

Clarissa Malard Sales

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

XII Curso de Especialização em Geoprocessamento  
2010



UFMG  
Instituto de Geociências  
Departamento de Cartografia  
Av. Antônio Carlos, 6627 – Pampulha  
Belo Horizonte  
cartog@igc.ufmg.br

**CLARISSA MALARD SALES**

**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**

Monografia apresentada ao curso de Especialização em  
geoprocessamento do Departamento de Cartografia do  
Instituto de Geociências da Universidade Federal de  
Minas Gerais como requisito parcial à obtenção do grau  
de especialista em Geoprocessamento.

Orientador: Plínio Temba

**BELO HORIZONTE  
2010**

Sales, Clarissa Malard

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 / Clarissa Malard Sales - Belo Horizonte, 2010.

vi, 45 f.: il.

Monografia (Especialização) – Universidade Federal de Minas Gerais. Instituto de Geociências. Departamento Cartografia, 2010.

Orientador: Professor Plínio Temba

1. Expansão urbana 2. Sensoriamento Remoto. 3. Geoprocessamento  
4. Vetor Norte da Região Metropolitana de Belo Horizonte

I. 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.

Clarissa Malard Sales

Monografia defendida e aprovada em cumprimento ao requisito exigido para obtenção do título de Especialista em Geoprocessamento, em 23 de dezembro de 2010, pela Banca Examinadora constituída pelos professores:

---

Professor Dr. Plínio Temba (Orientador)

---

Professor Dr. Marcos Antônio Timbó Elmiro

## AGRADECIMENTOS

- Aos Professores e monitores do curso de especialização em geoprocessamento, em especial, ao Charles pela ajuda e ensinamentos.
- Ao amigo Diego pela colaboração e aos demais colegas de curso que através de conversas e trocas de experiências contribuíram para o desenvolvimento dessa monografia.
- Ao meu orientador, Professor Plínio Temba, pela sua orientação e prontidão em atender minhas demandas.
- Aos meus pais, por respeitarem minhas escolhas e ao apoio e amor sempre constantes da minha família, sem o qual nenhuma das minhas realizações seriam possíveis.

*“... A Geografia e a cartografia, em particular,... envolvem um conhecimento estratégico, o qual permite às pessoas que desconhecem seu espaço e sua representação, passarem a organizar e dominar esse espaço.”*

(Yves Lacoste. A Geografia: isso serve, em primeiro lugar, para fazer a guerra, 1976)

## RESUMO

A tecnologia disponível de sensoriamento remoto tem sido utilizada pelos estudiosos e planejadores do ambiente urbano como instrumento de trabalho fundamental para um eficiente mapeamento e controle das áreas urbanizadas. Dadas as suas características superiores em relação às resoluções espaciais, espectrais, temporais e radiométricas, dados orbitais a bordo dos satélites de segunda geração, como o LandSat Thematic Mapper 5, tornam-se cada vez mais aplicados à estudos urbanos. Esse tipo de dado deve contribuir para o desenvolvimento de uma série de pesquisas que se mostravam impraticáveis com os sensores de primeira geração. A análise multitemporal do fenômeno urbano, proporcionada pelas sucessivas passagens dos satélites, torna possível acompanhar a expansão das áreas urbanizadas e avaliar a estrutura desse crescimento. O processamento digital de imagens Landsat TM 5 obtidas em diferentes passagem do satélite, ao longo de 26 anos, e posteriormente analisados por meio de técnicas de geoprocessamento proporcionou não só sucessivos retratos estáticos da região estudada, mas também revelou a dinâmica do processo de evolução, fornecendo subsídios para estudos subseqüentes. Estudos urbanos em áreas metropolitanas exigem uma análise geral no que diz respeito à expansão da urbanização, à tendência de crescimento e identificação de áreas prioritárias para investigações mais detalhadas. O presente trabalho buscou fazer essa análise de crescimento urbano do Vetor Norte da Região Metropolitana de Belo Horizonte com descrição do processo de expansão dos municípios que integram essa região. Procurou-se também identificar as tendências de crescimento para os próximos anos, levando em consideração os diversos investimentos públicos e privados direcionados, recentemente, para o eixo de expansão norte da Região Metropolitana de Belo Horizonte.

Palavras-Chave: expansão urbana, análise multitemporal, Vetor de expansão norte da Região Metropolitana de Belo Horizonte

## **ABSTRACT**

The available technology of remote sensing has been used by researchers and planners of the urban environment as an essential tool for the efficient mapping and control of metropolitan areas. Due to its superior space-time, spectral and radiometric resolutions, orbital data onboard second generation satellites, as the LandSat Thematic Mapper 5, have been increasingly applied to urban studies. This type of data might contribute to the development of urban research to a level that was impossible with first generation sensors. The multi-temporal analysis of the urban phenomenon, allowed by successive satellite passes, makes it possible to follow the urban areas expansion and to assess the structure of such growth. In fact, the digital processing of LandSat TM 5 images obtained from different satellite passes in the course of 26 years old provided not only successive static pictures of the studied regions, but also it revealed the dynamics of the evolution process, providing subsidies for the subsequent studies. Urban studies of metropolitan areas demand an analysis that tackles not only urbanization expansion, but also the tendency of that growth as well as it should enable to identify priority areas for more detailed investigations. The goal of the present work is to apply a broad analysis of urban growth to the specific case of the North axis of Belo Horizonte Metropolitan Region through the description of expansion processes taking place in the region's municipalities. Another aim of this work is to determine the growth tendency of the mentioned areas, taking into account the various public and private investments recently directed to the north expansion axis of Belo Horizonte Metropolitan Region.

Keywords: Urban expansion, multitemporal analysis, north expansion axis of Belo Horizonte Metropolitan Region.



## SUMÁRIO

LISTA DE FIGURAS.....	ix
LISTA DE TABELAS.....	xi
<b>1. INTRODUÇÃO .....</b>	<b>1</b>
1.1 OBJETIVOS GERAIS.....	4
1.1 OBJETIVOS ESPECÍFICOS .....	4
<b>2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA .....</b>	<b>5</b>
2.1 SENSORIAMENTO REMOTO .....	5
2.1.1 <i>Sensor Orbital Landsat TM5</i> .....	6
2.1.1 <i>Classificação de Imagens</i> .....	8
2.2 GEOPROCESSAMENTO .....	11
2.1.1 <i>Monitoria espacial</i> .....	12
<b>3. ESTUDO DE CASO: O VETOR NORTE DA RMBH .....</b>	<b>14</b>
3.1 LOCALIZAÇÃO .....	14
3.2 EVOLUÇÃO DA OCUPAÇÃO .....	15
<b>4. METODOLOGIA E RESULTADOS.....</b>	<b>19</b>
4.1 REGISTRO DAS IMAGENS .....	20
4.2 MOSAICO .....	23
4.3 RECORTE DA ÁREA DE INTERESSE .....	23
4.4 CLASSIFICAÇÃO DAS IMAGENS .....	24
4.5 PÓS CLASSIFICAÇÃO .....	28
4.6 ASSINATURA.....	30
4.7 MONITORIA.....	30
<b>5. CONCLUSÕES.....</b>	<b>33</b>
<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....</b>	<b>35</b>

## LISTA DE FIGURAS

<b>Figura 1: Mapa de Localização do Vetor Norte da RMBH.....</b>	<b>14</b>
<b>Figura 2: Fluxograma da estrutura geral da metodologia .....</b>	<b>19</b>
<b>Figura 3: Distribuição dos pontos de controle na Imagem 218/73 de 2010.....</b>	<b>21</b>
<b>Figura 4: Distribuição dos pontos de controle na Imagem 218/74 de 2010.....</b>	<b>22</b>
<b>Figura 5: Imagem landsat TM 5 – recorte da área de interesse.....</b>	<b>24</b>
<b>Figura 6: Mapa de Uso do Solo em 2010 .....</b>	<b>27</b>
<b>Figura 7: Mapa de Uso do Solo em 1984 .....</b>	<b>28</b>
<b>Figura 8: Mapa de mancha urbana em 2010 .....</b>	<b>29</b>
<b>Figura 9: Mapa de mancha urbana em 1984 .....</b>	<b>29</b>
<b>Figura 10: Mapa de modificações ocorridas na Mancha Urbana de 1984 a 2010.....</b>	<b>31</b>

## LISTA DE TABELAS

<b>Tabela 1: Características do sensor TM (Thematic Mapper) .....</b>	<b>6</b>
<b>Tabela 2: Principais Características das bandas TM do satélite LandSat - 5 .....</b>	<b>7</b>
<b>Tabela 3: Taxa de Crescimento da População – Municípios Votorantim (%).....</b>	<b>17</b>
<b>Tabela 4: Lista de pontos de controle do registro da imagem 218/73 de 2010.....</b>	<b>21</b>
<b>Tabela 5: Lista de pontos de controle do registro da imagem 218/74 de 2010.....</b>	<b>21</b>
<b>Tabela 6: Características das Classes de treinamento .....</b>	<b>25</b>
<b>Tabela 7: Matriz de Classificação – Uso do solo 2010.....</b>	<b>26</b>
<b>Tabela 8: Matriz de Classificação – Uso do solo em 1984.....</b>	<b>27</b>
<b>Tabela 9: Resultado da assinatura do mapa de mancha urbana de 2010 .....</b>	<b>30</b>
<b>Tabela 10: Resultado da assinatura do mapa de mancha urbana de 1984 .....</b>	<b>30</b>
<b>Tabela 11: Resultado da assinatura do mapa de modificações ocorridas .....</b>	<b>32</b>

## **1. INTRODUÇÃO**

O gerenciamento do espaço urbano é, cada vez mais, um grande desafio para gestores e planejadores, já que suas modificações ocorrem de forma cada vez mais dinâmica e em um tempo cada vez menor. Estudar a cidade, monitorando 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, de acordo com Santos (1994), é marcado por relações sociais, econômicas e culturais em constante e acelerada mutação. O conhecimento atualizado das áreas ocupadas pela agricultura, vegetação natural, áreas urbanas e edificadas, bem como informações sobre as proporções das mudanças, se tornam cada vez mais necessárias a legisladores e planejadores. Informações atualizadas de uso e revestimento da terra podem ser úteis para o inventário de recursos naturais, no controle de inundações, na identificação de áreas com processos erosivos avançados, na avaliação de impactos ambientais e na formulação de políticas econômicas.

As imagens de satélite são cada vez mais usadas em estudos urbanos e regionais, pois possibilitam a atualização dos elementos da paisagem com maior periodicidade e precisão e são mais rápidos, fáceis e trazem 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 para a Cartografia, com potencialidades que devem ser aproveitadas no estudo do crescimento urbano.

Iniciado em 1972 com o lançamento do satélite Landsat e reforçado com o lançamento do satélite Spot em 1986, o sensoriamento remoto por satélite assumiu uma grande importância nos trabalhos de análise e monitoramento ambiental no âmbito local, regional e global (RASH, 1994 *apud* COUTINHO, 1997). Com o advento dos dados de imagens de alta resolução de satélites, como o Landsat Thematic Mapper (TM), estudos são realizados para acessar o potencial das técnicas de processamento digital de imagens para mapear, monitorar e planejar o espaço urbano.

Cada vez mais adotadas, 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. De acordo com Florenzano (2002), a expansão da mancha urbana de uma cidade, bem como a direção do crescimento podem ser facilmente detectadas por imagens de satélite.

Iwai (2005 *apud*. Silva, 2006.) afirma que o sensoriamento remoto surge como uma técnica alternativa e bastante eficiente para avaliar o processo de crescimento do espaço urbano. Esta técnica, aliada às tecnologias de geoprocessamento, fornece a possibilidade de monitorar além do crescimento urbano, os problemas ambientais decorrentes do processo de expansão da mancha urbana.

A cartografia multitemporal nos dá mais do que sucessivos retratos estáticos, pois as análises tornam possíveis conhecer o dinamismo do processo de evolução obtendo subsídios para estudos subsequentes. Do ponto de vista morfológico, o estudo da expansão urbana não pode deixar de se apoiar na cartografia multitemporal.

As análises feitas na escala de uma região ou micro-região onde se inserem mais de um município exigem uma visão geral da região propiciando a utilização de satélite de média resolução, que podem resultar em mapas nas escalas que variam de 1:50.000 até 1:250.000. Quando obtidos dados de imagens de satélite de datas distintas, tornam-se possíveis estudos evolutivos como a análise do crescimento urbano das cidades da região e dos processos de conurbação. Estas análises, quando associadas às informações sócio-econômicas, tornam-se essenciais ao planejamento regional a partir de políticas de desenvolvimento urbano integradas, pois permitem o estudo de fluxos de migração e de toda a dinâmica regional, possibilitando a inserção sócio-espacial do município em sua região.

Os municípios do Vetor de expansão Norte da Região Metropolitana de Belo Horizonte têm demonstrado uma grande demanda em planejamento urbano devido a implantação de diversos novos empreendimentos, o que caracteriza essa região como grande pólo de atração populacional. Formado pelos municípios localizados ao norte da capital, sua formação também está associada à abertura das avenidas Antônio Carlos, Cristiano Machado e à instalação, em 1985, do Aeroporto Internacional Tancredo Neves. Deve-se ressaltar, ainda, o papel fundamental exercido pelo mercado imobiliário de Lagoa Santa, com o lançamento de loteamentos para a população de classe média e alta.

Alguns aspectos chamam a atenção com relação às possíveis conseqüências de um processo de expansão desordenada nessa região: o primeiro deles está relacionado às características do processo

de reprodução de periferias ocorrido na região de Ribeirão das Neves e Santa Luzia que hoje se constitui numa ameaça para o conjunto dos municípios da região Cárstica. A existência de um eixo de formação de periferias a partir do município de Ribeirão das Neves em direção a Pedro Leopoldo ameaça toda estrutura socioeconômica e ambiental da região.

Outra preocupação é o conjunto de investimentos previstos para o Vetor Norte, tanto pelo Estado como por agentes privados e da sociedade civil que deve ser pensado de forma integrada, na perspectiva do desenvolvimento sustentável, diferentemente do que ocorreu com o Vetor Oeste da RMBH na década de 70 devido à implantação da Fábrica da Fiat e de uma série de investimentos em melhorias na malha viária e de transportes. O desenvolvimento desordenado e sem planejamento, principalmente nos municípios de Betim e Contagem, anulou uma grande parte dos benefícios que poderiam ser trazidos pelos investimentos públicos e privados realizados na região e foi responsável pelo desenvolvimento e do processo de reprodução de periferias na RMBH, principalmente em Ribeirão das Neves e Ibirité.

A questão ambiental é outra preocupação que atinge gestores e planejadores na região. As características peculiares da região, caracterizadas pela presença do complexo ambiental do Carste, são impróprias para a ocupação urbana intensiva em função da fragilidade de suas estruturas calcárias, sujeitas à dissolução por drenagens subterrâneas. Sem considerar a importância que a região representa como atrativo ambiental, paisagístico, histórico, cultural, turístico e científico em função do seu acervo de grutas, dolinas, lagos naturais, sítios arqueológicos e à presença da “Mata Seca”, formação de floresta decidual típica da região, que se desenvolve nos sítios calcários com deficiências hídricas e que tem como característica principal o desfolhamento da maioria das árvores na estação seca. (INSTITUTO HORIZONTES, 2004).

## **1.1 Objetivos Gerais**

O objetivo desse trabalho é analisar a evolução da ocupação urbana no vetor norte da Região Metropolitana de Belo Horizonte de 1984 a 2010 utilizando imagens de satélite de média resolução e técnicas de sensoriamento remoto e geoprocessamento buscando identificar vetores da expansão urbana.

## **1.2 Objetivos específicos**

- Processamento digital de imagens LandSat TM 5 – bandas 3,4 e 5 e produção de mapa de uso do solo no software ENVI 4.3, em duas datas, que cobrem os municípios pertencentes ao Vetor Norte da Região Metropolitana de Belo Horizonte;
- Produção de mapas de mancha urbana nas datas selecionadas no software ArcGis 9.2;
- Utilização de métodos diagnósticos para analisar as mudanças nas manchas urbanas no software VistaSAGA 2007;
- Identificar padrões de evolução e vetores de expansão;
- Levantamento bibliográfico.

## **2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA**

### **2.1 Sensoriamento Remoto**

Sensoriamento remoto é a tecnologia que permite obter imagens de satélite e outros tipos de dados da superfície terrestre por meio da captação e do registro da energia refletida ou omitida pela superfície. O termo sensoriamento refere-se à obtenção de dados e o termo remoto refere-se ao fato de que essa obtenção é feita a distância, ou seja, sem o contato físico entre o sensor e a superfície terrestre. Para Novo (2008), o sensoriamento remoto pode ser entendido como a utilização conjunta de sensores e equipamentos para a transmissão e processamentos de dados com o objetivo de estudar eventos, fenômenos e processos que ocorrem na superfície do planeta Terra a partir do registro e da análise das interações entre a radiação eletromagnética e as substâncias que o compõem em suas mais diversas manifestações.

De acordo com Novo (2008), o sensoriamento remoto como sistema de aquisição de informações pode ser dividido em dois grandes subsistemas: Subsistema de Aquisição de dados de sensoriamento remoto e subsistema de produção de informações. A fase de aquisição de dados é composta pelos elementos: fonte de energia, propagação da energia através da atmosfera, interação da energia com os elementos da superfície da Terra, sensores orbitais e dados gerados em forma numérica. O subsistema de produção de informações envolve o exame dos dados utilizando diversos dispositivos de visualização e interpretação para analisar os dados gráficos ou computadores para fazer análise numérica dos dados. Deve-se destacar nesta fase a importância de se obter dados de referência a cerca dos recursos sobre os quais o sensor adquiriu informações.

Segundo Dutra (2005 *apud* SILVA, 2006), no caso de monitoramento do crescimento e da expansão urbana, faz-se necessários conjuntos de dados multitemporais. A resolução temporal é definida pelo intervalo de tempo medido entre uma aquisição e outra de imagens. Quanto maior a frequência de obtenção de imagens do mesmo local maior a resolução temporal do sensor.

Para Timbó (2010), outro importante fator para a identificação de alvos urbanos é a resolução espectral da imagem. As imagens de Sensoriamento remoto são multiespectrais, isto é, a mesma cena é imageada simultaneamente em várias bandas do espectro eletromagnético. Nesse sentido, ao se trabalhar com este tipo de dado, deve-se levar em conta que o comportamento espectral dos alvos



urbanos é altamente dependente da resolução espacial do sensor utilizado. A resolução espectral é um conjunto inerente às imagens multiespectrais de sensoriamento remoto, e é definida pelo número de bandas espectrais de um sistema sensor e pela largura do intervalo de comprimento de onda coberto por cada banda.

### 2.1.1 Sensor orbital Landsat TM 5

O satélite LANDSAT 5 foi lançado em 01 de Março de 1984 e funciona em órbita equatorial a 705 km de altitude. O sensor TM (Thematic Mapper) a bordo do satélite LANDSAT 5 faz o imageamento da superfície terrestre produzindo imagens com 185 Km de largura no terreno, resolução espacial de 30 metros e 7 bandas espectrais (MAILLARD, 2000). Como mostrado na Tabela 1, o tempo de revisita do satélite para imagear uma mesma porção do terreno é de 16 dias.

<b>Tabela 1: Características do sensor TM (Thematic Mapper)</b>	
Bandas espectrais	Banda 1 - Azul (0,450 - 0,520 $\mu\text{m}$ ) Banda 2 - Verde (0,520 - 0,600 $\mu\text{m}$ ) Banda 3 - Vermelho (0,630 - 0,690 $\mu\text{m}$ ) Banda 4 - Infravermelho próximo (0,760 - 0,900 $\mu\text{m}$ ) Banda 5 - Infravermelho médio (1,550 - 1,750 $\mu\text{m}$ ) Banda 6 - Infravermelho termal (10,40 - 12,50 $\mu\text{m}$ ) Banda 7 - Infravermelho médio (2,080 - 2,350 $\mu\text{m}$ )
Resolução espacial	Bandas 1-5 e 7 – 30 metros Banda 6 – 60 metros
Largura da faixa imageada	185 km
Resolução temporal	16 dias

Fonte: Embrapa CNPM, disponível em <http://www.sat.cnpm.embrapa.br>

Cada uma das bandas do Landsat TM 5 apresentam um determinado comportamento espectral nas Faixas do Espectro Eletromagnético, o que possibilita ao usuário, selecionar quais as bandas que se

deseja trabalhar, segundo as características e as aplicações que cada uma delas apresenta. A Tabela 2 mostra as principais características das bandas do sensor TM a bordo do satélite LANDSAT5:

<b>Tabela 2: Principais Características das bandas TM do satélite LandSat - 5</b>		
Banda	Intervalo Espectral $\mu\text{m}$	Principais características
1	(0,45 - 0,52)	Apresenta grande penetração em corpos de água, com elevada transparência, permitindo estudos batimétricos. Sofre absorção pela clorofila e pigmentos fotossintéticos auxiliares (carotenóides). Apresenta sensibilidade a nuvens de fumaça oriundas de queimadas ou atividade industrial. Pode apresentar atenuação pela atmosfera.
2	(0,52 - 0,60)	Apresenta grande sensibilidade à presença de sedimentos em suspensão, possibilitando sua análise em termos de quantidade e qualidade. Boa penetração em corpos de água.
3	(0,63 - 0,69)	A vegetação verde, densa e uniforme, apresenta grande absorção, ficando escura e destaca o contraste entre as áreas ocupadas com vegetação (ex.: solo exposto, estradas e áreas urbanas). A mesma propriedade se revela entre diferentes tipos de cobertura vegetal (ex.: campo, cerrado e floresta). Permite análise da variação litológica em regiões com cobertura vegetal esparsa. Permite o mapeamento da drenagem através da visualização da mata galeria e entalhe dos cursos dos rios em regiões com pouca cobertura vegetal. É a banda mais utilizada para delimitar a mancha urbana, incluindo identificação de novos loteamentos. Permite a identificação de áreas agrícolas.
4	(0,76 - 0,90)	Os corpos de água absorvem muita energia nesta banda e ficam escuros, permitindo o mapeamento da rede de drenagem e delineamento de corpos de água. A vegetação verde, densa e uniforme, reflete muita energia nesta banda, aparecendo nítida nas imagens. Apresenta sensibilidade à rugosidade da copa das florestas (dossel florestal).

		Apresenta sensibilidade à morfologia do terreno, permitindo a obtenção de informações sobre Geomorfologia, Solos e Geologia. Serve para análise e mapeamento de feições geológicas e estruturais. Serve para separar e mapear áreas ocupadas com <i>pinus</i> e <i>eucalipto</i> . Serve para mapear áreas ocupadas com vegetação que foram queimadas. Permite a visualização de áreas ocupadas com macrófitas aquáticas (ex.: aguapé). Permite a identificação de áreas agrícolas.
5	(1,55 - 1,75)	Apresenta sensibilidade ao teor de umidade das plantas, servindo para observar estresse na vegetação, causado por desequilíbrio hídrico. Esta banda sofre perturbações em caso de ocorrer excesso de chuva antes da obtenção da cena pelo satélite.
6	(10,4 - 12,5)	Apresenta sensibilidade aos fenômenos relativos aos contrastes térmicos, servindo para detectar propriedades termais de rochas, solos, vegetação e água.
7	(2,08 - 2,35)	Apresenta sensibilidade à morfologia do terreno, permitindo obter informações sobre Geomorfologia, Solos e Geologia. Esta banda serve para identificar minerais com íons hidroxilas. Potencialmente favorável à discriminação de produtos de alteração hidroterma.

Fonte: DPI – INPE. Disponível em: [www.dpi.inpe.br](http://www.dpi.inpe.br)

### 2.1.2 Classificação de Imagens

A classificação de imagens de satélite consiste na extração de informação para reconhecer padrões e objetos homogêneos na superfície da Terra. De acordo com Novo (2008), tais procedimentos tornam o processo de mapeamento ou reconhecimento de características da superfície terrestre menos subjetivo e com maior potencial de repetição em situações subseqüentes. O resultado desse processo é um mapa temático onde os pixels classificados são representados por símbolos ou cores. A classificação pode ser digital, realizada por um computador ou analógica, realizada por um analista humano. Ao contrário do especialista, a classificação automática pode ser realizada usando mais do que três bandas espectrais.

A classificação digital pode ser dividida em dois grupos: classificação supervisionada e classificação não supervisionada. Novo (2008) explica que a classificação supervisionada repousa em um conhecimento prévio do analista sobre a localização espacial de algumas amostras de classes de interesse. Neste tipo de classificação, o analista deve dispor de informações que permitam a identificação dessas classes. É recomendado que o usuário adquira mais de uma área de treinamento, ou seja, mais de uma amostra de classes de interesse deve ser identificada na imagem, utilizando o maior número de informações disponíveis, como trabalhos de campo, mapas, etc.

Os classificadores podem ser pixel a pixel e por regiões. Os classificadores pixel a pixel utilizam apenas a informação espectral isolada de cada pixel para identificar as regiões homogêneas. A classificação por regiões utiliza, além de informações espectrais de cada pixel, a informação espacial que envolve a relação com seus vizinhos. Este método simula o comportamento de um foto-intérprete, que reconhece as áreas homogêneas nas imagens, baseando-se nas propriedades espectrais e espaciais destas imagens. (TIMBÓ, 2010)

O método de classificação “pixel a pixel” mais utilizado em sensoriamento remoto é o método da máxima verossimilhança – MAXVER. Este método é baseado no princípio de que a classificação incorreta de um pixel não é mais significativa do que a classificação incorreta de qualquer outro pixel na imagem. As amostras de cada classe são descritas por uma função de probabilidade no espaço multi ou hiperespectral. (Richards, 1993 *apud*. Novo, 2008).

Este algoritmo utiliza a média e a covariância das amostras de treinamento para assinalar um pixel desconhecido de uma classe. Dados esses parâmetros, pode ser computada a probabilidade estatística de um pixel desconhecido pertencer a uma ou outra classe. Funções de densidade e probabilidade são utilizadas para classificar um pixel desconhecido, computando a probabilidade de que aquele pixel venha a pertencer a uma categoria. Depois de avaliar a probabilidade para cada categoria, o pixel é assinalado na classe que a probabilidade está pré-determinada pelo analista (NOVO 2008).

Para Novo (2008), esta função descreve a probabilidade de um pixel pertencer a uma classe, em função da sua localização nesse espaço n-dimensional formado pelas bandas espectrais utilizadas na classificação. Em Timbó (2010), essa probabilidade é desconhecida, mas a partir das amostras de treinamento é possível estimar a distribuição de probabilidade de cada classe.

*“Esta probabilidade descreve a chance de encontrar um pixel da classe correta a partir de um vetor espectral dado. Ou seja, para um pixel na posição  $x$  do espaço de atributos, pode-se calcular um conjunto de probabilidades de que o pixel pertença a cada uma das classes possíveis. Considera-se que a distribuição de probabilidade para as classes são normais, essa suposição não é demonstrável, mas é uma propriedade natural dos alvos.” (Timbó, Marcos. Sensoriamento Remoto e Processamento de Imagens, 2010. p.22)*

De acordo com Timbó (2010), o critério de decisão deve ainda incorporar o conceito de limiar de decisão. O limiar de decisão indica a porcentagem de pixels da distribuição de probabilidade de uma classe que será classificada como pertencente a esta classe. Um limite de 99%, por exemplo, engloba 99% dos pixels, sendo que 1% será ignorado (os de menor probabilidade). Um limiar de 100% resultará em uma imagem totalmente classificada sem rejeição, ou seja, todos os pixels serão classificados. Para diminuir a confusão entre as classes, ou seja, reduzir a sobreposição entre as distribuições de probabilidades das classes aconselha-se que a aquisição de amostras seja realizada com muito cuidado. Ou seja, as amostras escolhidas devem ser significativas de alvos distintos. Além disso, deve-se fazer uma avaliação das amostras através da matriz de análise das amostras, que mostra quais amostras resultaram em maior confusão. Estas amostras devem ser eliminadas ou refeitas. A matriz de classificação apresenta a distribuição de porcentagem de pixels classificados correta e erroneamente. Uma matriz de classificação ideal deve apresentar os valores da diagonal principal próximos a 100%, indicando que não houve confusão entre as classes. Contudo esta é uma situação difícil em imagens com alvos de características espectrais semelhantes. (TIMBÓ, 2010)

## 2.2 Geoprocessamento

O termo Geoprocessamento, do sufixo “processamento” vem de processo, em Latim *processus*, que significa “andar avante”, “progresso”. Significa implantar um processo que traga um progresso, um andar avante, na grafia ou na representação da Terra (MOURA, 2003).

De acordo com Rocha (2002), pode-se definir geoprocessamento como uma tecnologia transdisciplinar que, através de processamento de dados geográficos e a axiomática da localização integra várias disciplinas. Equipamentos, programas, processos, entidades, dados, metodologias e pessoas para coleta, tratamento, análise e apresentação de informações associadas a mapas digitais georreferenciados. Rocha (2002) afirma que não existe consenso na definição deste termo e vários conceitos são encontrados na bibliografia especializada.

O Geoprocessamento, segundo Moura (2003), engloba processamento digital de imagens, cartografia digital e os sistemas informativos geográficos (SIGs) que procuram representar o mundo real sob a forma computadorizada, com bases cartográficas apropriadas e um sistema de referência preciso.

Segundo Rocha (2002), um SIG é um sistema auxiliado por computador para aquisição, armazenamento, análise e visualização de Dados Geográficos. Todas as informações contidas no SIG devem ser georreferenciadas, devem está com as localizações geográficas definidas por um sistema de coordenadas. Há muita controvérsia a respeito do significado de SIG ou GIS (geographic information System). Xavier-da-Silva (1999 *apud* Moura, 2003) defende que o termo é assim caracterizado, pois sistema significa uma estrutura organizada, com limites definíveis, funções externas e internas, com dinâmica própria e conhecimento de suas relações com a realidade. Para o mesmo autor, informação não é somente um dado, mas é um ganho de conhecimento. Geográfico por sua vez, é em relação ao sistema e não em relação a informação. O sistema é geográfico, pois os dados são espacializados.

De acordo com Xavier-da-Silva (1992 *apud* Moura, 2003) o geoprocessamento destina-se a tratar problemas ambientais levando em conta a localização, a extensão das relações espaciais dos fenômenos analisados, visando contribuir para a sua presente explicação e para o acompanhamento de sua evolução passada e futura. O mesmo autor afirma que os problemas ambientais são caracterizados por uma expressão territorial (espaço) e por dinâmica (tempo). Afirma que o estudo

do ambiente parte do pressuposto que todo fenômeno é passível de ser localizado, tem sua extensão determinável, esta em constante modificação e não se apresenta totalmente isolado. Conforme proposto por Lobão et al. (2005), a integração de dados em um Sistema de Informações Georreferenciadas (SIG) é de fundamental importância para estudos ambientais, devido à possibilidade de agregar dados de biodiversidade, dados sociais, econômicos, políticos e culturais, potencializando a capacidade de análise.

### **2.2.1 Monitoria espacial**

O apoio à decisão sobre problemas ambientais não pode basear-se apenas na informação sobre ocorrências territoriais. É preciso obter conhecimento sobre a evolução, ou seja, sobre a variação, dos fenômenos territorialmente expressos. Diante disso, a monitoria (ou monitoramento ou monitorização) espacial precisa ser eficientemente executada sobre o modelo digital do ambiente. Este procedimento consiste no levantamento exaustivo das alterações ambientais ocorridas em uma determinada situação ambiental. Registros sucessivos de fenômenos ambientais, utilizando taxonomias correspondentes (classificações iguais ou correlacionáveis), podem ser usados para o acompanhamento da evolução territorial de processos e ocorrências de interesse. É o caso do acompanhamento da expansão urbana. (XAVIER-DA-SILVA, 2004)

Em Marino (2005), o processo de monitoria espacial pode ser realizado em duas fases: simples e múltipla. A monitoria simples consiste na definição de alterações de localização e extensão de características ambientais determinadas, em um período definido enquanto que a monitoria múltipla identifica quais categorias sofreram alterações no processo analisado.

Marino (2005) explica que a monitoria simples ocorre através da comparação da ocorrência da mesma característica ambiental ao longo de duas ocasiões registradas e contidas nos dados inventariados. Esta estrutura de monitoria Simples permite definir imediatamente os locais que não sofreram alteração, os locais onde a característica analisada passou a existir por não ter sido registrada na primeira ocasião e os locais onde a característica deixou de existir, tendo sido registrada apenas na primeira ocasião. O exame destas alterações, uma vez cartografadas, permite definir, em certa medida, o sentido e a velocidade de progressão do fenômeno no espaço geográfico. A incidência da progressão de uma mancha urbana sobre um território agrícola, por exemplo, pode

ser registrada por monitoria simples possibilitando estimar o sentido de deslocamento e a rapidez do fenômeno.

A monitoria múltipla, realizada após se obter as informações pela monitoria simples, possibilita informações quanto à espacialidade e temporalidade inerente aos fenômenos analisados, pois uma vez definidas as áreas em que uma determinada característica deixou de existir e os locais onde outra característica passou a existir tornam-se possível a obtenção das informações sobre o destino dado à área que sofreu alteração e sobre quais características incidiu uma determinada expansão territorial.





### 3.2 Evolução da ocupação:

A análise da estrutura e forma da expansão do vetor Norte da Região Metropolitana de Belo Horizonte não pode deixar de basear-se na evolução da acessibilidade e mobilidade na região. Nesse sentido, mostrar a importância do sistema viário para a identificação dos vetores de expansão mostra-se fundamental na medida em que esses norteiam o “alargamento” da malha urbana desde os primórdios da ocupação do território.

O processo de metropolização da Região metropolitana de Belo Horizonte tem sua gênese nos anos 40, período marcado por importantes intervenções públicas que definiram os futuros processos de expansão da capital e sua conurbação com os municípios vizinhos, principalmente a oeste e norte. A primeira expansão da capital mineira se deu no sentido Oeste a partir da década de 40 devido à criação da Cidade Industrial no município de Betim e a emancipação do município de Contagem. Logo em seguida, em 1950 com a criação do complexo da Pampulha e abertura da Avenida Antônio Carlos o direcionamento da expansão rumo ao norte da capital começou a configurar-se.

Diferentemente da primeira, que definiu o caráter industrial de Belo Horizonte, a expansão norte caracterizou-se por atividades culturais e de lazer acompanhadas de áreas residenciais ricas. Além de projetos arquitetônicos modernistas, foram estabelecidas normas urbanísticas específicas para a região, com restrições para dimensões mínimas dos lotes e limitações para usos não-residenciais admitindo-se apenas o uso residencial uni familiar. Inicialmente, o dinamismo dessa região se sustentou na acessibilidade criada com a abertura da Avenida Antônio Carlos e na concentração de grandes equipamentos institucionais como o Complexo Turístico da Pampulha, o campus da UFMG, o aeroporto da Pampulha, o zoológico, o Mineirão e na atração que exercia a região Cárstica de lagoa Santa, na época já um pólo de interesse científico, paisagístico, turístico e de lazer.

No final da década de 50, a abertura da rodovia para Brasília – atual BR-424, cortando Vespasiano, Pedro Leopoldo, Matozinhos e outros municípios, criou as condições para indústrias de bens intermediários e de alimentos iniciando, mesmo que sem muita expressão, um processo de expansão industrial. Na década de 60, o fenômeno conhecido com a nova industrialização mineira que apresentou altas taxas de crescimento econômico, teve concentração significativa na região de Belo Horizonte, repercutindo também nas altas taxas de crescimento demográfico. Neste período, outra

expansão direcionada para o sentido oeste, devido à abertura de vários loteamentos populares de baixo custo em Contagem, Betim e Igarapé, freou o crescimento dos municípios do Vetor Norte. Sofrendo com as pressões do mercado de terras e da intensa migração, logo estes municípios adotaram medidas para o controle desses parcelamentos abrindo espaço para a retomada do crescimento no vetor norte até a década de 70.

*“... aproveitando-se disso, o Vetor Norte, particularmente Ribeirão das Neves, logo mostrou reunir condições ideais para esse crescimento urbano: novos loteamentos com investimentos urbanísticos baixíssimos ou inexistentes em áreas não urbanizadas, mas com localização privilegiada de acesso aos eixos rodoviários e novas áreas industriais, beneficiaram-se da permissividade urbana no município”. (Monte-Mór, 2008 p.08).*

A partir de 1975, com a implantação da Rodovia Prefeito Américo Gianetti, os municípios do Eixo Norte se beneficiaram com a facilidade de acesso. Composta pela MG 010, que liga Belo Horizonte a Lagoa Santa e ao parque Nacional da Serra do Cipó e pela MG 424, foi a primeira via estadual em pista dupla classificada na época como via expressa. Associado à abertura de grandes corredores, o aumento da disponibilidade de transporte público com taxas menores consolidou a ocupação da população de baixa renda nos municípios do Vetor Norte. (Instituto Horizontes, 2004)

Nas áreas periféricas, o aumento da área habitada se deu pela própria disponibilidade do transporte. A população, buscando se fixar numa área que tivesse atendimento de transporte começou a exercer pressão, através de associações de moradores, para que as linhas existentes fossem prolongadas. Tão logo esses prolongamentos eram realizados, novos loteamentos eram abertos, formais ou não, na nova área de influência da linha. O processo se repete na medida em que a nova população solicita novos prolongamentos que para serem atendidos acabam desmembrando as linhas existentes em várias sublinhas. A intensidade do processo de reprodução periférica ocorrido especialmente nas regiões de Ribeirão das neves e Ibirité, a partir da década de 80, pode ser visto como consequência desse modelo de ocupação.

Esse grande crescimento populacional observado nos municípios que integram o vetor Norte da RMBH pode ser observado na Tabela 3:

<b>Tabela 3: Taxa de Crescimento da População – Municípios Vetor Norte (%)</b>				
Município / Data	1960/1970	1970/1980	1980/1991	1991/2000
Confins	1,12	1,64	2,82	4,86
Lagoa Santa	2,12	3,59	4,08	3,99
Pedro Leopoldo	2,35	3,80	3,02	2,93
Ribeirão das Neves	4,27	21,36	7,16	6,18
Santa Luzia	7,09	9,00	7,87	3,32
São José da Lapa	---	7,26	-0,35	9,09
Vespasiano	4,08	7,26	9,37	5,3
Belo Horizonte	5,94	3,73	1,15	1,15

Fonte: 1960/70 – Instituto Horizontes; 1970/80, 1980/91, 1991/2000 – Fundação João Pinheiro

Já nos anos 80, mesmo com a abertura da Avenida Cristiano Machado e do Aeroporto Internacional Tancredo Neves que consolidaram o eixo norte na estrutura urbana da metrópole, ocorreu uma retração dos loteamentos periféricos, aumentando a concentração urbana nas áreas já ocupadas e acelerando o crescimento do setor terciário, fazendo com que municípios com caráter predominantemente rural se transformassem em pequenos centros de serviços. Devido ao baixo nível de renda e escolaridade das populações periféricas e o aumento da mobilidade interna da RMBH, a concentração na metrópole se agravou, aumentando as diferenças entre as regiões ricas de Belo Horizonte e os pobres municípios periféricos, particularmente no Vetor Norte. (Monte-Mór, 2008).

A estrutura de acessibilidade formada pelas Avenidas Antônio Carlos e Cristiano Machado, reforçada pela extensão do trem urbano até a Região de Venda Nova (estação Vilarinho) impulsionam cada vez mais o crescimento do Vetor Norte, reforçando e ampliando suas

centralidades. Soma-se a esse quadro um conjunto de ações buscando tanto a ampliação de sua capacidade articuladora como a ampliação das possibilidades de formação de arranjos produtivos e a preservação ambiental.

Atualmente, o Vetor Norte vem sendo alvo de uma série de investimentos por parte do Estado e da iniciativa privada. Como marco desse processo pode-se destacar a retomada da utilização, em 2004, do Aeroporto Internacional Tancredo Neves, em Confins que deu a Avenida Cristiano Machado uma importância estratégica. Destacam-se como principais projetos de infra-estrutura viária e de transportes, a ampliação e modernização da MG 10 e sua extensão urbana - Cristiano Machado e Boulevard Arrudas – formando a chamada Linha Verde; a implantação da Estação Vilarinho em Venda Nova; e o projeto de construção de uma nova via de importância regional - o Contorno Viário Norte da RMBH - que deverá alterar radicalmente a acessibilidade regional atualmente existente e gerar profundas transformações territoriais em sua área de influência.

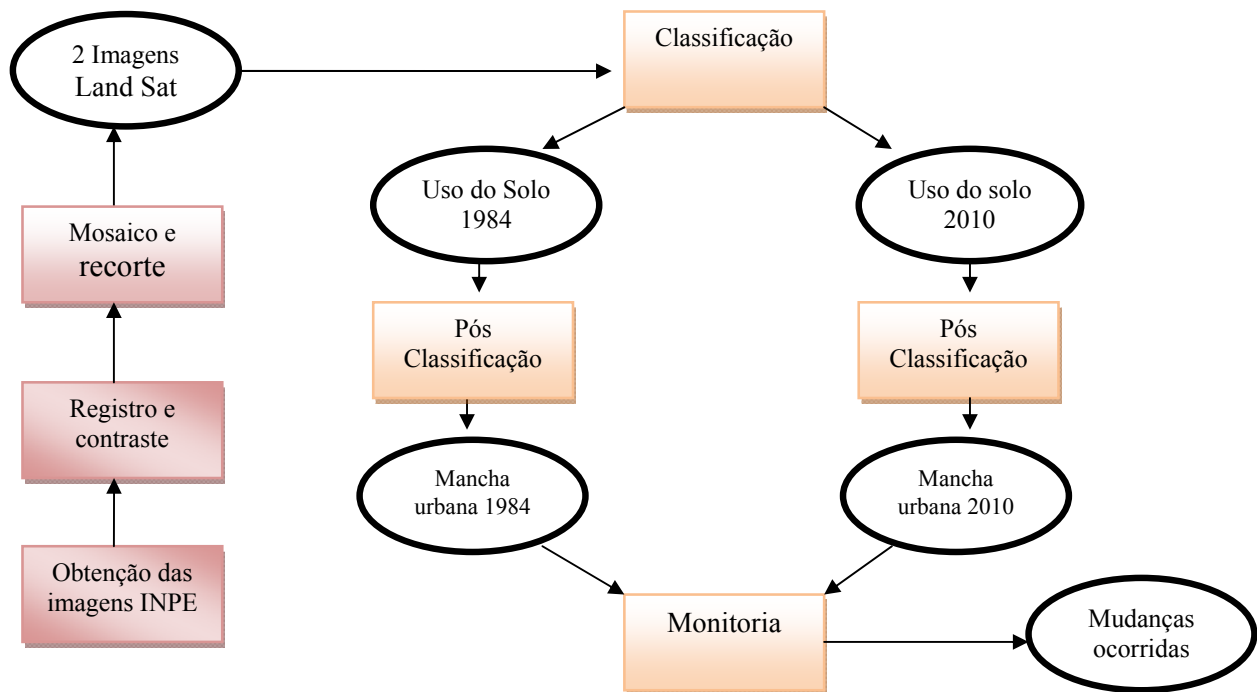
Direta ou indiretamente relacionados a estes projetos observam-se: a construção do novo Centro Administrativo de Minas Gerais (CAMG); a criação de uma infra-estrutura industrial de tecnologia de ponta, especialmente o Parque Tecnológico de Belo Horizonte (BHTEC); o pólo industrial de micro-eletrônica de Vespasiano; e o projeto de ampliação das funções do Aeroporto de Confins de forma a transformá-lo também em um aeroporto-indústria. Outro significativo empreendimento para a região são os novos loteamentos na Região do Isidoro (Norte de Belo Horizonte).

#### 4. METODOLOGIA E RESULTADOS

Para realização deste trabalho foram utilizados os seguintes dados:

- Quatro Cenas landsat TM 5 bandas 543: órbita-ponto 218/73 e 218/74 imageadas em 1984 e 2010 obtidas no site do INPE ([www.inpe.gov.br](http://www.inpe.gov.br))
- Cenas Landsat TM 5 bandas 543: órbita-ponto 218/73 e 218/74 imageadas em 2010 disponibilizadas pela *University of Maryland Institute for Advanced computer studies - UMIACS* como referência para o registro das cenas a serem classificadas. ([www.umiacs.umd.edu](http://www.umiacs.umd.edu))
- Pontos de amostras obtidos através do Sistema de Posicionamento Global – GPS, em campo para obtenção das classes de cobertura de solo nas cenas.

O fluxograma da Figura 2 apresenta a estrutura geral da metodologia utilizada para atingir os objetivos do trabalho. Cada tópico, assim como, os detalhamentos importantes para sua viabilização serão brevemente abordados.



**Figura 2: Fluxograma da estrutura geral da metodologia**

#### 4.1 Registro das imagens

Para o registro das quatro cenas Landsat TM 5 foi definida como referência, a imagem disponibilizada pelo site da ‘**umiacs**’. Estas imagens LandSat possuem posicionamento similar às bases do IBGE. No Software ENVI 4.3 foi utilizado o método de registro “imagem para imagem” que requer no mínimo duas imagens carregadas na lista de bandas disponíveis. Uma imagem é utilizada como base (“base image”) e a que contém a imagem original, como imagem de transformação (“warp image”). Foram adicionados às imagens de transformação, seis pontos de controle obtidos na imagem de referência.

No registro das cenas buscou-se atingir o Erro Médio Quadrático compatível com a resolução espacial das imagens Landsat. O Erro Médio Quadrático ou “*Root Mean Square Error*” (RMS) é uma medida do desvio dos valores calculados em relação aos valores originais. O RMS é estimado tomando-se uma amostra dos valores calculados e comparando-a com seus valores reais. A diferença entre elas são então elevadas ao quadrado e somadas. O resultado da soma é dividido pelo número de medidas, para que se obtenha a medida cuja raiz quadrada fornece uma medida característica de erro na mesma unidade das medidas originais. O erro RMS é diretamente comparável ao conceito de desvio padrão.

Para imagens de resolução igual a 30 metros, o RMS aceitável, de acordo com a Comissão nacional de Cartografia – CONCAR através do Padrão de Exatidão Cartográfica (PEC) é de 10 metros. O Tutorial de Geoprocessamento elaborado pelo DPI-INPE informa que numa área urbana, por exemplo, pode ser considerado um erro de 0,5 pixels para uma resolução de 30 metros, ou seja, erro de 15 metros. Em áreas de florestas, pode-se aceitar um erro de 3 pixels para a mesma resolução, pela dificuldade de se conseguir bons pontos de controle. O georreferenciamento das cenas Landsat TM 5 obteve os valores de RMS especificados nas Tabelas 4 e 5 e a distribuição dos pontos de controle como mostram as Figuras 3 e 4 :

Imagem Landsat TM 5 - Bandas 543 Órbita/ponto: 218/73

Data da passagem: 01/08/2010

RMS: 0.1084 pixels

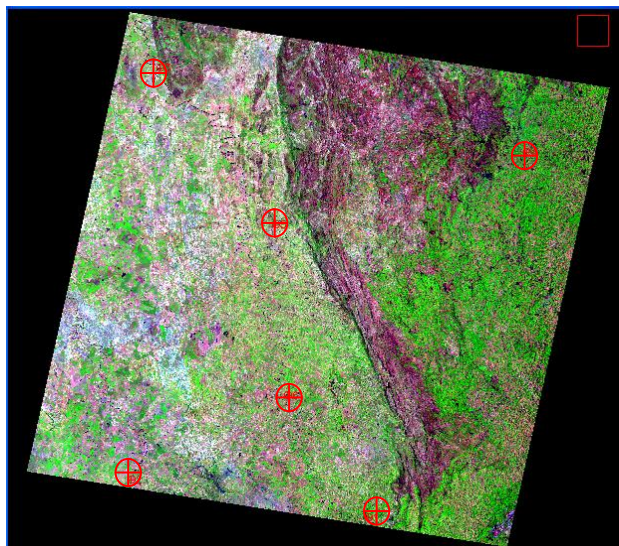
<b>Tabela 4: Lista de pontos de controle do registro da imagem 218/73 de 2010</b>			
Pontos	Erro X	Erro Y	RMS
Ponto 1	0,049	0,0954	0,1072
Ponto 2	0,0054	0,0474	0,0477
Ponto 3	0,1179	0,0192	0,1194
Ponto 4	0,0363	0,0064	0,0369
Ponto 5	0,1522	0,2311	0,2767
Ponto 6	0,2629	0,1012	0,2817

Imagem Landsat TM 5 - Bandas 543 Orbita/ponto: 218/74

Data da passagem: 01/08/2010

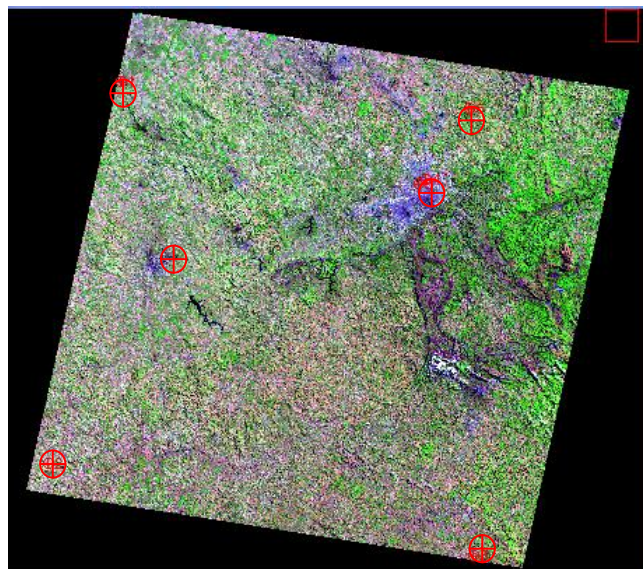
RMS: 0.6225 pixels

<b>Tabela 5: Lista de pontos de controle do registro da imagem 218/74 de 2010</b>			
Ponto	Erro X	Erro Y	RMS
Ponto 1	0,1449	0,0197	0,1463
Ponto 2	0,0462	0,0061	0,0466
Ponto 3	0,2133	0,0301	0,2154
Ponto 4	0,5535	0,1607	0,5763
Ponto 5	0,8967	0,0475	0,898
Ponto 6	1,0458	0,1522	1,0568



**Figura 3: Distribuição dos pontos de controle na Imagem 218/73 de 2010**





**Figura 4: Distribuição dos pontos de controle na Imagem 218/74 de 2010**

O método de transformação adotado para o registro das imagens foi a Transformação afim. Para a quantidade de pontos adquiridos neste trabalho, o polinômio de primeiro grau garante distorções homogêneas para toda a cena, devido a disposição regular entre os pontos. O grau do polinômio depende da quantidade de pontos de controle selecionados e quanto maior a ordem dos polinômios, mais próxima a curva de ajuste passará pelos pontos adquiridos. No entanto, a utilização de polinômios de grau muito elevado pode provocar algumas distorções na imagem gerada e, por isso, algumas vezes, o ajuste linear é uma adaptação aceitável. Enquanto os polinômios de ordem mais elevada apresentam maior acurácia na própria vizinhança dos pontos de controle, tais métodos podem conduzir a erros significativos e, conseqüentemente, à distorções naquelas regiões que estão fora dos limites definidos pelo conjunto de pontos de controle.

O método de reamostragem utilizado foi o “Vizinho mais próximo” (*Nearest Neighbor*). Este método de reamostragem é indicado quando se quer ainda fazer uma análise espectral dos dados após a transformação. Os métodos de reamostragem influenciam significativamente nos pixels de imagens de média resolução, por conseguinte, nas formas dos alvos da imagem. De acordo com Novo (2008), o método *Nearest Neighbor* facilita no processamento da imagem e costuma exigir menos da memória e do processador do computador. Além disso, esse tipo de reamostragem não altera os valores radiométricos da imagem original.

## 4.2 Mosaico

A área de estudo, definida pelos municípios que abrangem o vetor norte da região metropolitana de Belo Horizonte, esta localizada em 2 cenas Landsat. Para a obtenção da região de interesse na imagem foi necessário criar um mosaico com as duas cenas que cobrem a área de estudo.

As cenas, previamente georreferenciadas, foram carregadas no ENVI 4.3 onde foi executado o balanceamento automático de cores através da fixação do padrão de cores de uma das imagens para ser aplicado na outra. O processo estatístico de ajuste de cores pode ser obtido considerando toda a área do mosaico da imagem como também, somente a área que corresponde à sobreposição das imagens no mosaico. Foi adotado o processo estatístico baseado na área de sobreposição das cenas, pois o resultado apresentado foi mais satisfatório e o tempo de processamento das imagens, menor. O método utilizado para a reamostragem foi o “Vizinho mais próximo” (*Nearest Neighbor*).

## 4.3 Recorte da área de interesse

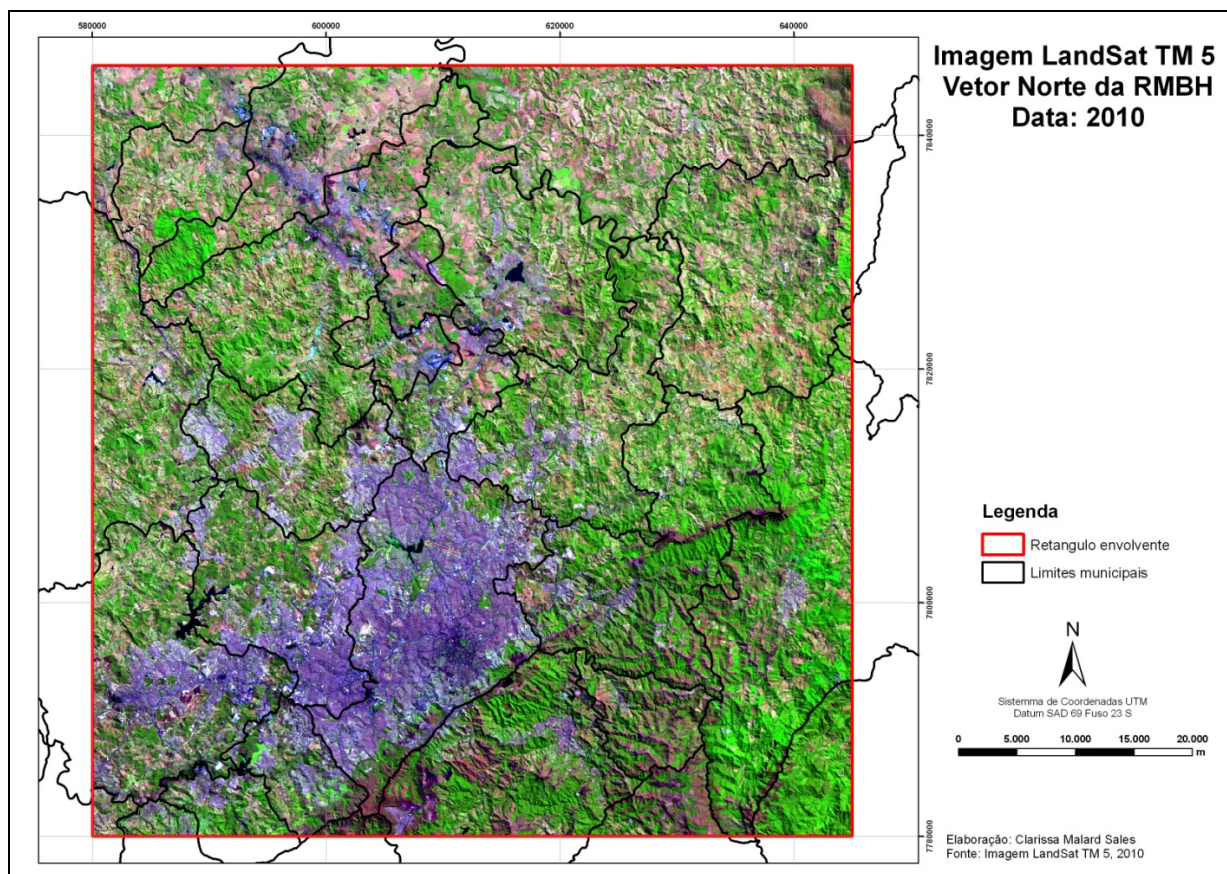
O recorte da área de interesse, como mostra a Figura 5, foi feito utilizando o software ENVI 4.3, a partir de um polígono onde o retângulo envolvente abrangesse todos os municípios do vetor norte da RMBH. Adotou-se o arredondamento das coordenadas para múltiplas de 1000 a fim de possibilitar a entrada do produto final no software SAGA.

Topo: 7846000 m,

Esquerda: 580000 m

Direita: 640000 m,

Inferior: 7780000 m



**Figura 5: Imagem landsat TM 5 – recorte da área de interesse**

#### 4.4 Classificação das imagens

O algoritmo adotado para a classificação das imagens e obtenção dos mapas de uso do solo foi o classificador MAXIVER no Software Envi 4.3. A precisão desse método depende da aquisição de amostras significativas de alvos distintos na imagem e a avaliação da matriz de classificação das amostras.

O primeiro passo no processo de classificação multiespectral é o treinamento, ou o reconhecimento da assinatura espectral das classes. É importante que a área de treinamento seja uma amostra homogênea da classe, mas ao mesmo tempo deve incluir toda a variabilidade dos níveis de cinza. De acordo com o Tutorial de geoprocessamento elaborado pelo DPI-INPE, para obtenção de classes estatisticamente confiáveis, são necessários de 10 a 100 pixels de treinamento por classe. O número

de pixels de treinamento necessário para a precisão do reconhecimento de uma classe aumenta com o aumento da variabilidade entre as classes.

As classes identificadas nas imagens por meio de trabalho de campo foram: urbano, urbano adensado, matas, eucaliptais, agricultura, mineração, campos, pastagens, solo exposto e água. O trabalho de campo foi indispensável ao estudo e mapeamento do uso do solo, pois através dele o resultado da interpretação tornou-se mais confiável. A Tabela 6 indica o número de pixels obtidos no conjunto de treinamento para cada classe:

<b>Tabela 6: Características das Classes de treinamento</b>		
<b>Classe</b>	<b>Cor</b>	<b>Número de Pixels</b>
Urbano	Vermelho	1.438
Urbano adensado	Magenta	1.066
Matas	Verde	2.715
Matas densas	Verde Escuro	5.256
Solo exposto	Marrom	972
Água	Azul	3.183
Pastagem	Amarelo	1.446
Campos	Laranja	1.580
Mineração	Amarelo Escuro	450

O limite de aceitação adotado para a classificação da imagem foi 100%, o que resultou em uma imagem classificada sem rejeição, ou seja, todos os pixels foram classificados. As matrizes de classificação abaixo, expressas nas Tabelas 7 e 8, onde a primeira coluna representa as classes obtidas, a primeira linha corresponde à verdade de campo e as células em amarelo à diagonal principal, apresentam a distribuição de porcentagem de pixels classificados correta e erroneamente nas imagens de 2010 e 1984 respectivamente:

**Tabela 7: Matriz de Classificação – Uso do solo 2010**

Classe	Urbano	Urbano denso	Matas	Matas densas	Solo exposto	Água	Pasto	Campo	Mineração
Não Classificado	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Urbano	81,15	30,3	0	0	0	0,44	0	3,73	0,66
Urbano adensado	13,28	64,45	0	0	2,78	0	0,41	1,08	2,64
Matas	0,14	0,09	48,09	4,57	0	0,06	0,28	0,32	0
Matas densas	0,21	0	15,69	95,09	0	0,57	0	0	0
Solo exposto	0,07	2,16	0,18	0,32	94,75	0,13	1,87	0	0
Água	0,28	0	0	0,02	0	97,39	0	0,13	0
Pastagem	0,21	1,78	0,04	0	2,37	0	95,5	0,19	0
Campos	4,17	0,66	0	0	0,1	1,41	1,94	94,56	0
Mineração	0,49	0,56	0	0	0	0	0	0	96,7

A matriz de classificação ou matriz de confusão identifica o erro global da classificação para cada classe mostrando também como se deram as confusões entre elas. Uma matriz de classificação ideal deve apresentar os valores de desempenho médio próximos a 100%, indicando que não houve confusão entre as classes e índice Kappa próximo a 1. Contudo esta é uma situação difícil em imagens com alvos de características espectrais semelhantes.

O índice Kappa, segundo Brites (1996), é uma medida de concordância e um procedimento muito adotado para mensurar a exatidão das classificações temáticas por representar inteiramente a matriz de confusão. É imprescindível mensurar o erro, como a diferença de um dado adquirido e seu valor correto, a fim de se definir a aplicabilidade do dado gerado. Os valores de desempenho médio da classificação de uso do solo em 2010 foi de 90,9442% e o índice Kappa de 0,8914 indicando que a classificação foi confiável.

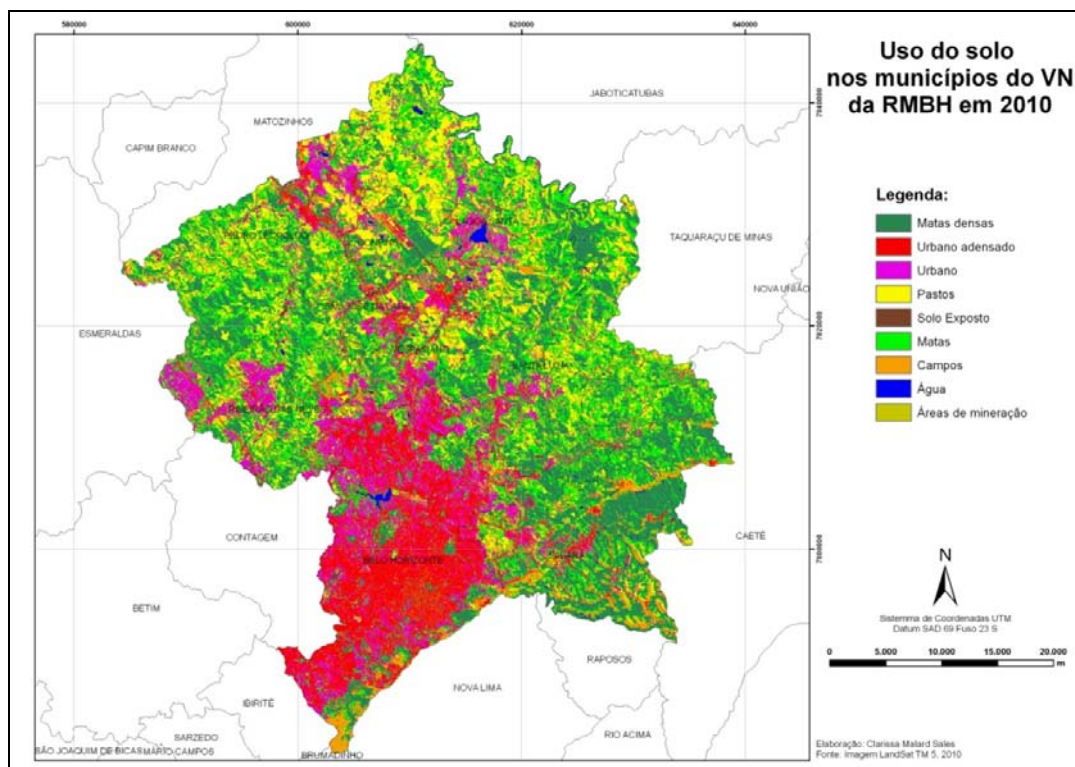
Para a classificação da imagem obtida em 1984 foram utilizadas as mesmas classes e as amostras que sofreram alterações em 2010 foram excluídas do treinamento. Cabe ressaltar que o processo de classificação em imagens de datas passadas não tem o mesmo nível de confiabilidade uma vez que a validação em campo trás um erro temporal. Os valores de desempenho médio foi 84,85% e o valor de índice Kappa obtido foi 0,6160.



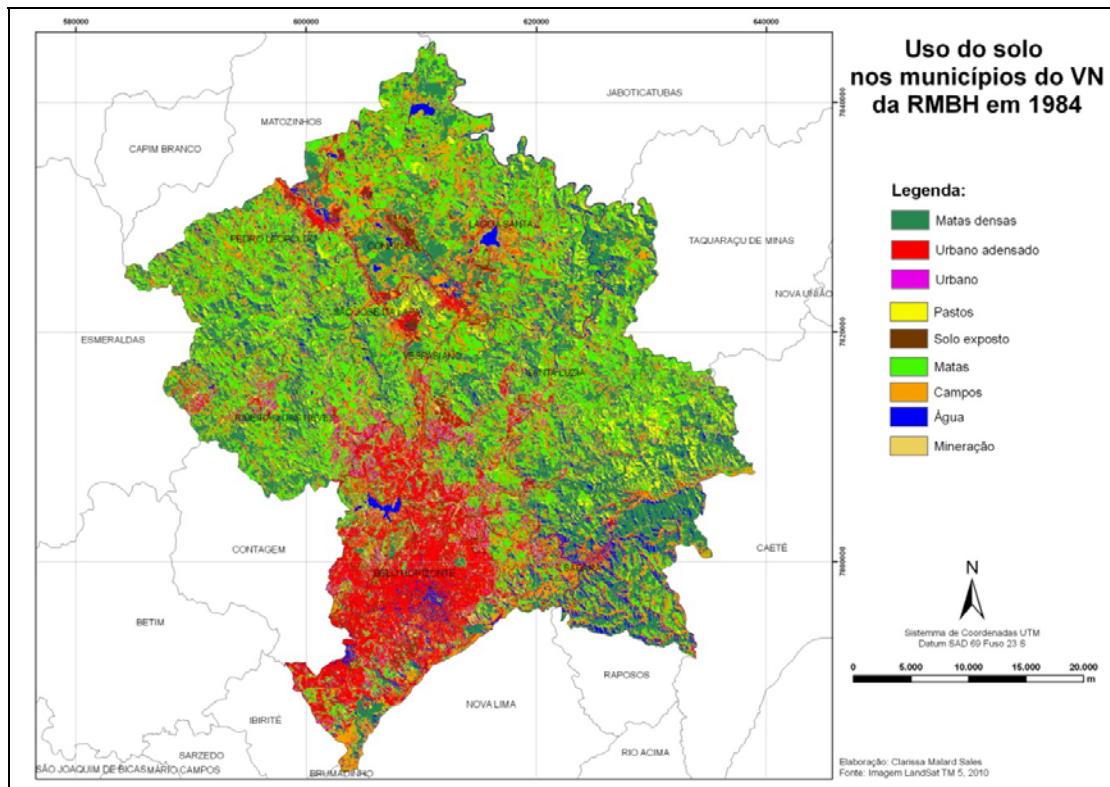
**Tabela 8: Matriz de Classificação – Uso do solo em 1984**

Classe	Urbano	Urbano denso	Matas	Matas densas	Solo exposto	Água	Pasto	Campo	Mineração
Não Classificado	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Urbano	91,71	9,8	0,29	0,11	3,4	1,79	0,41	1,96	1,22
Urbano adensado	5,93	73,09	0,63	0,21	0,91	0,6	5,53	2,34	2,64
Matas	0,07	2,16	82,6	4,59	1,84	1,16	4,08	0,25	0,09
Matas densas	0	6,38	10,01	84,68	0,14	5,31	7,95	1,65	1,02
Solo exposto	0	1,34	1,6	0,84	85,27	0,82	0,69	0,82	0,24
Água	0,06	0,12	0,02	2,38	0,45	83,69	0	4,94	0,61
Pastagem	0,98	0,09	1,15	2,15	4,01	1,6	69,36	12,97	3,1
Campos	0,23	0,17	2,69	5	0,02	3,96	5,83	74,87	20,05
Mineração	1,02	6,85	1,01	0,04	3,96	1,07	6,15	0,19	71,04

As figuras 6 e 7 mostram o resultado da classificação das imagens de 2010 e 1984 respectivamente:



**Figura 6: Mapa de Uso do Solo em 2010**



**Figura 7: Mapa de Uso do Solo em 1984**

#### 4.5 Pós-classificação:

O procedimento de pós-classificação em uma imagem classificada tem o objetivo de uniformizar os temas, eliminando pontos isolados e classificados diferentemente de sua vizinhança. Espera-se com a pós-classificação gerar uma imagem de aparência menos ruidosa.

Os mapas de uso do solo foram tratados no software ArcGis 9.2 e as classes agrupadas em urbano e não urbano o que gerou os mapas expressos nas Figuras 8 e 9 de mancha urbana de 2010 e 1984 respectivamente.

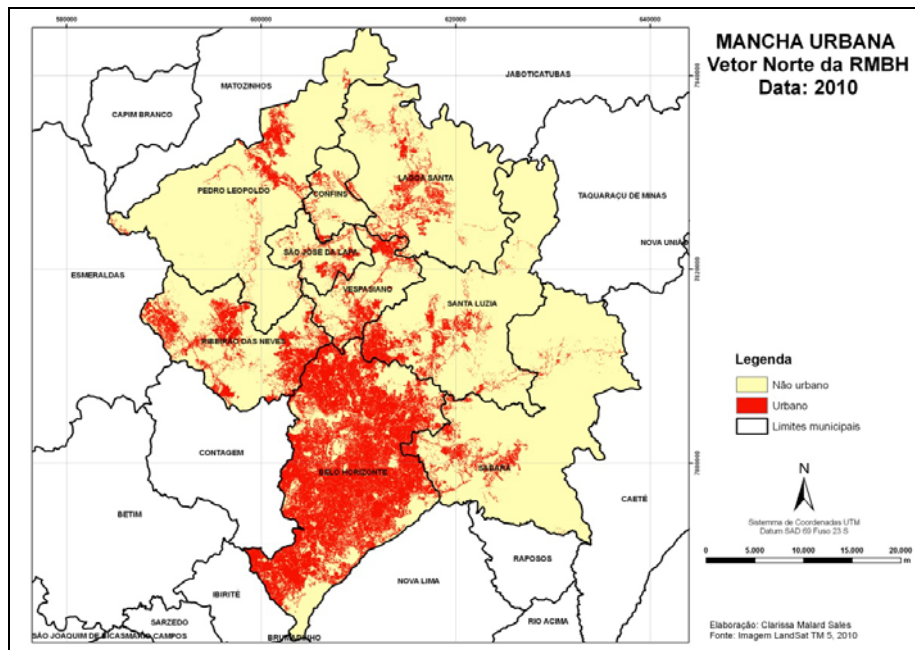


Figura 8: Mapa de mancha urbana em 2010

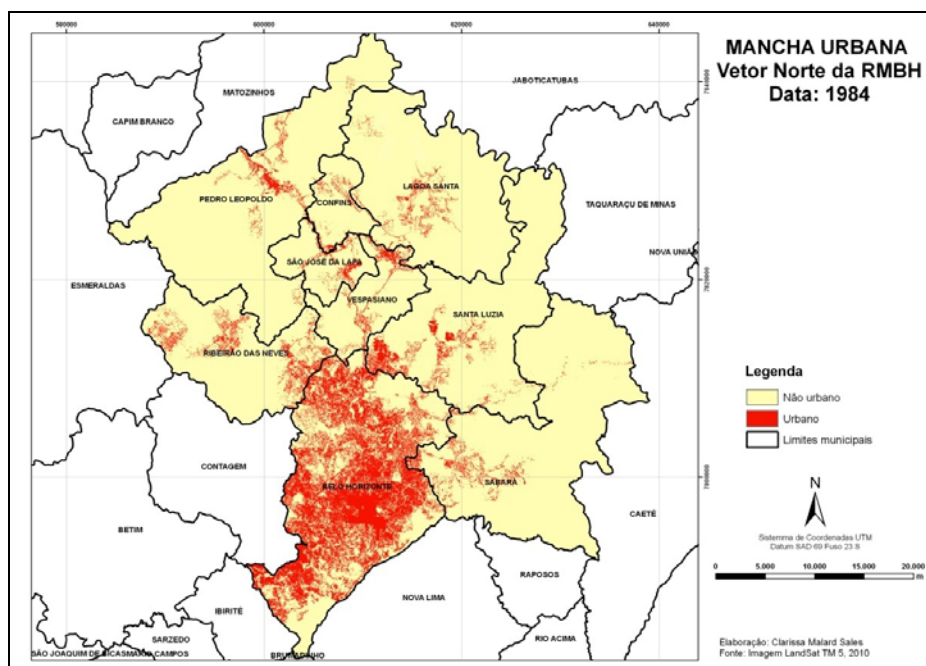


Figura 9: Mapa de mancha urbana em 1984



#### 4.6 Assinatura:

Os mapas de mancha urbana de 2010 e 1984 se comparados visualmente já trariam bom resultados, mas para se obter dados estatísticos da evolução da mancha urbana da região é necessário que se faça uma análise do quanto houve alteração a partir de uma determinada quantidade de pixels no mapa. Nesse sentido, a aplicação de procedimentos diagnósticos, como a assinatura, através do software SAGA, para cada um dos mapas de mancha urbana fornece o valor em pixel, em hectares e em porcentagem das classes analisadas. Segundo Moura (2006 *apud* Silva, 2002), os procedimentos diagnósticos caracterizam-se pela análise da situação especial vigente, enquanto os prognósticos, somando-se aos conhecimentos dos diagnósticos, permitem antever situações e construir propostas de intervenção. As Tabelas 9 e 10 apresentam o resultado da assinatura dos mapas de mancha urbana de 2010 e 1984 respectivamente:

<b>Tabela 9: Resultado da assinatura do mapa de mancha urbana de 2010</b>			
Categoria	Total de pixels	Total Ha	Porcentagem
Não Urbano	1472492	132.524,28	77,48%
Urbano	38504,79	38.504,79	22,51%

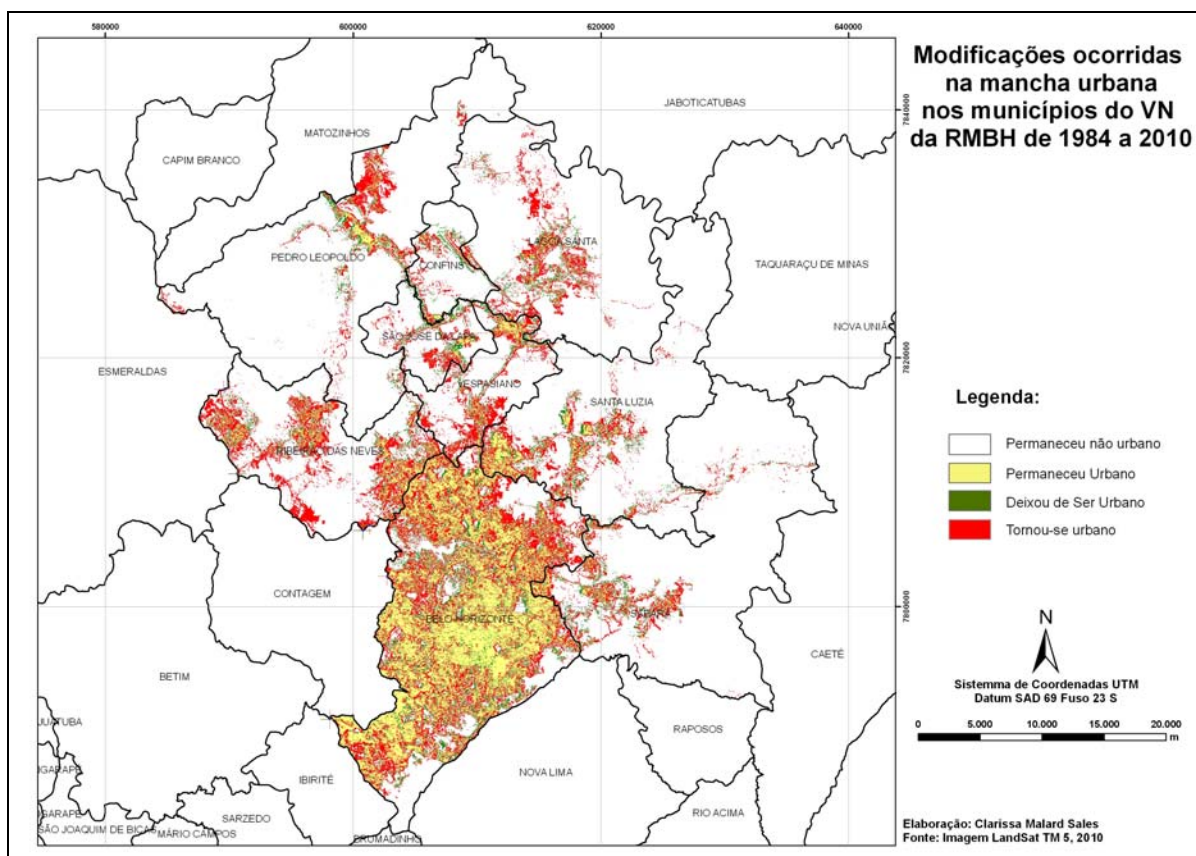
<b>Tabela 10: Resultado da assinatura do mapa de mancha urbana de 1984</b>			
Categoria	Total de pixels	Total Ha	Porcentagem
Não Urbano	1650310	148.527,9	86,81%
Urbano	250699	22.562,91	13,18%

#### 4.7 Monitoria:

Outro procedimento diagnóstico utilizado nessa pesquisa foi a monitoria. Este procedimento gera, a partir da comparação entre dois mapas de datas diferentes, um mapa resultante onde é possível

identificar as mudanças. Para a monitoria no Software VistaSAGA os mapas a serem utilizados devem possuir o mesmo georreferenciamento e abranger a mesma área geográfica, trabalhando-se com dois mapas de cada vez. O primeiro mapa relacionado é o que contém o registro mais antigo.

A Figura 10 apresenta os resultados da monitoria simples em que as classes urbano e não urbano dos mapas de mancha urbana foram submetidas. A monitoria simples consiste em fornecer um resultado da comparação entre duas categorias e analisar as suas ocorrências segundo quatro situações possíveis: deixou de ser, permaneceu, tornou-se e não encontrado.



**Figura 10: Mapa de modificações ocorridas na Mancha Urbana de 1984 a 2010**

Os valores encontrados em pixel, em hectares e em porcentagem das transformações na mancha urbana de 1984 para 2010 estão expressos na Tabela 11:

<b>Tabela 11: Resultado da assinatura do mapa de modificações ocorridas</b>			
Categoria	Total de pixels	Total Ha	Porcentagem
Permaneceu não urbano	3702187	333196,8	88,38%
Permaneceu urbano	191906	17271,54	4,58%
Deixou de ser urbano	58793	5291,37	1,40%
Tornou-se urbano	235925	21233,25	5,63%

## 5. CONCLUSÕES

Apesar da pesquisa se tratar da expansão urbana no vetor norte, é importante esclarecer que o foco não foi exatamente a análise dos motivos que levaram a essa expansão, mas a análise da estrutura e forma de crescimento urbano da cidade. A identificação e análise das direções de crescimento e suas características são essenciais para a compreensão das dinâmicas em desenvolvimento nas cidades. Assim, os resultados obtidos neste trabalho contribuem de certa forma para os estudos de novos projetos para a metrópole atual.

O processo de classificação de imagens de satélite e análise dos dados por meio de técnicas de geoprocessamento proporcionaram um retrato estatístico que possibilitou descrever a evolução da mancha urbana no vetor norte da região Metropolitana de Belo Horizonte. A partir da assinatura do mapa de modificações ocorridas é possível identificar que a área ocupada pelo uso urbano de 1984 para 2010 aumentou em 5,63%, índice baixo devido à grande área não urbana que ainda existe no território dos municípios monitorados. Com tudo, alguns municípios como Pedro Leopoldo e Lagoa Santa aumentaram substancialmente suas áreas urbanas, o que pode ser explicado pela abertura de novos loteamentos para classe média e alta principalmente nas décadas de 80 e 90.

Visualmente, pode-se perceber em 2010 um adensamento em todas as áreas já urbanizadas em 1984, principalmente no município de Belo Horizonte e nas chamadas cidades dormitórios como Santa Luzia e Ribeirão das Neves que sofreram um adensamento maior em relação aos demais municípios. Esse fator confirma a centralidade de Belo Horizonte que se estende ao longo das principais vias arteriais e de áreas conurbadas. Essa concentração em torno de um único centro foi historicamente reforçada pelo sistema viário e de transportes e pelos investimentos em infraestrutura que privilegiaram as regiões centrais da metrópole.

O crescimento e adensamento das áreas urbanizadas se dão principalmente próximos a grandes rodovias e vias de ligação entre os municípios, como por exemplo, no entorno da Avenida Cristiano Machado e MG-010 e da BR – 424 promovendo o adensamento da Região Norte de Belo Horizonte e das cidades de Vespasiano e Ribeirão das Neves. Nesse sentido, mostrar a importância do sistema viário para a identificação dos vetores de expansão metropolitanos é fundamental, na medida em que estes, historicamente norteiam o alargamento da malha urbana.

Porém, podem-se perceber através da análise do mapa, grandes modificações no sistema viário melhorando a mobilidade entre os municípios e a metrópole. Em função da Instalação da Cidade Administrativa e dos impactos dos investimentos realizados e previstos para a região, observa-se a consolidação de uma nova centralidade que envolve o centro de Venda Nova conurbado com Ribeirão das Neves à oeste, com a região da Pampulha ao sul e com Santa Luzia incorporando áreas dos municípios de Vespasiano, Confins e Lagoa Santa.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALMEIDA, Claudia Maria de. Aplicações dos sistemas de sensoriamento remoto por imagens e o planejamento urbano e regional. Instituto nacional de pesquisas espaciais – INPE. São José dos Campos – SP, 2010.

ASSIS, Rodrigo Rocha de. Utilização de imagens Orbitais e aéreas no estudo da ocupação e planejamento urbano. Belo Horizonte, 2002. 35p. Monografia (Especialização). Universidade Federal de Minas Gerais. Instituto de Geociências. Departamento de Cartografia.

ARAÚJO, M. V.; FREIRE, J. S. S.; VAZ MANSO, V. A. Análise Multitemporal da evolução da linha de costa da praia Volta do Rio no Litoral leste do Município de Acaraú – Ceará utilizando imagens LandSat TM 5 In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 12. (SBSR), 25-30 abr. 2009, Natal. Anais... São José dos Campos: INPE, 2009

BRITES, R. S. Verificação de exatidão em classificação de imagens digitais orbitais: efeito de diferentes estratégias de amostragem e avaliação de índices de exatidão. 1996. 101 f. Tese (Doutorado em Ciência Florestal) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 1996.

COUTINHO, Alexandre M. Segmentação e classificação de imagens Landsat - TM para o mapeamento dos usos da Terra na Região de campinas - SP. São Paulo, USP, 1997

Estudos sobre impactos oriundos de iniciativas localizadas no Eixo Norte da RMBH e definição de alternativas de desenvolvimento econômico, urbano e social para o município de Belo Horizonte. Prefeitura de Belo Horizonte (IGC/UFGMIPPUR/UFRJ). Volume IV (Análise comparativa dos planos diretores do Vetor Norte da RMBH: a dimensão territorial) Belo Horizonte, 2008. p23.

FLORENZANO, Teresa Gallotti. Imagens de Satélite para Estudos Ambientais. São Paulo: Oficina de Textos, 2002.

FORRESTI, Celina. Proposta metodológica para o estudo ambiental e de estruturação do espaço urbano em áreas metropolitanas. Instituto de pesquisas espaciais – INPE. São José dos Campos: INPE, 1996

LOBÃO, Jocimara Souza Britto; LOBÃO, José Antonio Lacerda; FRANÇA-ROCHA, Washington de Jesus Santana da. Banco de Dados Biorregional para o Semi-Árido no Estado da Bahia. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 12. (SBSR), 16-21 abr. 2005, Goiânia. Anais... São José dos Campos: INPE, 2005.

MAILLARD, Philippe. Introdução ao Sensoriamento Remoto. Apostila. Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2000.

MAILLARD, Philippe. Introdução ao Processamento digital de Imagens. Apostila. Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2000.

MARINO, Tiago B. Sistema de análise Geo-ambiental. Rio de Janeiro, 2005. 61p. Monografia (ciências da computação) Universidade Federal do Rio de Janeiro. Departamento de Ciência da computação, Instituto de Matemática.

MONTE-MÓR, R. L. M.; DINIZ, S. C.; SOUZA JUNIOR, M. S. Alternativas de trabalho e renda no vetor norte da Região Metropolitana de Belo Horizonte. CEDEPLAR/UFGM, 2008. p.23.

MONTE-MÓR, Roberto L. M.; PEREIRA, Fernando B.; SOUZA, Julio C. A Reestruturação Urbana e Metropolitana no Vetor Norte da Região Metropolitana de Belo Horizonte. XII Encontro Nacional da ANPUR. Belém, PA. Maio de 2007.

MOURA, Ana Clara M. Geoprocessamento na gestão e planejamento urbano. Belo Horizonte, Ed da Autora, 2003, 294 p.

NOVO, E. M. L. de Moraes. Sensoriamento Remoto - Principios e aplicações. São Paulo, Bucher, 2008. p363.

POLIDORO, Mauricio; NETO, O. C. P. Análise da evolução da mancha urbana em Londrina – PR através de técnicas de sensoriamento remoto. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 14. (SBSR), 25-30 abr. 2009, Natal. Anais... São José dos Campos: INPE, 2009.

ROCHA, Cezar Henrique Barra. Tecnologia transdisciplinar. 2 ed. Juiz de Fora: Ed. do Autor, 2002. 220p.

SILVA, Jorge C. da. Monitoramento da expansão urbana no Município de Ribeirão das Neves –MG através do processamento digital de imagens. Belo Horizonte, 2006. 51p. Monografia (Especialização). Universidade Federal de Minas Gerais. Instituto de Geociências. Departamento de Cartografia.

SILVA-XAVIER, J. Ricardo Tavares (org.) Geoprocessamento e análise ambiental. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2004. 368p.

TIMBÓ ELMIRO, M. A. Sensoriamento remoto e processamento de imagens. Belo Horizonte, 2006. 24p. Apostila do curso de Especialização em Geoprocessamento. Universidade Federal de Minas Gerais. Instituto de Geociências. Departamento de Cartografia.

UMBRELINO, G. J. M.; MACEDO, D.R. Uso dos sistemas informativos geográficos (SIG's) na avaliação da dinâmica evolutiva de áreas urbanas: um estudo a partir dos pólos mineiros. CEDEPLAR/UFMG. XV Encontro nacional de Estudos populacionais, ABEP. Caxambú – MG, 2006