam ter sido prejudicadas por mapeamentos cartográficos imprecisos. Logo, optou-se por prevalecer da metodologia de ponderação de valores presente no Manual de Gerenciamento Integrado de resíduos (IBAM, 2001), na qual nenhum critério é restritivo, para que assim não haja perda inconsciente de áreas potenciais.

Primeiramente, o tamanho da área a ser escolhida foi estimado e depois foi realizada uma avaliação das áreas potenciais a partir da ponderação de três agrupamentos de critérios: técnico-ambientais, econômico-financeiros e político-sociais. Cada um deles foi adaptado de maneira a melhor satisfazer o escopo do presente estudo, que devido a suas limitações de tempo, recursos e mão de obra teve que excluir alguns fatores da análise. Esses fatores poderão ser tratados posteriormente, em estudo específico para as áreas definidas por essa avaliação preliminar. São eles:

- Distância do lençol freático
- Titulação das áreas
- Custos de aquisição de terreno, execução de obra e manutenção da drenagem
- Qualidade das vias para facilidade de acesso por veículos pesados
- Disponibilidade de material de cobertura
- Grau de aceitação do núcleo populacional mais próximo

4.4 Critérios

4.4.1 Área espacial total mínima do Aterro

O critério primordial a ser analisado é o da menor área necessária para atender a demanda de resíduos ao longo da vida útil desejada para o aterro. Por ser uma obra de grande porte, o (IBAM, 2001) defende que um aterro mantenha-se em operação por ao menos vinte anos, de modo a pagar o alto investimento que foi aportado em sua concepção e instalação.

Existem vários métodos utilizados para se estimar o tamanho superficial em área para aterros sanitários, para fins desse estudo utilizou-se o cálculo por meio do fator de conversão apresentado por (IBAM, 2001):

$$\mathbf{A = T \times F}$$

Onde:

A = Área do Aterro (m^2)

T = Quantidade de RSU coletada por dia (t)

F = Fator de conversão = 560, considerando os seguintes parâmetros:

- Vida útil: 20 anos
- Altura máxima do aterro: 20m
- Taludes de 1:3
- Ocupação de 80% com área operacional

A quantidade de RSU coletada por dia será calculada com base na população (incluindo flutuante) do município no ano de 2035 multiplicada pela geração diária *per capta* de RSU. A população será derivada por meio da extrapolação dos dados populacionais do censo de 2010 (IBGE, 2010) e da taxa de crescimento populacional apresentada no Plano Municipal de Saneamento Básico do município (PMSB/OP, 2013).

Por fim, conforme defende (CARVALHO, 2010), a área resultante será acrescida de 50% de sua extensão para fins de segurança, de modo a garantir espaço para vegetação de entorno, futuras instalações e possível expansão emergencial.

Observação: Conforme descrito por (IBAM, 2001), é de grande importância que a vida útil programada da obra seja ressaltada diante do grande desafio que é encontrar áreas aptas para receber esse tipo de empreendimento, que estejam próximas aos principais pontos de coleta para receber o volume de lixo urbano gerado no município. Principalmente devido à grande resistência que normalmente é estabelecida pelos habitantes mais próximos da área selecionada uma vez que existe uma rejeição natural de se viver próximo a um local de disposição final de resíduos urbanos.

4.4.2 Técnico-ambientais

Um aterro sanitário é uma obra de engenharia com o objetivo fundamental de acomodar resíduos de maneira que eles não contaminem o meio adjacente e consequentemente não tragam qualquer dano à qualidade de vida humana. Para que esse

objetivo seja atendido com um grau de risco aceitável existem critérios prioritários a serem seguidos como normas e boas práticas de engenharia.

Para o presente estudo, foi considerada a premissa de que o aterro sanitário de RSU projetado será para destino apenas de resíduos não perigosos, classes IIA e IIB, uma vez que existem destinações ambientalmente adequadas mais seguras para resíduos classe I como coprocessamento, decomposição térmica e incineração. Logo, os critérios apresentados na Tabela 5, denominados como "Técnico-ambientais" estão de acordo com a norma NBR 13896:97 – Aterros de Resíduos não Perigosos – Critérios para projeto, implantação e operação (ABNT, 1997).

Tabela 5 – Critérios Técnico-ambientais

Critérios Técnico-ambientais	
Critérios	Observações
Declividade	Baixas declividades implicam em menores riscos geotécnicos, maior facilidade para a movimentação dos resíduos, manutenção das drenagens de chorume e gases (metano) bem como em melhor acesso para materiais para forração
Proximidade a cursos d'água	A área não pode estar situada a distância inferior a 200m de corpos d'água relevantes
Permeabilidade do solo	É desejável que o solo do terreno selecionado possua um grau de impermeabilidade natural de modo a reduzir o risco de contaminação do lençol. Logo, a área selecionada deve ter, de preferência, características argilosas.
Uso do solo	A área deve estar a uma distância mínima de parques, estações ecológicas, unidades de conservação, reservas naturais ou qualquer outra área de preservação natural.

Fonte: Adaptado de (IBAM, 2001)

4.4.3 Econômico-financeiros

O maior custo da gestão de resíduos de um município é o do transporte entre a fonte geradora até a sua disposição final. Logo, a escolha adequada do local do aterro deve levar em

consideração a distância média pela qual os resíduos deverão ser transportados de modo que a operação não se torne economicamente inviável.

Não só a distância absoluta entre a fonte geradora e o local de disposição final reflete nos altos custos de transporte, mas também a facilidade com que esses resíduos serão transportados. A presença de vias de acesso existentes é fundamental para diminuir os custos de implantação do Aterro e evitar despesas com construção de novas malhas rodoviárias. Entretanto, é necessário que o aterro mantenha uma distância mínima dessas vias de acesso, conforme apresentado pela Tabela 6 apresenta, portanto os critérios econômico-financeiros que garantem a viabilidade econômica da operação.

Tabela 6 – Critérios Econômico-financeiros

Critérios Econômico-financeiros	
Critérios	Observações
Distância ao centro geométrico principal da coleta	O percurso de transporte dos resíduos desde a sua fonte geradora até o local de disposição final não pode ser muito próximo (de modo a infringir as normas técnicas) porém também não pode ser distante de modo a onerar o transporte de resíduos
Proximidade de vias de acesso	O Local de disposição final de resíduos não deve estar localizado imediatamente próximo a vias de acesso

Fonte: Adaptado de IBAM (2001)

4.4.4 Político-social

Aterros sanitários e “lixões” costumam atrair comunidades carentes e sem emprego para seu entorno, a fim de exercer a catação de lixo como forma de subsistência. Esse tipo de atividade, muitas vezes praticada por menores de idade, é insalubre e deve ser combatida, com melhores opções para essas pessoas, mas também garantindo que esses empreendimentos mantenham distância de comunidades de pouco desenvolvidas.

4.5 Hierarquização de critérios

De acordo com (IBAM, 2001), o local definido para se construir um aterro deve ser o que cumprir com a maior quantidade de critérios, enfatizando os com maior grau de importância. Para isso, foi estabelecido um sistema hierárquico que atribui pesos maiores aos critérios imprescindíveis ao estabelecimento da obra.

É necessário também realizar uma análise individual de cada área pré-selecionada também de modo a conferir se cada um dos critérios avaliados foram atendidos por completo, parcialmente atendidos ou não foram atendidos.

Na tabela 7, está demonstrada a prioridade de cada agrupamento de critérios e seu respectivo peso.

Tabela 7 – Prioridade dos critérios

Hierarquização de Critérios		
Critérios	Prioridade	Peso
Técnico-ambientais	1	10
Político-sociais	2	6
Econômico-financeiros	3	4

Fonte: IBAM (2001)

Com base nas peculiaridades de cada critério, foi selecionada uma nota diferente com relação a cada variação e depois aplicado o peso conforme descrito por (IBAM, 2001). O resultado final é demonstrado na Tabela 8:

Tabela 8 – Resumo da metodologia de ponderação dos critérios

Grupo	Critérios	Variação	Nota	Peso	Multiplicador	Nota final
Técnico-ambientais	Proximidade de cursos D'água	Até 200m	1	10	1.1	1.1
		Mais que 200m	10			11
	Proximidade de áreas de preservação*	Dentro da Zona de Amortecimento	1			1.1
		Fora da Zona de Amortecimento	10			11
	Permeabilidade do solo	alta	1			1.1
		Média alta	5			5.5
		Média	7			7.7
		Média a Baixa	10			11
	Declividade	Entre 0% a 3%	5			5.5
		Entre 3% a 30%	10			11
		Maior que 30%	1			1.1
Econômico-financeiros	Proximidade da principal fonte geradora	Menor que 1km	1	4	1.04	1.04
		Entre 1km e 3km	5			5.2
		Entre 3km a 5km	10			10.4
		Entre 5km a 15km	5			5.2
		Entre 20km a 25km	2			2.08
		Maior que 20km	1			1.04
	Proximidade de vias de acesso	Até 100m	1			1.04
		Mais que 100m	10			10.4
Político-sociais	Proximidade de núcleos populacionais de baixa renda**	Dentro da zona de influência	1	6	1.06	1.06
		For a da zona de influência	10			10.6

Obs: * Zona de amortecimento característica de cada área estipulada pelo respectivo plano de manejo. ** Zona de influência estimada a partir da evolução do acesso a saneamento básico de cada núcleo nos últimos 10 anos (CRUZ, 2013). Fonte: Adaptado de IBAM (2001)

Uma carta temática georreferenciada foi gerada para cada critério com base nos dados cartográficos reunidos. As bases foram então ponderadas e multiplicadas conforme fluxograma da Figura 10 para isolar as áreas potenciais para definição e conclusão do estudo:

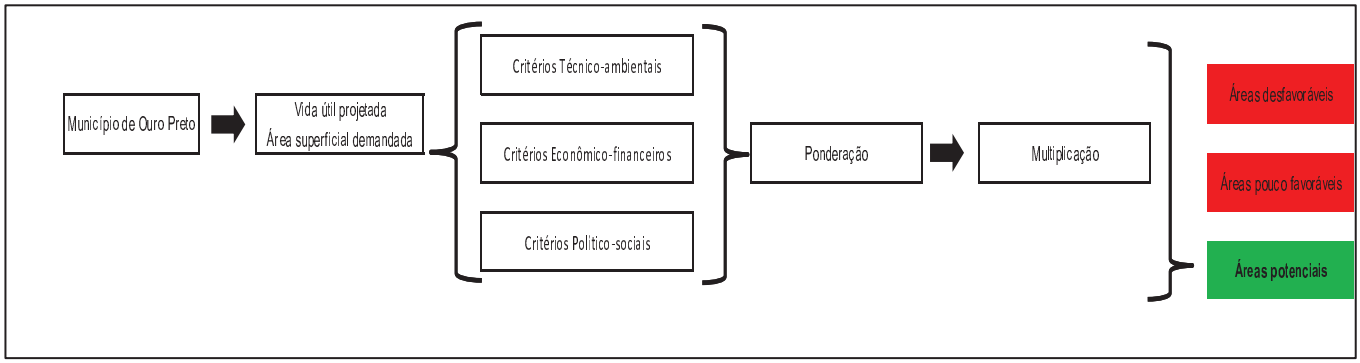


Figura 10 – Fluxograma da metodologia de definição de áreas

5 RESULTADOS

5.1 Cálculo da área espacial necessária

Para a derivação da área requisitada foram levadas em consideração as seguintes premissas:

- População municipal de Ouro Preto - 2010: 70.281 (Censo 2010, IBGE)
- População flutuante de Ouro Preto - 2013: 6.352 (PMSB/OP, 2013)
- Taxa de crescimento anual da população: 0,54% (PMSB/OP, 2013)
- Geração de RSU - 2013: 0,7 kg/hab/dia (PMSB/OP, 2013)
- Taxa de elevação da geração de RSU/hab/ano: 0,6% (PMSB/OP, 2013)
- Abrangência da coleta de RSU no município: 100%**

  Obs: Apesar de constar 90% de atendimento no PMSB/OP, esse estudo irá considerar a totalidade da população atendida para fins de dimensionamento do aterro.
- Fator de conversão: 560 (IBAM, 2001)
- Vida útil do aterro: 20 anos
- Altura máxima do aterro: 20m
- Inclinação dos taludes: 1:3

A partir das premissas, as seguintes derivações foram feitas:

- População municipal de 2035 (incluindo flutuante): 85.235
- Geração de RSU/dia – 2035: 67,51t
- Área operacional do Aterro = 4,4 ha

Conforme as boas práticas descritas por CARVALHO (2010), a área operacional do Aterro deve ser acrescida de metade do seu tamanho original de modo a considerar as barreiras verdes ao entorno, pátios de operação e áreas administrativas:

Logo, a área final requerida para o empreendimento é

A = 4,4 + 50% = 6,6 há ~ 7ha

5.2 Aplicação dos critérios de seleção

Os mapas relacionados nas próximas páginas apresentam cada um dos critérios presentes nos três agrupamentos utilizados para a definição das áreas potenciais, seguidos de suas respectivas análises. As Figuras 11, 12, 13 e 14 representam respectivamente os critérios: Proximidade a cursos d'água, Proximidade de áreas de preservação, Permeabilidade do solo e Declividade, que juntos compõem o agrupamento Técnico-ambiental.

As Figuras 15 e 16, por sua vez, representam os critérios: Proximidade da principal fonte geradora e Proximidade de vias terrestres, que compõem o agrupamento Econômico-financeiro.

Por fim, a Figura 16 representa o critério Político-social de proximidade a núcleos populacionais.

5.2.1 Critérios Técnico-ambientais

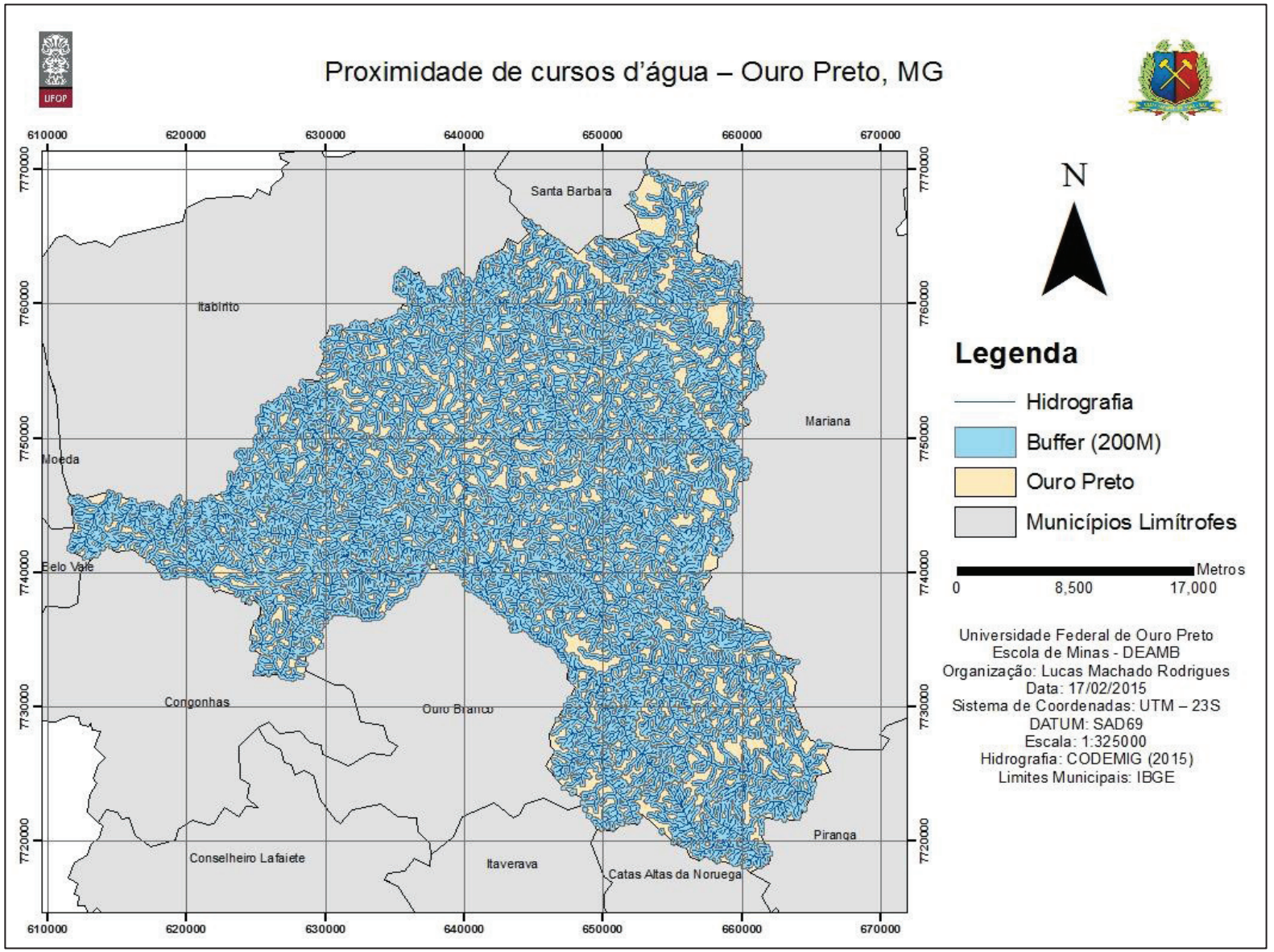
5.2.1.1 Proximidade a recursos hídricos

Diferente da hidrografia apresentada pela Figura 8, a Figura 11 demonstra de maneira mais gráfica a complexidade e importância dos cursos d'àgua de Ouro Preto, uma vez que é incluído na análise não somente o espaço físico ocupado por cada drenagem, mas também a parcela do seu entorno que deve ser protegida. Alguns autores defendem o emprego de distâncias superiores a 200 m (CANSONI *et al., 1995*), entretanto, aumentar o *buffer* em um município de hidrografia rica como Ouro Preto acabaria por inviabilizar o município inteiro a receber o empreendimento.

A opção por adotar o *buffer* de 200m foi o suficiente para comprometer aproximadamente 984 km^2 do município na definição preliminar, o que representa 79% de toda extensão territorial de Ouro Preto. Uma saída para favorecer uma extensão territorial maior seria classificar os cursos d'água por ordem e diminuir o *buffer* de drenagens menores. Entretanto, como a metodologia aplicada é isenta de critérios restritivos, optou-se por prevalecer um maior rigor e manter o *buffer* padronizado para todo o tipo de curso d'água.

Por fim, a Figura 11 justifica novamente a necessidade de não se utilizar critérios restritivos no presente estudo. Caso fossem empregados, apenas uma das 7 cartas temáticas a serem combinadas seria o suficiente para remover permanentemente quase 80% da dimensão territorial disponível.

Figura 11 - Proximidade de cursos d'água



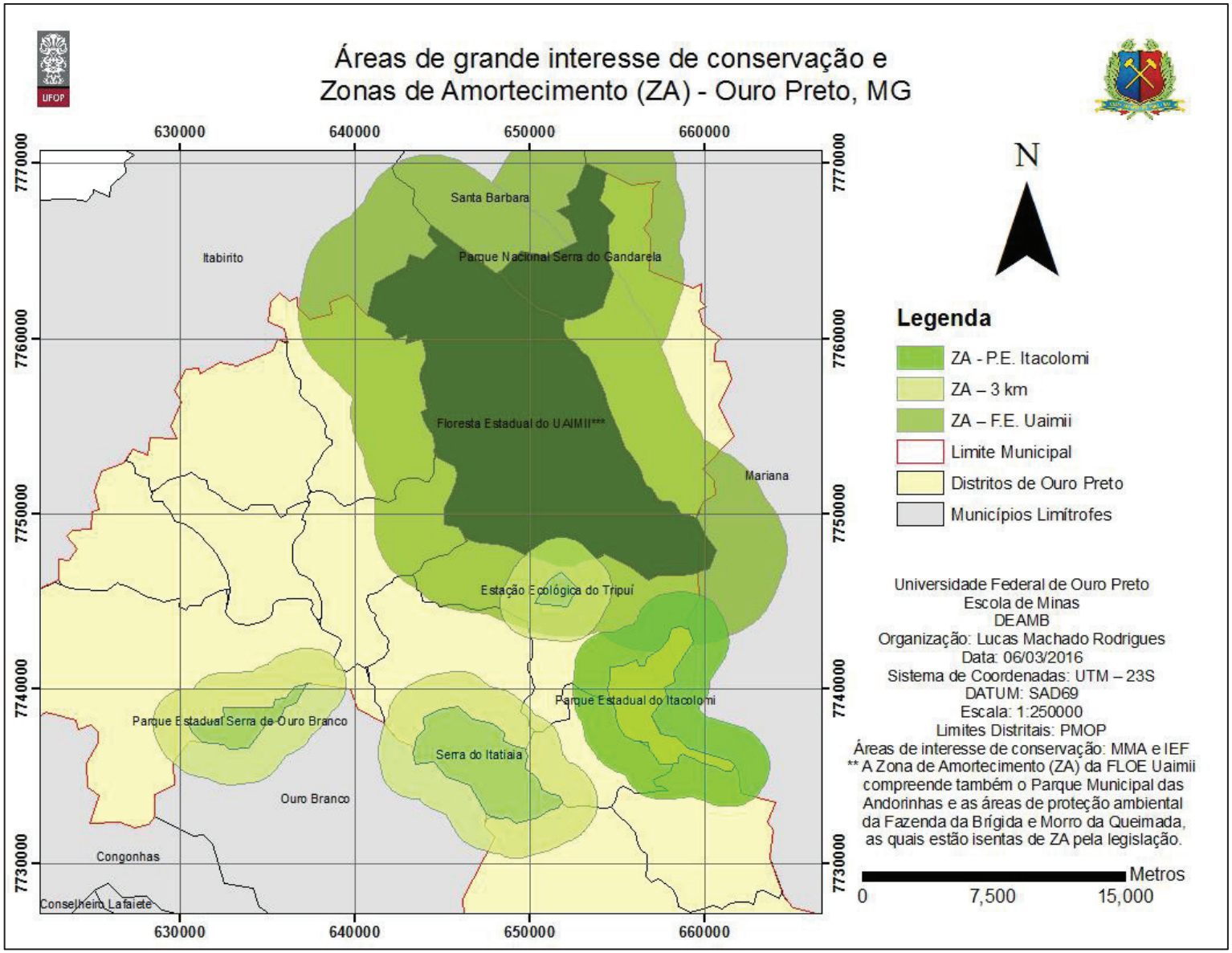
5.2.1.2 Proximidade a áreas com interesse de preservação

A legislação vigente que dispõe sobre o Sistema Nacional de Unidades de Conservação – SNUC (BRASIL, 2000) e a sua respectiva resolução reguladora: 428/10 (CONAMA, 2010) exigem que para cada Unidade de Conservação (UC) – exceto áreas de proteção ambiental (APA) e Reservas Particulares do Patrimônio Natural (RPPN) – uma Zona de Amortecimento (ZA) deve ser prevista em seu plano de manejo. No caso de UCs que ainda não tenham um plano de manejo aprovado, deve-se considerar uma faixa de 3 km de extensão a partir do limite da UC.

A Figura 12 apresenta as principais unidades de conservação presentes no município de Ouro Preto. As demais UCs que não foram representadas estão localizadas no interior das ZAs presentes. Para o caso do Monumento Nacional Serra do Itatiaia, Parque Estadual Serra de Ouro Branco e Estação Ecológica do Tripuí, foi considerada a faixa de 3km como ZA uma vez que nenhuma delas tem plano de manejo aprovado até o início de 2016. A ZA da Floresta Estadual Uaimii, por sua vez, foi vetorizada a partir do mapa elaborado pela consultoria ABCDE – Ambiente Brasil como parte do seu plano de manejo, (IEF, 2012) e compreende em sua extensão as áreas de proteção ambiental Cachoeira das Andorinhas e Morro da Queimada, bem como a parcela ouro-pretana do Parque Nacional Serra do Gandarela.

Por fim, a ZA do Parque Estadual do Itacolomi foi adaptada do seu respectivo plano de manejo (IEF, 2007). A adaptação foi necessária uma vez que caso fosse considerada em sua totalidade, a ZA Itacolomi, juntamente com as outras áreas iriam cobrir uma parcela referente a 85% do território municipal, o que inviabilizaria a metodologia proposta. Portanto, para fins deste estudo, foi considerada uma faixa de 3km de extensão a partir dos limites do parque, de modo que o somatório das ZAs corresponda a 60% do município. Essa adaptação não compromete a legalidade da metodologia, uma vez que a resolução 428/10 (CONAMA, 2010) não impede que empreendimentos de significativo impacto ambiental sejam realizados em ZAs, entretanto exige que uma autorização deva ser dada pelo órgão gestor da respectiva UC para que o licenciamento do empreendimento seja aprovado.

Figura 12 - Proximidade de áreas de conservação

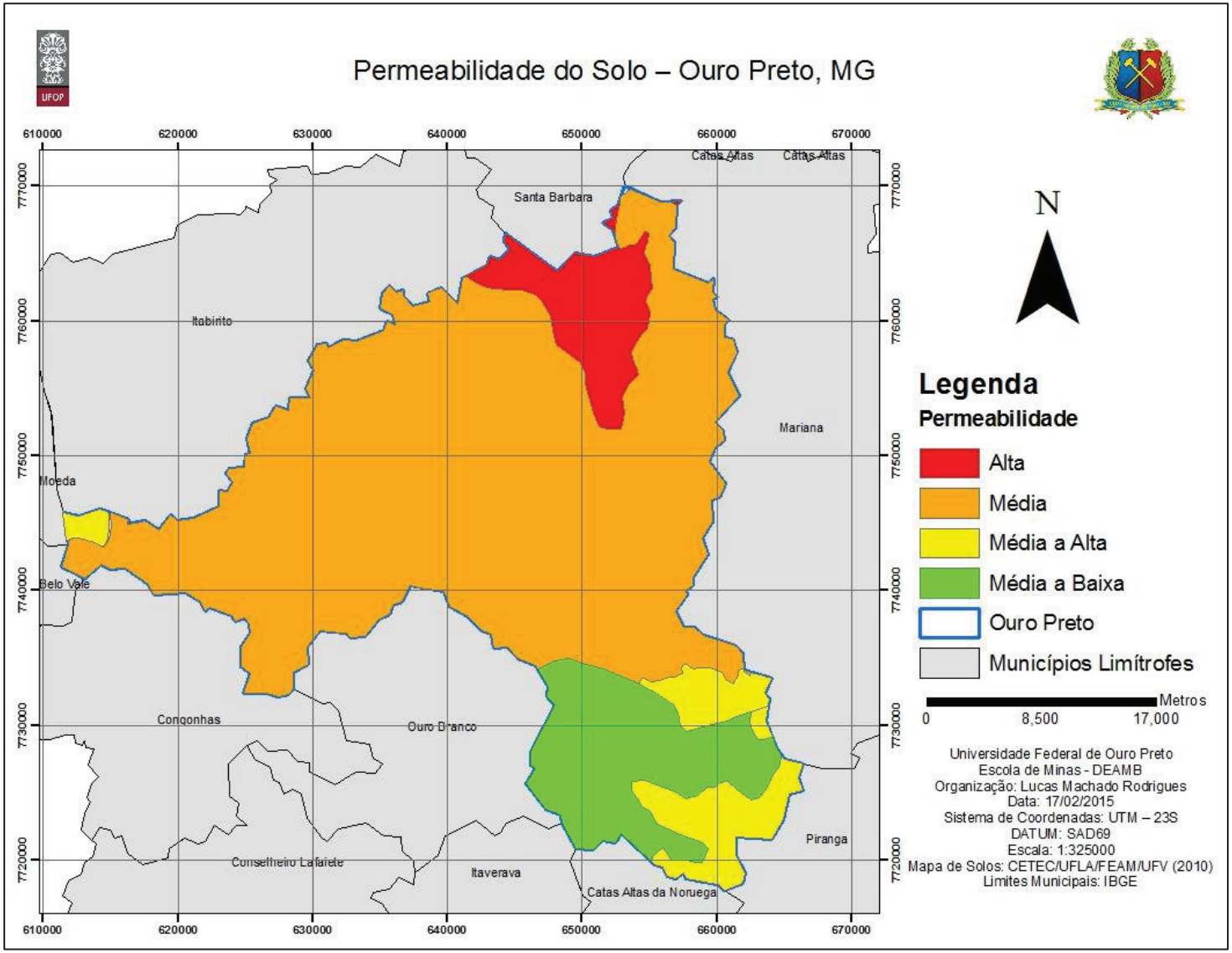


5.2.1.3 Permeabilidade do solo

A Figura 13 apresenta o mapa de permeabilidade do solo no município com base nos dados pedológicos extraídos do Mapa de Solos de Minas Gerais (FEAM, 2010). Por ser derivado de um levantamento feito em escala 1:650000 esse é o conjunto de dados com a menor precisão do projeto. Conforme discutido no item 3.5 deste estudo, existem unidades pedológicas significativas presentes no município, que não estão retratadas no levantamento utilizado. Devido à imprecisão dos dados pedológicos optou-se por formar um número inferior de divisões de permeabilidade do que as anteriormente propostas por (PAMPOLINI, 2015). Desse modo, os afloramentos foram caracterizados como alta permeabilidade, os Latossolos com permeabilidade média a alta, os Cambissolos com média permeabilidade e os Neossolos com permeabilidade média a baixa.

Ficará a cargo de uma posterior análise *in loco*, portanto, a verificação da real permeabilidade das áreas potenciais definidas, bem como a altura do lençol freático, que não foi prevista no escopo da análise deste estudo também por falta de dados secundários de precisão.

Figura 13 - Permeabilidade do solo



5.2.1.4 Declividade

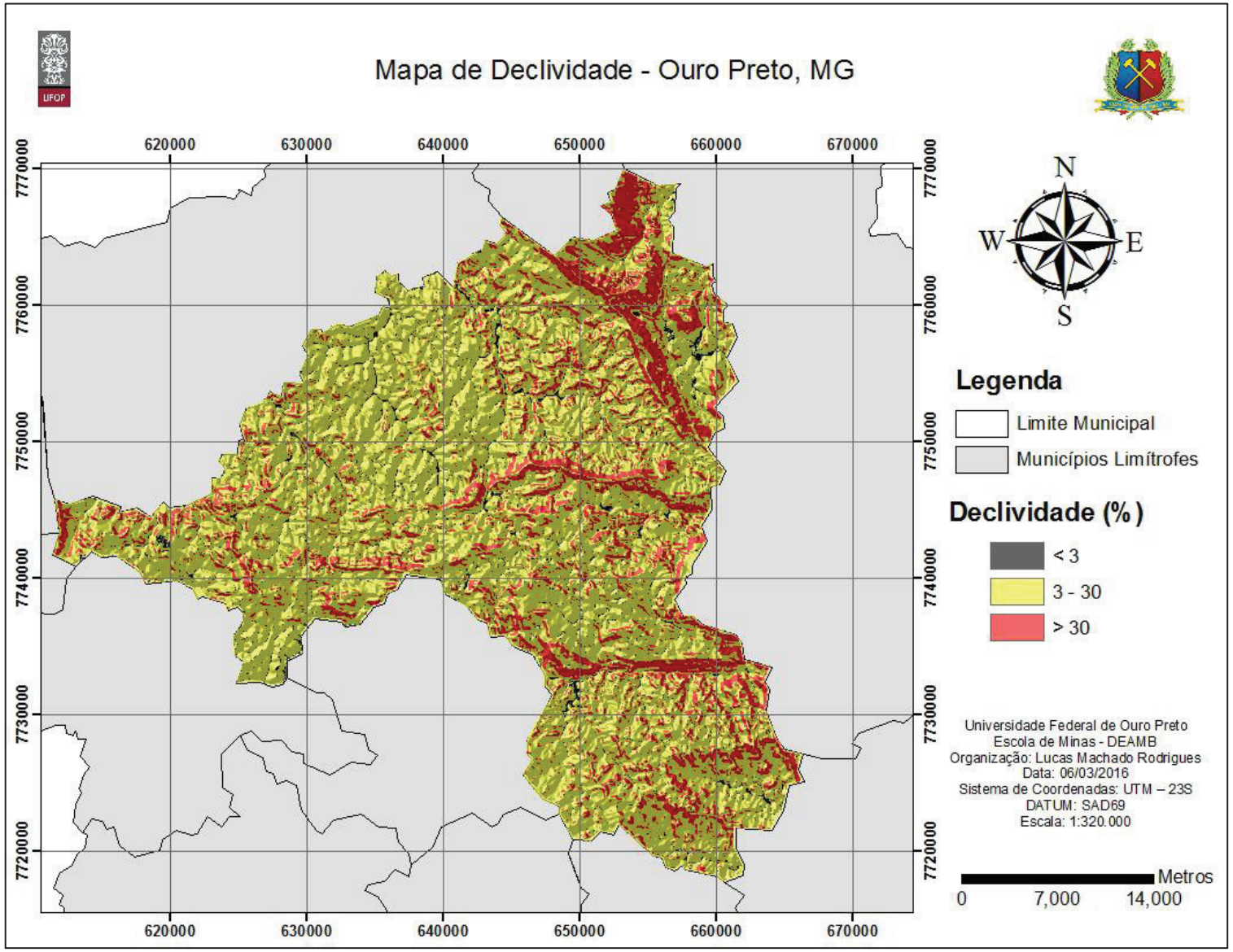
Com base nas curvas de nível cedidas por meio do projeto da "Carta Geotécnica de Aptidão à Urbanização do Município de Ouro Preto" (UFOP, 2013) foi gerado um Modelo Digital de Elevação (MDE) e a partir dele foi derivado o mapa de declividade apresentado na Figura 14, classificado em três faixas diferentes, conforme metodologia presente na Tabela 8.

Para a correta elaboração e manutenção de um aterro, certa declividade é necessária, de modo a garantir os cortes de terra e os recobrimentos diários (IPT, 2000). Portanto, foram atribuídas notas inferiores para as parcelas com declividade inferior a 3%. Em sua maioria, as regiões de baixa declividade coincidem com as planícies de inundação de córregos, e por isso, também sofrerão avaliações inferiores na carta de hidrografia.

Por outro lado, as parcelas com declividade superior a 30% são as que receberam a pior avaliação, uma vez que grandes declives favorecem erosão e incapacitam a correta elaboração de um aterro sanitário (IPT, 2000).

Das classificações observadas, a de declividade inferior a 3% representa aproximadamente 2% da extensão territorial do município – o que vai de encontro à natureza montanhosa da região. As declividades intermediárias, por sua vez, representam 78% e, por fim, as declividades superiores a 30% representam 20% da área territorial do município. A Figura 14 cumpre também um segundo papel ao atribuir notas inferiores às áreas de proteção ambiental nos topos de morro, que coincidem com as regiões de maior declividade.

Figura 14 - Declividade



5.2.2 Critérios Econômico-financeiros

5.2.2.1 Proximidade a principal fonte geradora

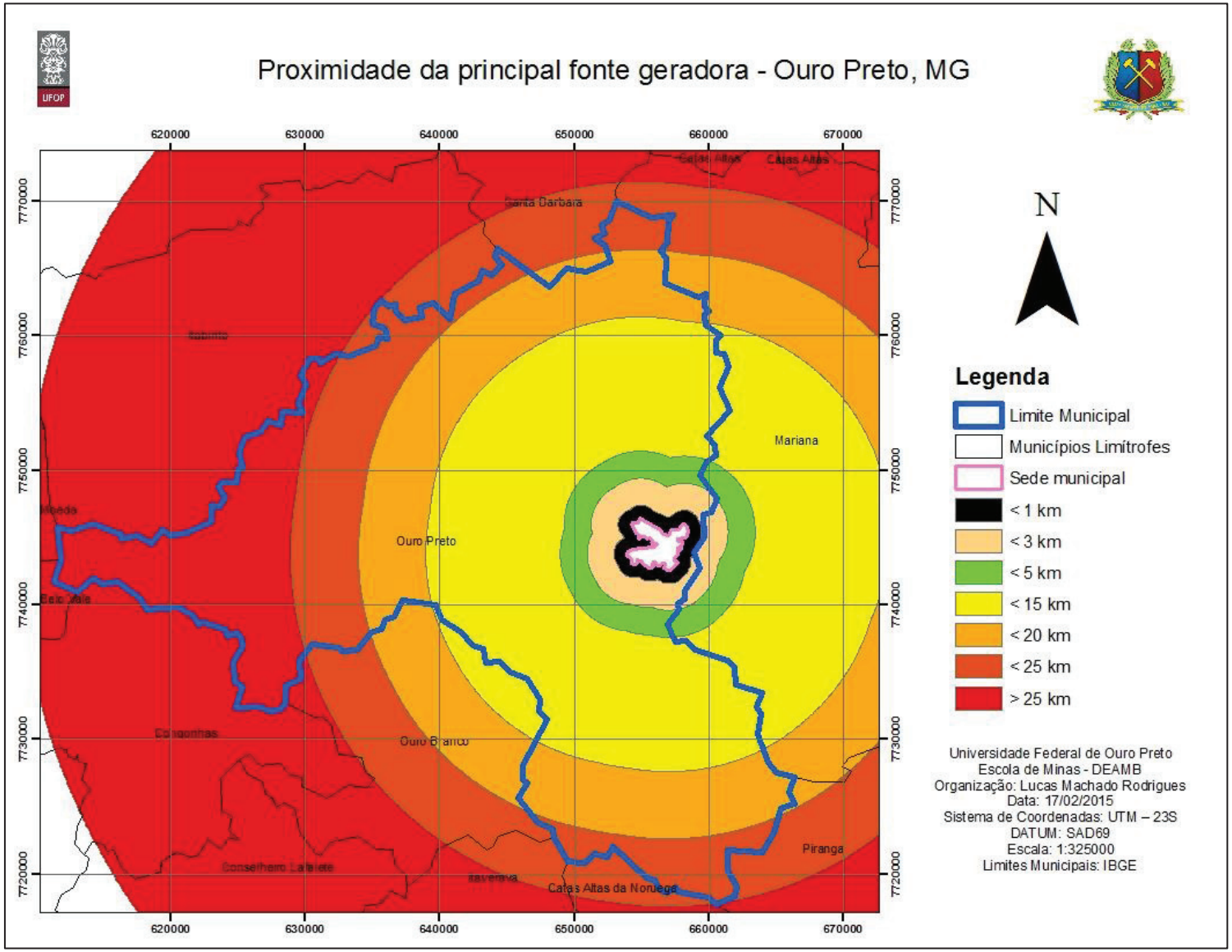
Por meio de técnicas de geoprocessamento foram gerados polígonos para as distâncias a partir da sede do município de modo que para cada faixa de distância seja atribuída uma nota com base na Tabela 8. O produto dessa análise é demonstrado na Figura 15.

Na Tabela 8, pode ser observado que a maior pontuação é dada à faixa de distância entre três e cinco quilômetros. Apesar de a norma permitir aterros mais próximos ao núcleo urbano (ABNT, 1997), a faixa entre um e três quilômetros foi inserida com uma pontuação inferior para não ir contra o critério Político-social presente na metodologia. Esse critério defende uma distância entre o empreendimento e populações urbanas de baixa renda e as populações mais carentes da sede do município estão localizadas justamente em sua periferia (IBGE, 2010).

Na Figura 17 estão retratados os núcleos urbanos para a análise segundo o critério Político-social. A sede do município, entretanto, não foi considerada de modo a impedir que na multiplicação dos critérios a sua presença não seja contabilizada em dobro, uma vez que ela já foi avaliada pela Figura 15 também com relação a esse critério.

Proporcionalmente, a maior parte do município (aproximadamente 40%), está localizada sob a faixa entre cinco e quinze quilômetros de distância da sede, sendo que, a partir de 15km a área não é mais economicamente viável para receber um aterro (IBAM , 2001).

Figura 15 - Proximidade da principal fonte geradora

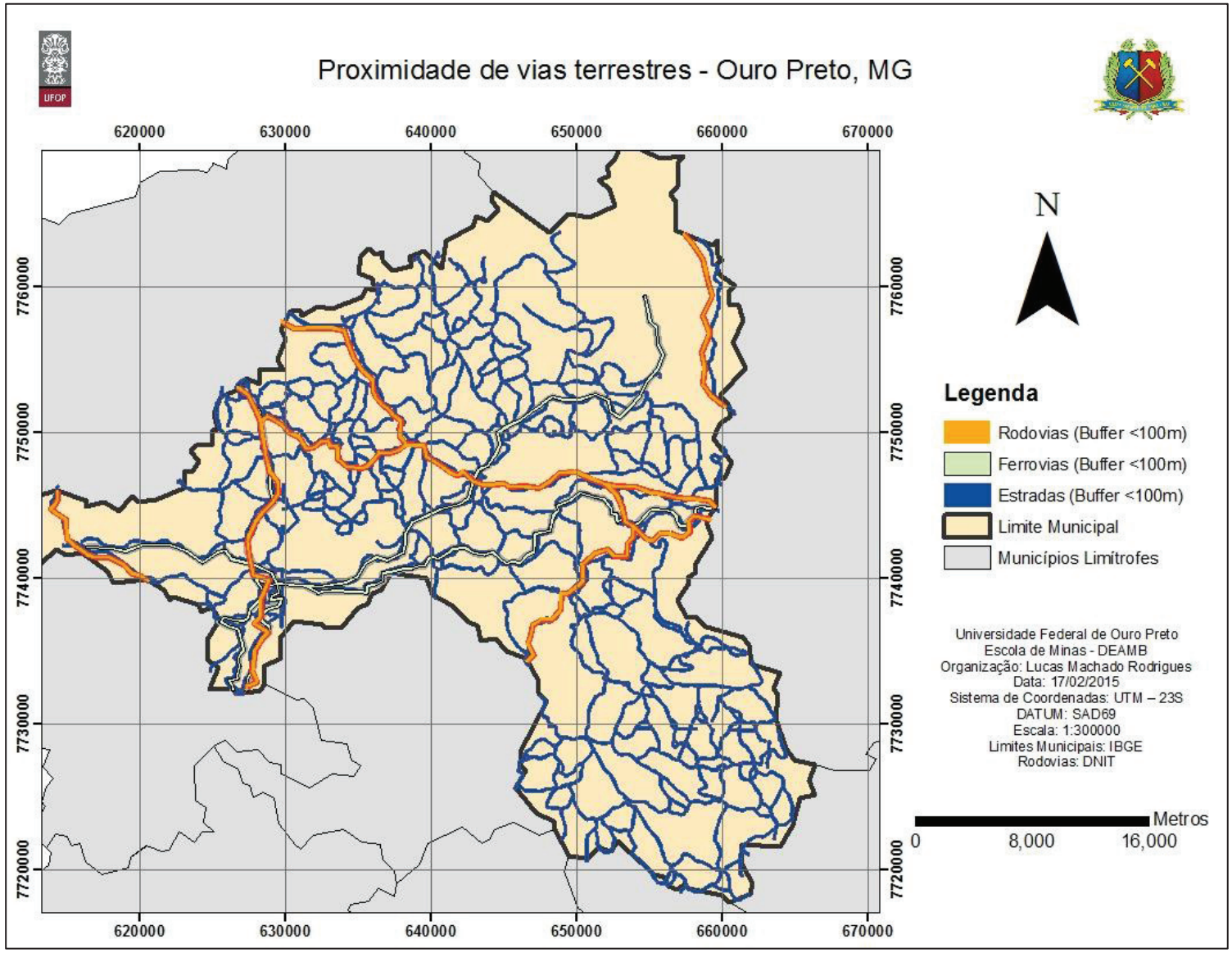


5.2.2.2 Proximidade às principais vias de acesso

Ao considerar isoladamente a facilidade de acesso apenas, é economicamente mais interessante que os aterros estejam próximos de estradas. Entretanto, as boas práticas de elaboração de um aterro exigem uma distância mínima de 100 metros entre qualquer via de acesso e os limites do empreendimento (OLIVEIRA NETO, 2011). Essa distância mínima evita a poluição visual e a propagação de odores. Na eventualidade da área definida ser mais próxima de vias do que a distância mínima, o processo de licenciamento poderá incluir em seus condicionantes uma obra de afastamento da via, o que pode onerar significativamente a implantação do aterro.

Na Figura 16, portanto, foram inseridos *buffers* para cada rodovia, estrada ou malha ferroviária de modo a atribuir baixas pontuações para as áreas que estiverem inseridas dentro desses limites.

Figura 16 - Proximidade a principais vias de acesso



5.2.3 Critério Político-social

5.2.3.1 Proximidade a núcleos populacionais pouco desenvolvidos

A Figura 17 apresenta os núcleos populacionais do município (com exceção da sede) e suas respectivas zonas de influência. De acordo com a metodologia proposta, quanto menos desenvolvido é o núcleo populacional, mais distante ele deve estar da área definida para aterro, de modo a facilitar atividades ilegais de catação de resíduos, frequentes em comunidades com poucas opções de desenvolvimento.

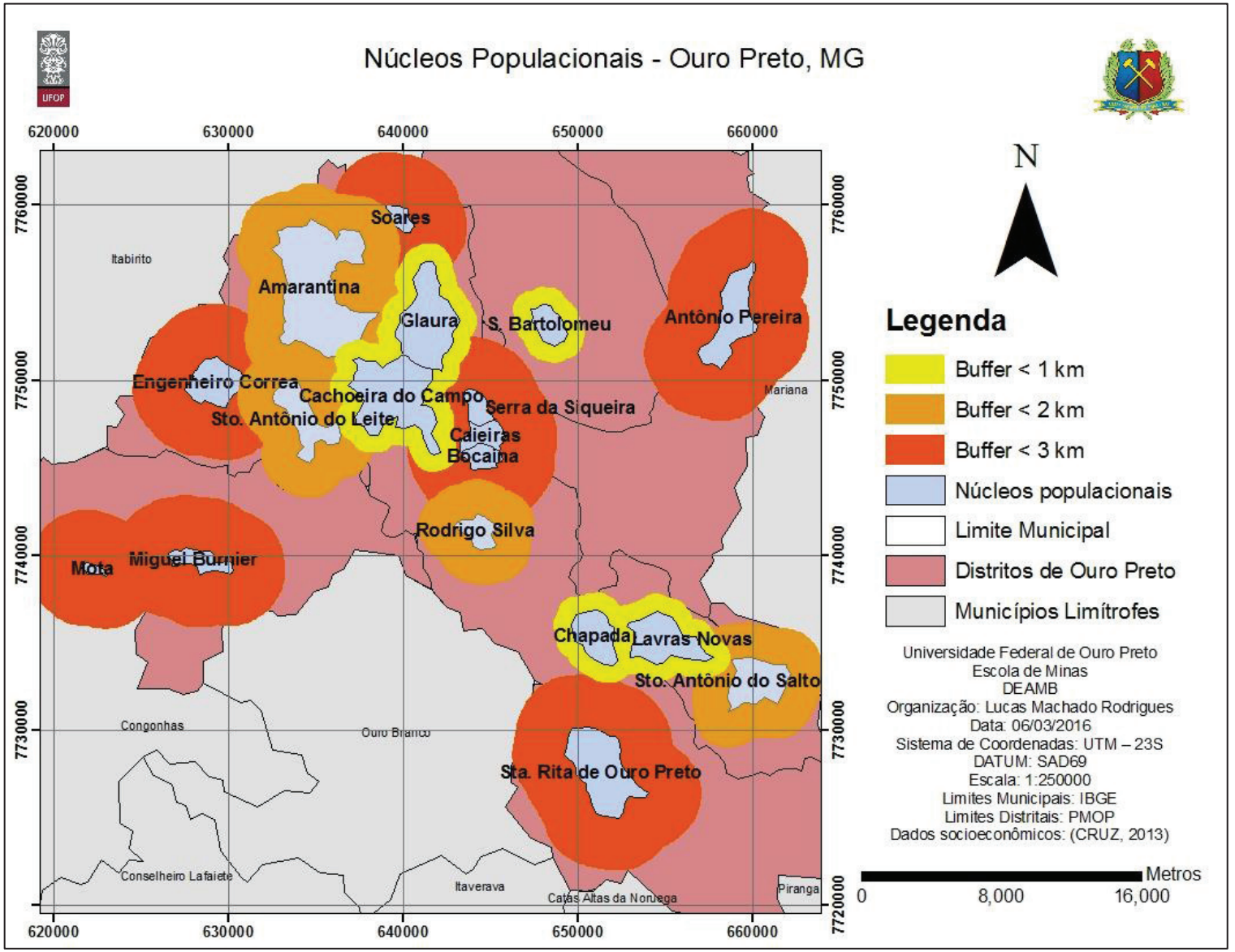
Devido aos poucos dados socioeconômicos disponíveis acerca desses núcleos, o critério de renda foi derivado a partir dos dados do avanço da disponibilidade e desenvolvimento dos serviços de saneamento básico oferecidos em cada região ao longo do período entre 2000 e 2010 (CRUZ, 2013).

Três grupos foram criados de acordo com a combinação dos dados divulgados por (CRUZ, 2013) com relação a acesso a água potável, esgotamento sanitário, atendimento de coleta urbana de resíduos. O primeiro grupo, consiste com distritos que tiveram maiores avanços na última década, o que reflete portanto um maior desenvolvimento, ele é composto pelos distritos de São Bartolomeu, Glaura, Lavras Novas e Cachoeira do Campo, e para eles foi atribuída a menor zona de influência; 1 km.

O segundo grupo é composto pelos distritos Rodrigo Silva, Amarantina, Santo Antônio do Leite e Santo Antônio do Salto, e a ele foi atribuída zona de influência intermediária, de 2 km. Por fim, o grupo com os distritos que apresentaram o menor desenvolvimento entre o período de 200 a 2010 é composto pelos distritos: Antônio Pereira, Miguel Burnier, Santa Rita de Ouro Preto e Engenheiro Correia. Como não foi encontrado nenhum dado sobre os subdistritos de Mota, Caieiras, Serra do Siqueira e Bocaina, eles foram incluídos também no terceiro grupo.

A sede municipal, conforme explicado no item 5.2.2.1, não foi adicionada para que sua área não fosse contabilizada em duplicidade, uma vez que a Figura 15 contempla também a sua área de influência.

Figura 17 - Proximidade a núcleos populacionais



5.3 Discussão e definição das áreas potenciais

Com exceção do mapa de declividade que é uma imagem raster, todos os outros mapas estavam representados inicialmente por vetores que foram criados por meio de práticas de geoprocessamento. Logo, a análise de definição de áreas teve como primeiro passo a transformação dos vetores para raster de modo que todas as imagens puderam ser entrepostas. Em seguida foram atribuídos valores às cores presentes em cada raster conforme explicado na Tabela 8, porém ainda sem a ponderação dos pesos. Por fim, essas imagens foram multiplicadas por meio de uma combinação ponderada de valores, da seguinte maneira:

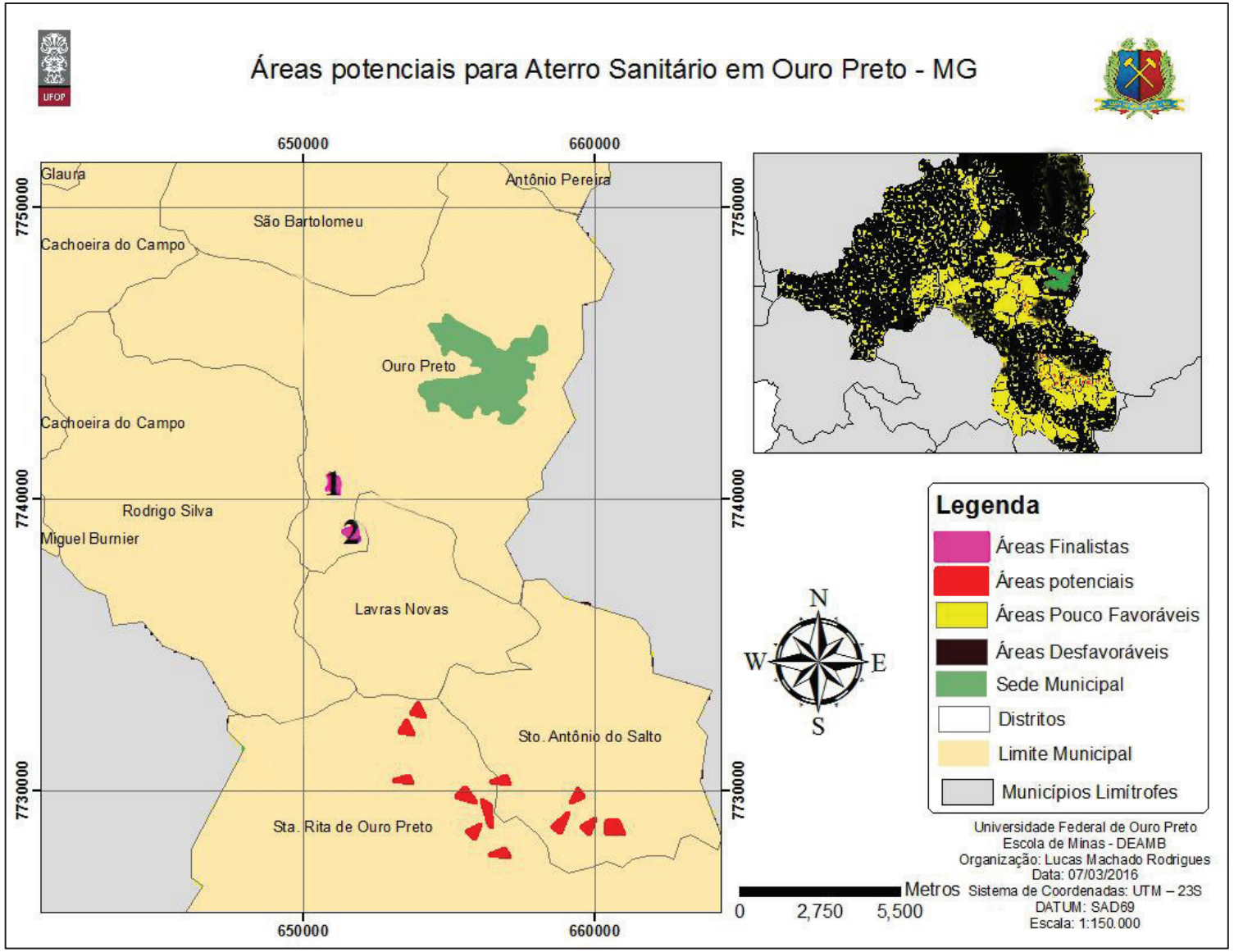
[Figura11 + Figura12 + Figura13 x (1,1)] + [Figura17 x (1,06)] + [Figura 15 + Figura16 x (1,04)]

O produto gráfico dessa operação foi classificado de maneira que as áreas com nota final inferior a 61 (correspondente a 80% da nota máxima = 75,4) foram eliminadas. Logo em seguida os locais remanescentes foram filtrados novamente de maneira a remover as áreas superficiais inferiores a 7 ha. Por fim, as áreas finalistas foram apresentadas na Figura 18. Após posterior refino, duas áreas com melhor pontuação foram definidas como as com maior potencial e foram apresentadas nas Figuras 19 e 20.

As áreas melhores pontuadas localizam-se entre as zonas de amortecimento do parque Itacolomi e da Serra do Itatiaia, na porção sul da sede do município entre os distritos de Lavras Novas e Rodrigo Silva, próximo ao local previamente analisado pela Geo Jr e selecionado como o Aterro Municipal que ainda funciona hoje (GEO JR, 1996).

É perceptível a contribuição que a concentração de núcleos urbanos na porção noroeste do município deu para impedir a seleção de áreas, eliminando por completo qualquer alternativa. A porção nordeste, por sua vez, também foi completamente impedida devido às zonas de amortecimento da Floresta Estadual Uaimii e Parque Nacional do Gandarela. Por fim, restaram-se um pequeno trecho na região central, próxima à sede do município, e outras áreas espalhadas na porção sul, que apesar de terem obtido boa pontuação, estão muito distantes do maior centro gerador.

Figura 18 – Áreas potenciais para Aterro Sanitário em Ouro Preto – MG



5.3.1 Área 1

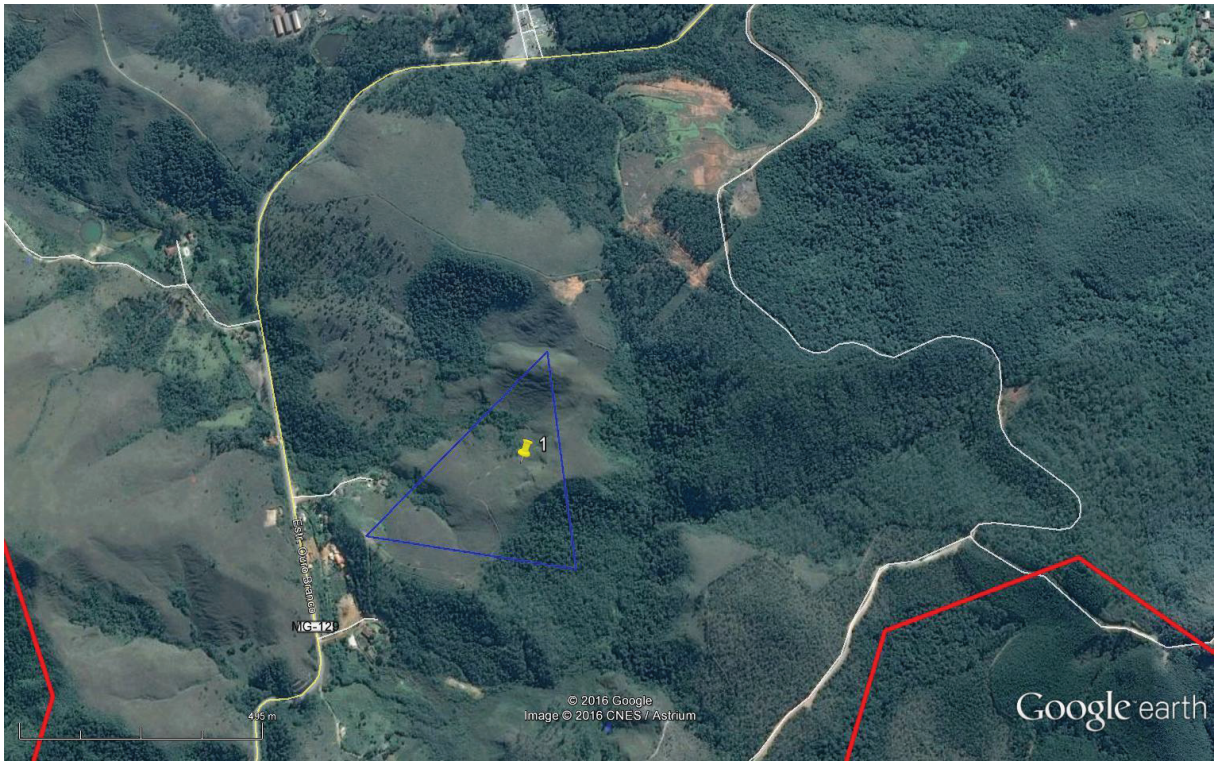


Figura 19 – Área Finalista 1

Localização: 651188 / 7740508 m (UTM); 20,4283°S / 43,5513° W
Área Superficial: 9,5 ha **Distrito:** Sede **Acesso:** MG-129
Distância linear até centro da sede do município: 6,7 km

A área 1 localiza-se à beira da MG-129, próximo da Vale Manganês, antiga Companhia Paulista de Ferro Ligas na porção sul da sede do município, entre os distritos de Rodrigo Silva e Lavras Novas. Possui um recuo adequado com relação à rodovia, e pela fotografia aérea (datada de 2016) pode-se afirmar que o relevo também aparenta ser adequado e a área está descampada. A localização é próxima ao atual aterro municipal, que pode ser visto na porção norte da imagem. Este fato favorece o potencial da área, uma vez que análises *in loco* sobre permeabilidade do solo e demais aspectos geológicos foram realizadas pela Geo Jr na década de 90 (GEO JR, 1996), que confirmaram a favorabilidade da região para receber o empreendimento. Além de ser a área melhor pontuada, é também a mais próxima da sede e permitiria que uma eventual transferência do aterramento de resíduos do município para ela não comprometesse as atuais rotas realizadas pelos caminhões de coleta.

5.3.2 Área 2

Figura 20 – Área finalista 2

Localização: 651697 / 7738910 m (UTM); 20,4427° S / 43,5458° W

Área Superficial: 9,5 ha **Distrito:** Sede **Acesso:** Estrada Municipal

Distância linear até o centro da sede do município: 7,5km

A área 2 localiza-se mais ao sul da área 1, logo na fronteira com o distrito de Lavras Novas. Seu acesso é por meio de estrada municipal sem conexão direta com a MG-129, via arterial mais próxima. Apesar de estar bem pontuada, um fator delicado em relação a essa área é a sua provável visibilidade com relação a quem está indo em direção ao Distrito de Lavras Novas, um importante destino turístico da região. Outro ponto negativo é a distância linear à sede, que supera em quase 1 km a área 1.

Ao comparar as duas imagens, fica evidente que a área 1 apresenta, de modo preliminar, melhores condições para sediar um aterro sanitário.

6 CONCLUSÃO

Ao longo do presente estudo foram comparadas quatro metodologias previamente publicadas na literatura e aplicadas em diferentes localizações geográficas. A primeira mostrou ser mais detalhista, com realização de análises *in loco* e a não utilização de técnicas de geoprocessamento (CANSONI *et al.,* 1995). A segunda baseia-se na lógica *fuzzy* como maneira de não restringir amostragens e evitar falhas, porém novamente não faz uso de práticas de geoprocessamento (LIMA, 1999). A terceira e mais atual, por sua vez, baseia-se em geoprocessamento e SIG más faz uso de critérios restritivos que podem descartar áreas eventualmente aptas caso existam imprecisões nas bases de dados utilizadas (PAMPOLINI, 2015). A última, por fim, utiliza a combinação de lógica *fuzzy* com geoprocessamento e exige a utilização de software e cálculos específicos (CALIJURI *et al.*, 2007 & MELO, 2001).

Diante da complexidade geográfica de Ouro Preto, que possui em seus limites uma extensa hidrografia, relevo acidentado, floresta estadual, parques nacionais, estaduais e municipais entre outras importantes unidades de conservação foi proposta uma combinação de duas metodologias: Agrupar os critérios de (PAMPOLINI, 2015) com o sistema de avaliação e ponderação do Manual de Gerenciamento Integrado de Resíduos (IBAM, 2001) e transformá-los de maneira a não haver fatores restritivos.

O novo método proposto partiu do cálculo da área requerida para o empreendimento de acordo com as instruções do Manual de Gerenciamento Integrado de Resíduos (IBAM, 20110). A área necessária foi estimada em ao menos sete hectares para uma vida útil de 20 anos. Em seguida foram agrupados diferentes fatores em três grupos de critérios: Técnico-ambientais, que atendem às exigências das normas e legislações vigentes; Econômico-financeiros, que garantem a viabilidade da instalação e execução do empreendimento e por fim o critério Político-social que evita problemas com relação a comunidades pouco desenvolvidas da região.

Em seguida uma ponderação foi aplicada para que os critérios Técnico-ambientais e Político-sociais fossem favorecidos em relação aos Econômico-financeiros. Essa nova metodologia adaptada avaliou a extensão territorial do município de maneira rigorosa, porém

sem permitir a eliminação de áreas eventualmente potenciais, por imprecisões nos dados geográficos secundários.

Os resultados iniciais mostraram que a hidrografia e rede de drenagens de Ouro Preto é um grande limitador, que compromete 79% de toda a extensão do município (quando se contabiliza também o *buffer* em seu entorno). As áreas de conservação e respectivas zonas de amortecimento também atribuíram valores reduzidos na avaliação para 60% de todo o território municipal. Depois de avaliar os 1.245 km^2 do município de Ouro Preto, o resultado final apresenta aproximadamente 30 ha de superfície definida de maneira preliminar como apta a ser utilizada para sediar um aterro. Essa parcela representa aproximadamente 0,02% de toda a extensão do município. É evidente que áreas com características ideais para receber esse tipo de empreendimento já são escassas e tendem a diminuir cada vez mais. Logo, é fundamental que a sua gestão seja adequada e que os esforços para reduzir a quantidade de resíduos gerados continuem a crescer.

Duas áreas foram selecionadas como finalistas a partir da pontuação ponderada de critérios e distância até o centro da sede do município. A primeira está localizada a uma distância linear de 6,7 km do centro de Ouro Preto, na porção Sul da sede e próxima ao aterro municipal em operação. O seu acesso é feito pela MG-129 e possui relevo adequado de acordo com as imagens aéreas. A segunda, por sua vez, está a 7,5 km de distância do centro e ainda mais ao sul da sede, logo na fronteira com o distrito de Lavras Novas. O seu acesso é feito por estrada municipal, que não tem ligação direta com a MG-129, via arterial mais próxima. Diante da facilidade de acesso, a área 1 é melhor candidata a receber o aterro sanitário.

Ao serem comparadas com o "Mapa de favorabilidade para aterro sanitário de Ouro Preto" (PAMPOLINI, 2015), tanto as áreas finalistas quanto a maior parte das áreas potenciais definidas por este estudo estão enquadradas na classe "Áreas Restritas", a qual está abaixo das "Moderadas" e das "Favoráveis". Essa comparação mostra o quão divergentes podem ser as análises multicritério, mesmo quando elas se baseiam em dados semelhantes.

O fato desse estudo não ter utilizado critérios restritivos, porém, permitiu uma tolerância maior e evitou que áreas potencialmente aptas pudessem ser consideradas sem o risco de serem excluídas de análises posteriores, devido a eventuais imprecisões nas bases cartográficas. Por outro lado, a falta desses mesmos critérios aumenta o risco de que áreas finalistas possuam alguma característica (ainda não identificada) que inviabilize a sua aptidão.

Apesar dos riscos, ficou claro que quaisquer umas das duas áreas definidas já têm argumento suficiente para justificar o investimento necessário para a realização de visitas a campo e análises *in loco* que permitam uma classificação definitiva.

Finalmente, espera-se que o material aqui produzido embase e fomente a continuidade de pesquisas relacionadas ao futuro aterro de Ouro Preto para que se repita a parceria realizada na década de 90, quando a academia foi capaz de contribuir efetivamente até a instalação do aterro existente.

7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABRELPE - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE EMPRESAS DE LIMPEZA PÚBLICA E RESÍDUOS ESPECIAIS. **Panorama dos Resíduos Sólidos do Brasil,** 2014.

ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 8.419. Apresentação de projetos de aterros sanitários de resíduos sólidos urbanos**. Rio de Janeiro, 1992. 7p.

ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 13.896. Aterro de resíduos não perigosos**: critérios para projeto, implantação e operação. Rio de Janeiro, 1997. 12p.

ALKMIM, F. F., MARSHAK, S. **Transamazonian Orogeny in the Southern São Francisco Craton Region, Minas Gerais, Brazil: evidence for Paleoproterozoic collision and collapse in the Quadrilátero Ferrífero**. Precambrian Research, 90: 29-58. 1998.

ASSIS, F. **Lixão em Ouro Preto – MG.** In: Canal de vídeo – Chiquinho de Assis Novo Mandato. Canal de vídeo eletrônico. Ouro Preto: Licença padrão do Youtube, 2013. Disponível em: <https://www.youtube.com/watch?v=cLII7FkM5WU>. Acesso em 15 de maio de 2015.

AZEVEDO, M. A.; HELLER, L.; SCHALCH, V. **Avaliação do potencial de risco para a saúde da disposição inadequada dos resíduos sólidos.** In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL, 21., 2001. João Pessoa, [**Anais eletrônicos...**] Rio de Janeiro: ABES, 2001. Disponível em: <http://www.cepis.org.pe/ bvsaidis/resisoli/brasil/iii-087.pdf>. Acesso em 15 de maio de 2015.

BAGCHI, A.,. *Design, construction and monitoring of landfills.* 2nd ed. Wiley-Interscience, New York, NY, USA. 359p. 1994;

BARBOSA, A. L. M. **Superfícies de erosão no Quadrilátero Ferrífero, Minas Gerais**. Revista Brasileira de Geociências. **10**(1): 89-101. 1980

BRASIL. Lei n. 12.305, de 2 de agosto de 2010. Institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos; altera a Lei no 9.605, de 12 de fevereiro de 1998; e dá outras providências. **Diário Oficial da União**, Brasília, 03 ago. 2010a. Disponível em: 2<http://www.SIAM.mg.gov.br/sla/download.pdf?idNorma=14290>. Acesso em: 15 ago. 2015.

BRASIL. Lei n. 9.985, de 18 de julho de 2000. Institui o Sistema Nacional de Unidades de Conservação. **Diário Oficial da União,** Brasília, 19 de julho de 2000. Disponível em: <http:// www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/l9985.htm > Acesso em: 05 de março de 2016.

CALIJURI, M. L. Treinamento em Sistemas de Informações Geográficas. Núcleo SiGEO. Universidade Federal de Viçosa, 156p., 2000;

CALIJURI, M. L., LOURES,. S .S. P., SANTIAGO, A. F., SCHAEFFER, C. E. G. R., LUGÃO, W. G., ALVES, J. E. M. **Identificação de áreas alternativas para disposição de resíduos sólidos na região do baixo Ribeira do Iguape – sp.** Engenharia Sanitária e Ambiental. São Paulo Vol.12 - Nº3, p. 335-342, 2007.

CANSONI, A. J., PERES, C. S., CASTRO, A. P., . **Origem e composição do lixo**. In: JARDIM, N. S. (ed.). *Lixo municipal: manual de gerenciamento integrado*. IPT, São Paulo, SP, Brasil. Capítulo IV, p. 22-35;1995a.

CANSONI, A. J., BENVENUTO, C., PARZANESE, G. A. C., SILVA, I. C., ALBUQUERQUE FILHO, J. L., CUNHA, M. A., **Disposição final do lixo**. In: JARDIM, N. S. (ed.). *Lixo municipal : manual de gerenciamento integrado*. IPT, São Paulo, SP, Brasil. Capítulo IV, p. 73-124; 1995b.

CARVALHO, T. R. R. **Estudo locacional de áreas para instalação de aterro sanitário no município de Alegre**. Monografia (Seminário de Graduação em Geologia) – Departamento de Engenharia Rural. Universidade Federal do Espírito Santo. Espírito Santo: 2010.

CASTRO, J. M. G. **Pluviosidade e movimentos de massa nas encostas de Ouro Preto**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil), Universidade Federal de Ouro Preto – UFOP, 114p. 2006.

CHARNPRATHEEP, K. & GANER, B. Z. Q., **Preliminary landfill site screening using fuzzy geographical information systems.** Waste Management & Research. V15. p. 197-215; 1996.

CODEMIG - COMPANHIA DESENVOLVIMENTO ECONOMICO DE MINAS GERAIS. **Programa Mapeamento Geológico – Quadrilátero Ferrífero**. 2015. Dispoonível em: <http://www.codemig.com.br/site/content/parcerias/levantamento_aerogeofisico.asp?id=30&idSubPrj=50&filhoId=62>. Acessado em 30 nov. 2015.

CONAMA – CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE. Resolução n. 428 de 17 de dezembro de 2010. Dispõe, no âmbito do licenciamento ambiental sobre a autorização do órgão responsável pela administração da Unidade de Conservação. **Diário Oficial da União,** Brasília, 20 de dezembro de 2010. Disponível em: < http:// www.mma.gov.br/port/conama/res/res10/res42810.pdf > Acesso em 05 de março de 2016.

COPAM – CONSELHO ESTADUAL DE POLÍTICA AMBIENTAL DE MINAS GERAIS. Deliberação Normativa N. 119 de 27 de junho de 2008. Reitera a convocação aos municípios com população urbana acima de 30.000 habitantes, que não cumpriram os prazos estabelecidos na DN 105/2006, a formalizarem processo de licenciamento ambiental para sistema de tratamento e/ou disposição final de resíduos sólidos urbanos e dá outras providências. **Diário do Executivo - Minas Gerais,** Belo Horizonte, 01 de julho de 2008.

CRUZ, R. I. F.; **Análise da evolução populacional dos distritos de Ouro Preto/MG entre os anos 2000 e 2010.** Belo Horizonte: Monografia (Especialização em Geoprocessamento) – Universidade Federal de Minas Gerais, Instituto de Geociências, 2013.

DORR, II J.V.N. **Physiographic, stratigraphic and structural development of the Quadrilátero Ferrífero**, Minas Gerais, Brazil. U.S.G.S. Professional Paper 641-A:1-110p. 1969.

FREIRE, G. J. M.; **Análise de Municípios Mineiros quanto à Situação de seus Lixões**. Belo Horizonte: (Dissertação de Mestrado em Análise e Modelagem de Sistemas Ambientais). Departamento de Cartografia e Instituto de Geociências da Universidade Federal de Minas Gerais. 104 p, 2009.

FEAM - FUNDAÇÃO ESTADUAL DO MEIO AMBIENTE . **Panorama da destinação dos resíduos sólidos urbanos no Estado de Minas Gerais em 2014**. Belo Horizonte: FEAM, 2015. 52 p.; il.

FEAM - FUNDAÇÃO ESTADUAL DO MEIO AMBIENTE. **Mapa de solos de Minas Gerais:** legenda expandida. Belo Horizonte: Fundação Estadual do Meio Ambiente/UFV/CETEC/UFLA/FEAM, 2010. 49p.

GEO JR - GEOCONSULTORIA JÚNIOR. Departamento de Geologia da Universidade Federal de Ouro Preto. **Escolha do local para o aterro sanitário de Ouro Preto.** Organização: Elton Destro. Ouro Preto, 1996. 9p. Não publicado.

GOMES, R. C.; RIBEIRO, L.F.M.; LOPES, M.C.O. **Concepção, projeto e implantação do aterro sanitário de Ouro Preto – MG.** *In*: XI Congresso Brasileiro de Mecânica dos Solos e Engenharia Geotécnica. Brasília. Anais...ABMS. Vol. III, p.18885-1891. CONSELHO ESTADUAL DE POLÍTICA AMBIENTAL - COPAM. Deliberação. 1998.

IBAM - INSTITUTO BRASILEIRO DE ADMINISTRAÇÃO MUNICIPAL. **Manual de Gerenciamento Integrado de Resíduos Sólidos.** Coordenação técnica: Victor Zular Zveibil. Rio de janeiro: IBAM, 2001

IBGE - INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Censo 2010**. Sinopse do Censo e Resultados Preliminares do Universo. Rio de Janeiro: IBGE, 2010a. Disponível em: <http://www.ibge.gov.br/censo/>. Acesso em: 29 abr. 2015.

IBGE - INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Mapas de limites municipais, rodovias e acessos**. Rio de Janeiro: IBGE, 2010b. Disponível em: <http://downloads.ibge.gov.br/downloads_geociencias.htm>. Acesso em: 29 abr. 2015.

IEF – INSTITUTO ESTADUAL DE FLORESTAS. **Mapa das Unidades de Conservação do Entorno da Floresta Estadual Uaimii, Ouro Preto – MG.** Viçosa: Laboratório de Geoprocessamento – LABEO, 2012. Disponível em: < http://www.ief.mg.gov.br/images/stories/Plano_de.../Uaimii/.../ucs_entorno.pdf > Acesso em 05 de março de 2016.

IEF – INTITUTO ESTADUAL DE FLORESTAS. **Plano de Manejo do Parque Estadual do Itacolomi.** Belo Horizonte: IEF, 2007. Disponível em: <http://biblioteca.meioambiente.mg.gov.br/publicacoes/BD/Encarte%201%20%20Diagn%c3%b3stico%20do%20Parque%20Itacolomi.pdf> . Acesso em: 06 de março de 2016

IPT - INTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS. **Lixo municipal: manual de gerenciamento integrado.** Anexo B - Normas. IPT, São Paulo, SP, Brasil.1995, p. 259-262.

IPT - INTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS. **Lixo municipal: manual de gerenciamento integrado.** 2ª edição. IPT, São Paulo, SP, Brasil.2000, 370p;

KOPPEN, W. *Climatologia.* Fundo de Cultura Econômica, Buenos Aires. 1931.

LEMOS, P. org. *Água e Cultura: Inventário das fontes de água da região de Ouro Preto/Paulo Lemos (org.)*. Ouro Preto: Livraria e Editora Graphar, 2015.

LIMA, G. S., **Seleção de áreas para implantação de aterros sanitários: uma proposta baseada na análise do valor e lógica fuzzy**. Tese (Mestrado em Engenharia Civil - Geotecnia). COPPE/UFRJ, Rio de Janeiro, RJ, Brasil. 153p; 1999.

LEPSCH, .I. F. *Formação e conservação dos solos*. 2. ed. São Paulo: Oficina de Textos, 2010.

MASSUNARI, I. S., BOAVENTURA, M. A., FONTES, U. P., NASCIMENTO, M. C. B., KARMANN, I., HAMANA, J., FARIAS, R. L. **Seleção de áreas para aterro sanitário: implantação de um aterro sanitário em Ilhéus-BA (*continuação*).** Revista Limpeza Pública. Associação Brasileira de Limpeza Pública (ABLP). Edição 55. São Paulo, SP, Brasil. p. 21-23; 2000.

Mc BEAN, E. A.; ROVERS, F. A.; FARQUHAR, G. J. **Solid waste landfill engineering and design.** Prentice Hall Inc., Englewood Cliffs, New Jersey, USA. 521p. 1995.

MELO, André Luis Oliveira de, M.S., Universidade Federal de Viçosa. **Avaliação e Seleção de Área para Implantação de AterroSanitário Utilizando *Lógica Fuzzy* e *Análise Multi-Critério*: Uma Proposta Metodológica. Aplicação ao Município de Cachoeiro de Itapemirim- ES.** Orientadora: Maria Lúcia Calijuri. Conselheiros: Roberto F. de Azevedo e Izabel C. D. D. de Azevedo. 2001.

MINAS GERAIS. Lei n.18.031, de 12 de janeiro de 2009. Dispõe sobre a política Estadual de Resíduos Sólidos. **Diário Oficial do Estado de Minas Gerais,** Belo Horizonte, 27 out. 2010. p.98.

NUGEO – NÚCLEO DE GEOTECNIA APLICADA. **Mapa pedológico de Ouro Preto.** Convênio IGA/Nugeo/UFOP, Belo Horizonte: 2010. Disponível em < http://www.iga.mg.gov.br/IEDE/ >. Acesso em 19 de outubro de 2015.

OLIVEIRA NETO, J. T. **Determinação de áreas favoráveis à implantação de aterro sanitário de resíduos sólidos urbanos para o município de Piumhi-MG**. Monografia (Especialização em Geoprocessamento) – Instituto de Geociências. Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte: 2011.

OURO PRETO. Lei complementar nº 29 de 28 de Dezembro de 2006. **Estabelece o Plano Diretor do Município de Ouro Preto**. Câmara Municipal, Ouro Preto, MG, 19 de janeiro de 2007.

OURO PRETO. Lei complementar nº 93 de 21 de Janeiro de 2011. **Estabelece normas e condições para o parcelamento, a ocupação e o uso do solo urbano no Município de Ouro Preto**. Câmara Municipal, Ouro Preto, MG, 2011.

OURO PRETO. Lei 934 de 23 de dezembro de 2014. **Dispõe sobre a Política Municipal de Saneamento Básico**. Câmara Municipal, Ouro Preto, MG, 2014.

OURO PRETO. DOM - **Diário oficial do Município**. 15 de abril de 2015.

OURO PRETO. DOM – **Diário oficial do Município**. 19 de Junho de 2013

PMSB/OP - Plano Municipal de Saneamento Básico – Relatório Final – Documento Síntese - Prefeitura Municipal de Ouro Preto, DRZ Geotecnologia. 2013. Disponível em: <http://cbhvelhas.org.br/images/subcomites/planosmunicipais/PMSB/Ouro_Preto/8_Relatorio_Final_do_PMSB_OP_Documento_Sintese.pdf>. Acesso em 23 dez. 2015.

PAMPOLINI, D. C. A. **Mapa de favorabilidade para construção de Aterro Sanitário no Município de Ouro Preto – MG.** Monografia (Graduação em Engenharia Geológica) – Escola de Minas. Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto: 2015.

PRADO FILHO, J. F.; SOBREIRA, F. G.; BAHIENSE, R. A. **Análise qualitativa de um aterro sanitário – o caso de Ouro Preto**. Saneamento Ambiental. São Paulo n. 97 p. 34-38, 2003.

QFE 2050 – Quadrilátero Ferrífero – Centro de Estudos Avançados. Disponível em: <http://www.qfe2050.ufop.brpg=estacoes_e_reservas>. Acessado em 15 jan de 2016.

SILVA, N. L. S. **Aterro Sanitário para resíduos sólidos urbanos RSU- Matriz para Seleção da Área de Implantação**. Feira de Santana, 2011. (Trabalho de Conclusão de Curso em Engenharia Civil) – Universidade Estadual de Feira de Santana, 2011.

UFOP - UNIVERSIDADE FEDERAL DE OURO PRETO. Convênio UFOP / Prefeitura Municipal de Ouro Preto. **Relatórios técnicos internos sobre o Aterro Sanitário de Ouro Preto: Caracterização do lixo de Ouro Preto; Escolha do local; Estudos de investigação Geotécnica; Projeto, Execução e Operação.** Ouro Preto, 1995, 1996. Não publicado.

UFOP – UNIVERSIDADE FEDERAL DE OURO PRETO. **Cartas geotécnicas de aptidão à urbanização frente aos desastres naturais no Município de Ouro Preto, MG.** Coordenação: Frederico Garcia Sobreira. Ouro Preto: 2013

VARAJÃO, C. A. C.; SALGADO, A. A. R.; VARAJÃO, A. F. D. C.; BRAUCHER, R.; COLIN, F.; NALINI JUNIOR, H. A. **Estudo da evolução da paisagem do Quadrilátero Ferrífero (Minas Gerais, Brasil) por meio da mensuração das taxas de erosão (^{10}Be) e da pedogênese**. Revista Brasileira de Ciência do Solo, 2009.

ZADEH, L. A. Fuzzy sets. Information and control. V8. p. 338-353; 1965.