

UNIVERSIDADE FEDERAL DE VIÇOSA

FLÁVIA VIEIRA XAVIER

ANÁLISE MULTITEMPORAL DA MANCHA URBANA EM LAGOA SANTA NO
PERÍODO DE 1984 A 2014 A PARTIR DE IMAGENS LANDSAT: UMA AVALIAÇÃO
BASEADA NAS CARACTERÍSTICAS FÍSICAS DA REGIÃO

VIÇOSA, MG

2014

FLÁVIA VIEIRA XAVIER

ANÁLISE MULTITEMPORAL DA MANCHA URBANA EM LAGOA SANTA NO
PERÍODO DE 1984 A 2014 A PARTIR DE IMAGENS LANDSAT: UMA AVALIAÇÃO
BASEADA NAS CARACTERÍSTICAS FÍSICAS DA REGIÃO

Monografia apresentada à Universidade
Federal de Viçosa como requisito parcial para
a obtenção do título de bacharel em Geografia.

Orientador: André Luiz Lopes de Faria

VIÇOSA, MG

2014

AGRADECIMENTOS

Aos meus queridos pais **Jorge** e **Sãozinha** que, com muito amor e dedicação, me deram a base necessária e proporcionaram condições fundamentais para que eu me tornasse a pessoa que sou.

À minha irmã **Fernanda**, também geógrafa, pelos incentivos, conselhos e ensinamentos.

Ao meu irmão **Felipe**, pelo apoio e respeito a qualquer decisão tomada por mim, pela amizade e compreensão.

Ao **Vítor**, exemplo de companheirismo e dedicação, e sem o qual este trabalho não teria sido o mesmo, seja pelos auxílios durante a sua execução ou pelo apoio emocional.

À **Instituição**, pelo maravilhoso ambiente criativo e amigável que proporciona. Ao seu corpo docente, direção e administração que possibilitaram e deram suporte à minha formação.

Ao Dr. **André Faria**, professor e orientador, pela direção dada neste trabalho, confiança depositada e amizade ao longo de toda a trajetória na UFV.

À banca examinadora, representada pelo professor **Edson Fialho** e o doutorando **Pablo Azevedo**.

Aos professores com os quais tive aula e aos orientadores dos estágios pelos quais passei: **Nádia Dutra**, **André Faria**, **Elpídio Filho** e **Carlos Schaefer**, bem como toda a equipe envolvida em cada um, especialmente à **Eliana de Souza**, ao **Samuel Andrade** e aos grupos **Interação** e **PIBID**.

Aos **amigos**, além dos acima citados, que tornaram a trajetória mais doce e menos sinuosa.

Meu sincero agradecimento a todos que fizeram parte dessa vitória.

**Tudo tem seu tempo determinado, e há tempo
para todo o propósito debaixo do céu.**

(Eclesiastes)

RESUMO

A revolução industrial gerou mudanças expressivas no espaço urbano e rural. A utilização dos recursos naturais e a forte capacidade do ser humano de alteração do meio aumentaram vertiginosamente, trazendo para o país um elevado grau de urbanização acompanhado de um crescimento significativo da população. Estudar a cidade e monitorar suas transformações e interações é tarefa fundamental para a atividade de planejamento e para a articulação de políticas públicas regionais e urbanas. Com o objetivo de analisar a expansão da mancha urbana através de imagens Landsat no período entre 1984 e 2014 e, de forma complementar, utilizar as informações das características físicas e de infraestrutura da região, esse estudo pretende identificar as condições locais que influenciam no crescimento urbano para o município de Lagoa Santa (MG). Foram utilizadas informações das fontes de dados como plataforma da NASA - Earth Explorer e ASTER GDEM, do Instituto Brasileiro de Geociências e Estatística – IBGE, e do Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes – DNIT. Os dados espaciais proporcionaram a delimitação da mancha urbana do município de Lagoa Santa em diferentes períodos para a análise da variação temporal, sendo os dados digitais geoprocessados através de ferramentas do software ArcGis 10.2^R com escala fixa de 1:30.000. O período em análise foi definido entre 1984 a 2014 e as imagens de satélite obtidas foram: Landsat 5 TM em 1984, 1989 e 2010, Landsat 7 ETM+ em 2000, e Landsat 8 OLI em 2014. Selecionaram-se as cenas no período seco do ano, com o limite de 15% de cobertura de nuvens para garantir a visualização. Dados relacionados à disponibilidade hídrica, condição topográfica e infraestrutura urbana justificaram o acelerado crescimento da mancha urbana até 2014, que foi de 246,15 % em relação a 1984, apontando uma intensidade crescente e linear da ocupação urbana, e justificando a limitação da expansão em regiões a leste e sul. O crescimento se deu, também, em função da influência das rodovias MG-010, LMG-800, e construção da Linha Verde em direção ao eixo Norte da Região Metropolitana de Belo Horizonte, além da proximidade com o Aeroporto Internacional de Confins, a Cidade Administrativa e o Parque Nacional da Serra do Cipó.

Palavras-chave: Análise multitemporal, expansão urbana, sistemas de informação geográfica.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Estrutura geral do SIG.....	14
Figura 2: Ilustração do funcionamento do sensoriamento remoto.....	15
Figura 3: Vista aérea de Lagoa Santa.....	19
Figura 4: Mapa de localização do município de Lagoa Santa e seu limite territorial.	21
Figura 5: Modelo digital de elevação do município de Lagoa Santa.....	24
Figura 6: Classificação das manchas urbanas no período de 1984 a 2014.	28
Figura 7: Expansão da mancha urbana no período de 1984 a 2014.....	31
Figura 8: Manchas urbanas sobre altimetria do município de Lagoa Santa.	33
Figura 9: Altimetria da ocupação urbana em 1984 e 2014. Fonte: dados da pesquisa.	34
Figura 10: Declividade na mancha urbana em 1984 e 2014 em Lagoa Santa.....	36
Figura 11: Classes de declividade no interior da mancha urbana de 1984 a 2014 em Lagoa Santa. Fonte: dados da pesquisa.	37
Figura 12: Hidrografia mapeada do IBGE na região de Lagoa Santa.	39
Figura 13: Ocupação da mancha urbana sobre a hidrografia em 1984 e 2014.....	40
Figura 14: Localização das principais rodovias em torno do município de Lagoa Santa.	42
Figura 15: Ocupação da mancha urbana nas rodovias MG-010 e MG-800 entre 1984 e 2014.	43

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Evolução da população do município de Lagoa Santa, da RMBH, de MG e do Brasil.....	20
Tabela 2: Valores das classes de densidade de drenagem.....	26
Tabela 3: Área e perímetro da mancha urbana no município Lagoa Santa.....	30
Tabela 4: Coeficiente de compacidade para o período de 1984 a 2014.....	32
Tabela 5: Classificação da declividade de acordo com a Embrapa no município de Lagoa Santa, MG.....	35

SUMÁRIO

1.	INTRODUÇÃO	9
2.	SISTEMAS DE INFORMAÇÃO GEOGRÁFICA.....	12
3.	SENSORIAMENTO REMOTO.....	14
3.1.	Breve Histórico	17
3.2.	Sensoriamento remoto em estudos urbanos.....	17
4.	FATORES HISTÓRICOS, SOCIAIS E DEMOGRÁFICOS DE LAGOA SANTA (MG) 18	
5.	MATERIAIS E MÉTODOS	20
5.1.	Caracterização da área de estudo	20
5.2.	Imagem de superfície do projeto LANDSAT	22
5.3.	Imagem de relevo ASTER GDEM	23
5.4.	Base de dados do DNIT e IBGE	25
5.5.	Coeficiente de compacidade (Kc) e Densidade de drenagem (Dd).....	25
5.6.	Geoprocessamento das imagens e dados digitais em ambiente SIG.....	26
6.	RESULTADOS E DISCUSSÃO	28
6.1.	Expansão da mancha urbana entre 1984 a 2014	28
6.2.	Relevo no município de Lagoa Santa.....	32
6.3.	Recursos hídricos no município de Lagoa Santa	38
6.4.	Infraestrutura de rodovias no município de Lagoa Santa	41
7.	CONCLUSÃO	44
8.	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	45

1. INTRODUÇÃO

A atividade industrial se tornou significativa a partir do século XX e assumiu uma importância crescente na economia nacional, proporcionando condições favoráveis à acumulação monetária e de bens, mão de obra qualificada e desenvolvimento da infraestrutura nas cidades. A revolução que ocorreu gerou mudanças expressivas e a capacidade humana de alteração do meio e de utilização dos recursos naturais aumentou vertiginosamente, trazendo para o país um elevado grau de urbanização acompanhado de um crescimento significativo da população. Somado a isso, o processo de urbanização brasileiro apoiou-se no êxodo rural. A substituição do homem pela máquina e a estrutura fundiária concentradora levaram à migração rural-urbana, e os migrantes passaram, então, a buscar cidades que oferecessem empregos e melhores condições de vida que aquelas em que viviam. Como consequência disso, atualmente 84% da população brasileira vive no meio urbano (IBGE, 2010) e a maior parte se concentra na região Sudeste.

O planejamento e o gerenciamento do espaço urbano são, cada vez mais, um grande desafio para gestores e planejadores, já que suas modificações têm ocorrido de forma mais dinâmica e em um tempo cada vez menor. Estudar a cidade e monitorar suas transformações e interações com o seu entorno é tarefa fundamental para a atividade de planejamento e para articulação de políticas regionais e urbanas.

O espaço regional é marcado por relações sociais, econômicas e culturais em constante e acelerada mutação, e apresenta inúmeros problemas derivados especificamente do seu sítio urbano e da forma que ele é ocupado, ou seja, das ações tomadas por ele (Ab'Saber, 1965). O conhecimento atualizado das áreas ocupadas se torna cada vez mais necessário, seja pela agricultura, vegetação natural, áreas urbanas e edificadas, ou simplesmente pela obtenção de informações sobre as proporções das mudanças, que podem ser úteis para o inventário de recursos naturais, controle de inundações, identificação de áreas com processos erosivos avançados, avaliação de impactos ambientais, formulação de políticas econômicas, dentre outras (ROSA, 2003).

Nesse sentido, observamos que as imagens de satélite são cada vez mais utilizadas em estudos urbanos e regionais, já que possibilitam a atualização dos elementos da paisagem com maior precisão e frequência, além de tornar o processo mais rápido, eficiente e fácil, trazendo resultados mais consistentes que em um levantamento tradicional. Desde o seu surgimento, o

sensoriamento remoto e as ferramentas de cartografia automática têm aberto novos horizontes, com potencialidades que devem ser aproveitadas no estudo do crescimento urbano. As técnicas baseadas em classificação e/ou interpretação de imagens de satélite permitem produzir cartografia multitemporal em grandes escalas.

Uma grande parte dos alvos a serem estudados apresenta variações no tempo, assim sendo, os aspectos temporais são de grande importância na interpretação de imagens. Os imageadores dos satélites permitem analisar essas variações através das mudanças nos padrões de tonalidade e de textura dos alvos (SALES, 2010).

A obtenção de imagens de satélites de datas distintas torna possível estudos evolutivos, como por exemplo, a análise do crescimento urbano das cidades da região e dos processos de conurbação. Podem, ainda, ser associadas às informações socioeconômicas, tornam-se essenciais ao planejamento regional a partir de políticas de desenvolvimento urbano integradas.

De acordo com Florenzano (2002), a expansão da mancha urbana de uma cidade, bem como a direção do crescimento podem ser facilmente detectadas por essas imagens. A análise multitemporal torna possível conhecer o dinamismo do processo de evolução obtendo subsídios para estudos subsequentes.

Dentre as ferramentas utilizadas para o planejamento urbano, o Geoprocessamento tem sido peça indispensável para a análise das transformações decorrentes do processo de ocupação urbana. Apoiado nos Sistemas de Informação Geográfica – SIG permite a geração de informações importantes para o diagnóstico do processo evolutivo e o tipo da ocupação.

No cenário nacional, diversos autores já utilizaram o Geoprocessamento para a análise da expansão urbana em diferentes municípios, o que comprova a eficácia do uso de tecnologias de SIG e sensoriamento remoto para o diagnóstico da evolução da mancha urbana, e que serviram de base para a realização do presente trabalho.

Moura et al. (2013) realizou o processamento digital de Imagens LANDSAT como auxílio à classificação e análise da evolução da mancha urbana de Juiz de Fora-MG entre os anos de 1990 e 2011. Barros (2005) analisou a expansão da mancha urbana de Betim, utilizando imagens do mesmo satélite, mas para os anos 1984, 1994 e 2004. Mascarenhas (2014) fez o monitoramento do crescimento urbano do município de Sete Lagoas-MG, focando no período 1985 a 2014 e utilizando imagens LANDSAT de sete momentos distintos. Lacerda e Souza (2010) analisaram a expansão urbana da Região Metropolitana de Belo

Horizonte (RMBH), através da classificação supervisionada de 1989 e 2007. A RMBH tem registrado uma acentuada expansão urbana, que se caracteriza por um aumento da densidade de malha urbana, não só na capital da região mas, sobretudo, junto à cidades que se localizam no seu entorno (Souza, 2006) como o município de Lagoa Santa.

Segundo o Plano Metropolitano da RMBH, a região foi instituída em 1973 pela Lei Complementar nº 14, que criou também as regiões metropolitanas de São Paulo, Porto Alegre, Recife, Salvador, Curitiba, Belém e Fortaleza. Originalmente, era composta por 14 municípios: Belo Horizonte, Betim, Caeté, Contagem, Ibirité, Lagoa Santa, Nova Lima, Pedro Leopoldo, Raposos, Ribeirão das Neves, Rio Acima, Sabará, Santa Luzia e Vespasiano. Em 1989 a Constituição Estadual de Minas Gerais incorporou à RMBH os municípios de Brumadinho, Esmeraldas, Igarapé e Mateus Leme, além de introduzir a figura do Colar Metropolitano. Em 1993, a inclusão dos municípios acima citados e de Juatuba e São José da Lapa – distritos recém-emancipados – foi oficializada por lei complementar. Em 1997, seis outras municipalidades foram incorporadas: Florestal, Rio Manso e os ex-distritos recém-emancipados de Confins, Mário Campos, São Joaquim de Bicas e Sarzedo. Em 2000, entraram para a RMBH os municípios de Baldim, Capim Branco, Jaboticatubas, Taquaraçu de Minas, Itaguara, Matozinhos, Nova União. Finalmente, em 2002, Itatiaiuçu também foi agregada à RMBH. Atualmente, ela é composta por 34 municípios.

Existe uma tendência territorial dos vetores de expansão metropolitana na RMBH. O município de Lagoa Santa faz parte do Vetor Norte que compreende: Baldim, Belo Horizonte, Capim Branco, Confins, Jaboticatubas, Matozinhos, Pedro Leopoldo, Ribeirão das Neves, Santa Luzia, São José da Lapa e Vespasiano. É um vetor que, de acordo com o Plano Metropolitano (2014) da região, encontra-se em processo de transformação, incorporando um conjunto de novas atividades, enquanto outras permanecem.

Destaque para a expansão de loteamentos fechados, de ocupações em locais irregulares e risco de expulsão de famílias de baixa renda em virtude da valorização imobiliária. É nesse vetor que se encontra a Linha Verde e estão em implantação ou ainda sendo discutidos, vários projetos como: Aerotrópole/Aeroporto Indústria, Cidade Médica, Fashion City, Cidade Cultura, entre outros (PLANO METROPOLITANO, 2014).

Lagoa Santa tem sua economia ligada aos setores de serviço, comércio, turismo e indústria, principalmente cimenteira e metalúrgica. O estudo de informações como as que serão fornecidas nessa análise, bem como uma projeção de como estará sua área nos próximos

anos, pode ser informação relevante para fins econômicos, industriais, políticos e, principalmente, para a gestão e planejamento desse município. Para tanto, o presente estudo tem como objetivo avaliar a utilização de imagens LANDSAT e técnicas de Geoprocessamento e Sensoriamento Remoto na análise da evolução da mancha urbana do município de Lagoa Santa, localizado em Minas Gerais, no período de 1984 a 2014, simulando a projeção do sentido de crescimento dessa mancha e observando os possíveis fatores determinantes para essa ocorrência.

2. SISTEMAS DE INFORMAÇÃO GEOGRÁFICA

O SIG é aplicado para sistemas que realizam o tratamento computacional de dados geográficos e recuperam informações através de sua localização espacial, oferecendo ao homem uma visão inédita, com todas essas informações disponíveis sobre um determinado assunto, interrelacionadas com a localização geográfica. Para que seja utilizado, os dados devem estar georreferenciados, ou seja, localizados na superfície terrestre e representados numa projeção cartográfica.

Para cada objeto geográfico, o SIG necessita armazenar seus atributos e as várias representações gráficas associadas. Devido a sua ampla gama de aplicações, que inclui temas como agricultura, floresta, cartografia, cadastro urbano e redes de concessionárias (água, energia e telefonia), há pelo menos três grandes maneiras de utilizar um SIG: como ferramenta para produção de mapas; como suporte para análise espacial de fenômenos; como um banco de dados geográficos, com funções de armazenamento e recuperação de informação espacial (CÂMARA e QUEIROZ, 1998).

Baseados nas diferentes possibilidades de uso do SIG, de acordo com cada época, diferentes autores apresentaram suas definições, em distintos momentos:

“Conjunto manual ou computacional de procedimentos utilizados para armazenar e manipular dados georreferenciados” (ARONOFF, 1989);

“Conjunto poderoso de ferramentas para coletar, armazenar, recuperar, transformar e visualizar dados sobre o mundo real” (BURROUGH, 1986);

“Sistema de suporte à decisão que integra dados referenciados espacialmente num ambiente de respostas a problemas” (COWEN, 1988);

Já numa definição mais completa, Câmara e Ortiz (1998) definem um SIG como:

“Conjunto de ferramentas especializadas em adquirir, armazenar, recuperar, transformar e emitir informações espaciais (...) que descrevem objetos do mundo real em termos de posicionamento, com relação a um sistema de coordenadas, seus atributos não aparentes (como a cor, pH, custo, incidência de pragas, etc) e das relações topológicas existentes” (CÂMARA e ORTIZ, 1998)

Cada definição de SIG reflete a multiplicidade do seu uso e aponta para uma perspectiva interdisciplinar desta tecnologia. As suas principais características, de acordo com Câmara e Queiroz (1998) são:

- ✓ Inserir e integrar, numa única base de dados, informações espaciais provenientes de dados cartográficos, dados censitários e cadastro urbano e rural, imagens de satélite, redes e modelos numéricos de terreno;
- ✓ Oferecer mecanismos para combinar as várias informações, através de algoritmos de manipulação e análise, bem como para consultar, recuperar, visualizar e plotar o conteúdo da base de dados georreferenciados (CÂMARA e QUEIROZ, 1998).

Os autores ainda identificam a estrutura geral do SIG, cujos componentes principais são mostrados abaixo e sua ordenação pode ser vista na **Figura 1**.

- ✓ Interface com usuário;
- ✓ Entrada e integração de dados;
- ✓ Funções de consulta e análise espacial;
- ✓ Visualização e plotagem;
- ✓ Armazenamento e recuperação de dados (organizados sob a forma de um banco de dados geográficos).

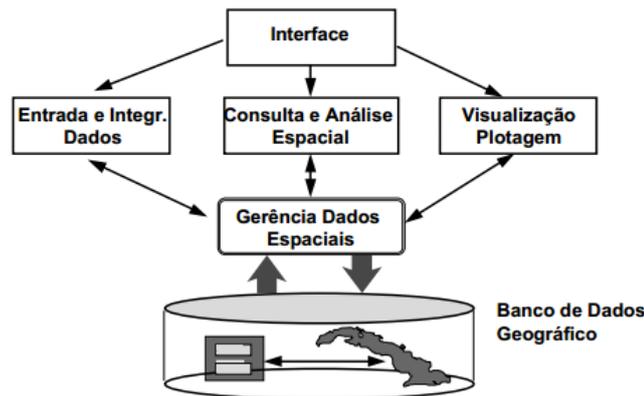


Figura 1: Estrutura geral do SIG (CÂMARA e QUEIROZ, 1998).

A relação entre os componentes é hierárquica, e a interface homem-máquina que define como o sistema é operado e controlado. Apesar de cada sistema implementar os componentes de forma distinta, dependendo dos seus objetivos e necessidades, todos os subsistemas devem estar presentes para o funcionamento do SIG.

3. SENSORIAMENTO REMOTO

A revolução nos meios de se observar a Terra fez acelerar o desenvolvimento do sensoriamento remoto em poucas décadas e facilitou a monitoração dos fenômenos dinâmicos e das mudanças das feições terrestres. Abriam-se novas possibilidades na aplicação de dados gerados, criando alternativas à aplicação de outras técnicas: geoprocessamento e geotecnologias.

As técnicas de sensoriamento remoto se fundamentam em um processo de interação entre a Radiação Eletromagnética e os diferentes objetos que se pretendem estudar (Ponzoni, 2002). Para a aplicação dessas técnicas é necessária a interação principalmente entre o fenômeno de reflexão da radiação, a coleta de dados e seu registro através de um sensor e a análise desses dados, com o objetivo de extrair as informações pretendidas do dado objeto.

O desenvolvimento inicial do sensoriamento remoto é cientificamente ligado ao desenvolvimento da fotografia e à pesquisa espacial. As fotografias aéreas foram o primeiro produto de sensoriamento remoto a ser utilizado, tanto é assim, que a fotogrametria e a fotointerpretação são termos muito anteriores ao termo sensoriamento remoto propriamente

dito, que foi cunhado no início dos anos 60 por Evelyn Pruitt e colaboradores (INPE, 2001). É, hoje, considerado uma das mais bem sucedidas tecnologias de coleta automática de dados.

Atualmente, a resolução espectral das imagens obtidas pelos sensores imageadores já ultrapassa centenas de bandas, e a resolução espacial de muitas imagens já é maior que 1 metro, possibilitando suas aplicações nas áreas de levantamentos de recursos naturais e mapeamentos temáticos, monitoração ambiental, detecção de desastres naturais, desmatamentos florestais, previsões de safras, cadastramentos multifinalitários, cartografia de precisão, defesa e vigilância, entre outras (MENESES e ALMEIDA, 2012).

Como foi observado por Meneses e Almeida (2012), a informação derivada de sensores remotos é ferramenta fundamental para o monitoramento de fenômenos dinâmicos e de mudanças produzidas na paisagem, pois facilitam o trabalho dos planejadores e permitem uma melhor gestão dos recursos. Seu funcionamento pode ser visto na **Figura 2**.



Figura 2: Ilustração do funcionamento do sensoriamento remoto. Fonte: Florenzano (2002).

Da mesma forma como nós captamos as cores dos objetos através dos nossos olhos, os sensores a bordo dos satélites captam a energia eletromagnética que é refletida ou emitida pelos objetos da superfície terrestre.

O termo sensoriamento remoto foi criado para designar a nova tecnologia de instrumentos capaz de obter imagens da superfície terrestre a distâncias remotas, como o próprio nome já diz. Existem diversas definições, algumas são mais apropriadas que outras quando se olha do ponto de vista do usuário de imagens de satélite. Considerando que o

sensoriamento remoto tem sua origem ligada à época de Galileu, em princípio pôde-se definir sensoriamento remoto como: *“Tecnologia que permite a aquisição de informações sobre objetos, sem contato físico com eles”*.

Posteriormente à significação acima, outros autores estudaram o tema e chegaram a outras definições para sensoriamento remoto:

“Tecnologia que permite obter imagens e outros tipos de dados da superfície terrestre, através da captação e do registro da energia refletida ou emitida pela superfície.” (FLORENZANO, 2002).

“Forma de se obter informações de um objeto ou alvo, sem que haja contato físico com o mesmo.” ROSA (2003).

“Processo de captação de informações dos fenômenos e feições terrestres, por meio de sensores, sem contato direto com os mesmos, associado a metodologias e técnicas de armazenamento, tratamento e análise destas informações.” FIGUEIREDO (2005).

“Técnica de obtenção de imagens dos objetos da superfície terrestre sem que haja um contato físico de qualquer espécie entre o sensor e o objeto.” (MENESES e ALMEIDA, 2012).

Algumas definições como, por exemplo, a de Rosa (2003) e Meneses e Almeida (2012), pecam pela amplitude, abrangendo um vasto campo de tecnologias. Também deve ser lembrado que seguindo as definições propostas, o olho humano também pode ser considerado um sensor remoto.

Nesse sentido, o termo sensoriamento remoto deve estar desvinculado com o ser humano, ou seja, ele não pode ser parte do processo de detecção e registro dos dados. Ainda, é preciso especificar qual o tipo de energia utilizada na transferência de informação do objeto para o sensor. Do contrário, diversos tipos seriam também considerados.

Mais que uma definição, no texto a seguir Novo (1998) engloba todo o conceito que deve ser entendido sobre o que é sensoriamento remoto, quando do ponto de vista do usuário de imagens de satélite:

“Sensoriamento remoto consiste na utilização conjunta de modernos instrumentos (sensores), equipamentos para processamento e transmissão de dados e plataformas (aéreas ou espaciais) para carregar tais instrumentos e equipamentos, com o objetivo de estudar o ambiente terrestre através do registro e da análise das interações entre a radiação eletromagnética e as substâncias componentes do planeta Terra, em suas mais diversas manifestações” (NOVO, 1998).

3.1. Breve Histórico

De acordo com o Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, INPE, a primeira fotografia de que se tem notícia foi obtida por Daguerre e Niepce em 1839 e, já em 1840, o seu uso estava sendo recomendado para levantamentos topográficos. O avião, juntamente com o desenvolvimento das câmeras fotográficas, filmes e outros, permitiu a obtenção de dados de coberturas de áreas relativamente amplas. Simultaneamente, iniciaram os estudos para a produção de filmes sensíveis à radiação vermelha e, na Segunda Guerra Mundial, se intensificaram os estudos com a finalidade de utilizar filmes infravermelhos para a detecção de camuflagem.

No Brasil, datam de 1958 as primeiras fotografias aéreas obtidas com o propósito de levantar as características da Bacia Terciária do Vale do Rio Paraíba. Hoje o Brasil também se encontra entre países detentores de tecnologia para a aquisição de dados orbitais de sensoriamento.

Em 1999, após 10 anos de desenvolvimento, o Brasil e a China lançaram com êxito relativo o satélite CBERS (China-Brazil Earth Resources Satellite). Esse satélite foi lançado com três sensores a bordo: uma câmara de amplo campo de visada (Wide Field Imager – WFI), uma câmara CCD (Coupled- Charged Device) e um sistema de varredura infra-vermelho (IRMSS- Infrared Multispectral System) (INPE, 2001).

Atualmente existe o projeto de mais duas missões de sensoriamento remoto de recursos terrestres em que o Brasil está envolvido: a missão SSR (Satélite de Sensoriamento Remoto) e a missão SABIA3 (Satélite Argentino-Brasileiro de Informações sobre Água, Alimento e Ambiente).

3.2. Sensoriamento remoto em estudos urbanos

As atividades de processamento digital de imagens de satélite para fins de estudos urbanos tiveram início ainda na década de 70, mas, devido a baixa resolução espacial na época, os estudos limitavam-se à classificação de áreas urbanas e não urbanas, monitoramento do crescimento urbano através de imagens multitemporais, análise de impacto ambiental da

ocupação urbana e inferências populacionais a partir de análises de regressão simples entre área ocupada e densidade populacional média (ALMEIDA et al., 2006).

Na década de 80, com o avanço tecnológico e estudos mais sofisticados, surgem sensores orbitais com resolução mais refinada, passando a explorar o espaço intra-urbano tanto físico quanto social-demográfico. Posteriormente, foram construídos sensores de alta e altíssima resolução, sendo utilizados não só na pesquisa militar, mas também civil. Os estudos passam a detalhar alvos urbanos como asfalto, cobertura metálica, de concreto, etc., e discriminar diferentes tipos de vegetação. As técnicas de processamento digital passaram a focar no contexto do conjunto de pixels, deixando de analisá-los de forma isolada. O nível do detalhamento do cenário urbano a que se chegou representa uma revolução nas aplicações do sensoriamento remoto, que auxiliam na compreensão dos padrões de crescimento urbano e definição de políticas públicas voltadas ao planejamento.

4. FATORES HISTÓRICOS, SOCIAIS E DEMOGRÁFICOS DE LAGOA SANTA (MG)

De acordo com a Prefeitura de Lagoa Santa e a Associação dos Municípios da Região Metropolitana de Belo Horizonte, a primeira ocupação da região aconteceu por volta de 12.000 anos. Eram caçadores coletores que viviam em acampamentos sazonais e alimentavam-se das frutas do cerrado, que eram mais abundantes que a caça. Em 1733, Felipe Rodrigues, tropeiro viajante que, logo que provou a valor curativo da água da lagoa quando obteve cicatrização de suas feridas na perna, batizou-a de Poço Santo. Posteriormente, foi chamada de Alagoa Grande das Congonhas de Sabarabussu, Alagoa Grande e finalmente Lagoa Santa, cujo município foi criado em 1938. A notícia da cura milagrosa logo se espalhou e peregrinos, em busca da cura para seus males, foram atraídos para a região.

Lagoa Santa possui um grande acervo arqueológico e paleontológico, cujas descobertas foram iniciadas pelo naturalista e botânico dinamarquês Peter Wilhelm Lund, por volta de 1835. Entre 1835 e 1843, ele e seu assistente e ilustrador, Peter Andreas Brandt, visitaram mais de 800 cavernas, dentre as quais a mais importante foi a localizada na base do maciço da Lagoa do Sumidouro, que guardava ossos humanos e de animais extintos, convencendo-se da antiguidade temporal do homem americano. Nos anos 70, foi descoberto o esqueleto humano mais antigo das Américas em Lagoa Santa. Bem conservada em relação

aos seus 11 milhões de anos, Luzia foi encontrada por uma missão franco-brasileira numa das quatro grutas do sítio arqueológico Lapa Vermelha e foi utilizada por Darwin no estudo da Teoria da Evolução das Espécies (Prefeitura de Lagoa Santa).



Figura 3: Vista aérea de Lagoa Santa. Fonte: Andrade (2009).

Lagoa Santa está integrada à Região Metropolitana de Belo Horizonte, com 280 quilômetros quadrados de área, e é sede do Aeroporto Internacional Tancredo Neves, do Parque do Material Aeronáutico, além de uma reserva ecológica. Sua economia está voltada para a indústria e a cidade se tornou acervo turístico-cultural, graças às lagoas existentes na região e à Gruta da Lapinha, principais atrações turísticas do município.

De acordo com o último censo, a população em 2010 era de 52.520 mil habitantes, sendo 51 % mulheres e 49 % homens (IBGE, 2010). A população estimada hoje é de 58.702 mil (IBGE, 2014).

Tabela 1: Evolução da população do município de Lagoa Santa, da RMBH, de MG e do Brasil.

Ano	Lagoa Santa	RMBH	Minas Gerais	Brasil
1991	29.824	3.522.907	15.743.152	146.825.475
1996	34.639	-	16.567.989	156.032.944
2000	37.872	4.357.942	17.891.494	169.799.170
2007	44.922	5.068.368	19.273.506	183.987.291
2010	52.520	5.413.627	19.597.330	190.755.799
Crescimento (%)				
(1991-2010)	76	53	24	30
(2007-2010)	17	7	1	4

Fonte: dados da pesquisa e IBGE (2014).

Comparativamente, Lagoa Santa alcançou grandes índices de crescimento populacional ao longo dos anos. De 1991 a 2010 houve aumento de 76 %, enquanto na RMBH esse valor foi de 53 %. Comparando com o Brasil esse valor foi ainda mais significativo, com um crescimento populacional quatro vezes maior que o do país.

De acordo com censo 2010, seu Índice de Desenvolvimento Humano, IDH, é de 0,77 e o município conta com 18 estabelecimentos de saúde no total. Existem 27 escolas de ensino a nível fundamental e 7 a nível médio, e a população não alfabetizada, conforme consta no portal do Ministério da Educação, chega a 1.852 habitantes, 6,8 % do total populacional, que corresponde a um baixo valor se comparado com outros municípios de Minas Gerais.

5. MATERIAIS E MÉTODOS

5.1. Caracterização da área de estudo

O município de Lagoa Santa está localizado na região central do estado de Minas Gerais, entre os paralelos - 19,53 e - 19,73 Sul e os meridianos - 43,78 e - 43,97 Oeste (**Figura 4**), possui extensão territorial de 233 km² e uma população igual a 52.520 habitantes (IBGE, 2010). O município está localizado a uma distância de 35 km da capital mineira Belo

Horizonte, o que o torna privilegiado em disponibilidade de recursos e atividades em função da sua proximidade com a metrópole, e favorece o fortalecimento dos setores econômicos. As demais capitais de estados do Sudeste estão mais afastadas, como Brasília a 776 km, Rio de Janeiro a 553 km e São Paulo a 641 km. A caracterização geológica do município é a presença de áreas calcárias situadas na Bacia Média do Rio das Velhas. A região é formada por planaltos com relevos pouco acentuados, clima tropical e temperatura média anual de 22° (Prefeitura Municipal de Lagoa Santa, 2014).

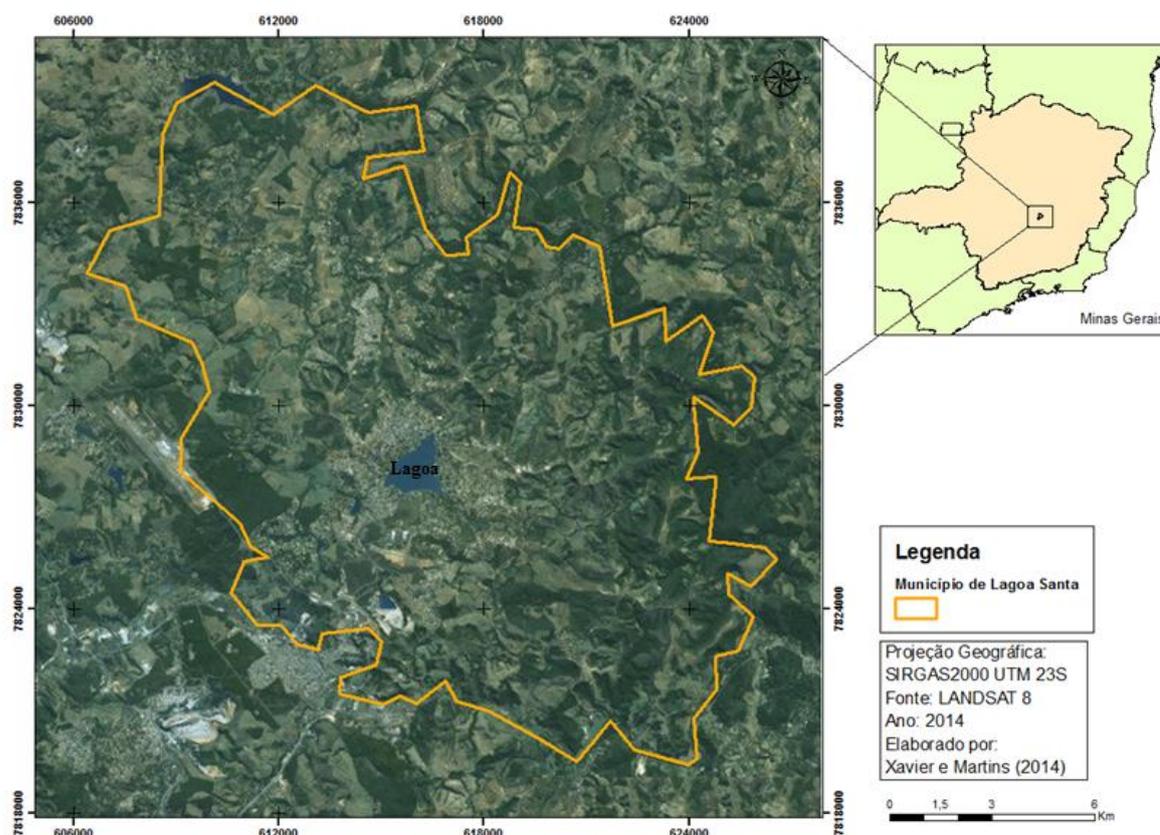


Figura 4: Mapa de localização do município de Lagoa Santa e seu limite territorial.

O município de Lagoa Santa comporta um acervo arqueológico repleto de achados fósseis, que contribuíram para importantes estudos sobre características biológicas e socioculturais das populações antigas. Pesquisas estas, lideradas pelo dinamarquês Peter Lund, reconhecido como pai da arqueologia, espeleologia e paleontologia brasileira. Foi Lund, em 1835, o descobridor da Gruta da Lapinha, que é hoje um dos principais pontos turísticos da cidade (Prefeitura Municipal de Lagoa Santa, 2014). Além das atrativas grutas

calcárias abertas para visitação turística, a cidade está próxima ao Parque Nacional da Serra do Cipó, uma região conhecida pelas suas cachoeiras e quedas d'água.

Para auxiliar no estudo da expansão urbana do município de Lagoa Santa serão utilizadas de recursos computacionais, fontes de dados espaciais como imagens de satélites, limites de municípios, mapeamento da hidrografia e outros, e principalmente técnicas de sensoriamento remoto.

Com o objetivo de analisar a expansão da mancha urbana através de imagens de satélite em diferentes períodos e, de forma complementar, utilizar as informações das características geográficas e de infraestrutura de transportes da região, serão identificados as condições locais que influenciam no crescimento urbano para o município de Lagoa Santa. Para o estudo foram utilizadas informações das fontes de dados, como plataforma da NASA - Earth Explorer e ASTER GDEM, do Instituto Brasileiro de Geociências e Estatística – IBGE e Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes – DNIT. Os dados espaciais processados proporcionaram a delimitação da mancha urbana do município de Lagoa Santa em diferentes períodos para a análise da variação temporal, sendo os dados digitais geoprocessados através de ferramentas do software ArcGis 10.2.

5.2. Imagem de superfície do projeto LANDSAT

O Programa Landsat realiza a observação da superfície da Terra desde 1972 e disponibiliza imagens de superfície com enfoque para recursos naturais terrestres e planejamento da paisagem. O programa acompanhou os avanços tecnológicos e permitiu diversos lançamentos de satélite em busca do aprimoramento e qualidade dos produtos gerados pelo programa. Assim houve o lançamento e a operação de 8 satélites do programa Landsat visando se tornar uma excelente fonte de dados em análises temporais e disponíveis gratuitamente.

A decisão de escolher as imagens Landsat para delimitação da mancha urbana foi em virtude da disponibilidade gratuita de imagens da década de 80 até 2014 e, assim, acompanhar a variação temporal da expansão urbana. As imagens utilizadas possuem características diferentes de acordo com o sensor a bordo do satélite lançado, com isso, definiu-se a utilização de imagens da região de acordo com a disponibilidade no período e qualidade.

O período em análise da variação temporal da mancha urbana foi definido entre 1984 a 2014. Assim, as imagens de satélite obtidas e seus respectivos anos de aquisição foram: Landsat 5 TM em 1984, 1989 e 2010, Landsat 7 ETM+ em 2000, e Landsat 8 OLI em 2014. As características gerais das imagens de acordo com o sensor a bordo do Landsat são (INPE, 2014):

- Landsat 5 TM: Disponibiliza 6 bandas multiespectrais e 1 banda termal, resolução temporal de 16 dias, resolução espacial de 30 metros e uma cena abrange a área de 185 x 185 km.

- Landsat 7 ETM+: Disponibiliza 6 bandas multiespectrais, 2 banda termal e 1 banda pancromática, resolução temporal de 16 dias, resolução espacial de 30 metros e está ativo.

- Landsat 8 OLI: Os produtos OLI consistem de nove bandas multiespectrais (resolução espacial de 30 m), uma pancromática (resolução espacial de 15 m) e duas bandas termais.

As imagens estão disponíveis na plataforma Earth Explorer da NASA e obtidas na projeção *World Geodetic System - WGS 1984 UTM*. No entanto, para o estudo foram projetadas para o sistema de projeção *SIRGAS2000 UTM* como referência adotada pelo IBGE. Para a escolha das imagens foi utilizado um filtro de seleção quanto ao período e cobertura de nuvens, sendo essa etapa essencial para a qualidade no produto final, uma vez que a variação temporal das características locais e a cobertura de nuvens podem implicar numa porcentagem elevada da imagem sem visualização de informação. Dessa forma, selecionaram-se as cenas no período seco do ano (maio a outubro) e com o limite de 15% de cobertura de nuvens para garantir a visualização do alvo e para não restringir a seleção das imagens a ponto de não haver nenhuma disponível para a cena de Lagoa Santa.

5.3. Imagem de relevo ASTER GDEM

O modelo digital de elevação ASTER GDEM (*Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflection Radiometer*) possui resolução espacial de 30 x 30 metros por pixel, erro vertical de 7 a 14 m, com as coordenadas geográficas de origem em WGS 1984 e obtidas gratuitamente no site <http://www.gdem.ersdac.jspacesystems.or.jp>. A versão 2 está disponível no site desde 03 de outubro de 2011.

No geoprocessamento de imagens de relevo existem funções específicas para correção dos dados, e assim o primeiro procedimento para que o modelo digital de elevação ASTER se torne consistente com a malha hidrográfica será o preenchimento de correção das depressões espúrias (células com valor de elevação menor que das células vizinhas) através do comando *Fill*, realizado no ambiente do aplicativo ArcToolbox. Sua presença em um MDE produz a descontinuidade do escoamento superficial descendente para uma célula vizinha. Como continuidade do processamento do MDE segue a necessidade de unir a hidrografia mapeada da região para a criação de um MDE consistente hidrologicamente (**Figura 5**), utiliza-se uma ferramenta de interpolação denominado *Topo to Raster*.

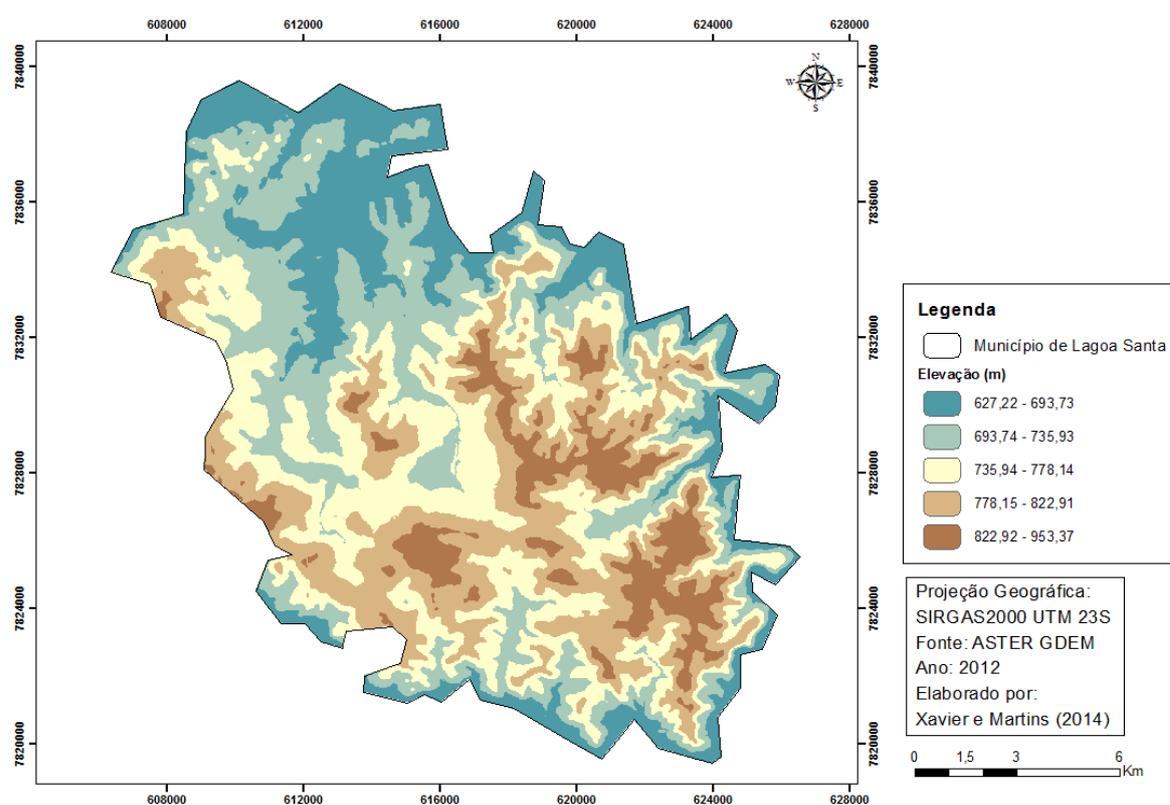


Figura 5: Modelo digital de elevação do município de Lagoa Santa.

5.4. Base de dados do DNIT e IBGE

As características hidrográficas e de infraestrutura de transporte são fatores para atrair investimento na região, assim utilizou-se informações complementares da base de dados do DNIT e do IBGE.

Foram obtidos arquivos vetoriais de rodovias (DNIT) e da hidrografia (IBGE) para o município de Lagoa Santa. A utilização da hidrografia mapeada na escala 1:50000 propiciará estudos sobre a disponibilidade e conservação dos recursos hídricos na mancha urbana e se o comportamento da expansão urbana ocorre ao redor e em função dos corpos hídricos. A obtenção dos arquivos digitais sobre rodovias no DNIT propiciará a visualização e ocupação da mancha urbana em torno das rodovias, e a compreensão da relação de dependência de infraestrutura de transportes no desenvolvimento urbano do município de Lagoa Santa.

5.5. Coeficiente de compacidade (Kc) e Densidade de drenagem (Dd)

Um método de analisar a forma geométrica é utilizar o coeficiente de compacidade (Kc), **Equação 1**, da área da mancha urbana, muito aplicado no estudo de características físicas de bacias hidrográficas mas com possibilidade de aplicação para qualquer forma geométrica envolvendo áreas. Assim, o coeficiente irá relacionar a forma da mancha urbana com um círculo, constituindo a relação entre o perímetro da mancha com a circunferência de um círculo de área igual a da mancha. Esse coeficiente é um número adimensional que varia com a forma, independentemente de seu tamanho. Quanto mais irregular for a mancha urbana, ou seja, com forma diferente de um círculo, maior será o coeficiente de compacidade. Um coeficiente mínimo igual a uma unidade corresponderia a uma mancha urbana circular e, para uma área alongada ou irregular, seu valor é significativamente superior a um, podendo ser calculado na seguinte equação (VILLELA; MATTOS 1975):

Equação 1:

$$Kc = (0,28 \times P) / \sqrt{A}$$

Onde: P = Perímetro (km²)

A = Área (km²)

Kc = Coeficiente de Compacidade

Já a densidade de drenagem (Dd) informa indiretamente sobre a disponibilidade do escoamento hídrico superficial (Granel-Perez, 2001). Ao avaliarmos a densidade de drenagem conhecemos o potencial da região e seus setores em permitir maior ou menor escoamento superficial da água, o que conseqüentemente conduzirá a maior ou menor intensidade de processos erosivos na esculturação dos canais. (Beltrame, 1994). Existem poucas informações em relação à densidade de drenagem mas, de acordo com Villela & Mattos (1975), este índice varia em 0,5 km/km² para bacias com pobre drenagem a 3,5 ou mais para bacias excepcionalmente bem drenadas. Conforme a **Tabela 2** obteve-se valores para classificar a densidade de drenagem.

Tabela 2: Valores das classes de densidade de drenagem.

Valores da Dd (km/km²)	Qualidade da Dd
Menor em 0,5	Baixa
0,5 a 2,0	Mediana
2,01 a 3,5	Alta
Maior que 3,5	Muito Alta

Fonte: Beltrame (1994:84).

5.6. Geoprocessamento das imagens e dados digitais em ambiente SIG

Para o estudo da expansão da mancha urbana utilizamos ferramentas computacionais como o software ArcGis 10.2^R, e planilhas eletrônicas. Através do software realizou-se o tratamento dos dados e a extração de valores de área e perímetro, além de procedimentos como definição da projeção geográfica, composição de bandas espectrais, tratamento de brilho e contraste das imagens, individualização das áreas e perímetros para cada período, criação e edição da tabela de atributos e delimitação da mancha urbana.

As bandas multiespectrais dos sensores do Landsat foram selecionadas para gerar um produto na composição do visível, ou seja, utilizaram-se as bandas espectrais do vermelho, verde e azul. Portanto, nas imagens do Landsat 5 e 7 foram selecionadas as bandas espectrais 1, 2 e 3, e no Landsat 8 foram selecionadas as bandas 2, 3 e 4 para compor uma imagem no visível.

A identificação das manchas urbanas se torna uma atividade complexa se não houver melhoramento das condições de contraste e brilho, pois as imagens Landsat possuem baixa resolução espacial e média resolução espectral. Assim, com o intuito de melhorar a nitidez entre os limites das áreas urbanas e rurais utilizou-se de técnicas de realce, alterando os valores de contraste e brilho, até atingir imagens ideais para a classificação nos cinco períodos. O processo de mapeamento de tipos de uso e ocupação da terra em imagens de superfície exigem critérios de escala para aumentar a precisão dos limites, portanto, é válido ressaltar que a classificação das manchas urbanas seguiram uma escala de mapeamento fixa de 1:30.000 o que garante o detalhamento suficiente em delimitação de áreas urbanas.

O desenvolvimento do geoprocessamento proporcionou a criação de diferentes métodos de classificação de imagens, por exemplo, a classificação manual, supervisionada e não supervisionada. Devido à classificação automática ser uma técnica complexa e com precisão baixa na definição das classes de uso e ocupação, adotou-se a classificação manual através da identificação de tipos de cobertura da terra de acordo com os padrões de resposta espectral dos objetos alvos. Para a distinção de alvos de modo detalhado é aconselhado a utilização de sensores orbitais com produtos com boa resolução espacial.

A delimitação das manchas urbanas no município de Lagoa Santa ocorreu progressivamente, iniciando pela imagem de 1984 até 2014 com a escala de 1:30.000, observando os contornos para obter precisão das áreas, e utilizando o maior número de vértices para atingir suavidade nas bordas da mancha urbana. A partir das formas geométricas das manchas urbanas obtivemos valores de área e perímetro para cada imagem da série histórica.

6. RESULTADOS E DISCUSSÃO

6.1. Expansão da mancha urbana entre 1984 a 2014

Na **Figura 6** são apresentadas as manchas urbanas no município de Lagoa Santa para o período de 1984 a 2014.

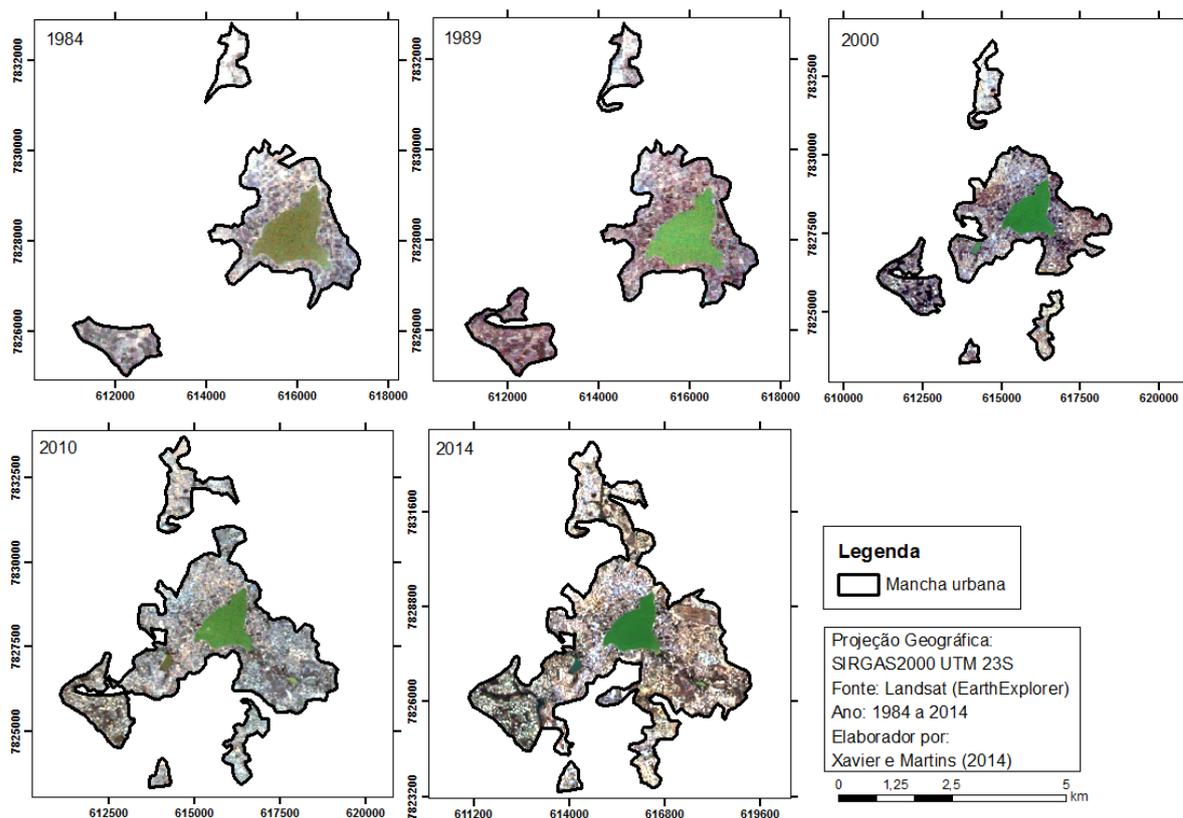


Figura 6: Classificação das manchas urbanas no período de 1984 a 2014.

O crescimento da mancha urbana até 2014 foi de 246,15 % em relação a 1984, apontando uma intensidade crescente e linear na ocupação urbana, em que se destacam áreas urbanas na região central e demais na periferia do município ao longo do período em estudo. O histórico de crescimento urbano de Lagoa Santa relata a influência de atrativos turísticos e crescimento do setor imobiliário para o município. Em 1984 observou-se que a mancha principal correspondia a 75,9 % da área total e as periféricas em torno de 24,1 %, o que se justifica pela ocupação em torno da lagoa no centro da cidade e pontos turísticos de visitação, como exemplo, a Gruta da Lapinha. Ainda em 1984, as regiões periféricas foram ocupadas

principalmente pela importância das rodovias MG-010 e MG-800 que interligam Belo Horizonte e o recém-inaugurado Aeroporto Internacional de Confins.

A partir de 1984 até 2000 a expansão da mancha urbana central seguiu uma tendência geométrica de crescimento, semelhante a um círculo e ao redor do centro da cidade pelo acesso aos recursos do comércio local. Já as manchas periféricas apresentavam pouca expressão de crescimento, mas com surgimento de duas novas áreas ao sul, uma área domiciliar próxima ao Parque Aeronáutico de Lagoa Santa e a segunda área próxima à rodovia MG-010 com indústria e pequena parcela de domicílios.

Desde 2000 até 2014 ocorreram mudanças em infraestrutura na RMBH que influenciaram a expansão urbana em Lagoa Santa. A reforma da MG-010 através do projeto de criação da Linha Verde interligando Belo Horizonte até o Aeroporto Internacional de Confins permitiu com segurança o maior fluxo de veículos pela rodovia e, conseqüentemente, o melhor acesso ao município de Lagoa Santa. O aeroporto Internacional de Confins está localizado a 13 km do município e passou a operar voos nacionais e internacionais com destino principalmente à capital mineira, o que favoreceu o aumento dos investimentos em redes de aluguel de veículos e setor hoteleiro em áreas periféricas de Lagoa Santa, principalmente próximo à rodovia MG-010 e MG-800, localizadas na região sudoeste em relação ao centro da cidade.

A construção e operação da Cidade Administrativa do Governo de Minas Gerais que está localizada a 18 km do centro de Belo Horizonte e a 21 km de Lagoa Santa, tornou o município atraente para funcionários públicos do Estado e para parte da população de Belo Horizonte por se igualar em distância percorrida pelos moradores de ambas as cidades quando existe a constante necessidade de utilizar esse trecho da MG-010. Assim, a localização estratégica do município de Lagoa Santa tanto próxima ao Aeroporto Internacional de Confins quanto da Cidade Administrativa de Minas Gerais, trouxeram fortes investidores do setor imobiliário e do comércio para transformar a cidade em uma região atrativa aos moradores da capital mineira que buscam condições de vida interioranas.

Além de projetos recentes no setor de infraestrutura de transporte, a região de Lagoa Santa é conhecida pela concentração de indústrias cimenteiras, metalúrgica e de extração de calcário, o que proporcionou o crescimento inicial da economia nas décadas de 80 e 90.

De acordo com a **Tabela 3** observou-se o pico de ascensão da área e perímetro da mancha urbana entre 1989 e 2000, forte influencia da inauguração do Aeroporto Internacional de Confins e crescimento da indústria cimenteira, por exemplo, Cimento Liz.

Tabela 3: Área e perímetro da mancha urbana no município Lagoa Santa

Ano	Mancha Urbana	
	Área (km ²)	Perímetro (km)
1984	7,78	25,8
1989	8,89	30,91
2000	16,23	50,04
2010	22,28	61,6
2014	26,98	63,97

Fonte: dados da pesquisa.

Os investimentos em infraestrutura foram impulsionadores da ocupação de novas áreas pelo mercado imobiliário e, analisando as áreas de mancha urbana, observa-se no período histórico a existência de dois momentos de expansão expressivos entre 1989 e 2000 com um aumento em 82 % da área da mancha urbana, que se justifica pelo lançamento de novos loteamentos para a população de classe média e alta principalmente nas décadas de 80 e 90, e o segundo momento entre 2000 e 2010 com um aumento de 37,27 % da área.

A **Figura 7** compara diretamente a evolução da mancha urbana no período entre 1984 e 2014 e apresenta os resultados da junção na ocupação das áreas periféricas com a região central de Lagoa Santa, fato explicado pela importância de estar próximo dos centros comerciais do município. A ideia de ocupação de novas áreas com domicílios começa a expor claramente a necessidade de acontecer conjuntamente o crescimento do comércio local, por exemplo, com supermercados, padarias, utilidades em geral, farmácias, lojas de material de construção, indicando a oportunidade de investidores na abertura de novos centros comerciais em regiões periféricas para movimentar a economia e possibilitar a geração de empregos diretos e indiretos.

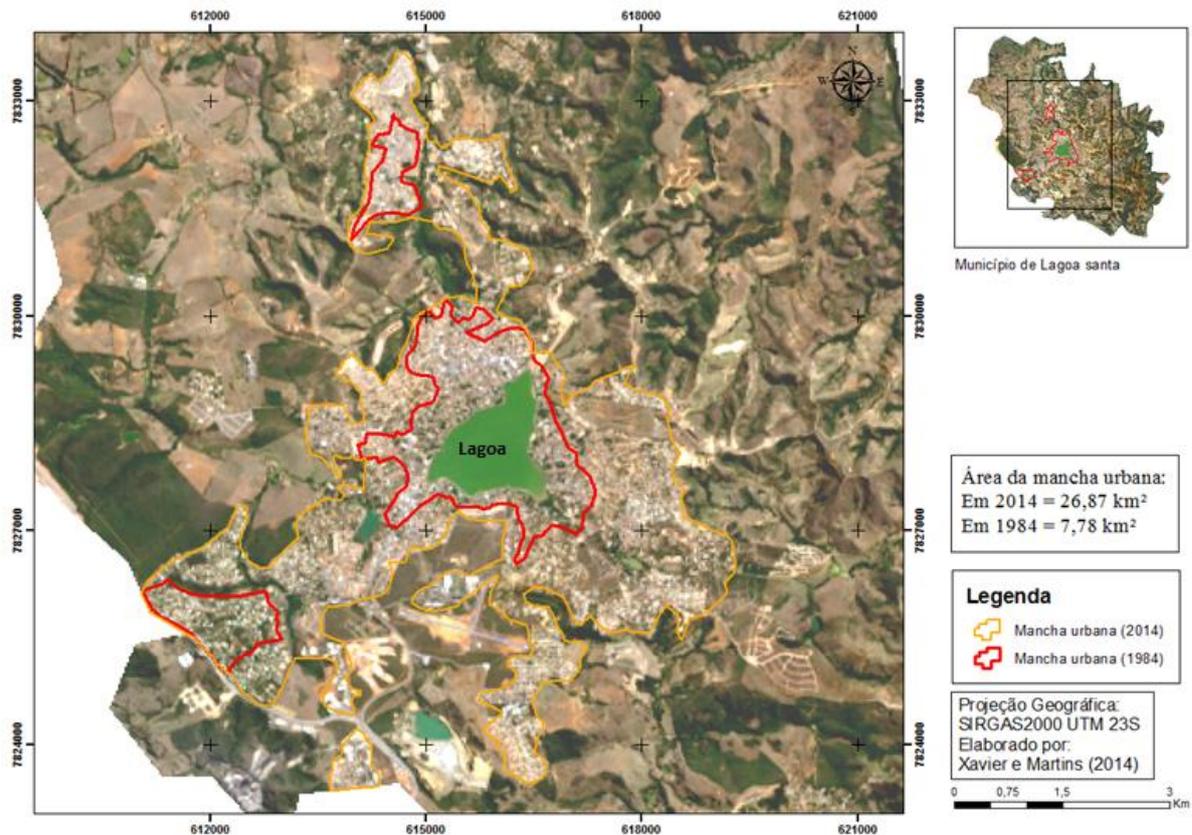


Figura 7: Expansão da mancha urbana no período de 1984 a 2014.

Os dados demográficos do município de Lagoa Santa demonstraram um aumento populacional de 29.824, em 1991, para 58.702 habitantes em 2014 (população estimada pelo IBGE em 2014). Os meios para geração de emprego e oportunidades no comércio são estimulados pelas ações do estado e prefeitura municipal através de projetos de infraestrutura, incentivos fiscais de médios e pequenos empreendedores, segurança pública, locais de lazer e outros, sendo o reflexo positivo dessa ação visto na ampliação da mancha urbana. Entretanto, aumentam o fluxo do trânsito local, a especulação do mercado imobiliário, dentre outros fatores que podem se tornar um problema no futuro, como consequência direta do deslocamento da população para novas áreas.

Analisando o coeficiente de compacidade (K_c) para cada período do estudo (**Tabela 4**), observamos um crescimento do coeficiente até o ano 2010, o que demonstra uma forma de característica irregular de expansão da mancha urbana com o tempo. O fato é justificado pelo surgimento de áreas urbanas periféricas entre 1984 e 2010 que, em função do aparecimento dessas novas áreas urbanas, a forma se tornou mais alongada, aumentando o K_c . Em 2014 gerou-se um novo K_c , inferior ao de 2010. Isso ocorreu devido à união das manchas urbanas, dando uma nova forma à mancha, mais próxima de um círculo.

Tabela 4: Coeficiente de compacidade para o período de 1984 a 2014.

Ano	Kc
1984	2,59
1989	2,90
2000	3,48
2010	3,65
2014	3,45

Fonte: dados da pesquisa.

6.2. Relevo no município de Lagoa Santa

A ocupação da paisagem no processo de urbanização é influenciada pelas características geográficas e de recursos naturais como, por exemplo, relevo, vegetação e recursos hídricos. As condições físicas e bióticas oferecem facilidades ou dificuldades na alocação de novos conjuntos habitacionais e exploração dos recursos naturais em detrimento da sociedade. Dessa forma é importante analisar as condições topográficas na região de Lagoa Santa e elencar os pontos favoráveis à ocupação bem como as barreiras que dificultam ou impedem o processo de expansão em determinados lugares.

A **Figura 8** representa a comparação entre a ocupação da mancha urbana em 1984 e 2014 sobre o relevo, o que demonstra um crescimento das manchas periféricas em Lagoa Santa no sentido ao centro da cidade em função das áreas de relevo suave, além de ilustrar a limitação de expansão em regiões ao leste e ao sul pelas barreiras geográficas de relevo.

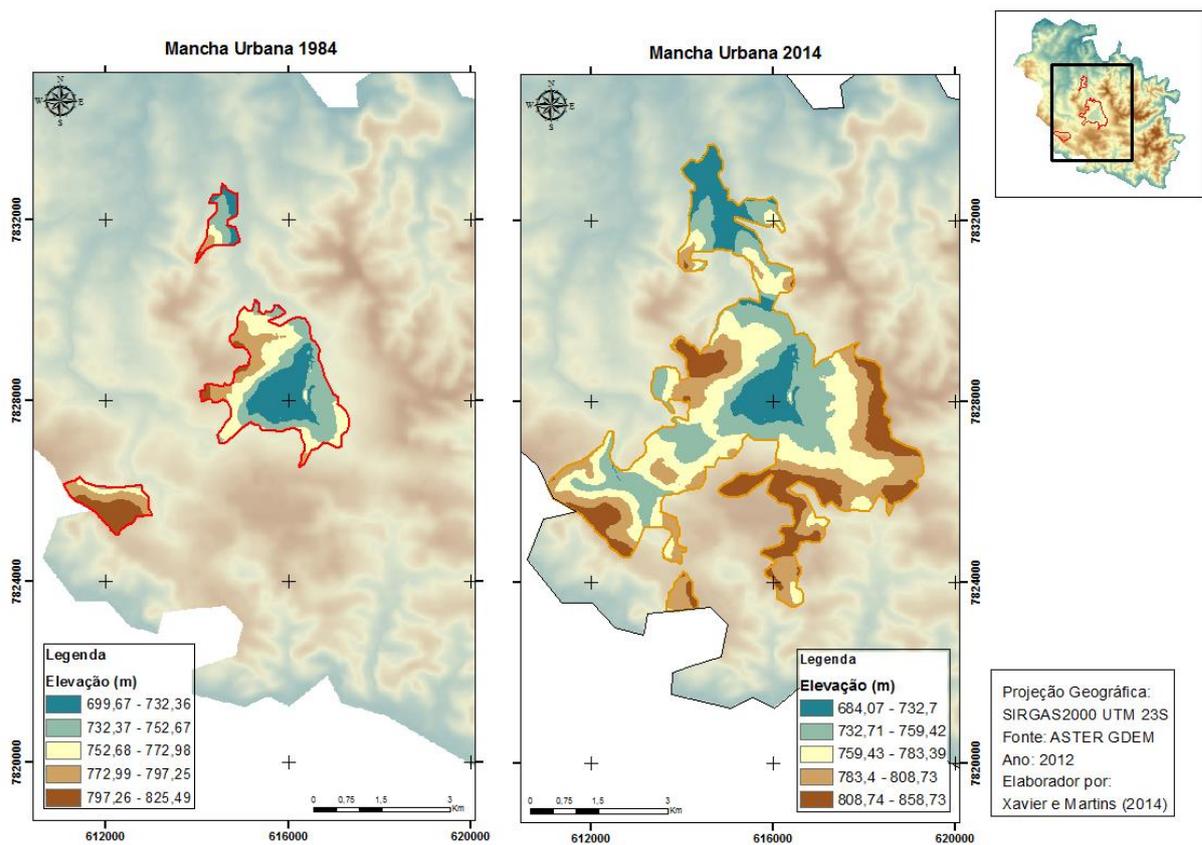


Figura 8: Manchas urbanas sobre altimetria do município de Lagoa Santa.

O comportamento da expansão da macha urbana entre o período 1984 e 2014 segue uma tendência circular no sentido das regiões de maior altitude, o que é evidente na região leste, sul e sudoeste em relação ao centro da cidade. A região norte é privilegiada por relevos suaves e com cotas altimétricas semelhantes às do centro, onde o relevo é de baixada.

A **Figura 9** demonstra graficamente o deslocamento da concentração da mancha urbana de 1984 a 2014 em relação à sua posição altimétrica.

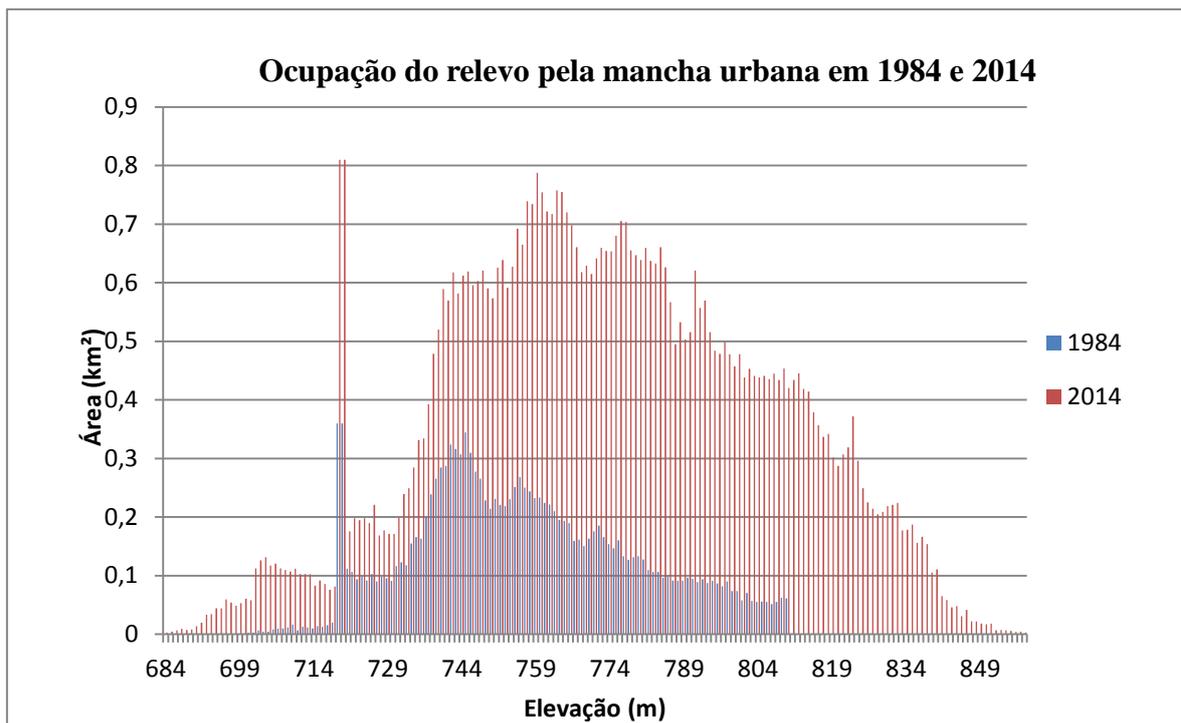


Figura 9: Altimetria da ocupação urbana em 1984 e 2014. Fonte: dados da pesquisa.

O relevo ocupado pela mancha urbana em 1984 possui a cota média em 755 metros, e o maior número de ocorrências da área urbana no relevo estão entre as cotas de 715 e 800 metros. A mudança do comportamento da ocupação urbana pela restrição de áreas planas próximas ao centro, e a abertura de novos loteamentos em maiores altitudes fez o número de ocorrência de pixels urbanos em 2014 se deslocarem para a média de 777 metros e com uma área ocupada 3,5 vezes maior na mancha urbana em 2014 do que em 1984, sendo a cota altimétrica máxima atingida pela mancha igual a 859 metros a leste, em relação ao centro da cidade.

A utilização de informações topográficas na compreensão do processo de urbanização possibilita uma análise preditiva das novas áreas a serem ocupadas por loteamentos e condomínios. Além disso, permite visualizar as condições atuais de ocupação urbana sobre o relevo e confrontar com o limite de crescimento em diferentes direções devido à existência das barreiras geográficas.

Ao estudar a ocupação humana em áreas com cotas altimétricas elevadas pode-se inferir sobre os desafios dos órgãos públicos no momento de ofertar as condições básicas à sociedade, e também quanto à regularização e fiscalização da ocupação em áreas de risco. É válido ressaltar que a derivação dos dados de cotas altimétricas gera os valores de declividade

no município, o que é bastante estudado para enxergar as dificuldades na abertura de novas áreas e ampliação de projetos imobiliários.

A **Tabela 5** indica as classes de declividade e suas respectivas áreas e porcentagens no município de Lagoa Santa.

Tabela 5: Classificação da declividade de acordo com a Embrapa no município de Lagoa Santa, MG.

Classes de declividade	Área (km ²)	Porcentagem (%)
0 a 3 %	17,39	7,46
3 a 8 %	56,35	24,17
8 a 20 %	107,72	46,2
20 a 45 %	49,35	21,16
45 a 75 %	2,29	0,98
75 a 100 %	0,09	0,04

Fonte: dados da pesquisa.

A declividade é predominantemente plana a ondulada, correspondendo a 77,82 % da área do município. A caracterização da declividade indica regiões com relevos suaves, o que favorece a ocupação humana e potencializa o mercado imobiliário, principalmente na facilidade de criação de loteamentos e condomínios. As regiões planas do terreno e de baixadas são comumente áreas com presença de corpos hídricos, o que garante a oferta desse recurso na região.

A **Figura 10** demonstra a declividade na região da mancha urbana em 1984 e 2014 do município de Lagoa Santa, seguindo a classificação da Embrapa (1979).

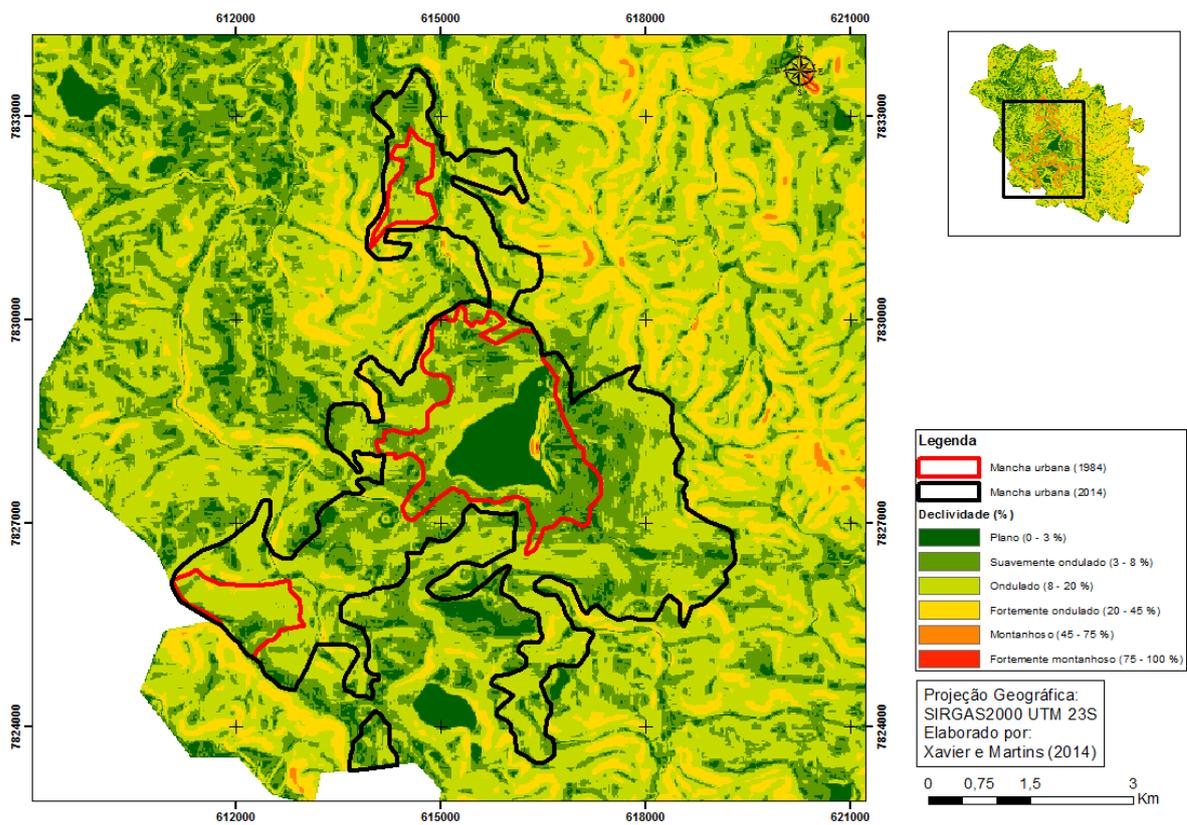


Figura 10: Declividade na mancha urbana em 1984 e 2014 em Lagoa Santa.

Na **Figura 11** são apresentadas as áreas das classes de declividade com ocupação da mancha urbana no período.

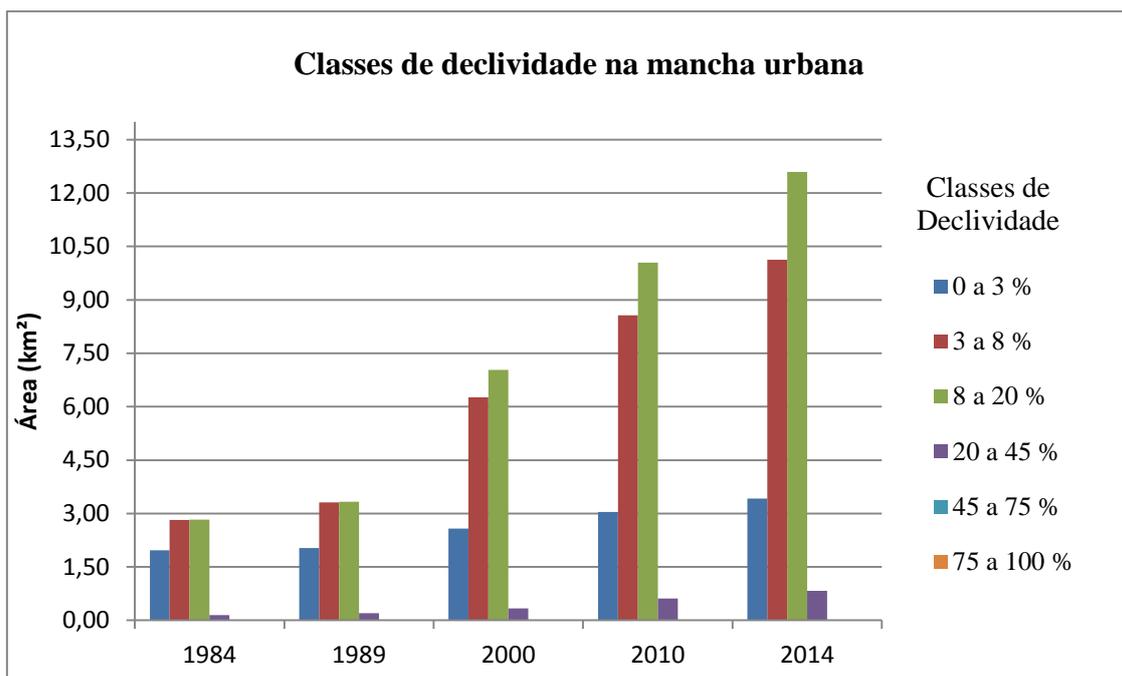


Figura 11: Classes de declividade no interior da mancha urbana de 1984 a 2014 em Lagoa Santa. Fonte: dados da pesquisa.

As áreas da mancha urbana em 1984 e 2014 ocupam, respectivamente, 97,91 % e 96,87 % do relevo em regiões planas a onduladas (declividade de 0 a 20 %), o que é esperado pela facilidade de manejar os terrenos e atratividade das áreas menos declivosas, reduzindo os custos para implantação das obras com nivelamento e terracamento. Observando as áreas de declividades planas (0 a 3 %) no período conclui-se que a expansão urbana não obteve variação expressiva. O fato deve-se ao adensamento populacional e consecutivamente domiciliar existente em áreas planas desde 1984, além de grande parcela da porcentagem classificada como mancha urbana corresponder à área da lagoa no centro da cidade. As áreas com declividades onduladas (3 a 20 %) foram as mais ocupadas, tal fato anteriormente discutido e justificado pelos benefícios de lotear áreas com relevo suave.

O município de Lagoa Santa apresenta um forte mercado imobiliário e com flexibilidade na oferta de imóveis, o que não pressiona a expansão e ocupação no sentido das áreas mais declivosas, consideradas de difícil acesso para planejamento de obras e até mesmo inviável economicamente em casos extremos. Desse modo, os resultados de ocupação urbana não apresentaram um aumento em declividades classificadas como montanhosa, ou seja, acima de 45 %.

É importante ressaltar que a ocupação de áreas com declividade de 0 a 3 % e acima de 45 % no terreno são pontos de discussão a nível ambiental, como as áreas de preservação permanentes nas margens de cursos d'água e na preservação de vegetação nativa dos topos e encostas de morros segundo o Novo Código Florestal. Os problemas ambientais são amplamente discutidos pela comunidade de Lagoa Santa, principalmente por situar-se em Área de Proteção Ambiental Carste, constituída por rochas calcárias que formam relevo cárstico de baixa resistência à ação de dissolução química da água, e pela pressão das indústrias cimenteiras que buscam a ampliação da produção, como o caso da indústria Cimento Liz que solicitou a licença em 2012 para aumentar a capacidade produtiva, fazendo surgir o risco de atingir as áreas sensíveis e importantes na preservação ambiental da região (JUSBRASIL, 2012).

6.3. Recursos hídricos no município de Lagoa Santa

O surgimento de cidades com alta concentração populacional ocorreu historicamente com a dependência direta da existência de água para abastecimento urbano. De acordo com Tucci (2010), o desenvolvimento urbano é um processo geográfico, desde que, em muitas cidades, o desenvolvimento ocorre de jusante para montante na bacia o que contribui para a poluição dos mananciais e necessidade de tratamento para abastecimento em cidades.

A **Figura 12** demonstra a hidrografia mapeada no município de Lagoa Santa na escala de 1:50.000 obtida no IBGE.

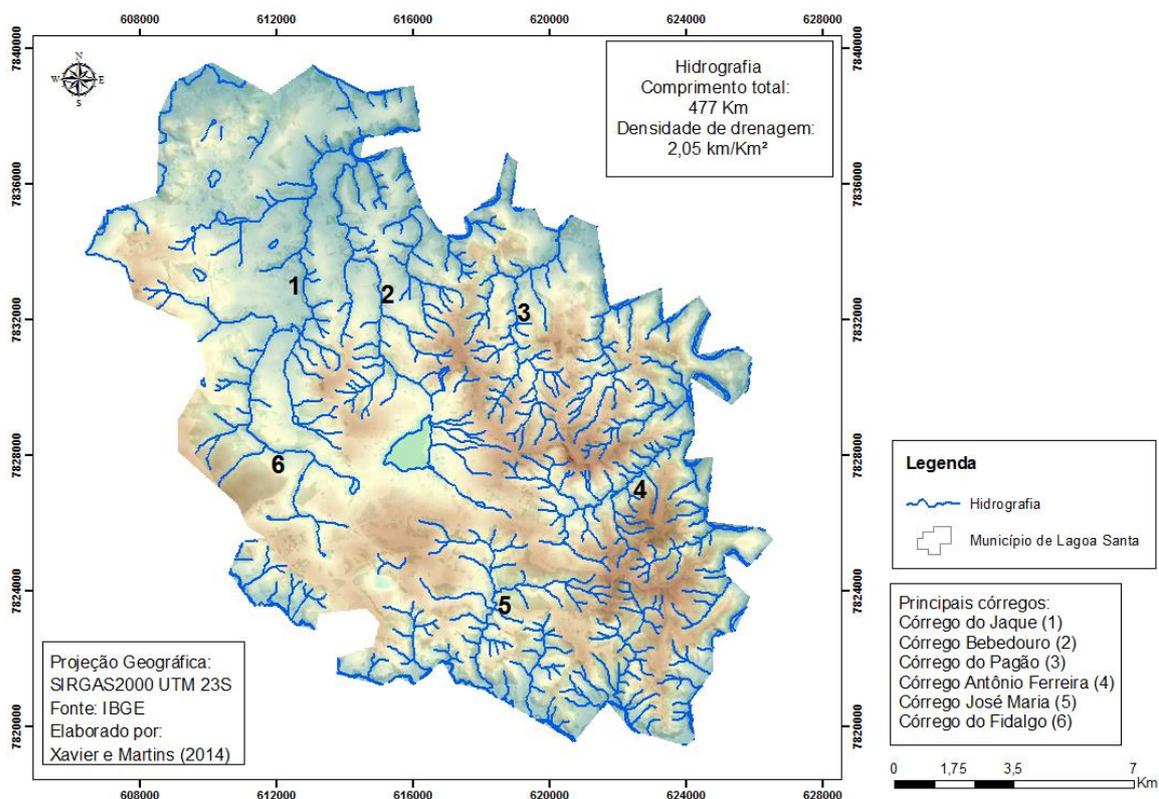


Figura 12: Hidrografia mapeada do IBGE na região de Lagoa Santa.

A hidrografia mapeada existente nos limites do município de Lagoa Santa demonstra uma boa disponibilidade hídrica na região, contabilizando mais de 25 córregos, dentre eles, Córrego do Buraco, Poço Verde, Capão da Onça, do Fidalgo e Gambá. A disponibilidade hídrica hoje é questionada em função do seu uso inconsciente e indiscriminado, tanto pela população quanto pelas indústrias locais, implicando em poluição, baixa qualidade ou até escassez da água. O rio das Velhas é um importante curso d'água que limita o município na região norte e leste, no entanto tem suas condições de qualidade extremamente afetadas pelo lançamento de efluentes industriais, esgoto sanitário domiciliar e demais fontes de poluição da capital mineira.

Baseado no mapeamento hidrográfico, existem 447 km de comprimento de cursos d'água e uma densidade de drenagem igual a 2,05 km/km² no município. De acordo com a **Tabela 2** o município de Lagoa Santa é considerado uma área com alta densidade drenagem, o que indica boa disponibilidade hídrica para abastecimento da cidade e atividade da indústria e agropecuária na região. O processo de expansão urbana é impulsionado pela oferta de

recursos hídricos e fica evidente a necessidade de planejamento desses recursos para conservação dessas unidades de abastecimento de água.

Os processos industriais das empresas instaladas no município de Lagoa Santa como a Cimento Liz envolvem utilização de grandes volumes de água e conseqüentemente o tratamento do efluente antes de ser lançado nos cursos d'água. Sendo assim, é imprescindível a atuação dos órgãos públicos de fiscalização para permitir que comunidade e indústria tenham mútua utilização dos recursos hídricos sem deterioração de quantidade e qualidade para atuais e futuras gerações.

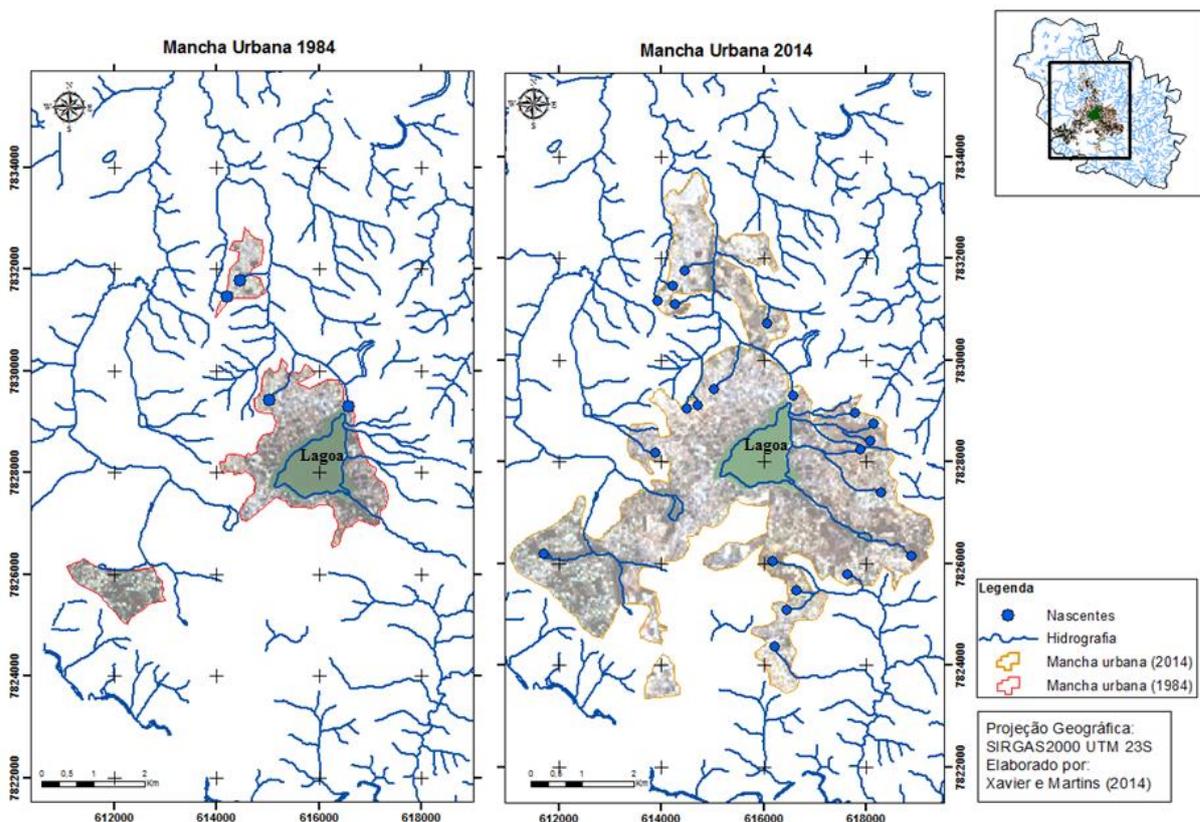


Figura 13: Ocupação da mancha urbana sobre a hidrografia em 1984 e 2014.

A **Figura 13** ilustra a evolução da mancha urbana sobre a hidrografia no município de Lagoa Santa, e observa-se a significativa ocupação das margens dos cursos d'água próximas à lagoa e ao norte do centro do município, sendo tais ocupações contrárias à conservação dos recursos hídricos por afetar a qualidade e quantidade da água nessas áreas. A expansão difusa no período de 2010 até 2014 demonstra a ausência de atuação dos órgãos públicos no planejamento de ocupação urbana e preservação ambiental, pois, ao permitir o surgimento de

conjuntos habitacionais em diferentes direções do município, estão declarando a ineficiência na fiscalização e desrespeito ao Código Florestal na proteção das matas ciliares.

O atual estado de ocupação urbana está incluindo 32,24 km de cursos d'água, o que historicamente comprova a dependência do homem em relação ao acesso à água e a tendência de ocupação das margens dos cursos d'água. No entanto, já se conhece as consequências negativas da inexistência da mata ciliar em torno dos rios e nascentes, assim como topos de morros desprotegidos, que aceleram processos erosivos do solo.

Desde 2013 até o atual momento a região Sudeste do país enfrenta um estado de escassez da disponibilidade hídrica em grandes e pequenos municípios, principalmente em São Paulo e Minas Gerais. Um atípico regime hidrológico é estado de preocupação para o abastecimento das cidades, o que afeta a disponibilidade em conjuntos habitacionais, fornecimento para indústrias e setores de produção agrícola. A julgar a preocupação das entidades governamentais frente ao estado de gestão das bacias hidrográficas, pode-se afirmar que é necessário maior atenção na gestão integrada entre sociedade e Estado para um uso racional dos recursos hídricos, sendo a atual ocupação da mancha urbana às margens de córregos (como ocorre no córrego Bebedouro e do Fidalgo) e sobre as 22 nascentes, o reflexo do descaso com regiões sensíveis para o ecossistema hídrico e em geral para a conservação da vida.

6.4. Infraestrutura de rodovias no município de Lagoa Santa

A **Figura 14** demonstra a localização das principais rodovias em torno do município de Lagoa Santa: MG-010, MG-800, MG-424, MG-020 e MG-381, se destacando como a principal rodovia a MG-010, que interliga Belo Horizonte e Lagoa Santa. A MG-010 tem fundamental importância em conectar Lagoa Santa com a Cidade Administrativa do Estado de Minas Gerais ao Aeroporto Internacional de Confins, e atravessar o município no sentido do Parque Nacional da Serra do Cipó.

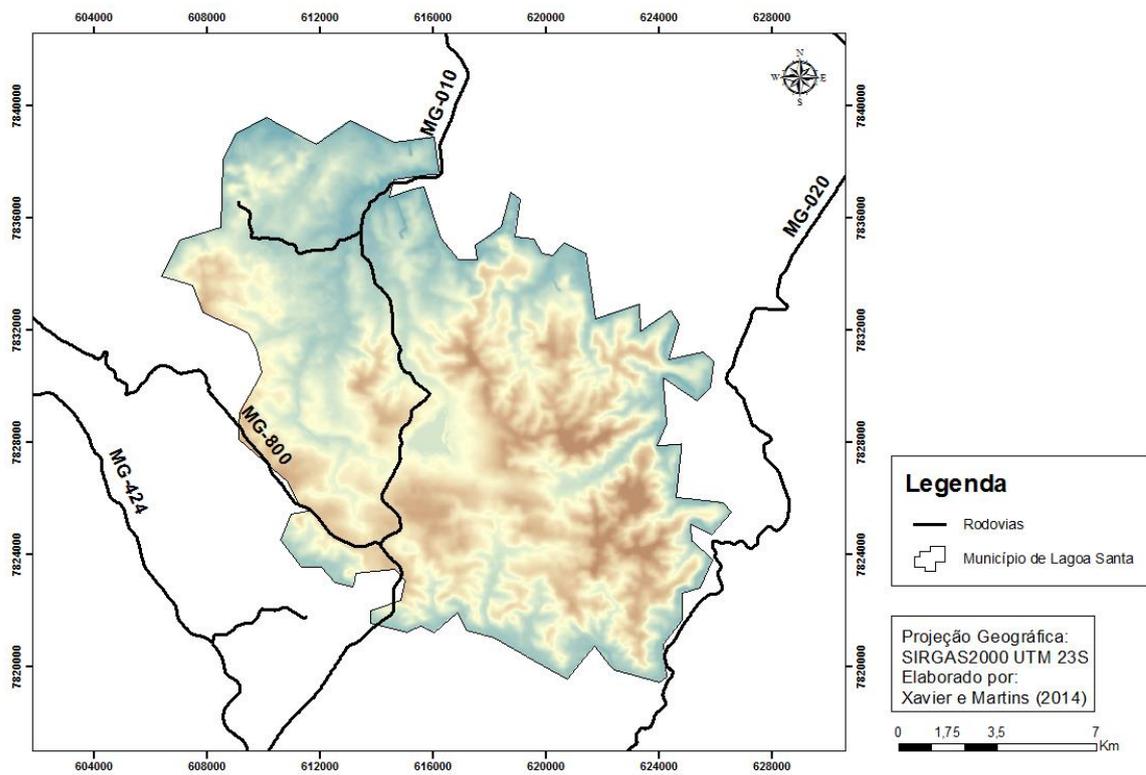


Figura 14: Localização das principais rodovias em torno do município de Lagoa Santa.

A **Figura 15** demonstra os limites da mancha urbana em 1984 e 2014 sobre as margens das rodovias MG-010 e MG-800.

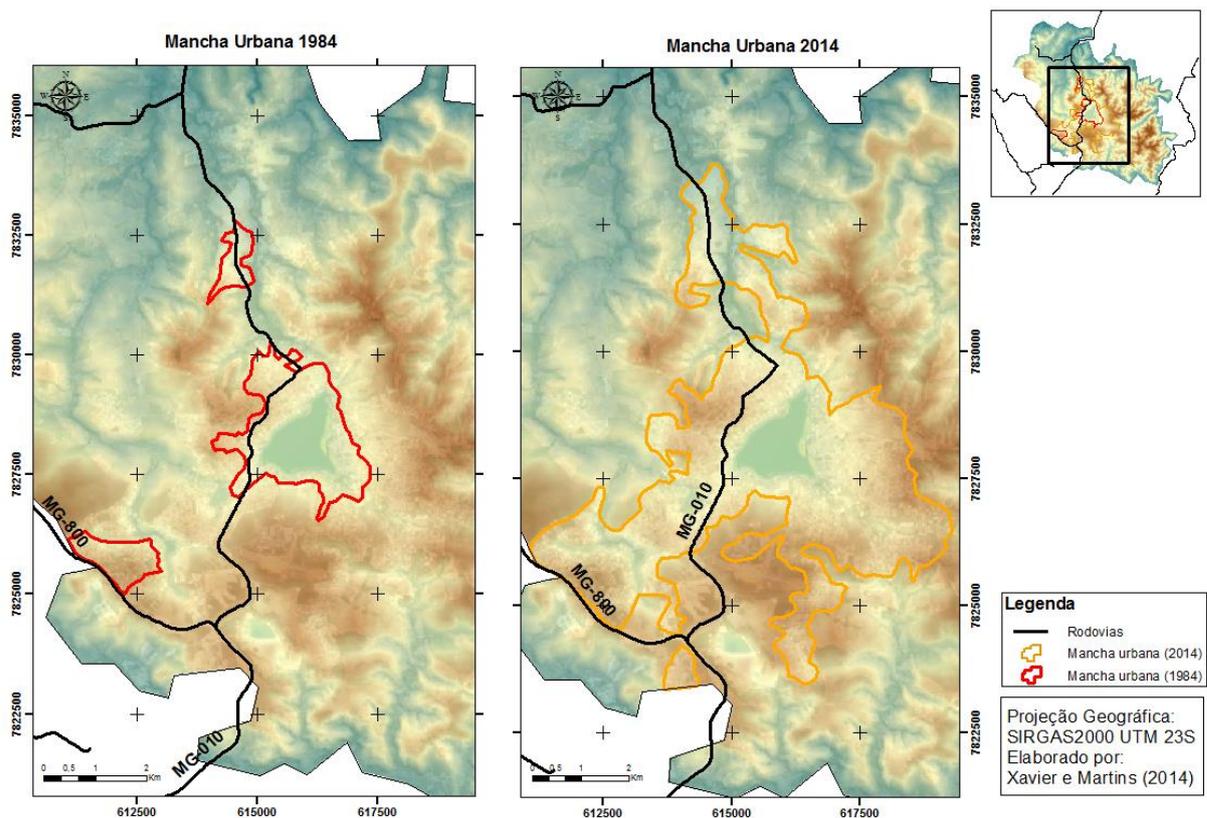


Figura 15: Ocupação da mancha urbana nas rodovias MG-010 e MG-800 entre 1984 e 2014.

A expansão urbana está diretamente relacionada com infraestrutura de vias da região e, ao observar a mancha urbana principal e a passagem da rodovia MG-010 dentro da cidade, é justificada a interferência da rodovia na ocupação de ambas as margens em um trecho de aproximadamente 3,9 km, onde se localiza o centro da cidade. Além da mancha principal, ressalta a ocupação das margens da rodovia pelas manchas periféricas ao norte e ao sul em um trecho de, respectivamente, 1,5 km e 1,8 km. A ocupação das margens da rodovia é unilateral na mancha urbana ao sul por falta de investimentos no entorno e bilateral na mancha urbana ao norte pelos novos loteamentos e comércio local.

Com o fortalecimento do comércio e atratividade imobiliária da região de Lagoa Santa, a expansão da mancha urbana é intensa e crescente sobre as margens da rodovia MG-010 e MG-800, como ilustrado na **Figura 15**. Em 2014 as manchas urbanas periféricas se uniram à área urbana principal e passaram a ocupar as margens da MG-010 em um trecho de aproximadamente 8,2 km e da MG-800 em 3,8 km, o que representou um aumento da ocupação das margens pela mancha principal em 110 % e pela mancha periférica ao sul em 111 %. O Parque Nacional da Serra do Cipó localiza-se a 54 km de Lagoa Santa no sentido

norte, o que irá aumentar o interesse de novos investimentos nesse sentido turístico e propiciará a ocupação de novos trechos da rodovia MG-010.

7. CONCLUSÃO

O crescimento da macha urbana em Lagoa Santa foi de 246,15 % em 2014 comparado a 1984. Além da expansão da macha central, que circunda a lagoa e em 1984 já correspondia a 75,9 % de toda a área ocupada, houve um aumento da ocupação humana em áreas periféricas, com o surgimento de novas machas. Essa acelerada ocupação se deve à sua posição em relação a Belo Horizonte, à oferta imobiliária local devido à localização estratégica do município próxima ao Aeroporto Internacional de Confins e da Cidade Administrativa de Minas Gerais, e a diversos fatores físicos que possibilitaram esse crescimento.

A declividade é predominantemente plana e ondulada, e corresponde a 77,82 % da área do município, indicando regiões com relevos suaves e favorecendo a ocupação humana e potencialização do mercado imobiliário. Com a saturação dessas áreas nobres, vem ocorrendo a ocupação de áreas mais declives. Os 447 km de comprimento de cursos d'água, com uma densidade de drenagem de 2,05 km/km², nos indicam sobre a disponibilidade do escoamento hídrico superficial, sendo classificado como um município de alta densidade de drenagem, com boa disponibilidade hídrica para abastecimento da cidade e atividade da indústria e agropecuária na região.

A passagem da rodovia MG-010 dentro da cidade justifica a sua interferência na ocupação das margens em um trecho de aproximadamente 3,9 km, onde se localiza o centro da cidade. Em 2014, as manchas urbanas periféricas se uniram à área urbana principal e passaram a ocupar as margens da MG-010 em um trecho de aproximadamente 8,2 km e da MG-800 em 3,8 km, o que representou um aumento da ocupação das margens pela mancha principal em 110 % e pela mancha periférica ao sul em 111 %.

8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AB'SABER, A. N. **O sítio urbano de Porto Alegre - Estudo geográfico**. Boletim Paulista de Geografia. São Paulo, nº 42. Julho de 1965.

ALMEIDA, C. M. de; PEREIRA, M. N.; GONÇALVES, C. D. A. B.; SOUZA, I. de M. e; MOREIRA, J. C.; MIGLIORANZA, E.; FLORENZANO, T. G.; NOVAES JUNIOR, R. **O Sensoriamento Remoto como Instrumental para o Mapeamento da Urbanização Dispersa**. In: Seminário Internacional sobre Urbanização Dispersa e Mudanças no Tecido Urbano, 2006-04, São Paulo. Via das Artes, 2006.

ARONOFF, S. **Geographic Information Systems: a management perspective**. Ottawa: WDL Publications, 1989.

BARROS, L. C. de. **Análise da Expansão Urbana de Betim através do Modelo de Mistura**. VIII Curso de Especialização em Geoprocessamento. UFMG, 2005.

BELTRAME, A. V. **Diagnóstico do meio físico de bacias hidrográficas: modelo e aplicação** / Ângela da Veiga Beltrame. – Florianópolis: Ed. da UFSC, 1994. 112p.

BRASIL. Ministério da Educação. Secretaria da Educação Continuada, Alfabetização, Diversidade e Inclusão. **População municipal de pessoas não alfabetizadas com 15 anos ou mais de idade e Taxa municipal de analfabetos com 15 anos ou mais de idade**. Brasília, DF: MEC/SECADI.

BURROUGH, P. A. **Principles of Geographical Information Systems: Methods and Requirements for Landuse Planning**. Clarendon: Oxford, 1986.

CÂMARA, G. **Sistemas de Informação geográfica para aplicações ambientais e cadastrais: Uma visão Geral**. Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais – INPE, 1999.

CÂMARA, G.; CASANOVA, M. A.; HEMERLY, A.; MEDEIROS, C.M.B.; MAGALHÃES, G. **Anatomia de Sistemas de Informação Geográfica**. SBC, X Escola de Computação. Campinas, 1996.

CÂMARA, G.; ORTIZ, M. J. **Sistemas de Informação Geográfica para Aplicações Ambientais e Cadastrais: Uma Visão Geral**. In: Souza e Silva, M, Cartografia, Sensoriamento e Geoprocessamento, Lavras UFLA/SBEA, 1998.

CÂMARA, G; QUEIROZ, G. R. **Arquitetura de Sistemas de Informação Geográfica**. In: Introdução à Ciência da Geoinformação. INPE, 1998.

CORRÊA, R. L. **O Espaço Urbano**. São Paulo: ed. Ática, 1989.

COWEN, D. **GIS versus CAD versus DBMS: what are the differences? Photogrammetric Engineering and Remote Sensing**. 1988. v. 54, p. 1551-1554.

EMBRAPA. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária - **Serviço Nacional de Levantamento e Conservação de Solos** (Rio de Janeiro, RJ) . Súmula da 10. Reunião Técnica de Levantamento de Solos. Rio de Janeiro, 1979. 83p.

FIGUEIREDO, D. **Conceitos Básicos de Sensoriamento Remoto**. Disponível em: <http://lsa.ufpa.br/imiriba/NUMA_SR/conceitos_sm.pdf> Acesso em out. 2014.

FLORENZANO, T. G. **Imagens de Satélite para Estudos Ambientais**. São Paulo: Oficina de Textos, 2002.

GOVERNO DE MINAS. Instituto horizontes. **Programa de desenvolvimento e gestão da Região Metropolitana de Belo Horizonte. Vetor Norte da RMBH**. Disponível em: <http://www.institutohorizontes.org.br/imagens/estudoseprojetos/DOCUMENTO_FINAL_VETOR_NORTE.pdf> Acesso em out. 2014.

GRANBEL. **Associação dos municípios da Região Metropolitana de Belo Horizonte**. Disponível em: <<http://www.granbel.com.br/>> Acesso em set. 2014.

GRANELL-PEREZ, M. C. **Trabalhando geografia com as cartas topográficas**. Ijuí: Ed. Unijuí, 2001. 128p.

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Cidades. Lagoa Santa**. Brasil, 2014. Disponível em: <<http://cidades.ibge.gov.br/xtras/perfil.php?codmun=313760>>. Acesso em set. 2014.

IBGE. **Pesquisa Nacional por Amostras de Domicílios**. Tabela extraída de: IDB (Indicadores e Dados Básicos). Brasil, 2009.

INPE. **Introdução ao sensoriamento remoto**. São Jose dos Campos, 2001. Disponível em: <<http://www.ebah.com.br/content/ABAAABuMgAG/introducao-ao-sensoriamento-remoto>> Acesso em out. 2014.

INPE. Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. **Divisão de Geração Imagem**. Disponível em: <http://www.dgi.inpe.br/siteDgi/ATUS_LandSat.php> 2009. Acesso em out de 2014.

JUSBRASIL. **Expansão de cimenteira em Lagoa Santa preocupa comunidade**. Disponível em: <<http://al-mg.jusbrasil.com.br/noticias/2704472/expansao-de-cimenteira-em-lagoa-santa-preocupa-comunidade>> 2012. Acesso em out. 2014.

LACERDA, A. F.; SANTOS, C. **Avaliação da Expansão Urbana no Município de Belo Horizonte e Região Metropolitana utilizando imagens de satélite**. Revista Mundo Geo, 2010.

LAGOA SANTA. **Prefeitura Municipal**. Disponível em: <<http://www.lagoasanta.mg.gov.br/>> Acesso em set. 2014.

MASCARENHAS, A. W. F. **Monitoramento da expansão da mancha urbana de Sete Lagoas/MG no período de 1985 - 2014, através do uso de Imagens Landsat**. 2014. Disponível em: <<http://www.geo.ufv.br/wp-content/uploads/2014/07/Artur-Wagner-Faria-Mascarenhas.pdf>> Acesso em out. 2014.

MENESES, P. R.; ALMEIDA, T. de. (Org.). **Introdução ao processamento de imagens de sensoriamento remoto**. Brasília, 2012.

MOURA, A. B. A. P. de; JÚNIOR, W. M.; FARIA, R. L. de; ZAIDAN, R. T. **Processamento Digital de Imagens LANDSAT como auxílio à classificação e análise da evolução da mancha urbana de Juiz de Fora-MG entre os anos de 1990 e 2011**. INPE, 2013.

NOVO, E. M. L. de M. **Sensoriamento Remoto: Princípios e Aplicações**. Edgard Blucher Ltda. São Paulo. 2ªed. 1998.

PLANO METROPOLITANO. **Macrozoneamento RMBH**. Disponível em: <http://www.rmbh.org.br/> Acesso em out. 2014.

PONZONI, F. J. **Sensoriamento Remoto no estudo da vegetação: diagnosticando a Mata Atlântica**. INPE, 2002.

ROSA, R. **Introdução ao Sensoriamento Remoto**. 5 ed. Uberlândia: Ed. da Universidade Federal de Uberlândia, 2003.

SALES, Cl. M. **A Dinâmica do Espaço Urbano: Análise da evolução da mancha urbana do Vetor Norte da RMBH por meio de técnicas de Sensoriamento Remoto e Geoprocessamento**. Belo Horizonte, 2010.

SOUZA, R., G. V.; BRITO, F., R. A. **A Expansão Urbana da Região Metropolitana de Belo Horizonte e suas implicações para a redistribuição espacial da população: a migração dos ricos**. 2006. Disponível em: http://www.abep.nepo.unicamp.br/encontro2006/docspdf/ABEP2006_408.pdf 2006> Acesso em set. 2014.

TUCCI, C. E. M. **Urbanização e Recursos Hídricos**. In: Carlos Bicudo, José Tudizi, Marcos Scheuenstuhl. (Org.). **Águas do Brasil: Análises Estratégicas**. 2010, p. 113-128.

VILLELA, S. M.; MATTOS, A. **Hidrologia Aplicada**. Editora Mc Graw Hill, São Paulo, 1975. 245p.